

# Plataforma IoT para Monitoreo de Calidad del Aire

Daysi Hernández Labastida<sup>a</sup>, Miguel Sánchez Meraz<sup>b</sup>, Federico Felipe Durán<sup>c</sup>

Institución: Sección de Estudios de Posgrado e Investigación

Email: [dhernandezl1704@alumno.ipn.mx](mailto:dhernandezl1704@alumno.ipn.mx)<sup>a</sup>, [mmeraz@ipn.mx](mailto:mmeraz@ipn.mx)<sup>b</sup>

ORCID: 0000-0001-5887-9968

**Resumen**— Este artículo presenta los avances en el desarrollo de una red de monitoreo de la calidad del aire en entornos urbanos, donde la contaminación atmosférica representa un desafío creciente para la salud pública y el bienestar de la población. Actualmente, el monitoreo en estas áreas es limitado, lo que dificulta una evaluación precisa de los niveles de contaminación y su variabilidad espacial y temporal. Para abordar esta problemática, se está implementando una red de sensores de bajo costo y estaciones de monitoreo capaces de medir contaminantes clave como dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), ozono (O<sub>3</sub>), monóxido de carbono (CO) y material particulado (PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>). Estos dispositivos están integrados en una arquitectura basada en Internet de las Cosas (IoT) y servicios de computación en la nube, lo que permite la recopilación, almacenamiento y análisis de datos en tiempo real.

El desarrollo de esta red sigue las directrices de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y aprovecha tecnologías de comunicación móvil como redes celulares para la transmisión de datos. La implementación de sensores de bajo costo y la adopción de soluciones IoT representan una oportunidad clave para densificar la red de monitoreo, complementando los sistemas oficiales y proporcionando información más detallada para la toma de decisiones en materia de gestión ambiental y salud pública.

**Palabras Clave** — Calidad del aire, sensores de bajo costo, ciudades inteligentes, internet de las cosas.

**Abstract**- This paper presents the advances in the development of an air quality monitoring network in urban environments, where atmospheric pollution poses an increasing challenge to public health and the well-being of the population. Currently, monitoring in these areas is limited, making it difficult to accurately assess pollution levels and their spatial and temporal variability. To address this issue, a network of low-cost sensors and monitoring stations is being implemented to measure key pollutants such as sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), ozone (O<sub>3</sub>), carbon monoxide (CO), and particulate matter (PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>). These devices are integrated into an architecture based on the Internet of Things (IoT) and cloud computing services, enabling the collection, storage, and real-time data analysis. The development of this network follows the guidelines of the United States Environmental Protection Agency (EPA) and leverages mobile communication technologies, such as cellular networks, for data transmission. The implementation of low-cost sensors and the adoption of IoT solutions represent a key opportunity to densify the monitoring network, complementing official systems and providing

*more detailed information for decision-making in environmental management and public health*

## I. INTRODUCCIÓN

Más del 50% de la población mundial vive en áreas urbanas, y se prevé que este porcentaje superará el 70% para 2050. Este crecimiento pone presión sobre los recursos y la infraestructura, impulsando el concepto de ciudades inteligentes, que buscan mejorar la calidad de vida mediante el uso eficiente de los recursos urbanos [1].

Las ciudades inteligentes utilizan tecnologías como la Computación en la Nube y el Internet de las Cosas (IoT) para abordar desafíos como la conectividad, la movilidad, la sostenibilidad energética, la gestión de residuos y la contaminación del aire [2].

Este trabajo desarrolla una red de monitoreo de calidad del aire, basada en tecnologías emergentes que permiten implementar redes a un costo menor que las redes de monitoreo oficiales. El uso de sensores de bajo costo abre la posibilidad de densificar el monitoreo ambiental, complementando las estaciones oficiales y proporcionando datos más accesibles y precisos para la toma de decisiones y la mejora de la calidad de vida [3].

## II. METODOLOGÍA EPA PARA EL DESARROLLO DE REDES DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE

Con el objetivo de mitigar los efectos de la contaminación del aire y proporcionar información en tiempo real a los habitantes de zonas urbanas, se propone el desarrollo de una red de monitoreo de calidad del aire. Esta red permitirá generar datos más accesibles y mejorar la toma de decisiones en materia ambiental y de salud pública.

Para su implementación, se ha adoptado la metodología propuesta por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) [12], ajustándola a las necesidades específicas de entornos urbanos. Esta metodología se compone de los siguientes pasos:

1. Definir los objetivos del monitoreo de calidad del aire.
2. Configurar la gestión y procesamiento de datos.
3. Seleccionar el equipo de medición adecuado.

- Desarrollar un plan de implementación y operación.
- Determinar la ubicación de los puntos de monitoreo.
- Analizar y comunicar los datos obtenidos.

Actualmente, este proyecto ha avanzado en las primeras fases de la metodología, con progresos en la definición de objetivos, selección de equipos y desarrollo del plan de implementación. En las siguientes etapas, se trabajará en la ubicación óptima de los puntos de monitoreo y la integración de los datos en plataformas accesibles para su análisis y divulgación.

### III. ARQUITECTURA PROPUESTA DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE

El proyecto busca implementar una red de monitoreo de calidad del aire en entornos urbanos, integrando sensores de referencia y de bajo costo conectados a una infraestructura basada en IoT y computación en la nube. El sistema medirá los principales contaminantes, como CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y partículas PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> del fabricante alphasense y estaciones de monitoreo Kunak air pro, conforme a las normativas nacionales e internacionales. A continuación, se presenta una tabla comparativa de precios y características de diversos sensores utilizados para la medición de la calidad del aire.

Tabla 1: Comparativa de precios de sensores

SENSOR	PARAMETROS DE MEDICIÓN	FABRICANTE	PRECIO APROXIMADO (MXN) POR SENSOR	FIABILIDAD
Alphasense OPC-N3, CO-BX	PM <sub>1</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> , CO	Alphasense	\$15,000 - \$18,000	Alta
Aeroqual Series 200	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub>	Aeroqual	\$60,000 - \$90,000	Alta
Teledyne API T300/T300M	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , CO, SO <sub>2</sub>	Teledyne API	\$80,000 - \$100,000	Alta

La tecnología permitirá generar datos en tiempo real, facilitando la toma de decisiones para la gestión ambiental y proporcionando información a la ciudadanía sobre la calidad del aire. La red constará de estaciones EMCA-SBC con sensores de bajo costo que usarán una red celular para transmisión de datos y EMCA-SR con sensores de referencia que emplearán Ethernet o WiFi para garantizar una conectividad eficiente véase la Figura 1.

Una vez operativos, los sensores recopilarán datos en tiempo real sobre los contaminantes atmosféricos y los enviarán a la nube para su almacenamiento y análisis. La base de datos gestionará grandes volúmenes de información de manera segura, permitiendo acceder a registros históricos de calidad del aire.

El sistema proporcionará acceso público a la información a través de una plataforma digital, que permitirá visualizar datos en tiempo real y promoverá la conciencia sobre la

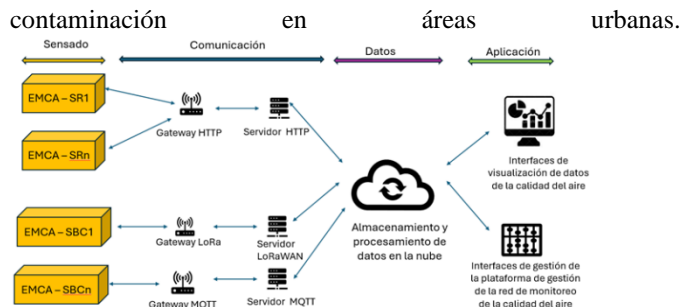


Figura 1: Estación de Monitoreo con Sensores Regulatorios y Sensores de Bajo Costo (Autoría propia).

El sistema de monitoreo de calidad del aire implementado en este trabajo se basa en el uso de estaciones de monitoreo Kunak Air Pro, las cuales están diseñadas para la medición en tiempo real de contaminantes atmosféricos. Estas estaciones cuentan con sensores de alta precisión para la detección de material particulado (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>) y gases como el ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), entre otros.

#### A. Resultados preliminares y visualización de datos

A continuación, se presenta una gráfica con la evolución de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub> obtenidas a partir de las estaciones Kunak Air Pro. Esta representación permite analizar la variabilidad de estos contaminantes en diferentes momentos del día y su posible correlación con condiciones meteorológicas y fuentes de emisión.

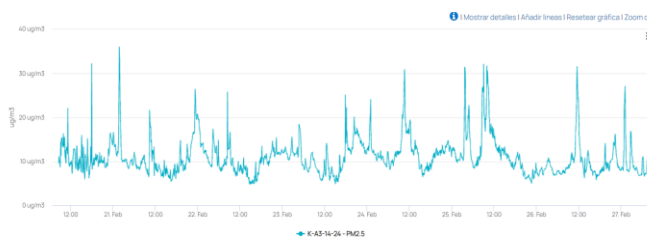


Figura 2: Comportamiento de PM<sub>2.5</sub> (obtenido de kunak cloud)

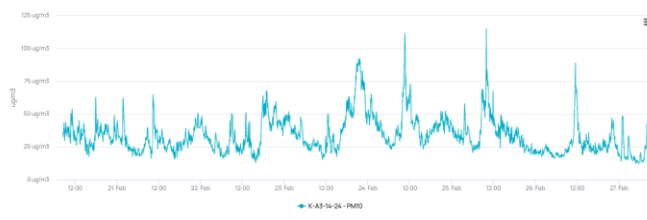


Figura 3: Comportamiento de PM<sub>10</sub> (obtenido de kunak cloud)

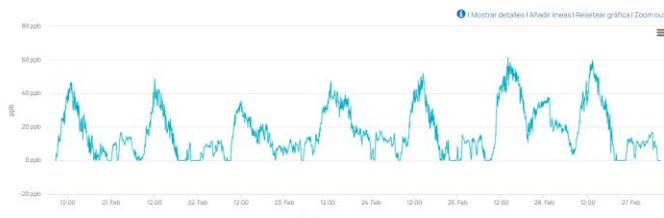


Figura 4: Comportamiento de O<sub>3</sub> (Obtenido de Kunak Cloud)

La gráfica muestra que las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> tienden a seguir una tendencia similar, con picos en determinados horarios, lo que puede estar relacionado con actividades vehiculares o industriales véase las Figuras 2 y 3. Por otro lado, las concentraciones de ozono presentan un comportamiento diferenciado, con incrementos en horas de mayor radiación solar, debido a la formación secundaria de este contaminante véase la Figura 4. A continuación se muestra un análisis comparativo del comportamiento de las partículas PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y CO con los datos reportados por plataformas gubernamentales de la Ciudad de México. Si bien estos datos no reflejan con exactitud el comportamiento real de las partículas véase la Figura 5, nuestra plataforma sí lo muestra.

Parámetro	Abreviatura	Promedio horario de las últimas 48 hrs	Unidades
Monóxido de carbono	CO		ppm
Partículas menores a 10 micras	PM10		µg/m³
Partículas menores a 2.5 micras	PM2.5		µg/m³

Figura 5: Comportamiento de contaminantes PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> Y CO emitido por la pagina oficial de la Ciudad de México.

## VI. PRUEBAS Y RESULTADOS

La extracción de datos desde plataformas en la nube se ha vuelto fundamental en el análisis de información y en la integración de sistemas. Para acceder a los datos de Kunak Cloud, es necesario utilizar la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) de la plataforma, que permite interactuar con los datos de manera automatizada y eficiente. Esta API ofrece una interfaz que facilita la conexión entre diferentes aplicaciones y Kunak AIR Cloud véase la Figura 6.

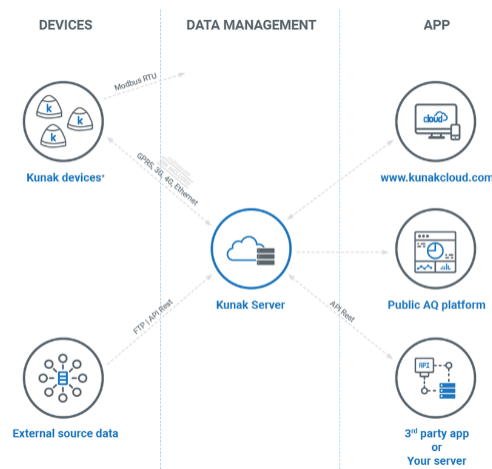


Figura 6: Ejemplificación para la extracción de datos

El proceso de extracción de datos comienza con la autenticación de usuarios para asegurar el acceso solo a personas autorizadas. Tras la autenticación, se establece una conexión con la API de Kunak, enviando peticiones para obtener los datos necesarios, los cuales se reciben en formatos como JSON o XML. Estos datos pueden ser procesados, almacenados para análisis futuros o transferidos a otras plataformas.

En la Figura 7 se muestran resultados del monitoreo de partículas suspendidas PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> para una de las estaciones de monitoreo. Los datos presentados en la gráfica muestran variaciones a lo largo del tiempo, con picos recurrentes en ciertas horas. La concentración de PM<sub>10</sub> presenta mayor variabilidad y valores máximos superiores a 100 µg/m<sup>3</sup>, posiblemente debido a fuentes como la actividad vehicular e industrial. Por otro lado, PM<sub>2.5</sub> es más estable, con incrementos coincidentes con los picos de PM<sub>10</sub>. Estos patrones sugieren una relación entre factores ambientales y actividades humanas, como el inicio y fin de jornadas laborales, y destacan la importancia del monitoreo continuo para evaluar el impacto en la calidad del aire y la salud pública.



Figura 7: Comportamiento de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> en el estado de Sinaloa (Obtenida de Kunak Cloud)

## IV. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos confirman que la red de monitoreo de bajo costo es una alternativa viable para complementar las estaciones oficiales. Su implementación con tecnologías IoT y

computación en la nube permite la recolección de datos en tiempo real con una inversión significativamente menor. Si bien la precisión de los sensores de bajo costo es similar a la de los sensores de referencia, su despliegue masivo puede proporcionar información detallada sobre la variabilidad espacial de la contaminación.

#### AGRADECIMIENTOS

A la secretaría de Investigación y Posgrado del IPN por el financiamiento de los proyectos: SIP 20250161 “Tecnologías habilitadoras para el despliegue soluciones de ciudades inteligentes” y SIP “Diagnóstico, impacto y gestión del mejoramiento de la calidad del aire del estado de Sinaloa: “Un análisis regional integral de cara al Cambio Climático”.

#### DECLARACIÓN ÉTICA

Este estudio utiliza datos ambientales obtenidos de estaciones de monitoreo de calidad del aire, cumpliendo con las regulaciones y normativas vigentes en materia de acceso y uso de datos ambientales. Dado que no se incluyen humanos ni animales en la investigación, no se requiere aprobación de un comité de ética ni consentimiento informado.

#### REFERENCIAS

- [1] Vaca, M., Crecimiento poblacional: los grandes retos de las ciudades, Cepei, 2020, <https://cepei.org/documents/crecimientopoblacional-los-grandes-retos-de-las-ciudades/>.
- [2] Qin, Z., Yang, H., Shi, L., Ying, O. & Liu, W., ‘Do smart city policies improve energy efficiency? Evidence from China’, *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, vol. 22, núm. 2, 2024, pp. 185–193, <https://doi.org/10.1016/j.cjpre.2024.06.010>.
- [3] Qin, Z., Yang, H., Shi, L., Ying, O. & Liu, W., ‘Do smart city policies improve energy efficiency? Evidence from China’, *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, vol. 22, núm. 2, 2024, pp. 185–193, <https://doi.org/10.1016/j.cjpre.2024.06.010>.
- [4] Bousiotis, D., Alconcel, L. S., Beddows, D. C., Harrison, R. M. & Pope, F. D., ‘Monitoring and apportioning sources of indoor air quality using low-cost particulate matter sensors’, *Environment International*, vol. 174, 2023, p. 107907, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107907>.
- [5] **La Protección Contra Riesgos Sanitarios**, *Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de Calidad del Aire Ambiente*, gob.mx, 2017, <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-yprogramas/4-normas-oficiales-mexicanas-nom-decalidad-del-aire-ambiente>.
- [6] **La Protección Contra Riesgos Sanitarios**, *Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de Calidad del Aire Ambiente*, gob.mx, 2017, <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-yprogramas/4-normas-oficiales-mexicanas-nom-decalidad-del-aire-ambiente>.
- [7] **DOF - Diario Oficial de la Federación**. *Texto completo de la norma publicada el 27 de octubre de 2021*, 2021, [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5633855&fecha=27/10/2021#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633855&fecha=27/10/2021#gsc.tab=0).
- [8] **DOF - Diario Oficial de la Federación**. (2019). *Texto completo de la norma publicada el 20 de agosto de 2019*.

- [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5568395&fecha=20/08/2019#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5568395&fecha=20/08/2019#gsc.tab=0).
- [9] **DOF - Diario Oficial de la Federación**. *Texto completo de la norma publicada el 23 de diciembre de 1994*, 1994, [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4780125&fecha=23/12/1994#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4780125&fecha=23/12/1994#gsc.tab=0).
- [10] **DOF - Diario Oficial de la Federación**. *Texto completo de la norma publicada el 19 de agosto de 2014*, 2014, [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5356801&fecha=19/08/2014#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5356801&fecha=19/08/2014#gsc.tab=0).
- [11] **DOF - Diario Oficial de la Federación**. *Texto completo de la norma publicada el 29 de octubre de 2021*, 2021, [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5634084&fecha=29/10/2021#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5634084&fecha=29/10/2021#gsc.tab=0).
- [12] **US EPA**, *Webinar Series: Community Air Monitoring Fundamentals*, 17 junio 2024, <https://www.epa.gov/amtic/CommunityAirMonitoringWebinars>.