

Arquitectura IoT para el monitoreo en tiempo real de contaminantes atmosféricos en un entorno universitario / IoT Architecture for Real-Time Monitoring of Atmospheric Pollutants in a University Environment

Anthony Morán Cabezas¹, <https://orcid.org/0009-0005-2734-8474>, amoranc5@uteq.edu.ec

Andrés De La Torre Macías¹, <https://orcid.org/0000-0002-4984-6483>, adelatorrem@uteq.edu.ec

Jefferson Morán Cabezas¹, <https://orcid.org/0000-0003-2097-5027>, amoranc5@uteq.edu.ec

César Fabián Varas Beltrán¹ <https://orcid.org/0000-0002-1885-5977>, cvarasb@uteq.edu.ec

Institución de los autores

¹, ², ³, ⁴ Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ecuador.

Resumen

Este artículo presenta el diseño e implementación de un sistema de monitoreo de la calidad del aire basado en Internet de las Cosas (IoT) para el campus de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. La arquitectura propuesta emplea nodos sensores con microcontroladores ESP32, que miden contaminantes como monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂). Los datos se transmiten de forma inalámbrica a una plataforma centralizada, donde se almacenan y visualizan en tiempo real mediante una interfaz web accesible. Los resultados del periodo de prueba indican que las concentraciones de los contaminantes se mantuvieron dentro de rangos aceptables, mostrando variaciones coherentes con la actividad humana y las condiciones ambientales. Se concluye que el sistema constituye una solución funcional, escalable y de bajo costo, viable para la gestión ambiental universitaria y base para futuras mejoras, como la integración de análisis predictivo y sistemas de alerta temprana.

Palabras clave: Contaminación atmosférica, Internet de las Cosas, Monitoreo ambiental, ESP32, Calidad del aire.

Abstract

This article presents the design and implementation of an air quality monitoring system based on the Internet of Things (IoT) for the campus of the State Technical University of Quevedo. The proposed architecture uses sensor nodes with ESP32 microcontrollers, which measure pollutants such as carbon monoxide (CO) and carbon dioxide (CO₂). The data is transmitted wirelessly to a centralized platform, where it is stored and displayed in real time through an accessible web interface. The results from the trial period indicate that pollutant concentrations remained within acceptable ranges, showing variations consistent with human activity and environmental conditions. It is concluded that the system constitutes a functional, scalable, and low-cost solution, viable for university environmental management and as a basis for future improvements, such as the integration of predictive analysis and early warning systems.

Keywords: Air pollution, Internet of Things, Environmental monitoring, ESP32, Air quality.



Introducción

La contaminación atmosférica constituye uno de los problemas ambientales más relevantes a nivel global, debido a sus efectos adversos sobre la salud humana, los ecosistemas y la calidad de vida de la población. Diversos estudios han demostrado que la exposición prolongada a contaminantes como el monóxido de carbono, dióxido de carbono y material particulado puede provocar enfermedades respiratorias, cardiovasculares y otros trastornos crónicos (Organización Mundial de la Salud, 2021). En América Latina, esta problemática se ha intensificado por el crecimiento urbano desordenado, la industrialización y la expansión del parque vehicular, generando episodios críticos de deterioro de la calidad del aire que afectan principalmente a poblaciones urbanas (Herrera, 2020). Ecuador, como país en vías de desarrollo, enfrenta desafíos significativos en la monitorización y control de emisiones, con limitada infraestructura de medición continua y sistemas de alerta temprana.

El crecimiento urbano acelerado, el aumento del parque automotor y el uso intensivo de combustibles fósiles han incrementado significativamente las emisiones contaminantes, especialmente en ciudades intermedias y zonas urbanas en expansión. En países en vías de desarrollo de América Latina, la disponibilidad de sistemas automatizados de monitoreo ambiental se ve restringida por déficits de infraestructura, estandarización y financiamiento, lo que limita la continuidad de series temporales y el control de calidad de datos.

En Ecuador, iniciativas académicas y pilotos tecnológicos demuestran la necesidad de integrar plataformas vehículo aéreo no tripulado y redes IoT con modelos predictivos para suplir la ausencia de redes automáticas sólidas y avanzar hacia mediciones en tiempo real y con mayor representatividad espacial (Burgos et al., 2024).

En consonancia con lo anterior, la ciudad de Quevedo presenta características que justifican el estudio de la calidad del aire, entre ellas una alta circulación vehicular, actividades comerciales intensivas y concentración de instituciones educativas. La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, al encontrarse inmersa en este entorno, requiere herramientas tecnológicas que permitan evaluar de manera continua las condiciones ambientales de sus predios.

En este contexto, el Internet de las Cosas (IoT) surge como una alternativa tecnológica eficiente para el desarrollo de sistemas de monitoreo distribuido. Mediante la integración de sensores, microcontroladores y plataformas de comunicación, es posible adquirir, procesar y visualizar datos ambientales en tiempo real, favoreciendo la toma de decisiones basada en información

objetiva (Al-Fuqaha et al., 2015). Estudios recientes en la región han demostrado la viabilidad de implementar redes de sensores de bajo costo para evaluar contaminantes atmosféricos en entornos urbanos y semiurbanos, proporcionando datos valiosos para la gestión ambiental local (Hernández et al., 2022). La flexibilidad de estas soluciones permite su adaptación a diferentes escalas y contextos, desde monitoreo hiperlocal hasta sistemas metropolitanos integrados.

La implementación de arquitecturas IoT para calidad del aire en entornos universitarios representa una oportunidad estratégica para generar conciencia ambiental, integrar la investigación aplicada y promover políticas institucionales sostenibles. Las universidades, como centros de innovación y formación, pueden liderar la adopción de tecnologías de monitorización que luego puedan replicarse en otros espacios comunitarios (Aguilar et al., 2023). Además, estos sistemas permiten establecer líneas base de contaminación, identificar fuentes de emisión internas y externas, y evaluar la efectividad de medidas correctivas, creando así campus más saludables y resilientes.

Investigaciones recientes destacan la importancia de desarrollar soluciones tecnológicas accesibles para el monitoreo ambiental en países en desarrollo. Por ejemplo, estudios en Brasil han implementado redes de sensores IoT para evaluar material particulado en áreas urbanas, demostrando su efectividad para complementar las estaciones de monitoreo convencionales (Silva et al., 2022). En Colombia, se han desarrollado prototipos basados en microcontroladores ESP32 para medición de CO₂ en espacios cerrados, con resultados prometedores para el control de ventilación y prevención de contagios (Hernández, 2021). Estos antecedentes validan el enfoque propuesto y ofrecen experiencias comparativas para optimizar el diseño del sistema. A pesar de estos avances, persisten brechas importantes en la implementación de sistemas IoT integrales que combinen adquisición, transmisión, almacenamiento y visualización de datos de manera robusta y escalable. Muchas iniciativas se limitan a prototipos aislados sin integración a plataformas centralizadas que permitan el análisis histórico y la generación de alertas (Lozada & Bautista, 2024). Además, existe necesidad de validar la precisión de sensores de bajo costo en condiciones ambientales tropicales, donde factores como humedad y temperatura pueden afectar las mediciones. El presente estudio busca contribuir a superar estas limitaciones mediante un sistema completo implementado en condiciones reales.

El presente artículo tiene como objetivo desarrollar un sistema basado en IoT para el monitoreo de la calidad del aire en los predios de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo,



contribuyendo a la gestión ambiental institucional y a la generación de conciencia sobre la importancia del cuidado del entorno. Específicamente, se propone: (1) diseñar una arquitectura escalable para adquisición y transmisión de datos de contaminantes atmosféricos; (2) implementar una plataforma centralizada para almacenamiento y visualización en tiempo real; (3) validar el sistema mediante mediciones continuas en el campus universitario; y (4) analizar los patrones de contaminación identificados para proponer medidas correctivas. La investigación se estructura en secciones que describen los materiales y métodos, presentan los resultados obtenidos, discuten sus implicaciones y establecen conclusiones y recomendaciones para futuros desarrollos.

Materiales y métodos

La investigación se enmarcó en un enfoque descriptivo y aplicado, orientado al diseño e implementación de un sistema de monitoreo de la calidad del aire basado en Internet de las Cosas. El estudio se llevó a cabo en áreas representativas del campus de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, seleccionadas por su constante actividad peatonal y académica, lo que permitió evaluar el comportamiento de los contaminantes en un entorno abierto dinámico. Esta ubicación facilitó la observación de variaciones en las concentraciones asociadas a la ocupación y uso del espacio, proporcionando un contexto real para la validación del sistema. Para la adquisición de datos, se emplearon nodos de censado compuestos por microcontroladores ESP32, elegidos por su conectividad inalámbrica integrada, bajo consumo energético y compatibilidad. Estos se integraron con sensores específicos para la medición de monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂), considerados indicadores clave de la calidad del aire. La selección de los componentes priorizó criterios de disponibilidad, bajo costo y facilidad de implementación, adecuados para el despliegue de una red de monitoreo preliminar.

La arquitectura del sistema operó mediante la captura periódica de datos por parte de los nodos, su procesamiento local y posterior transmisión inalámbrica a una plataforma centralizada. La información recibida se almacenó de manera estructurada en una base de datos, garantizando la trazabilidad y permitiendo su consulta histórica. Este flujo aseguró la continuidad en la recolección y resguardó los datos para su análisis posterior, formando la columna vertebral del proceso de monitoreo.

Para la visualización y análisis, se desarrolló una aplicación web que presenta la información

mediante gráficas en tiempo real, facilitando la interpretación de las variaciones de los contaminantes. La validación del sistema se realizó contrastando los datos obtenidos durante un periodo de prueba con referencias establecidas en la literatura científica. El análisis se centró en identificar tendencias, rangos de concentración y fluctuaciones temporales, evaluando así el desempeño general de la solución implementada.

Resultados

El sistema implementado permitió obtener registros continuos de las concentraciones de contaminantes atmosféricos en el área de estudio, evidenciando variaciones asociadas a las condiciones ambientales y a la actividad desarrollada en el entorno universitario.

Los resultados correspondientes al monóxido de carbono (CO) muestran fluctuaciones a lo largo del tiempo, con incrementos puntuales en determinados intervalos horarios. Tal como se observa en la Figura 1, los valores registrados presentan una tendencia variable, pero sin alcanzar concentraciones consideradas críticas para espacios abiertos. Este comportamiento indica una adecuada dispersión del contaminante y una dinámica ambiental estable durante el periodo analizado.

Figura 1. Variación del nivel de monóxido de carbono durante el periodo de monitoreo



Fuente. Elaboración propia (2025)

En relación con el dióxido de carbono (CO_2), los resultados reflejan variaciones moderadas asociadas a la presencia de personas y al desarrollo de actividades académicas. En la Figura 2 se evidencian cambios graduales en los niveles registrados, los cuales permanecen dentro de rangos aceptables, sin presentar incrementos abruptos o sostenidos.

Figura 2. Variación de los niveles de dióxido de carbono durante el periodo de monitoreo.



Fuente. Elaboración propia (2025)

Adicionalmente, los registros obtenidos permitieron comprobar la continuidad en la captura y almacenamiento de datos, lo que facilita el análisis temporal del comportamiento de los contaminantes. La disponibilidad de información histórica constituye un elemento clave para evaluar tendencias y realizar comparaciones en distintos periodos.

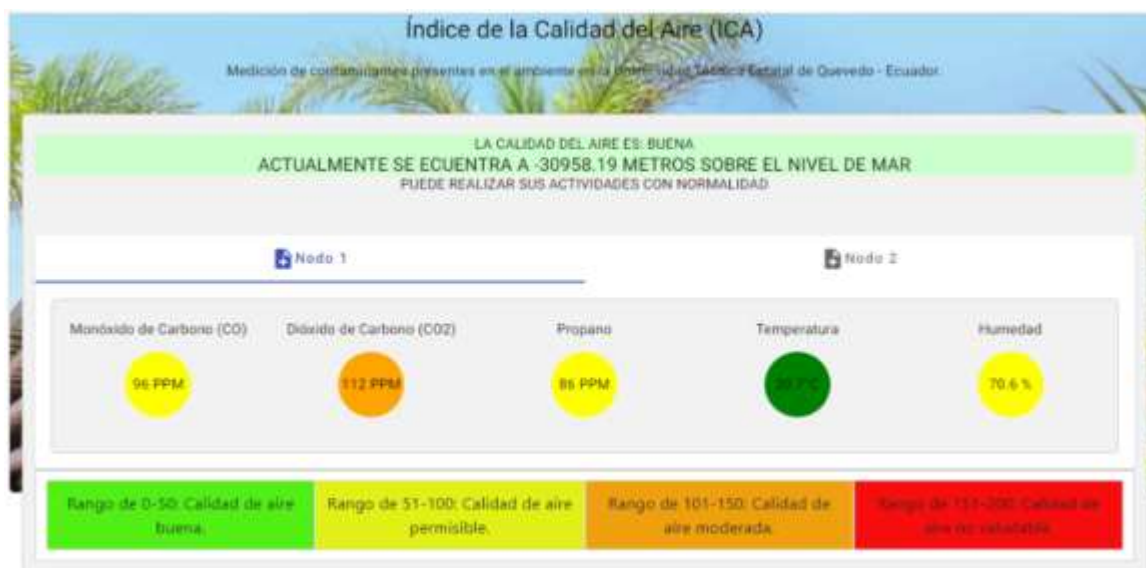
Figura 3. Estructura de la base de datos utilizada para el almacenamiento de la información

id	humedad	dióxido_carbono	temperatura	altura_nivel_ruido	id	id_reaccion
4339	83	86	104	31.4	79.32	11.033 2024-05-06 08:20:27.928 -0500
4380	98	62	89	26.5	-62.017,49	11.034 2024-05-06 08:26:27.404 -0500
4361	94	83	106	26.5	-62.013,86	11.033 2024-05-06 08:26:18.719 -0500
4362	101	85,4	85	30,4	79,42	11.032 2024-05-06 08:26:13.940 -0500
4363	111	82	126	26,5	-62.017,48	11.031 2024-05-06 08:26:10.096 -0500
4364	100	83	87	26,5	-62.016,69	11.030 2024-05-06 08:26:01.210 -0500
4365	99	84,2	102	30,9	79,8	11.029 2024-05-06 08:25:56.742 -0500
4366	83	85	87	26,9	-62.016,29	11.028 2024-05-06 08:25:52.564 -0500
4367	116	86,5	114	31,1	79,8	11.027 2024-05-06 08:25:48.913 -0500
4368	101	84	103	26,9	-62.016,1	11.026 2024-05-06 08:25:42.899 -0500
4369	99	82	113	26,9	-62.017,49	11.025 2024-05-06 08:25:35.320 -0500
4370	89	88,6	90	21	79,34	11.024 2024-05-06 08:25:32.012 -0500
4371	105	82	90	26,9	-62.017,26	11.023 2024-05-06 08:25:25.952 -0500
4372	106	85,1	106	31,4	79,22	11.022 2024-05-06 08:25:18.240 -0500
4373	86	99	87	26,9	-62.016,89	11.021 2024-05-06 08:25:16.177 -0500
4374	83	86	104	26,9	-62.016,49	11.020 2024-05-06 08:25:06.819 -0500
4375	87	88,6	126	31	79,38	11.018 2024-05-06 08:25:04.288 -0500
4376	101	96	84	26,7	-62.016,7	11.018 2024-05-06 08:24:58.154 -0500
4377	82	86,1	86	31,3	79,38	11.017 2024-05-06 08:24:50.416 -0500
4378	91	96	106	26,9	-62.016,69	11.016 2024-05-06 08:24:46.461 -0500
4379	101	96	112	26,5	-62.017,26	11.015 2024-05-06 08:24:40.911 -0500
4380	103	86,7	113	30,8	79,51	11.014 2024-05-06 08:24:36.080 -0500
4381	94	96	89	26,5	-62.016,69	11.013 2024-05-06 08:24:31.648 -0500

Fuente. Elaboración propia (2025)

La información almacenada es presentada mediante una interfaz web que permite la visualización en tiempo real de los datos registrados. Esta interfaz facilita el seguimiento del comportamiento de los contaminantes y el acceso a la información por parte de los usuarios autorizados. En la Figura 4 se muestra el diseño general de la aplicación utilizada para la consulta de los datos.

Figura 4. Interfaz web para la visualización de los datos del sistema.



Fuente. Elaboración propia (2025)

En conjunto, los resultados confirman que el sistema desarrollado es capaz de registrar y representar de manera efectiva las variaciones de los principales contaminantes considerados, proporcionando información confiable para el seguimiento ambiental en el entorno universitario.

Discusión

Los resultados obtenidos evidencian que el sistema propuesto permite realizar un monitoreo continuo y funcional de la calidad del aire en un entorno universitario, mediante el uso de tecnologías basadas en Internet de las Cosas. Las variaciones observadas en las concentraciones de monóxido de carbono y dióxido de carbono reflejan comportamientos coherentes con las dinámicas ambientales y con la actividad humana presente en el área de estudio, lo cual confirma la pertinencia del enfoque adoptado.

En el caso del monóxido de carbono, los valores registrados muestran fluctuaciones moderadas y ausencia de concentraciones críticas, lo que coincide con lo reportado por la Organización Mundial de la Salud (2021), que señala que en espacios abiertos la dispersión

atmosférica reduce significativamente el riesgo de acumulación de este contaminante. Este comportamiento también ha sido observado en investigaciones previas orientadas al monitoreo ambiental mediante sistemas IoT, donde se destaca que la ventilación natural juega un papel determinante en la disminución de concentraciones de CO (Kumar et al., 2017).

Respecto al dióxido de carbono, los resultados muestran variaciones asociadas principalmente a la presencia de personas y a la intensidad de las actividades desarrolladas en el entorno universitario. Este comportamiento es consistente con lo señalado por diversos autores, quienes indican que el CO₂ constituye un buen indicador indirecto del nivel de ocupación y de la actividad humana en espacios abiertos y semiabiertos (Ravindra & Mor, 2022). La estabilidad general de los valores registrados sugiere condiciones ambientales adecuadas y ausencia de fuentes significativas de emisión permanente.

Desde el punto de vista tecnológico, los resultados obtenidos confirman que el uso de plataformas IoT permite la adquisición y gestión eficiente de datos ambientales en tiempo real. Estudios previos destacan que este tipo de soluciones facilita la recolección automatizada de información, reduce la intervención manual y mejora la disponibilidad de datos para su análisis posterior (Al-Fuqaha et al., 2015). En este sentido, el sistema implementado demuestra ser funcional para el registro continuo de información y su posterior visualización mediante una interfaz accesible.

Asimismo, la posibilidad de almacenar los datos de forma estructurada favorece el análisis histórico y la identificación de patrones temporales, lo cual constituye un elemento clave para la gestión ambiental institucional. Diversas investigaciones señalan que el almacenamiento sistemático de datos ambientales permite desarrollar estrategias de monitoreo a largo plazo y establecer mecanismos de prevención frente a posibles escenarios de contaminación (Gubbi et al., 2013).

A pesar de los resultados favorables, el estudio presenta algunas limitaciones. Entre ellas se encuentra el número limitado de puntos de medición y el periodo acotado de recolección de datos, lo que restringe la generalización de los resultados. Asimismo, el uso de sensores de bajo costo, si bien resulta adecuado para fines de monitoreo preliminar, puede requerir procesos de calibración periódica para mejorar la precisión de las mediciones, tal como señalan investigaciones recientes sobre sistemas IoT aplicados al monitoreo ambiental (Kumar et al., 2017).

Finalmente, los resultados obtenidos permiten afirmar que el sistema desarrollado constituye una herramienta viable para apoyar la gestión ambiental universitaria, al proporcionar información confiable y accesible sobre la calidad del aire. Como trabajo futuro, se recomienda ampliar la red de sensores, incorporar técnicas de análisis predictivo y establecer mecanismos de alerta temprana que fortalezcan la toma de decisiones y contribuyan a la sostenibilidad ambiental.

Conclusiones

El presente estudio demuestra la viabilidad de diseñar e implementar un sistema de monitoreo de la calidad del aire basado en Internet de las Cosas (IoT) para entornos universitarios. La arquitectura propuesta, compuesta por nodos con microcontroladores ESP32 y sensores de gases, permitió la adquisición, transmisión, almacenamiento y visualización en tiempo real de datos atmosféricos de manera confiable y continua.

Los resultados obtenidos evidenciaron que las concentraciones de monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂) se mantuvieron dentro de rangos aceptables durante el periodo de monitoreo, con variaciones coherentes con la dinámica ambiental y la actividad humana en el campus. Esto no solo valida la capacidad del sistema para reflejar condiciones en tiempo real, sino que también confirma la idoneidad del entorno universitario evaluado.

La integración de componentes de bajo costo, junto con una plataforma centralizada de visualización web, constituye un esquema accesible y escalable que puede ser adaptado o extendido según necesidades institucionales. Esta solución aporta una herramienta concreta para la gestión ambiental universitaria, fomentando la concienciación y la toma de decisiones basada en datos.

Como trabajo futuro, se recomienda ampliar la red de sensores, incorporar el monitoreo de otros contaminantes (como material particulado), integrar técnicas de análisis predictivo y desarrollar mecanismos de alerta temprana. Estas mejoras permitirían avanzar hacia un sistema más sólido, alineado con los objetivos de sostenibilidad y salud ambiental en instituciones de educación superior. En síntesis, este proyecto sienta bases tecnológicas y metodológicas para el monitoreo ambiental local, demostrando que las soluciones IoT representan una alternativa viable y eficiente para la vigilancia de la calidad del aire en contextos universitarios y comunitarios.



Referencias bibliográficas

- Aguilar Cuenca, María Isabel, Román Aguilar, María, & Maza-Córdova, Jorge. (2025). Análisis Sistemático de Barreras y Facilitadores en Adopción de Tecnologías Emergentes en Educación Superior Iberoamericana. *Prohominum. Revista de Ciencias Sociales y Humanas*, 7(2), 69-88. Epub 02 de julio de 2025. <https://doi.org/10.47606/acven/ph0334>
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). *Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications*. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- Burgos Loor, D., Herrera Guayaquil, V. D., & Herrera Yela, M. (2024). Desarrollo de un sistema de monitoreo automático de la calidad del aire en tiempo real utilizando IoT y modelos predictivos (Tesis de Maestría, UIDE). <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/7840>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). *Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions*. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Hernández Rodríguez, Erik, Martínez, Alain, Schalm, Olivier, González Rivero, Rosa Amalia, & Hernández Santana, Luis. (2023). Diseño de un sistema de medición y monitoreo de variables asociadas a calidad del aire. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 44(2), 35-44. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282023000200035&lng=es&tlng=es.
- Hernández Siachoque, N. (2021). *Diseño e implementación de un sistema IoT para monitorear calidad del aire* [Trabajo de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio Institucional Universidad de los Andes. <https://hdl.handle.net/1992/55490>
- Herrera Torres Julian. (2020). *Análisis de la calidad del aire en diferentes ciudades de América Latina y el Caribe a partir de mediciones en superficie y datos del servicio de monitoreo atmosférico de Copernicus (CAM5)* [tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://bffrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/130b4d36-aa6a-4c9d-bfd0-b8363f11c8e4/content>
- Kumar, P., Morawska, L., Martani, C., Biskos, G., Neophytou, M., Di Sabatino, S., Bell, M.,

Norford, L., & Britter, R. (2017). *The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. Environment International*, 75, 199–205.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.019>

Lozada Contreras, J. D., & Bautista España, A. D. (2024). Sistema IoT para el monitoreo de variables ambientales en un ambiente laboral. *Revista Social Fronteriza*, 4(1), 45–60.

<https://www.revistasocialfronteriza.com/ojs/index.php/rev/article/view/117>

Organización Mundial de la Salud. (2021). *Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire: Materia particulada (MP2,5 y MP10), ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono: Resumen ejecutivo.*

<https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/0b6205bd-fcfe-4d47-810f-58bcee279671/content>

Ravindra, K., & Mor, S. (2022). Phytoremediation potential of indoor plants in reducing air pollutants. *Frontiers in Sustainable Cities*, 4, 1039710.

<https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-cities/articles/10.3389/frsc.2022.1039710/full>

Silva, R., Oliveira, M., & Santos, A. (2022). Monitoramento de material particulado fino (PM2.5) utilizando sensores de baixo custo e IoT em áreas urbanas brasileiras. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 27(4), 789–801. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200189>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en relación con el artículo presentado.

Como citar este artículo:

Morán Cabezas, A., De La Torre Macias, A., Morán Cabezas, J., & Varas Beltrán, C. F. (2025). Arquitectura IoT para el monitoreo en tiempo real de contaminantes atmosféricos en un entorno universitario. *Revista Ciencias Holguín*, 31(4).

Fecha de envío: diciembre 10 de 2025

Aprobado para publicar: enero 3 de 2026

