

Estudio de viabilidad del uso de Tecnologías IoT para monitorear la calidad del aire en el parque central de Sosote

Joan Anthony Chinga Román, Luis Angelo Mendoza Mendoza

Cite as: Román, J. A. C., & Mendoza, L. A. M. (2025). Estudio de viabilidad del uso de Tecnologías IoT para monitorear la calidad del aire en el parque central de Sosote. International Journal of Microsystems and IoT, 3(12), 1812–1821. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18265924>



© 2025 The Author(s). Published by Indian Society for VLSI Education, Ranchi, India



Published online: 25 December 2025



Submit your article to this journal:



Article views:



View related articles:



View Crossmark data:



<https://doi.org/10.5281/zenodo.18265924>

Full Terms & Conditions of access and use can be found at <https://ijmit.org/mission.php>



Estudio de viabilidad del uso de Tecnologías IoT para monitorear la calidad del aire en el parque central de Sosote

Joan Anthony Chinga Román¹, Luis Angelo Mendoza Mendoza²

¹Universidad Técnica de Manabí (jchinga1963@utm.edu.ec)

²Universidad Técnica de Manabí (lmendoza9825@utm.edu.ec)

ABSTRACT

Air pollution in urban public spaces represents a growing concern due to its direct impact on environmental quality and public health. Urban parks, although designed to improve air conditions and social well-being, are often exposed to nearby pollution sources such as vehicular traffic and surrounding commercial activities. Internet of Things technologies provide an efficient and low-cost alternative for continuous air quality monitoring through distributed sensing systems.

This article presents a conceptual IoT-based framework for air quality monitoring in urban parks, focusing on the identification of potential pollution sources, key air quality parameters, and commercially available sensors and devices suitable for environmental monitoring. A comparative analysis of IoT communication protocols is conducted to evaluate their performance in terms of coverage, energy consumption, and implementation cost in open environments. Additionally, widely used IoT platforms and data processing architectures for real-time visualization are reviewed.

The proposed framework integrates sensors, microcontrollers, wireless communication technologies, and cloud-based platforms into a scalable and adaptable monitoring system. The technical and economic feasibility of the conceptual prototype is discussed based on criteria such as cost, scalability, and operational requirements. The results provide a structured reference for the design of IoT-based air quality monitoring systems in urban parks and similar outdoor environments, contributing to the development of smart and sustainable cities.

KEYWORDS

Air Quality Monitoring, IoT, Sensors, Parks, Urban Areas

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica se ha convertido en uno de los desafíos ambientales más críticos que afectan a las zonas urbanas de todo el mundo, con consecuencias directas para la salud pública, el equilibrio de los ecosistemas y la calidad de vida. El rápido crecimiento de las ciudades, el aumento del tráfico vehicular y la expansión de las actividades comerciales e industriales han contribuido significativamente al deterioro de la calidad del aire en los espacios públicos. Los parques urbanos, cuyo objetivo es brindar beneficios recreativos, sociales y ambientales, no están exentos de este problema, ya que suelen ubicarse cerca de fuentes de contaminación que comprometen sus condiciones ambientales. Los sistemas tradicionales de monitoreo de la calidad del aire se basan comúnmente en estaciones fijas con altos costos de adquisición y mantenimiento, lo que limita su implementación a un número reducido de ubicaciones.

Como resultado, estos sistemas no siempre proporcionan la resolución espacial suficiente para representar las condiciones de la calidad del aire en entornos localizados, como parques o pequeñas áreas urbanas. Esta limitación ha motivado la exploración de enfoques alternativos de monitoreo que sean más flexibles, escalables y rentables.

En los últimos años, el Internet de las Cosas se ha convertido en un paradigma tecnológico prometedor para la monitorización ambiental. Los sistemas basados en el IoT integran sensores, dispositivos integrados, protocolos de comunicación inalámbrica y plataformas en la nube para permitir la recopilación, transmisión y visualización de datos en tiempo real. Estas características hacen que las soluciones de IoT sean especialmente adecuadas para la monitorización de la calidad del aire en entornos abiertos, donde se requiere una observación continua y una respuesta rápida a eventos de contaminación.

Varios estudios han demostrado la viabilidad de utilizar sensores de bajo coste combinados con arquitecturas de IoT para monitorizar contaminantes como partículas, monóxido de carbono, dióxido de carbono y otros gases nocivos. Además, los avances en las tecnologías de comunicación inalámbrica y las

plataformas de procesamiento de datos han mejorado la fiabilidad, la eficiencia energética y la accesibilidad de estos sistemas. Sin embargo, la selección de sensores, protocolos de comunicación y plataformas de datos adecuados sigue siendo un reto, especialmente si se consideran las limitaciones económicas y las condiciones operativas en los espacios públicos urbanos.

Este artículo propone un marco conceptual basado en IoT para la monitorización de la calidad del aire en parques urbanos, con el objetivo de identificar fuentes de contaminación, parámetros relevantes de calidad del aire, sensores y dispositivos comerciales adecuados, y protocolos de comunicación eficientes. Además, el estudio analiza plataformas de visualización de datos y evalúa la viabilidad técnica y económica de implementar un sistema de monitorización escalable. El enfoque propuesto busca proporcionar una referencia estructurada que respalde futuras implementaciones de sistemas de monitorización ambiental basados en IoT y contribuya al desarrollo de entornos urbanos más inteligentes y sostenibles.

2. ESTADO DEL ARTE

En los últimos años, la calidad del aire en los entornos urbanos ha adquirido una creciente relevancia debido a los efectos negativos de la contaminación atmosférica sobre la salud pública y el bienestar de la población. El aumento del tránsito vehicular, la expansión de las actividades comerciales y los procesos de urbanización han incrementado la presencia de contaminantes en el aire, lo que ha evidenciado la necesidad de contar con sistemas de monitoreo ambiental más eficientes y accesibles [1]. Frente a este escenario, las tecnologías basadas en el Internet de las Cosas se presentan como una alternativa viable para el monitoreo continuo de la calidad del aire.

Diversos estudios han demostrado que estos sistemas permiten la recolección de datos en tiempo real mediante sensores de bajo costo, facilitando la obtención de información confiable en entornos urbanos y rurales [2]. La integración de sensores, microcontroladores y plataformas digitales ha posibilitado la visualización y el análisis remoto de los datos, favoreciendo la detección temprana de variaciones en la calidad del aire y la toma de decisiones en la gestión ambiental [3]. El uso de redes de sensores inalámbricos ha permitido ampliar la cobertura del monitoreo y mejorar la representatividad de los datos recolectados en áreas específicas [4]. A su vez, la incorporación de protocolos de comunicación eficientes, como MQTT, ha garantizado la transmisión confiable de la información con bajo consumo de recursos, aspecto clave para aplicaciones IoT de monitoreo ambiental [5]. En escenarios con conectividad limitada, se han propuesto mecanismos que facilitan la difusión oportuna de los datos ambientales [6].

En el contexto ecuatoriano, la adopción de redes inalámbricas ha contribuido a reducir la brecha digital y a favorecer la implementación de sistemas de monitoreo ambiental en zonas rurales con infraestructura limitada [7]. Desde la perspectiva de la salud pública, la exposición prolongada a contaminantes atmosféricos representa un riesgo significativo, especialmente para grupos vulnerables, lo que refuerza la importancia de

contar con sistemas de monitoreo confiables y sostenibles [8]. En este sentido, el uso de técnicas de análisis automatizado y los avances en eficiencia energética han fortalecido la viabilidad de los sistemas IoT aplicados al monitoreo de la calidad del aire en escenarios reales [9], [10].

3. METODOLOGÍA

La investigación iniciará con la recolección de información contextual del parque central de Sosote, analizando su ubicación, características del entorno, actividades de los usuarios y fuentes potenciales de contaminación como el tránsito vehicular, comercios y vías adyacentes. Paralelamente, se desarrollará una revisión documental sobre tecnologías IoT, sensores ambientales y métodos de transmisión de datos, valorando parámetros como precisión, facilidad de instalación, compatibilidad, costos y requerimientos técnicos para determinar su pertinencia en este entorno específico. Con base en esta información, se elaborará un marco técnico que incluya sensores recomendados, protocolos de comunicación, ubicaciones estratégicas y necesidades de infraestructura, lo que permitirá construir un prototipo conceptual del sistema.

4. MARCO TEÓRICO

La calidad del aire es uno de los principales factores ambientales que influyen directamente en la salud y el bienestar de la población. En espacios urbanos y públicos, la presencia constante de vehículos, actividades comerciales y concentración de personas incrementa la emisión de contaminantes atmosféricos. Esta situación ha generado la necesidad de contar con mecanismos de monitoreo más eficientes que permitan identificar y analizar los niveles de contaminación de manera continua y accesible [8], [11]. El monitoreo ambiental se posiciona como una herramienta clave para apoyar la gestión territorial y la prevención de riesgos.

Frente a esta problemática, el uso de tecnologías digitales ha cobrado relevancia como alternativa para mejorar los procesos de vigilancia ambiental. Entre estas tecnologías, el Internet de las Cosas se destaca por su capacidad de conectar dispositivos físicos capaces de recolectar y transmitir datos automáticamente. Aplicado al monitoreo de la calidad del aire, el IoT permite integrar sensores que miden variables como partículas en suspensión, gases contaminantes, temperatura y humedad, facilitando la obtención de información en tiempo real [12], [13]. Esta característica representa una ventaja significativa frente a los métodos tradicionales de medición. Para que estos sistemas funcionen de manera eficiente, es necesario comprender su estructura tecnológica. La arquitectura de los sistemas IoT para el monitoreo ambiental se compone generalmente de sensores, unidades de procesamiento, módulos de comunicación y plataformas de gestión de datos. Esta organización modular permite que los sistemas se adapten a diferentes entornos y necesidades, desde zonas urbanas densas hasta espacios públicos de menor escala [14], [15]. Además, este enfoque favorece la escalabilidad y la incorporación progresiva de nuevas funcionalidades.

Un elemento fundamental dentro de estos sistemas es el uso de sensores diseñados para medir contaminantes atmosféricos. En los últimos años, la disponibilidad de sensores de bajo costo ha impulsado la implementación de soluciones IoT en contextos donde antes no era viable económicamente. Estos sensores permiten detectar contaminantes comunes como material particulado y gases nocivos, aportando datos útiles para análisis exploratorios y estudios de factibilidad [2]. Aunque su precisión puede verse afectada por condiciones ambientales, su correcta selección y calibración mejora significativamente la confiabilidad de las mediciones. Otro aspecto clave en el funcionamiento de los sistemas IoT es la transmisión de los datos recolectados. Para ello, se emplean tecnologías de comunicación inalámbrica que permiten enviar la información desde los sensores hacia plataformas centrales de procesamiento. Esta característica resulta especialmente importante en espacios públicos, donde la instalación de infraestructura cableada puede ser limitada o poco viable [16]. La conectividad inalámbrica facilita la centralización de datos y el monitoreo remoto de las condiciones ambientales.

Una vez transmitidos, los datos deben ser almacenados y analizados adecuadamente. Las plataformas de gestión de datos desempeñan un rol fundamental en este proceso, ya que permiten organizar, procesar y visualizar la información de manera clara y accesible. Estas herramientas facilitan la identificación de patrones de contaminación y la generación de representaciones gráficas que apoyan la interpretación de los resultados [17]. De este modo, la información obtenida se convierte en un recurso útil para la toma de decisiones.

Con el avance de las tecnologías digitales, los sistemas de monitoreo ambiental han incorporado técnicas de análisis más sofisticadas. El uso de algoritmos de análisis de datos permite identificar tendencias, detectar anomalías y anticipar posibles escenarios de riesgo ambiental [18]. Esta capacidad predictiva fortalece el carácter preventivo del monitoreo de la calidad del aire, contribuyendo a una gestión ambiental más eficiente. A pesar de sus ventajas, la implementación de sistemas IoT para el monitoreo ambiental enfrenta diversos desafíos técnicos. Entre los más relevantes se encuentran la eficiencia energética de los dispositivos, la estabilidad de la conectividad y la calidad de los datos recopilados [19]. Estos factores deben ser cuidadosamente considerados en el diseño de los sistemas para garantizar su funcionamiento continuo y confiable en el tiempo.

Asimismo, la seguridad y protección de los dispositivos y de la información recolectada constituyen aspectos esenciales. Los sensores instalados en espacios abiertos están expuestos a condiciones climáticas adversas y posibles interferencias externas, lo que exige el uso de mecanismos de protección adecuados. De igual forma, la seguridad de los datos es fundamental para preservar su integridad y confiabilidad [6], [20]. Ante estos retos, el desarrollo de prototipos conceptuales surge como una estrategia efectiva para evaluar la viabilidad de sistemas de monitoreo ambiental basados en IoT. Estos prototipos permiten definir arquitecturas, seleccionar tecnologías apropiadas y analizar escenarios de implementación sin necesidad de realizar un despliegue físico completo, reduciendo riesgos técnicos y económicos [12], [16].

La aplicación de un prototipo conceptual orientado al monitoreo de la calidad del aire en espacios públicos permite establecer un marco de referencia técnico que puede ser

replicado o adaptado a otros contextos similares. Este enfoque contribuye al desarrollo de soluciones escalables y sostenibles, alineadas con los principios de las ciudades inteligentes y la gestión ambiental responsable [13], [17]. La integración de tecnologías IoT para el monitoreo de la calidad del aire representa una alternativa viable para fortalecer la gestión ambiental en espacios públicos. La combinación de sensores, plataformas digitales y análisis de datos genera información relevante que respalda la toma de decisiones orientadas a la protección de la salud y al mejoramiento de la calidad de vida de la población [19], [20].

5. RESULTADOS

El propósito de este estudio es dar respuesta a cinco preguntas de investigación, las cuales orientan el análisis del problema abordado. Estas preguntas permiten identificar las fuentes potenciales de contaminación del aire, los parámetros ambientales que pueden ser monitoreados mediante tecnologías IoT, los sensores y dispositivos comerciales más adecuados, los protocolos de comunicación más eficientes para entornos abiertos y las plataformas de gestión de datos que facilitan la visualización en tiempo real. En conjunto, las respuestas a estas preguntas sustentan el desarrollo de un enfoque técnico y metodológico para el monitoreo ambiental en parques urbanos.

Las preguntas son las siguientes:

¿Cuáles son las principales fuentes potenciales de contaminación del aire?

La Tabla 1 presenta una síntesis de las principales fuentes potenciales de contaminación del aire identificadas a partir del análisis de la literatura científica reciente relacionada con sistemas de monitoreo ambiental basados en IoT. En esta tabla se agrupan las fuentes más recurrentes reportadas en estudios realizados en entornos urbanos y espacios abiertos, como parques y zonas recreativas, destacando el tráfico vehicular, la resuspensión de polvo, las actividades comerciales y recreativas, la quema de residuos o biomasa, así como los factores ambientales y climáticos. Asimismo, se incluyen las referencias asociadas a cada fuente, lo que permite evidenciar el respaldo científico de su relevancia y frecuencia de aparición en investigaciones previas. Esta información constituye una base fundamental para orientar la selección de parámetros, sensores y estrategias de monitoreo en el contexto del estudio.

Tabla 1. Fuentes de contaminación en el aire

Fuente	Ref
Tráfico vehicular	[21], [23], [25], [27], [28], [29], [30], [33], [34], [36], [37], [39], [40], [41]
Resuspensión de polvo	[22], [23], [24], [25], [27], [28], [30], [31], [37], [41]
Actividades comerciales	[25], [27], [30], [31], [32]
Quema de residuos o biomasa	[23], [28], [30], [31], [33], [35], [36], [37], [38], [39], [42]

Actividades recreativas	[25], [40], [41], [42]
Factores ambientales y climáticos	[25], [26], [27], [30], [32], [33], [34], [40], [41], [42]

Los resultados de la revisión evidencian que las principales fuentes potenciales de contaminación del aire en entornos abiertos están asociadas, en mayor medida, al tráfico vehicular, el cual concentra el mayor número de referencias científicas. Esta fuente se relaciona principalmente con la emisión de contaminantes gaseosos y material particulado, producto de la combustión de motores y del desgaste de componentes vehiculares. La alta recurrencia de esta fuente en la literatura analizada confirma su impacto significativo en la calidad del aire de espacios públicos cercanos a vías pavimentadas.

Asimismo, la resuspensión de polvo aparece como una fuente relevante, especialmente en zonas con calles no pavimentadas o superficies expuestas, donde el tránsito vehicular y peatonal favorece la dispersión de partículas en suspensión. Otras fuentes identificadas incluyen las actividades comerciales, particularmente aquellas vinculadas a procesos de combustión o manipulación de materiales, y la quema de residuos o biomasa, que contribuye a la emisión de gases contaminantes y partículas finas. Adicionalmente, se reconoce que las actividades recreativas y los factores ambientales y climáticos, como el viento, la humedad y la temperatura, influyen en la dispersión y concentración de contaminantes, actuando como elementos moduladores de la calidad del aire.

¿Qué parámetros de calidad del aire pueden ser monitoreados mediante sensores IoT?

La Tabla 2 presenta los principales parámetros de calidad del aire que pueden ser monitoreados mediante sensores IoT, junto con sus respectivas unidades de medida y referencias científicas. Estos parámetros incluyen tanto contaminantes gaseosos como material particulado, así como variables ambientales que influyen directamente en la dispersión y concentración de los contaminantes. La información recopilada evidencia que las tecnologías IoT permiten una supervisión integral del entorno, proporcionando datos relevantes para evaluar las condiciones ambientales en espacios abiertos como parques urbanos.

Tabla 2. Parámetros para la calidad del aire

Parámetro	Unidad de medida	Ref
Monóxido de carbono (CO)	ppm	[21], [22], [23], [24], [28], [29], [30], [31], [33], [34], [35], [38], [39], [41], [42]
Dióxido de carbono (CO ₂)	ppm	[21], [23], [24], [25], [26], [31], [32], [37], [38], [39], [41], [42]
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	ppb / ppm	[21], [24], [28], [29], [30], [31], [41]
Material particulado	µg/m ³	[21], [22], [23], [24], [27], [28], [29], [30], [31], [32],

PM2.5		[33], [34], [37], [41]
Material particulado	µg/m ³	[21], [22], [23], [24], [27], [28], [29], [31], [32], [33], [34], [37], [41]
PM10		[24], [25], [26], [27], [28], [32], [42]
Temperatura ambiental	°C	[24], [25], [26], [27], [28], [32], [42]
Humedad relativa	%	[24], [25], [26], [27], [28], [32], [42]
Presión atmosférica	hPa	[27], [42]

El análisis de la literatura científica permite identificar que los sensores IoT aplicados al monitoreo ambiental son capaces de medir una amplia variedad de parámetros de calidad del aire, siendo los más reportados el monóxido de carbono, el dióxido de carbono y el dióxido de nitrógeno. Estos contaminantes gaseosos aparecen de manera recurrente en los estudios revisados debido a su relación directa con fuentes como el tráfico vehicular, actividades comerciales y procesos de combustión, lo que los convierte en indicadores clave para evaluar el impacto de la contaminación en espacios públicos.

De igual manera, los resultados evidencian una fuerte presencia del material particulado PM2.5 y PM10 como parámetros prioritarios en sistemas IoT de monitoreo ambiental. Estos contaminantes son ampliamente analizados por su capacidad de permanecer en suspensión y por los riesgos que representan para la salud humana, especialmente en áreas de uso recreativo. Además de los contaminantes atmosféricos, variables ambientales complementarias como la temperatura, la humedad relativa y la presión atmosférica son comúnmente integradas en los sistemas de medición, ya que influyen en la dispersión, concentración y comportamiento de los contaminantes en el entorno.

¿Qué sensores y dispositivos IoT disponibles comercialmente cumplen con los requisitos técnicos para el monitoreo de calidad del aire?

La Tabla 3 responde a la tercera pregunta de investigación al presentar una clasificación de sensores y dispositivos IoT disponibles comercialmente que cumplen con los requisitos técnicos necesarios para el monitoreo de la calidad del aire en entornos abiertos. En ella se incluyen microcontroladores, placas de procesamiento y sensores ambientales, detallando su voltaje de operación, los parámetros que pueden medir y los protocolos IoT compatibles. Esta información permite comparar capacidades técnicas, niveles de integración y compatibilidad con sistemas de monitoreo ambiental, facilitando la selección de componentes adecuados para el diseño de un prototipo conceptual de monitoreo de calidad del aire en parques urbanos.

Tabla 3. Dispositivos y sensores comerciales

D / S	V	Parámetro monitoreado	Protocolo	Ref
Arduino Uno	5 V	Procesamiento y envío de datos	Wi-Fi, LoRa	[30], [33],

		de sensores de calidad del aire	[38], [42]			[38]			
Arduino Uno R3	5 V	Procesamiento y envío de datos de sensores de calidad del aire	Wi-Fi, LoRa	[25], [35]	MQ9	5 V	CO, gases combustibles	Wi-Fi, LoRa, MQTT	[35]
ESP32	3.3 V	Procesamiento y envío de datos de sensores de calidad del aire	Wi-Fi, Bluetooth, MQTT, HTTP	[24], [26], [34]	MQ135	5 V	CO ₂ , NH ₃ , NO _x , VOCs	Wi-Fi, LoRa, MQTT, HTTP	[21], [22], [30], [35], [38], [42]
ESP32 WROO M 32	3.3 V	Procesamiento y envío de datos de sensores de calidad del aire	Wi-Fi, Bluetooth, MQTT	[34]	PMS500 3	5 V	PM1.0, PM2.5, PM10	Wi-Fi, LoRa, MQTT	[22]
ESP8266	3.3 V	Procesamiento y envío de datos de sensores de calidad del aire	Wi-Fi, MQTT, HTTP	[21], [23], [25], [27], [28], [30], [33]	PMSA00 3	5 V	PM1.0, PM2.5, PM10	Wi-Fi, LoRa, MQTT	[23], [24]
Raspberry Pi	5 V	Procesamiento y envío de datos de sensores de calidad del aire	Wi-Fi, Ethernet, MQTT, HTTP	[28], [31], [37]	SDS011	5 V	PM2.5, PM10	Wi-Fi, LoRa, MQTT	[22], [24], [31], [32]
Raspberry Pi Pico W	3.3 V	Procesamiento y envío de datos de sensores de calidad del aire	Wi-Fi, MQTT, HTTP	[32]	Sensirion SPS30	5 V	PM1.0, PM2.5, PM4.0, PM10	Wi-Fi, LoRa, MQTT	[34]
BME680	3.3 V	Temperatura, humedad relativa, presión, VOC	Wi-Fi, LoRa, MQTT	[34]	ZH03A	5 V	PM2.5, PM10	Wi-Fi, LoRa, MQTT	[33]
BMP180	3.3 V	Presión atmosférica, temperatura	Wi-Fi, LoRa, MQTT	[42]					
DHT11	3.3 – 5 V	Temperatura, humedad relativa	Wi-Fi, LoRa, HTTP, MQTT	[25], [27], [30], [42]					
DHT22	3.3 – 6 V	Temperatura, humedad relativa	Wi-Fi, LoRa, MQTT	[22], [23], [31], [32]					
GP2Y10 10AU0F	5 V	PM2.5	Wi-Fi, LoRa, HTTP	[23]					
LM35	4 – 30 V	Temperatura ambiente	Wi-Fi, LoRa	[25]					
MQ7	5 V	CO		[22], [23], [24], [30], [32], [33], [35],					

Los resultados obtenidos muestran que existe una amplia disponibilidad de sensores y dispositivos IoT comerciales que cumplen con los requisitos técnicos necesarios para el monitoreo de la calidad del aire en entornos abiertos como parques urbanos. En cuanto a los dispositivos de procesamiento y comunicación, se identificó que microcontroladores y placas de desarrollo como Arduino Uno, Arduino Uno R3, ESP8266, ESP32 y Raspberry Pi son los más utilizados en estudios recientes, debido a su bajo costo, facilidad de programación y compatibilidad con múltiples protocolos de comunicación IoT. Estos dispositivos permiten la adquisición, procesamiento y transmisión eficiente de datos provenientes de sensores ambientales hacia plataformas de visualización y análisis.

Respecto a los sensores ambientales, los resultados evidencian una fuerte presencia de sensores de gases como MQ7, MQ9 y MQ135, capaces de medir contaminantes relevantes como CO, CO₂, NO_x y compuestos orgánicos volátiles, así como sensores de material particulado tales como PMS5003, PMSA003, SDS011 y Sensirion SPS30, orientados a la medición de PM2.5 y PM10. Asimismo, sensores ambientales complementarios como DHT11, DHT22, BME680, BMP180 y LM35 permiten registrar variables como temperatura, humedad relativa y presión atmosférica, fortaleciendo el análisis integral del entorno.

¿Cuál es el desempeño comparativo de los protocolos de comunicación IoT más utilizados en sistemas de monitoreo ambiental, considerando alcance, eficiencia energética y costo?

La Tabla 4 aborda la cuarta pregunta de investigación mediante una comparación del desempeño de los principales protocolos de comunicación IoT utilizados en sistemas de monitoreo ambiental. En esta tabla se analizan aspectos clave como el tipo de comunicación, el alcance, el consumo energético, el costo y su aplicación típica, con el fin de evaluar su adecuación para entornos abiertos como parques urbanos. La comparación permite identificar qué protocolos ofrecen un mejor equilibrio entre cobertura, eficiencia y viabilidad operativa, proporcionando criterios técnicos para seleccionar las tecnologías de comunicación más apropiadas para un sistema IoT de monitoreo de la calidad del aire.

Tabla 4. Comparación entre protocolos de comunicación

Protocolo	Tipo	Alcance	Costo	Uso	Ideal
Wi-Fi	Red inalámbrica local	50 – 100 m	Bajo	Envío de datos desde sensores a la nube cuando existe infraestructura cercana	Media: depende de routers y alimentación continua
LoRa / LoRa WAN	Red LPWAN	2 – 15 km	Bajo	Transmisión de datos ambientales desde sensores distribuidos en el parque	Alta: ideal para espacios abiertos y nodos a batería
Bluetooth	Corto alcance	10 – 100 m	Muy bajo	Configuración, calibración y recolección local de datos	Media: útil como apoyo, no para monitoreo distribuido
MQTT	Protocolo de mensajería	Dependiente de la red	Muy bajo	Envío eficiente de datos desde nodos IoT hacia plataformas en la nube	Alta: ligero y óptimo para sensores ambientales
HTTP	Protocolo web	Dependiente de la red	Muy bajo	Comunicación básica con servicios web y visualización de datos	Media: simple, pero menos eficiente energéticamente

El análisis comparativo de los protocolos de comunicación IoT evidencia diferencias significativas en términos de alcance, consumo energético y costo, factores determinantes para su aplicación en sistemas de monitoreo ambiental en parques urbanos. Los resultados muestran que LoRa y LoRaWAN presentan el mejor desempeño para entornos abiertos, ya que ofrecen un alcance de varios kilómetros con un consumo energético muy bajo, lo que permite el funcionamiento prolongado de nodos sensores alimentados por baterías. Estas características los convierten en una alternativa altamente adecuada para el monitoreo distribuido de la calidad del aire sin requerir infraestructura de red cercana.

Por otro lado, Wi-Fi se identifica como una opción viable cuando existe disponibilidad de infraestructura eléctrica y de red, destacándose por su alta velocidad de transmisión y bajo costo de implementación. Sin embargo, su alcance limitado y mayor consumo energético reducen su eficiencia en escenarios donde los sensores se encuentran dispersos o requieren autonomía prolongada. En este contexto, Wi-Fi resulta más apropiado para nodos centrales o ubicaciones específicas dentro del parque, en lugar de una red completamente distribuida.

Asimismo, los resultados indican que protocolos de mensajería ligera como MQTT complementan de manera efectiva a los protocolos de acceso, ya que permiten una transmisión eficiente y confiable de datos hacia plataformas de gestión en la nube, optimizando el uso del ancho de banda y el consumo energético.

En contraste, HTTP, aunque ampliamente utilizado por su simplicidad y compatibilidad, presenta un mayor consumo de recursos, lo que limita su eficiencia para aplicaciones de monitoreo continuo. Finalmente, Bluetooth se posiciona como una tecnología de apoyo, útil para tareas de configuración, calibración o recolección local de datos, pero no como solución principal para el monitoreo ambiental a gran escala. En conjunto, estos resultados confirman que una arquitectura híbrida basada en LoRa/LoRaWAN y MQTT representa la alternativa más adecuada para el sistema propuesto.

¿Qué plataformas IoT y arquitecturas de procesamiento de datos permiten una visualización eficiente y en tiempo real de la calidad del aire monitoreada?

La visualización eficiente y en tiempo real de los datos ambientales constituye un componente fundamental en los sistemas IoT de monitoreo de la calidad del aire, ya que facilita la interpretación de la información recolectada y respalda la toma de decisiones. Se analizaron distintas plataformas IoT y arquitecturas de procesamiento de datos reportadas en la literatura científica, considerando su capacidad para almacenar, procesar y presentar información ambiental de manera accesible y continua.

La Tabla 5 resume las principales soluciones tecnológicas empleadas para la visualización de la calidad del aire en sistemas IoT.

Tabla 5. Plataformas y arquitecturas para visualizar la calidad del aire

Plataforma	Ref
------------	-----

ThingSpeak	[21], [29], [30], [39], [40], [41]
Servidor web IoT con dashboards personalizados	[21], [23], [25], [26], [31], [32], [35]
Arquitectura IoT basada en la nube	[22], [23], [24], [27], [28], [33], [34], [36], [38], [32]
Arquitectura IoT con procesamiento local y en la nube	[32], [34], [37], [38]

Los resultados muestran que ThingSpeak es una de las plataformas IoT más utilizadas en proyectos de monitoreo ambiental, principalmente por su facilidad de integración con sensores y microcontroladores, así como por sus herramientas integradas de visualización gráfica en tiempo real. Su enfoque



Fig 1. ESP32

basado en la nube permite el almacenamiento automático de datos y la generación de gráficos accesibles desde navegadores web, lo que la convierte en una opción adecuada para proyectos de bajo costo y prototipos conceptuales de monitoreo de la calidad del aire.

Se identificó un uso recurrente de servidores web IoT con dashboards personalizados, los cuales ofrecen una mayor flexibilidad en la presentación y análisis de la información ambiental. Estas arquitecturas permiten diseñar interfaces adaptadas a las necesidades del sistema, integrando gráficos dinámicos, alertas y reportes, lo que resulta beneficioso para estudios que requieren un mayor nivel de control sobre la gestión de los datos y su visualización. Los estudios analizados destacan la adopción de arquitecturas IoT basadas en la nube como una solución predominante para el procesamiento de grandes volúmenes de datos ambientales. Estas arquitecturas facilitan la escalabilidad del sistema, el acceso remoto a la información y la integración con servicios de análisis avanzado, siendo especialmente útiles para sistemas de monitoreo distribuidos en espacios abiertos. Complementariamente, algunas investigaciones proponen arquitecturas híbridas, que combinan procesamiento local y en la nube, permitiendo realizar filtrado o análisis preliminar de los datos en el nodo

sensor y enviar únicamente la información relevante a la plataforma central. Esta estrategia mejora la eficiencia del sistema y reduce el consumo de ancho de banda, fortaleciendo la viabilidad de sistemas IoT aplicados al monitoreo de la calidad del aire en parques urbanos.

5.1 Prototipo

A partir del análisis de las fuentes de contaminación, los parámetros de calidad del aire, los sensores y dispositivos IoT, los protocolos de comunicación y las plataformas de visualización, se identifican los elementos más adecuados para la construcción de un prototipo conceptual de sistema IoT para el monitoreo de la calidad del aire en parques urbanos. Los resultados indican que el prototipo debe enfocarse en la medición de contaminantes prioritarios como CO, CO₂, NO₂, PM2.5 y PM10, complementados con variables ambientales como temperatura y humedad relativa, debido a su alta recurrencia en la literatura y su relevancia para la salud pública. En cuanto al hardware, se determinó que los microcontroladores ESP32 y ESP8266 representan la mejor opción para el prototipo conceptual, ya que combinan bajo consumo energético, conectividad integrada y compatibilidad con múltiples sensores comerciales.

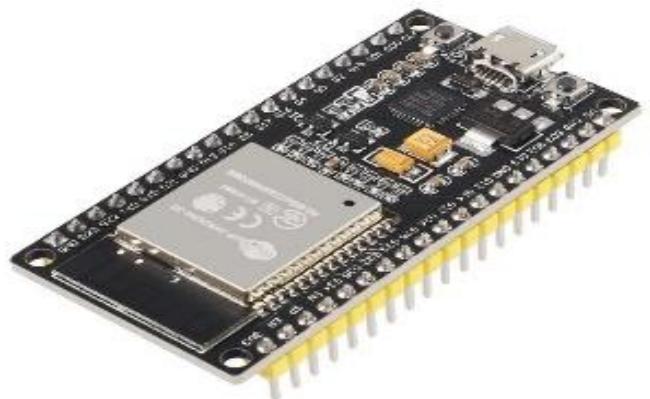


Fig 2. ESP8266



Fig 3. SDS011

Estos dispositivos pueden integrarse con sensores de partículas como SDS011, PMS5003 o Sensirion SPS30, y sensores de gases como MQ7 y MQ135, formando una arquitectura modular y escalable. Esta selección permite cubrir los principales parámetros ambientales con componentes disponibles comercialmente y de fácil integración.



Fig. 4 PMS5003



Fig. 5. Sensirion SPS30

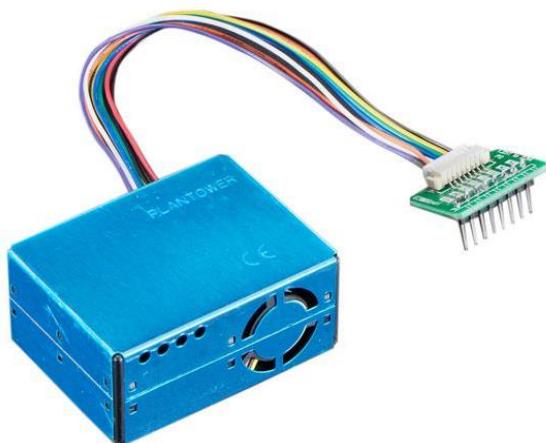


Fig. 6. MQ7



Fig 7. MQ135

Respecto a la comunicación, los resultados muestran que una arquitectura basada en LoRa/LoRaWAN, complementada con MQTT como protocolo de mensajería, ofrece el mejor equilibrio entre alcance, eficiencia energética y costo para entornos abiertos. Esta combinación resulta especialmente adecuada para parques urbanos, donde los nodos pueden estar distribuidos y requerir autonomía energética. Para nodos cercanos a infraestructura existente, el uso de Wi-Fi puede considerarse como alternativa complementaria.

Finalmente, en términos de gestión y visualización de datos, se identificó que plataformas IoT basadas en la nube como ThingSpeak o arquitecturas con dashboards web personalizados permiten una visualización eficiente y en tiempo real de la calidad del aire. Estas soluciones facilitan el acceso a la información, la generación de gráficos históricos y la escalabilidad del sistema. En conjunto, los elementos seleccionados conforman un prototipo conceptual técnicamente viable, replicable y adaptable, que puede servir como referencia para futuras implementaciones de sistemas de monitoreo ambiental en espacios públicos similares.

6. CONCLUSIONES

Se analizó la viabilidad de emplear tecnologías de Internet de las Cosas para el monitoreo de la calidad del aire en entornos abiertos, tomando como referencia parques urbanos. A partir de una revisión sistemática de la literatura científica, se identificaron las principales fuentes de contaminación atmosférica presentes en estos espacios, así como los parámetros ambientales más relevantes para su evaluación, entre los que destacan el monóxido de carbono, el dióxido de carbono, el dióxido de nitrógeno y el material particulado PM2.5 y PM10, complementados por variables ambientales como temperatura y humedad relativa.

Los resultados evidenciaron que existe una amplia disponibilidad de sensores y dispositivos IoT comerciales capaces de medir dichos parámetros con un nivel adecuado de precisión y confiabilidad. Microcontroladores como ESP32 y ESP8266, junto con sensores de gases y partículas de bajo

costo, demostraron ser componentes adecuados para conformar sistemas de monitoreo ambiental modulares y escalables.

El análisis comparativo de los protocolos de comunicación indicó que LoRa/LoRaWAN, en combinación con MQTT, ofrece el mejor equilibrio entre alcance, eficiencia energética y costo para escenarios abiertos, mientras que Wi-Fi y Bluetooth pueden emplearse como tecnologías complementarias según la visualización de la información, se determinó que las plataformas IoT basadas en la nube, como ThingSpeak y arquitecturas con dashboards web personalizados, permiten una gestión eficiente y en tiempo real de los datos ambientales. Estas soluciones facilitan el acceso a la información, el análisis histórico y la escalabilidad del sistema, aspectos clave para el monitoreo continuo de la calidad del aire.

Los hallazgos obtenidos permitieron definir los elementos esenciales para la construcción de un prototipo conceptual de sistema IoT orientado al monitoreo ambiental en parques urbanos. Este prototipo conceptual se presenta como una alternativa técnicamente viable, de bajo costo y adaptable, que puede servir como base para futuras implementaciones reales y para el desarrollo de estrategias orientadas a la gestión ambiental y la protección de la salud pública en espacios urbanos.

REFERENCIAS

1. J. Herrera-Tapia and M. Navia, "Las tecnologías de la información: aliado y soporte para las organizaciones en un mundo en crisis," *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, pp. XI–XII, 2020.
2. M. Navia et al., "Active low intrusion hybrid monitor for wireless sensor networks," *Sensors*, vol. 15, no. 9, pp. 23927–23952, 2015.
3. M. Navia et al., "GTSO: Global Trace Synchronization and Ordering Mechanism for Wireless Sensor Network Monitoring Platforms," *Sensors*, vol. 18, no. 1, p. 28, 2018.
4. M. Navia, J. Macías-Aguayo, and D. Quiroz-Córdova, "IoT-Based Detection of Blockages in Stormwater Drains," *Engineering Proceedings*, vol. 82, no. 1, p. 48, 2024.
5. C. Silva, R. Toasa, H. D. Martínez, J. Veloz, and C. Gallardo, "Secure push notification service based on MQTT protocol for mobile platforms," in Proc. XII Jornadas Iberoamericanas de Ingeniería de Software e Ingeniería del Conocimiento, 2017.
6. L. Chancay-García et al., "Evaluating and enhancing information dissemination in urban areas of interest using opportunistic networks," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 32514–32531, 2018.
7. L. Chancay-García et al., "Optimising message broadcasting in opportunistic networks," *Computer Communications*, vol. 157, pp. 162–178, 2020.
8. W. Zambrano-Romero et al., "Digital Gap Reduction with Wireless Networks in Rural Areas of Tosagua Town," in Proc. Int. Conf. Advances in Emerging Trends and Technologies, 2020.
9. W. M. R. Bravo and L. C. García, "Sistema de alerta temprana mediante clasificación de imágenes para medir el nivel de seguridad en las paradas de buses," *Polo del Conocimiento*, vol. 8, no. 7, pp. 1009–1030, 2023.
10. M. Navia et al., "Hybrid monitoring proposal for wireless sensor network," in Proc. Asia-Pacific Conf. on Computer Aided System Engineering, pp. 320–324, 2015.
11. W. Moreira-Sánchez, L. Chancay-García and D. Michellec-Zambrano, "Revisión Sistemática de Tecnologías de IoT para el desarrollo de un sistema de información en transporte público," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 16, no. 4, pp. 42–56, 2023.
12. K. Sabando-Bravo, M. Navia-Mendoza and J. Zambrano-Martinez, "Optimizing CO₂ Monitoring: Evaluating a Sensor Network Design," *Journal of Sensor and Actuator Networks*, vol. 14, no. 5, p. 93, 2025.
13. K. Sabando-Bravo, M. Navia-Mendoza and J. Zambrano-Martinez, "Revisión de estudios sobre redes de sensores para el monitoreo de CO₂," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 16, no. 4, pp. 24–41, 2023.
14. M. Navia-Mendoza, Plataforma de monitorización híbrida para la evaluación de redes inalámbricas de sensores, Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València, Valencia, España, 2018.
15. M. Navia-Mendoza, V. Palma, J. Moreira y R. Vélez-Valarezo, "Plataformas de hardware para nodos de IoT en aplicaciones agrícolas: un análisis orientado al consumo energético," *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, no. E47, pp. 106–118, 2022.
16. M. del R. Cruz-Felipe, J. Pinargote-Ortega, G. Demera-Ureta y D. Zambrano-Zambrano, "Tecnologías de internet de las cosas en la obtención de información," *Dominio de las Ciencias*, vol. 4, no. 2, pp. 147–160, 2018.
17. M. del R. Cruz-Felipe, R. Martínez-Gómez y Y. Crespo-García, "Análisis de la QoS en redes inalámbricas," *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 7, no. 1, pp. 86–96, 2013.
18. M. del R. Cruz-Felipe, J. Pinargote-Ortega, G. Demera-Ureta, E. Vera-Zambrano y R. Mosquera-Alcivar, "Sistema de alerta para estudiantes con discapacidad visual en la UTM," *Revista Científica*, vol. 31, pp. 85–95, 2018.
19. E. Díaz-Laurencio, R. Martínez-Gómez, M. del R. Cruz-Felipe y P. Puig-Díaz, "QoS en redes de área local," *Revista Digital Sociedad de La Información*, vol. 10, 2013.
20. J. Arias-Pérez, M. del R. Cruz-Felipe y J. Verde-Acosta, "Herramienta de medición integral de parámetros de calidad de servicio mediante el protocolo SNMP en una red de área local," Universidad de las Ciencias Informáticas, 2016.
21. P. Agnihotri, S. Tiwari and D. Mohan, "Design of Air Pollution Monitoring System Using Wireless Sensor Network," 2020 International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICE3), Gorakhpur, India, 2020, pp. 33–38, doi: 10.1109/ICE348803.2020.9122796.
22. S. Kamal, K. M. V. M. H. M. M. M and M. S, "Air Quality Monitoring System Using IOT for Enhanced Living Environments and Public Health," 2023 7th International Conference on Design Innovation for 3 Cs Compute Communicate Control (ICDI3C), Karnataka, India, 2023, pp. 368–373, doi: 10.1109/ICDI3C61568.2023.00080.
23. B. Ghose and Z. Rehena, "Real-Time Air Pollution Monitoring System Employing IoT," 2024 2nd International Conference on Intelligent Data Communication Technologies and Internet of Things (IDCIoT), Bengaluru, India, 2024, pp. 53–58, doi: 10.1109/IDCIoT59759.2024.10467734.
24. L. d. Paz de Mesa, I. Kenneth Arevalo Alvarez, B. X. del Rio Hipolito, J. Rey Buce Miran and R. G. Requina Valdez, "Air Quality Checking and Tracking for Environmental Compliance: An IoT-based Air Quality Monitoring System," 2025 23rd International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE), Bangkok, Thailand, 2025, pp. 1–7, doi: 10.1109/ICTKE67052.2025.11274453.
25. H. Hashim, M. N. Hazwan, P. S. M. Saad and Z. Harun, "The Real-Time Monitoring of Air Quality Using IOT-Based Environment System," 2023 19th IEEE International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA), Kedah, Malaysia, 2023, pp. 54–58, doi: 10.1109/CSPA57446.2023.10087557.
26. K. H. Yusof et al., "Design and Development of Real Time Indoor and Outdoor Air Quality Monitoring System Based on IoT Technology," 2022 IEEE 18th International Colloquium on Signal Processing & Applications (CSPA), Selangor, Malaysia, 2022, pp. 101–104, doi: 10.1109/CSPA55076.2022.9781937.
27. B. M. Nikolova, G. T. Nikolov and A. D. Sirakov, "Cloud-Based System for Air Quality Monitoring," 2024 XXXIII International Scientific Conference Electronics (ET), Sozopol, Bulgaria, 2024, pp. 1–5, doi: 10.1109/ET63133.2024.10721539.
28. S. -M. Petrică, I. Făgărăşan, I. Stamatescu, N. Arghira and R. -N. Pietraru, "Low-cost air pollution monitoring systems," 2024 28th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), Sinaia, Romania, 2024, pp. 258–263, doi: 10.1109/ICSTCC62912.2024.10744643.
29. O. Alruwaili, I. Kostanic, A. Al-Sabbagh and H. Almohamedh, "IoT Based: Air Quality Index and Traffic Volume Correlation," 2020 11th IEEE Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON), New York, NY, USA, 2020, pp. 0143–0147, doi: 10.1109/UEMCON51285.2020.9298176.
30. Kumar, M. Kumari and H. Gupta, "Design and Analysis of IoT based Air Quality Monitoring System," 2020 International Conference on

- Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC), Mathura, India, 2020, pp. 242-245, doi: 10.1109/PARC49193.2020.9236600.
31. Y. Ben-Aboud, M. Ghogho and A. Kobbane, "A research-oriented low-cost air pollution monitoring IoT platform," 2020 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC), Limassol, Cyprus, 2020, pp. 1324-1329, doi: 10.1109/IWCMC48107.2020.9148176.
 32. J. J. F. Figueroa, H. Shen, H. Ahmadi and B. Canberk, "A distributed user-oriented IoT-based Air Pollution Monitoring," 2023 IEEE 28th International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), Edinburgh, United Kingdom, 2023, pp. 270-275, doi: 10.1109/CAMAD59638.2023.10478381.
 33. Rachmawardani, D. Prabowo, Nardi, K. L. Toruan, S. Abdurachman and D. B. Adinara, "Designing a Cost-Effective IoT Air Quality Sensor for Real-Time Data Monitoring," 2024 IEEE International Conference on Computing (ICOCO), Kuala Lumpur, Malaysia, 2024, pp. 219-224, doi: 10.1109/ICOCO62848.2024.1092812.
 34. R. Jánó, A. I. Ilieş, E. M. Ţeteţo and C. Corches, "IoT Devices for Monitoring and Analysing Air Quality in Urban Environments," 2024 IEEE 30th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), Sibiu, Romania, 2024, pp. 45-49, doi: 10.1109/SIITME63973.2024.10814899.
 35. Vasuki, J. A. Christaline, V. Akila and R. Sathiya, "A Low-Cost Air Quality Tracking System Design," 2023 International Conference on Innovative Data Communication Technologies and Application (ICIDCA), Uttarakhand, India, 2023, pp. 901-904, doi: 10.1109/ICIDCA56705.2023.10099569.
 36. K. C. Arun, S. Azam, A. Siddique, M. Ali and A. Hussain, "BeSafe: Air Quality Monitoring and Control with IoT," 2023 International Conference on Evolutionary Algorithms and Soft Computing Techniques (EASCT), Bengaluru, India, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/EASCT59475.2023.10393689.
 37. Osa-Sánchez and B. García-Zapirain, "Real-Time Air Quality Monitoring: A Smart IoT System Using Low-Cost Sensors and 3-D Printing," in IEEE Journal of Radio Frequency Identification, vol. 9, pp. 65-79, 2025, doi: 10.1109/JRFID.2025.3541816.
 38. K. Dara et al., "Precise Detection of Air Pollutants," 2023 International Conference on Next Generation Electronics (NEleX), Vellore, India, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/NEleX59773.2023.10421732.
 39. Chaturvedi and L. Shrivastava, "IOT Based Wireless Sensor Network for Air Pollution Monitoring," 2020 IEEE 9th International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT), Gwalior, India, 2020, pp. 78-81, doi: 10.1109/CSNT48778.2020.9115733.
 40. J. Bazuerto, W. Zamora, J. Larrea, D. Muñoz and D. Alvia, "System for monitoring air quality in urban environments applying low-cost solutions," 2020 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), Seville, Spain, 2020, pp. 1-6, doi: 10.23919/CISTI49556.2020.9141042.
 41. V. Choudhary, J. H. Teh, V. Beltran and H. B. Lim, "AirQ: A Smart IoT Platform for Air Quality Monitoring," 2020 IEEE 17th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2020, pp. 1-2, doi: 10.1109/CCNC46108.2020.9045550.
 42. V. M, D. P, E. A, P. M. V, M. Afrinna and T. J, "Air Quality Monitoring System Using Arduino," 2025 International Conference on Advanced Computing Technologies (ICoACT), Sivalas, India, 2025, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICoACT63339.2025.11005322.