

Sistema IoT para el monitoreo y control de condiciones ambientales en viviendas en tiempo real

IoT System for Real-Time Monitoring and Control of Environmental Conditions in Residential Homes

Emilio Zhuma Mera



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-3086-1413>

Ángel Torres Quijije



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-7037-7191>

Byron Oviedo-Bayas,

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-5366-5917>

Brittany Thayli Cobeña Zambrano

Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0009-2430-5750>

Cómo citar: Zhuma Mera, E., Torres Quijije, Ángel, Oviedo-Bayas, B., & Cobeña Zambrano, B. T. (n.d.). Sistema IoT para el monitoreo y control de condiciones ambientales en viviendas en tiempo real . Ingeniería E Innovación, 14(1). <https://doi.org/10.21897/rii.4214>

Copyright: © 2025 Universidad de Cordoba. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License, que permite el uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que el autor original y la fuente se acreditan.

Recibido: 08/01/2026

Aprobado: 12/02/2026

Publicado: 20/02/2026

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.

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.

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

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 MQTT y /cloud computing para medición de variables ambientales [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.[5]

El proyecto está desarrollado en fases para ir despejando todas las interrogantes desde estudios sobre los parámetros ambientales y valores máximos y mínimos de cada contaminante, seguido del diseño, herramientas y recursos utilizados, finalizando con las conclusiones.

1. METODOLOGÍA

La investigación se enmarca en 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. Las diferentes fases de la investigación se describen a continuación:

1.1. 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. [6]

1.2. 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. [7][8]

1.3. 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.

1.4. 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.

1.5. 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. [9]

- 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.

1.6. 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.

2. RESULTADOS

2.1. 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. [10].

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. [11].

2.2. 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. [12]

Tabla 1: Tabla de contaminantes ambientales residenciales

Contaminante	Abrev.	Breve descripción	Consecuencias a la salud
Dióxido de carbono	CO ₂	Gas exhalado por personas y animales, también puede acumularse en espacios mal ventilados.	Fatiga, disminución de concentración, molestias cognitivas.
Monóxido de carbono	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.
Ozono	O ₃	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.
Compuestos orgánicos volátiles	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).

Partículas finas	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.
Partículas inhalables	PM10	Partículas algo más grandes que PM2.5, generadas también por actividades domésticas, polvo, 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 (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	T	Condición térmica del ambiente interior; influye en la exposición, confort y generación de contaminantes.	Temperaturas extremas 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 baja: irritación de ojos, mucosas, mayor susceptibilidad a infecciones respiratorias.

2.3. 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. [11].

Tabla 2. Parámetros ambientales

Contaminante	Limite OMS recomendado:
Co2	< 1 000 ppm
Co	≤ 4 mg/m ³ (24 h)
Ozono (O3)	≤ 100 µg/m ³ (8 h) ≈ 0,05 ppm
COVs	≤ 100 µg/m ³

<i>Pm2.5</i>	< 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (anual)
<i>Pm10</i>	< 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (anual)
<i>No2</i>	< 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (anual)
<i>So2</i>	< 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (diario)
<i>Radón</i>	< 100 Bq/m ³
<i>Temperatura</i>	20–24 °C
<i>Humedad relativa</i>	30–60 %

2.4. 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.

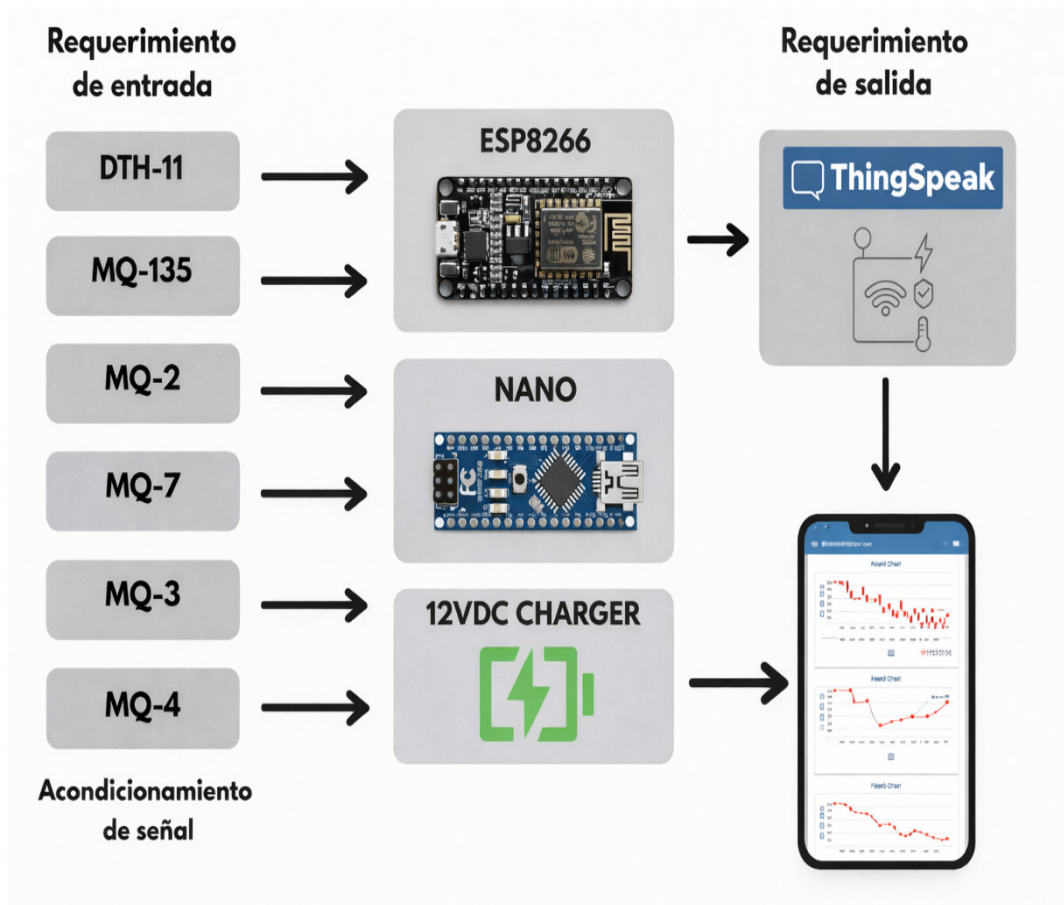


Figura 1: Arquitectura del sistema

2.5. 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. [13]

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.

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.

Capa de Plataforma y Visualización

Plataforma ThingSpeak:

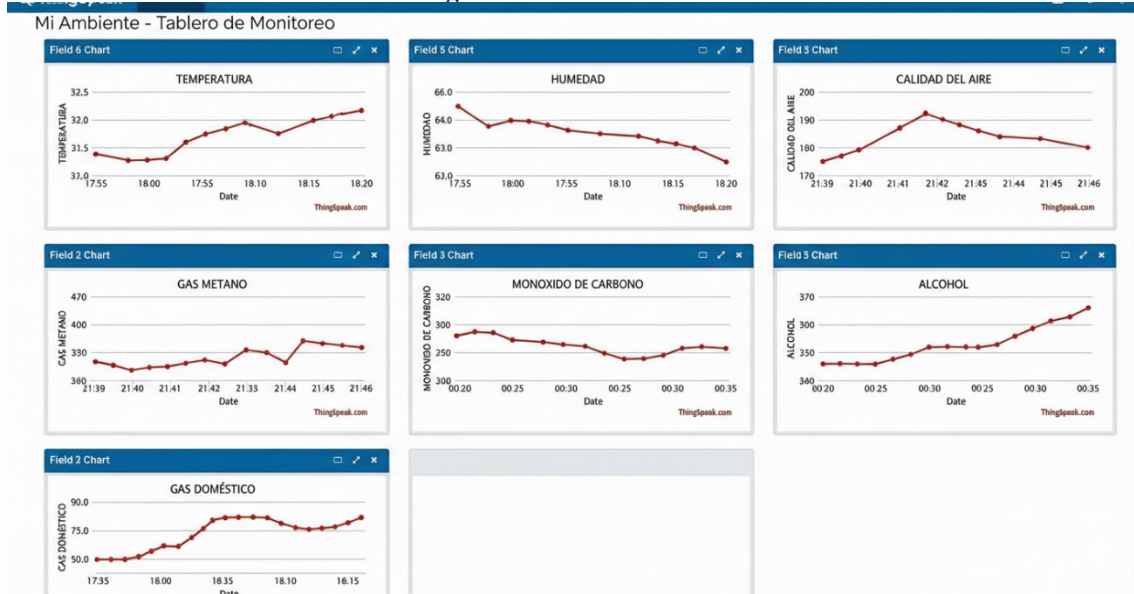
- Dashboard online.
- Almacenamiento y gráficos en tiempo real.
- Análisis histórico de las variables ambientales.
- Alertas y notificaciones.

2.6. 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.

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.

Figura 4: Tablero de control



Este es un tablero de seguridad y ambiente multiparamétrico. No solo mide confort (Temperatura/Humedad), sino que está fuertemente enfocado en la seguridad doméstica, monitoreando presencia de gases combustibles (Metano, Gas Doméstico) y tóxicos (CO), lo cual es ideal para prevenir accidentes o asegurar la salubridad de un espacio.

2.8. Datos recolectados

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

Tabla 4. Recopilación de datos

Fecha / Hora	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	Índice MQ-135	Alcohol (ppm)	Gas combust. (ppm)	Temp (°C)	Humedad (%)
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

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.

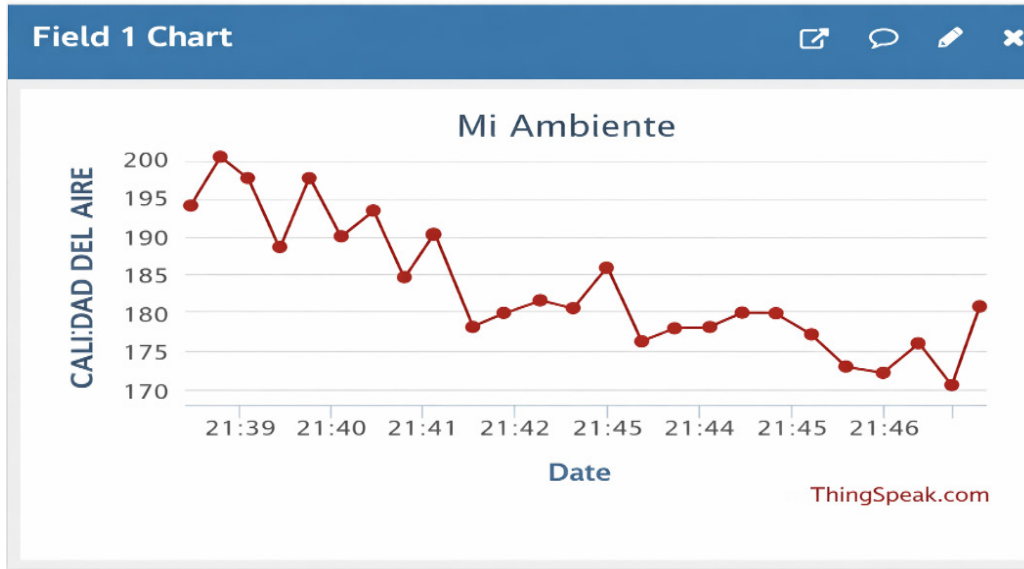


Figura 5: Calidad del aire

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.

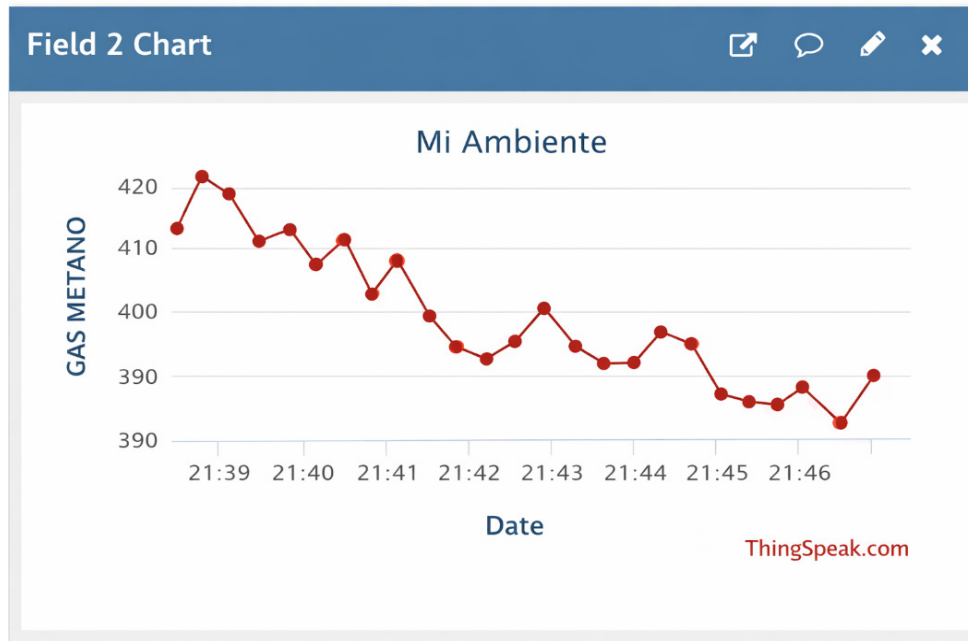


Figura 6: Gas metano

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.

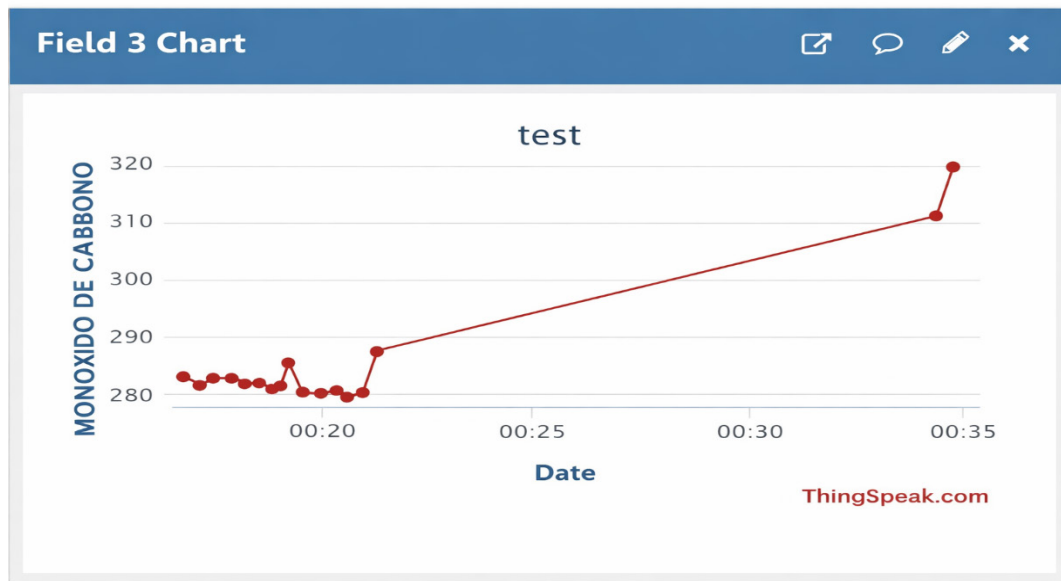


Figura 7: Monóxido de carbono

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.

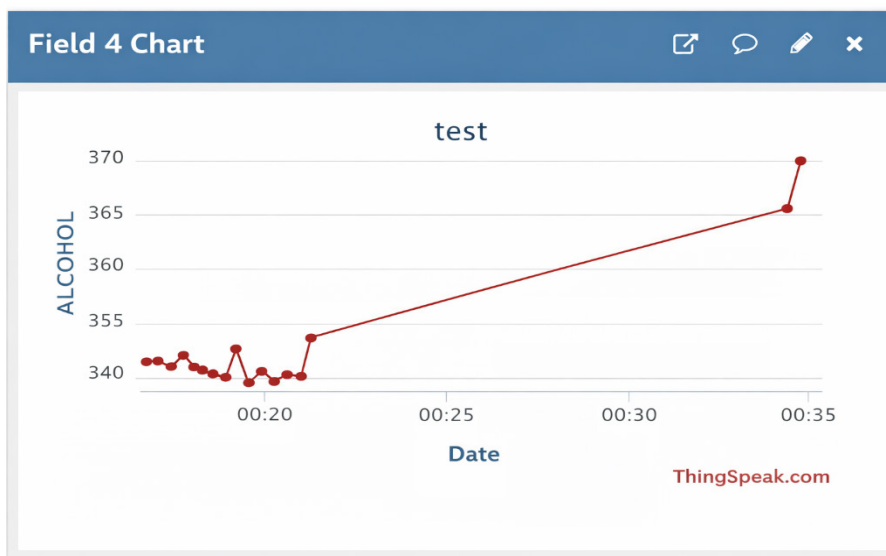


Figura 8: Concentración de alcohol

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.

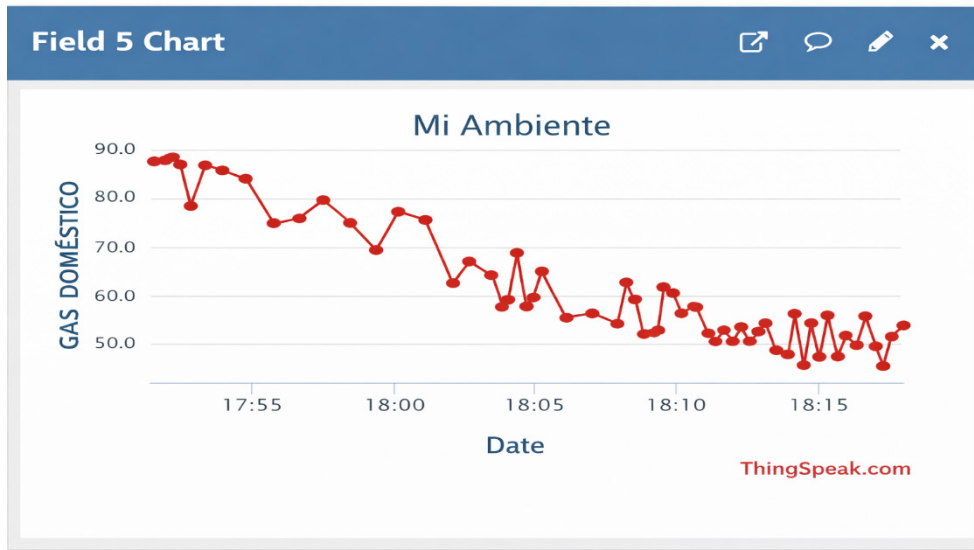


Figura 9: Gas doméstico.

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.

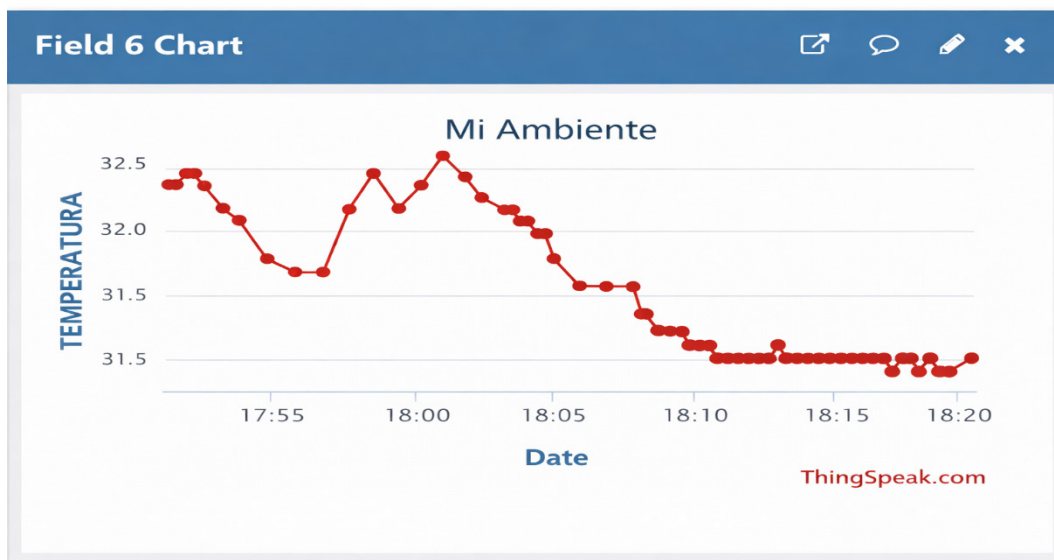


Figura 10: Temperatura

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.

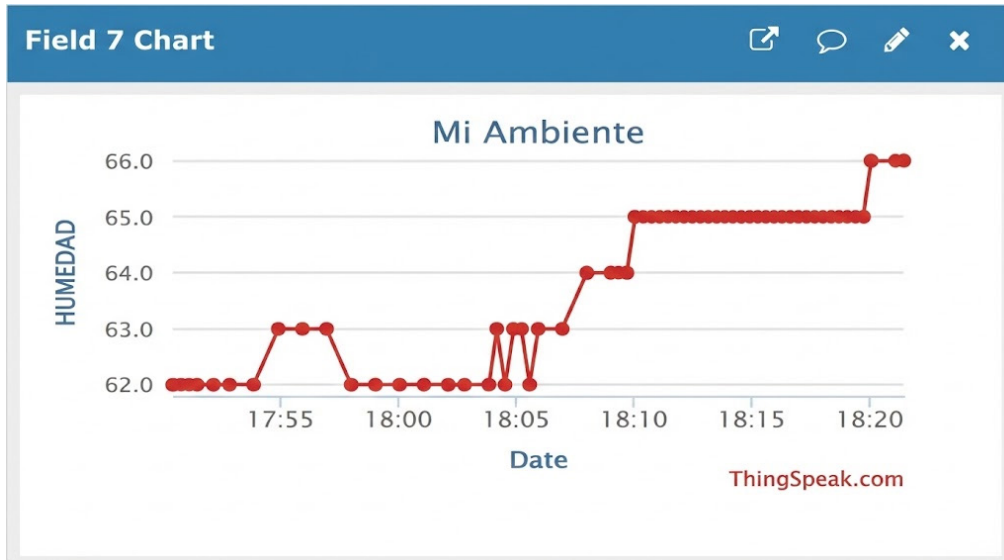


Figura 11: Humedad

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.

CONCLUSIONES

La investigación desarrollada permitió evidenciar la importancia crítica de monitorear los parámetros ambientales definidos por la Organización Mundial de la Salud para garantizar espacios interiores saludables, demostrando que, mediante la implementación de sensores de bajo costo integrados a una plataforma de análisis en tiempo real, es posible registrar de manera continua y confiable variables como la temperatura, la humedad y las concentraciones de gases contaminantes que influyen directamente en el bienestar de las personas; la implementación de la red de sensores basada en Arduino, ESP8266 y la plataforma ThingSpeak confirmó que la combinación adecuada de hardware y software permite construir un sistema funcional, accesible y útil para la toma de decisiones informadas orientadas a mejorar la calidad del aire en ambientes residenciales, ya que la visualización y el análisis inmediato de los datos facilitan la detección de cambios críticos y la adopción de acciones preventivas; en este sentido, la investigación no solo fortalece la evidencia científica sobre la relación entre las condiciones ambientales y la salud, sino que también demuestra que las tecnologías IoT de bajo costo pueden tener un impacto significativo en la vida diaria, fomentando hábitos más saludables y sirviendo como una base sólida para futuras aplicaciones e investigaciones orientadas a la creación de entornos interiores más seguros y saludables.

REFERENCIAS

1. Anusha, M., Kumar, P. B., Akhil, V., Gouthami, M., Chinnaiah, M. C., & Shaik, S. (2024). Internet of Things (IoT) based energy monitoring with ESP32 and using ThingSpeak. En 2024 10th International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP) (pp. 1383–1387). <https://doi.org/10.1109/ICCSP60870.2024.10543944>
2. Easterline, L. M., et al. (2024). Smart air monitoring with IoT-based MQ-2, MQ-7, MQ-8, and MQ-135 sensors using NodeMCU ESP32. *Procedia Computer Science*, 245, 815–824.
3. Flores-Cortez, O. O., & Hernández, J. R. C. (2024). Implementación de una red de monitoreo de la calidad del aire utilizando tecnologías IoT de bajo costo: Caso de estudio El Salvador. *S. F. Journal of Development*, 5(7), e4082.
4. Lozada Contreras, J. D., & Bautista España, A. D. (2024). Sistema IoT para el monitoreo de variables ambientales en un ambiente laboral. *ReSoFro*, 4(1), e41117.
5. Medrano, K., Hernández, E., Tejada, R., & Moreno, A. (2025). Tecnologías IoT para el monitoreo

- de la calidad del agua en la acuicultura. *EPSIR*, 10, 1–17.
6. Molina, Beugels, & Damari, X. (2023). Impacto de la contaminación ambiental residencial en las tasas reproductivas de los ciclos de reproducción humana asistida.
 7. Parida, D., Behera, A., Naik, J. K., Pattanaik, S., & Nanda, R. S. (2019). Real-time environment monitoring system using ESP8266 and ThingSpeak on Internet of Things platform. En 2019 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICCS) (pp. 225–229). <https://doi.org/10.1109/ICCS45141.2019.9065451>
 8. Sadi, S., Mulyati, S., & Wijaya, I. K. (2022). The use of the Internet of Things in the design and construction of a monitoring system for hydrogenic plants and fish ponds using ThingSpeak and ESP-01. *JRCCC*, 1(1), 27–35.
 9. Sánchez-Castillo, V. (2024). Aplicaciones de la tecnología Internet of Things en las ciencias ambientales: Un estudio mixto en la base de datos Scopus. *Respuestas*, 30(1), 51–66.
 10. Saquicela, J. L. S. (2022). Diseño de un sistema de monitorización de la calidad de aire basado en una red sensorial y técnicas IoT para la ciudad de Esmeraldas. *BASR*, 6(2), 692–730.
 11. Whaley, P., Nieuwenhuijsen, M., & Burns, J. (Eds.). (2021). Update of the WHO global air quality guidelines: Systematic reviews. *Environment International*, 142 (Special issue).
 12. Organización Mundial de la Salud. (2020). Personal interventions and risk communication on air pollution. Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/333781>
 13. Organización Mundial de la Salud. (2021, septiembre 22). Las nuevas directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire tienen como objetivo evitar millones de muertes debidas a la contaminación del aire. <https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aimto-save-millions-of-lives-from-air-pollution>