

Tipo de artículo: Artículo de revisión

Revisión bibliográfica sobre la medición de la contaminación ambiental en áreas urbanas de las regiones Costa y Sierra en las ciudades de Ibarra y Guayaquil, Ecuador utilizando IoT

Bibliographic review on the measurement of environmental pollution in urban areas of the Costa and Sierra regions in the cities of Ibarra and Guayaquil, Ecuador using IoT

Zambrano Cevallos Lincold Antonio ^{1*} , <https://orcid.org/0000-0001-5462-0940>

Chancay García Leonardo Javier ² , <https://orcid.org/0000-0002-4090-048x>

¹ Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Informáticas. Ecuador. lzambrano1219@utm.edu.ec

² Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Informáticas. Ecuador. leonardo.chancay@utm.edu.ec

* Autor para correspondencia: lzambrano1219@utm.edu.ec

Resumen

La presente investigación tiene como propósito definir cuál es la medición de la contaminación ambiental en áreas urbanas de las regiones de la Costa y Sierra en las ciudades de Ibarra y Guayaquil, Ecuador utilizando el Internet de las Cosas como recurso tecnológico. Se realizó una revisión bibliográfica de artículos divulgados entre 2018 y 2022 para analizar la medición de la contaminación. Entre las mediciones más comunes se encuentran el monitoreo de la calidad del aire, así como la contaminación del agua y del ruido. En cuanto a la tecnología de comunicación utilizada, se encontraron diversas opciones, incluyendo tecnologías inalámbricas como Wifi, Bluetooth y LoRa, así como tecnologías de redes de sensores inalámbricas. Los datos de medición obtenidos se utilizan principalmente para determinar la repercusión de la contaminación en la salud, para tomar decisiones en tiempo real y para diseñar estrategias de mitigación y control de la contaminación. Además, permiten desarrollar sistemas de recomendación y analizar la evolución a largo plazo de la contaminación en una región determinada. Se concluye, que existen diversas alternativas sobre tecnologías de IoT para monitorear y reducir la contaminación ambiental. Es importante considerar que existe una gran heterogeneidad en la forma en que se utilizan estas tecnologías y en los datos que recogen, por lo que es óptimo que se facilite comparar y analizar los resultados de manera consistente.

Palabras clave: cambio climático; contaminación ambiental; IoT; monitoreo; redes de sensores

Abstract

The following research aims to define what is the measurement of environmental pollution in urban areas of the Coast and Sierra regions in the cities of Ibarra and Guayaquil, Ecuador using the Internet of Things as a technological resource. A literature review of articles disclosed between 2018 and 2022 was conducted to analyze the measurement of pollution. Among the most common measurements are air quality monitoring, as well as water and noise pollution. In terms of the communication technology used, a variety of options were found, including wireless technologies such as Wifi, Bluetooth and LoRa, as well as wireless sensor network technologies. The measurement data obtained are mainly used to determine the impact of pollution on health, to make real-time decisions and to design pollution mitigation and control strategies. In addition, they allow developing recommendation systems and analyzing the long-term evolution of pollution in a given region. It is concluded that there are several alternatives on IoT technologies to monitor and reduce environmental pollution. It is important to consider that there is a



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional**
(CC BY 4.0)

great heterogeneity in the way these technologies are used, and, in the data, they collect, so it is optimal to facilitate the comparison and analysis of the results in a consistent manner.

Keywords: *climate change; environmental pollution; IoT; monitoring; sensor networks*

Recibido: 21/02/2023

Aceptado: 25/05/2023

En línea: 01/06/2023

Introducción

La contaminación del aire es resultado de la mezcla de una amplia variedad de compuestos químicos en forma de partículas sólidas, gotas líquidas o gases. Algunos contaminantes tienen una vida corta, mientras que otros pueden permanecer en el aire durante años. Por ello, según la U.S. *Environmental Protection Agency* (EPA) indican que los Contaminantes más Peligrosos para la Salud, ampliamente relacionados con la mortalidad temprana, está representado por finas partículas $PM_{2,5}$ que se encuentran en el aire y que tienen un diámetro menor a 2,5 micrómetros. Este tipo de partículas es un contaminante del aire que puede presentar repercusiones adversas sobre la salud humana, ya que pueden penetrar profundamente en los conductos pulmonares, lo que las hace especialmente peligrosas y la exposición a niveles altos de estas partículas puede causar problemas respiratorios, así como aumentar el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias graves. Esta contaminación puede provenir como resultado de actos como la quema de combustibles fósiles, la agricultura e industria, así como también de procesos naturales como la socavación del suelo y el polvo de la carretera (EPA, 2022b).

A nivel mundial las grandes ciudades y las áreas industriales son las que suelen tener mayor nivel de contaminación del aire (EPA, 2022b), no obstante puede ser un problema en cualquier lugar, incluso en zonas rurales, debido a la disponibilidad de petróleo y gas para la generación de energía, el transporte y la calefacción son unas de las principales fuentes de contaminación del aire, además de la falta de regulación y control adecuados de estas actividades. Por ello, es importante tomar acciones para reducirlo en todas las áreas, ya que tiene considerables repercusiones para la salud humana y el medio ambiente.

Es importante mencionar que según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la mayoría de la población mundial (el 99%) respira aire que supera los límites establecidos por este organismo y que pone en peligro nuestra salud. De acuerdo con la información, presentada en vísperas del Día Mundial de la Salud, un número récord de más de 6.000 ciudades de 117 países vigilan ya la calidad del aire, 2.000 más que en la última actualización de 2018, lo que un aumento de casi seis veces desde que la base de datos se puso en marcha en 2011. La actualización de 2022 introduce



por primera vez mediciones en tierra de concentraciones medias anulares de dióxido de nitrógeno (NO₂), un contaminante urbano común y precursor de las partículas y el ozono. También incluye mediciones de partículas con diámetros iguales o inferiores a PM₁₀ o PM_{2.5}. Ambos grupos de contaminantes se originan principalmente en las actividades humanas relacionadas con la combustión de combustibles fósiles (World Health Organization, 2022). Los países de rentas bajas y medianas son los más afectados por esta exposición. Además, se ha demostrado que la calidad del aire está estrechamente relacionada con los ecosistemas y el clima a nivel global y una de los primordiales causales de la contaminación del aire son las emisiones de gases de efecto invernadero.

Por otra parte, es fundamental contar con una buena calidad del aire para mantener la salud de las personas. Por ello, se debe monitorear la contaminación atmosférica en tiempo real y principalmente en entornos urbanos. A tal efecto, se han implementado tecnologías informáticas y dispositivos electrónicos que ayudan a realizar este seguimiento. Actualmente, se buscan alternativas más económicas con mejores tecnologías, como la implementación del IoT. Además, al combinar esta tecnología con sensores de precisión que cumplan con la normativa de calibración establecida por la EPA, se puede obtener un sistema de monitoreo de bajo costo, apropiado y fácil de usar (EPA, 2022a).

Es común que los sistemas de monitoreo y control de la contaminación ambiental se basen en un conjunto de estándares y normativas que establecen los límites permitidos para cada contaminante y los métodos de medición apropiados para evaluar su presencia en el medio ambiente. Estos estándares y normativas pueden variar dependiendo del país o región, y pueden ser emitidos por entidades gubernamentales o por organizaciones internacionales (EPA, 2022a).

Algunos ejemplos de estándares y normativas comunes que se utilizan para controlar y medir la contaminación del aire incluyen:

- La Norma Oficial Mexicana (NOM) en México, que establece los límites permitidos para diferentes contaminantes en el aire, el agua y el suelo, y los métodos de medición apropiados para evaluar su presencia (NOM, 2022).
- La Directiva Europea sobre calidad del aire (2008/50/CE), que establece los límites permitidos para diferentes contaminantes en el aire en Europa (Directiva 2008/50/CE, 2022).
- Las Normas Nacionales Ambientales (NEPA), que establecen los límites permitidos para diferentes contaminantes en el aire, el agua y el suelo, y los métodos de medición apropiados para evaluar su presencia (NEPA, 2022).

Por otra parte, en Ecuador, existen diferentes normativas y estándares que se utilizan para medir y controlar la contaminación del aire. Algunos ejemplos de estas normativas incluyen:



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

- La Ley Orgánica del Ambiente (LOA), que establece los principios y objetivos para la salvaguarda y protección del medio ambiente, junto a las responsabilidades y obligaciones de las personas y entidades que se relacionan (LOA, 2022).
- La Normativa Técnica Ecuatoriana (NTE), que establece los criterios técnicos y las especificaciones para la garantía y conservación del medio ambiente y la salud humana (NTE, 2022).
- La Norma Técnica Ecuatoriana para la Gestión Ambiental (NTE INEN 2762), que establece los requisitos y procedimientos para la ejecución de sistemas de gestión ambiental (NTE INEN 2762, 2022).

En Ecuador a partir del año 2008 dispone de un Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional (SCAN), el cual es una herramienta desarrollada para monitorear y evaluar el impacto del ejercicio económico sobre los recursos naturales del medio ambiente en el país, basada en la contabilidad ambiental, una disciplina que utiliza principios y métodos estadísticos para medir y evaluar el uso y el agotamiento de estos recursos y el impacto ambiental de la actividad económica considerados parte del patrimonio nacional. Del mismo modo, el sistema puede ser empleado para hallar oportunidades de mejora en la gestión ambiental y toma de decisiones adecuadas en el manejo sostenible de los recursos naturales (MAATE, 2022).

El IoT hace posible el acceso e interacción permanente e inclusiva con una gran variedad de dispositivos conectados a Internet (Pathak & Bhandari, 2018). Además, dispone de muchas aplicaciones para el hogar, vigilancia, monitoreo de sensores, actuadores, pantallas inteligentes, vehículos, entre otros. Esto a su vez potencia el desarrollo de un gran número de aplicaciones con la posibilidad de tomar la información que consumen de estos objetos conectados, que a su vez proporcionan nuevos servicios a los ciudadanos y las empresas. Desde este ángulo o perspectiva, el flujo de información para mantener actualizada a la población sería el ideal de una sociedad organizada, tener conocimiento y algún tipo de pronóstico del entorno, lo que sería más fácil, eficiente y objetivo en el procedimiento de toma de decisiones.

Por ello, los sistemas de vigilancia de la contaminación atmosférica empleando IoT y equipados con un conjunto de sensores gaseosos y meteorológicos de bajo coste que pueden comunicar la información de forma inalámbrica, la cual es útil para pronosticar la contaminación basándose en los estándares de EPA puede contribuir de forma eficiente a la medición de contaminantes ambiental en áreas urbanas (Pushpam, Kavitha, & Karthik, 2019).

Es necesario llevar a cabo una revisión bibliográfica que analice los efectos de la contaminación ambiental y su relación con el uso de tecnologías de IoT. Los estudios previos no han seguido unos criterios metodológicos de forma estandarizada, empleando distintas nomenclaturas y herramientas de evaluación. Este hecho ha llevado a la necesidad de realizar una revisión que verifique los resultados de otros investigadores y evalúe si confirma los efectos atribuidos originalmente a la contaminación y el uso de IoT. El objetivo primordial de este trabajo es revisar los



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

efectos de la contaminación ambiental y su uso con IoT en las investigaciones científicas publicadas en las últimas décadas, y establecer la calidad metodológica de estos estudios.

Materiales y métodos

Para obtener la información para la revisión bibliográfica de la literatura se optó por utilizar el modelo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), el cual es un modelo para la documentación transparente de revisiones bibliográficas.

Haciendo uso de la herramienta en línea Parsifal (<https://parsif.al>) se pretende identificar y organizar los datos a recopilar necesarios para llevar a cabo el análisis, además, se sugiere un proceso de nueve pasos contemplados en tres fases: Planificación, Conductible e Informes proceso descrito en la Figura 1 presentada a continuación:

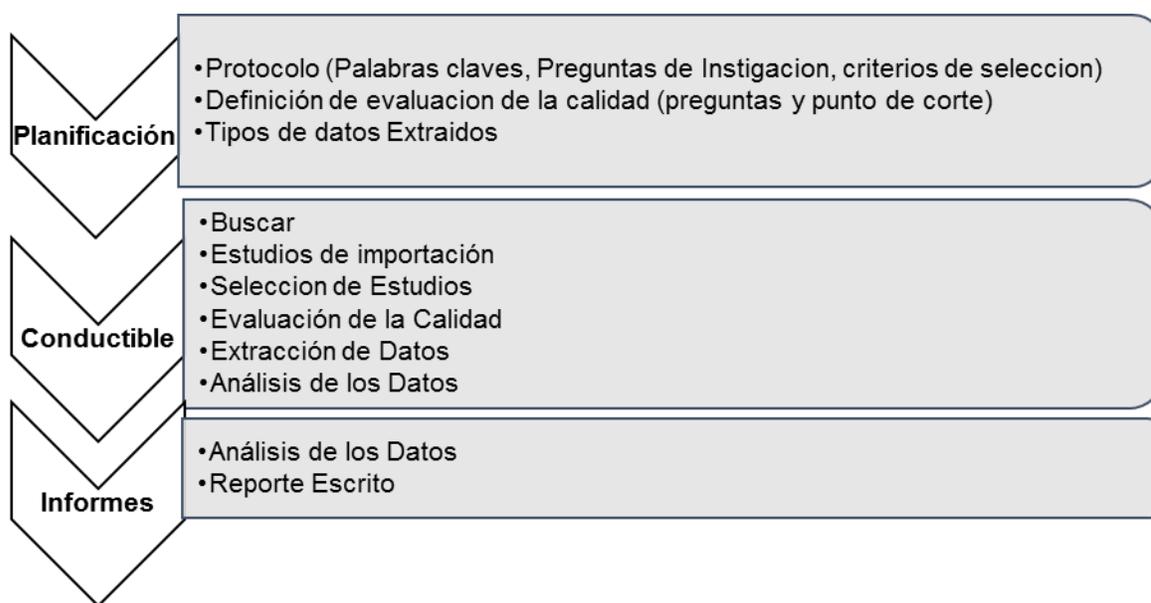


Figura 1. Esquema del proceso SLR en Parsifal.

Planificación de la revisión

Para obtener datos adecuados de las investigaciones realizadas es imprescindible definir el área del problema y realizar una revisión crítica y establecer las necesidades que deben ser abordadas. Por ello, para abordar el tema se establecieron cuatro preguntas de investigación o RQ, enumeradas a continuación:

RQ1: ¿Qué investigaciones existen relacionadas con el uso de IoT para reducir la contaminación ambiental?

RQ2: ¿Qué contaminantes se van a monitorear?

RQ3: ¿Qué tipo de tecnología de comunicación se utiliza?

RQ4: ¿Para qué se usan esos datos de medición?



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Se definió la cadena de búsqueda empleada en todas las colecciones de información y almacenes de datos consultados que se presenta a continuación: ("*Calidad del aire*" OR "*Cambio climático*" OR "*Contaminación*" OR "*Contaminación Ambiental*" OR "*TICS*" OR "*Herramientas*") AND ("*Ecuador*" OR "*Supervisión*" OR "*Redes de Sensores*") AND ("*Internet de las cosas*" OR "*IoT*")

Después, se establecieron las palabras claves a través del método Población Intervención Comparación Salidas y Contexto (PICOC) que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Palabras clave de PICOC.

Término	Palabras clave
Población	Contaminación, Contaminación Ambiental, Calidad del Aire, Cambio climático, Polución.
Intervención	Herramientas TIC's, Redes de sensores, Supervisión, Ecuador.
Comparación	IoT, Internet de las cosas.

A continuación, Se seleccionaron los estudios en base a los criterios de inclusión y exclusión presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Criterios de exclusión e inclusión.

Criterios de inclusión	Criterio de exclusión
<ul style="list-style-type: none"> • Artículos de revistas. • Publicado desde el 2018 a 2022. • Relacionado con contaminación ambiental e IoT. • Resultados a los que se tenga acceso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios duplicados. • Otro idioma que no sea inglés o español. • Que no sean desarrollados en el contexto de las áreas urbanas de las regiones de la Costa y Sierra en las ciudades de Ibarra y Guayaquil, Ecuador.

Posteriormente, se establecen las preguntas de calidad (QAQ) para la selección de los artículos o estudios para la revisión.

QAQ1. ¿El artículo contiene suficiente información técnica sobre la implementación de las herramientas?

QAQ2. ¿Se ha utilizado alguna metodología para la medición de los datos?

QAQ3. ¿Se ha probado las herramientas con sistemas reales de monitoreo?

En la Tabla 3 se definieron los campos correspondientes al formulario de extracción de los datos que se obtendrán del proceso de selección de cada uno de los artículos.

A. Realización de la revisión

Para la revisión, se seleccionaron diez Bases de Datos (BD) científicas para la búsqueda, como lo fueron: ACM Digital Library, Dialnet, IEEE Xplore, MEDES, ProQuest, *Remote Sensing*, *ScienceDirect*, *Sensors*, *Springer Link* y



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Telemática. Además de la cadena de búsqueda base definida anteriormente, en cada base de datos fue necesario ajustar algunos parámetros de búsqueda como, por ejemplo; rango de años o tipo de publicación.

Después de realizada la investigación en cada colección de información, se determinó una primera elección de artículos según los criterios de selección que fueron utilizados y que se muestran en la Tabla 2. Luego, se aplicaron los QAQ a los trabajos seleccionados.

Tabla 3. Campos del formulario de extracción de datos.

Descripción	Escribe	RQ
IDENTIFICACIÓN (ID)	Número	-
Base de datos (BD)	Texto	-
Título.	Texto	RQ1
Año de Publicación (AP)	Número	-
Nombre del dispositivo, Sistemas o Plataformas (NSP)	Texto	RQ3
Contaminantes monitoreados y para que se utilizan los datos (CMUD)	Texto	RQ2 - RQ4
País de desarrollo (PD)	Texto	-
Cita	Texto	-

B. Informe de la revisión

En la Tabla 4 se presentan los artículos seleccionados para ser analizados en la investigación del presente documento y que servirán de base para los cuestionamientos planteados inicialmente, donde el campo ID es el indicador o referencia que fue asignada para cada uno de los artículos seleccionados en el presente estudio, BD es la base de datos de donde se obtienen los artículos seleccionados, Título es el título en español del artículo seleccionado, AP es el año de publicación del artículo, NSP es el Nombre del dispositivo, Sistema o Plataforma que se empleó en el artículo, CMUD Contaminantes que se van a monitorear y el Uso de los datos ,PD es el país de desarrollo y Cita.

Tabla 4. Artículos seleccionados.

ID	BD y AP	Título	NSP	CMUD	PD	Cita
E1	Remote Sensing 2020	Sistema WSN Inteligente para el Análisis de la Calidad del Agua mediante	Comunicación (GSM), sensores inalámbricos (WSN), emplea algoritmos	Niveles de contaminación, para analizar el río	Ecuador	(Rosero et. al., 2020)



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

		Algoritmos de Aprendizaje Automático: Un estudio de caso (Río Tahuando de Ecuador)	de clasificación (K-Nearest Neighbors (KNN), Support Vector Machine (SVM), Bayesian classifier (BC) y Decision Tree (DT))	Tahuando y determinar su estado en diferentes regiones		
E2	Dialnet 2021	Diseño de un prototipo IoT para el monitoreo de material particulado en espacios reducidos utilizando ESP32 con servidor hospedado en la nube	Comunicación (Protocolo de mensajería MQTT), sensor Nova SDS011.	Monitoreo de material particulado, para obtener información sobre la calidad del aire.	Ecuador	(Gómez et. al., 2021)
E3	Sensors 2022	Dispositivos IoT portátiles e inteligentes de bajo coste para el control de la calidad del aire en la ciudad de Ibarra (Ecuador)	Comunicación (Protocolo de mensajería MQTT), GSM, sensores: MQ-135 para NOx, MQ-7 para CO, SCD30 para temperatura, humedad y CO2, VLM6075 para la detección de UV. Técnicas de aprendizaje sin supervisado, como el Desvío Estándar, el Factor de Valor Atípico Local, el Bosque de Aislamiento y el Envelope Elíptico, Además, k-NN, SVM, árbol de decisión y redes neuronales.	Niveles de contaminación del aire, para determinar la concentración de estos elementos	Ecuador	(Alvear-Puertas, y otros, 2022)
E4	IEEE Xplore 2018	Sistema inteligente de vigilancia de la calidad del aire mediante técnicas de aprendizaje automático	Comunicación (Modulo micro SD), sensores (MQ 7 para CO, MQ 135 para NH3, NOx, alcohol, benceno, humo, CO2, entre otros., DHT11 es un sensor de temperatura y humedad	Monitoreo de la calidad del aire, para recopilar información en tiempo real de las condiciones atmosféricas	Ecuador	(Rosero-Montalvo, y otros, 2018)



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

			y sensor UV)			
E5	Springer Link 2019	Sistema de Monitorización Ambiental de la Contaminación Urbana mediante Dispositivos IoT y Visualización de Datos: Un estudio de caso	Comunicación (4G cellphone network), sensores de monóxido de carbono (CO), amoniac (NH3), óxido nitroso (NOx), alcohol, benceno, humo, dióxido de carbono (CO2), temperatura y humedad, luz ultravioleta (UV).	Monitorean condiciones ambientales, para determinar el grado de contaminación	Ecuador	(Rosero et. al., 2019)
E6	Telemática 2020	Propuesta de una red inalámbrica para la supervisión en línea de contaminantes del aire	Comunicación (Zigbee y Bluetooth), sensores de monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO2), ozono (O3), dióxido de nitrógeno (NO2), y material particulado PM10, PM2.5, y PM1.	Niveles de contaminantes, para alertar a la población por medio de una aplicación móvil.	Ecuador	(Sinaluisa et. al., 2020)

Resultados y discusión

En el siguiente apartado se establecen los hallazgos de la investigación y selección de investigaciones realizadas en la revisión, donde inicialmente se encontraron 32 estudios, pero luego del proceso de selección se consideraron 6 artículos científicos, que se clasifican de la siguiente forma: Dialnet 1 artículo, IEEE Xplore: 1 artículos, Remote Sensing: Sensors: 1 artículo, Springer Link: 1 artículo y Telemática: 1. Además, se descartaron 26 artículos que no cumplieran con los parámetros de inclusión determinados.

De esta forma se obtienen los artículos que cumplieron con los criterios establecidos para la presente revisión. Cabe mencionar que, en el proceso de selección de la revisión bibliográfica, se basó en cada uno de los criterios de inclusión y exclusión definidos.

En esta fase, se presentan los hallazgos de los trabajos científicos, donde se evidencian las características de la selección a través de los criterios establecidos para la revisión. En la Tabla 5 se muestran los artículos seleccionados por año de publicación.

Tabla 5. Artículos científicos basados en el año de publicación.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Bases de datos	Año de publicación				
	2018	2019	2020	2021	2022
Dialnet	0	0	0	1	0
IEEE Xplore	1	0	0	0	0
Remote sensing	0	0	1	0	0
Sensors	0	0	0	0	1
Springer Link	0	1	0	0	0
Telemática	0	0	1	0	0
Total	6				

Después, se presentan en la Tabla 6, las aportaciones de cada uno de los artículos seleccionados y que proporcionan datos válidos y relevantes para la revisión bibliográfica, donde cada uno de los campos de la tabla indican lo siguiente: Referencia son los indicadores o ID de los artículos señalados en la Tabla 4 de artículos seleccionados, Área está dividida en dos secciones indicadas como la Tecnología empleada para la transmisión de datos y el tipo de método empleado para el Análisis de los datos y el campo Aporte de artículos se indica el aporte relacionado con el campo área de las dos secciones indicadas anteriormente.

Tabla 6. Aportaciones de los artículos.

Referencia	Área	Aporte de Artículos
E2	Transmisión de datos	WiFi
E1, E3		GSM
E2, E3		Protocolo de mensajería MQTT
E4		Modulo microSD
E5		4G cellphone network
E6		Zigbee y Bluetooth
E1, E3	Análisis de datos	Regresión Logística multinivel
E1, E3, E4, E5		Técnicas de clasificación KNN
E1		Support Vector Machine (SVM), Bayesian classifier (BC)
E1, E3		Decision Tree (DT)
E3		Naive Bayes (SVM)
E3		Redes Neuronales
E2		Plataforma ThingSpeak
E3		Técnicas de aprendizaje no supervisado (Desvío Estándar, el Factor de Valor Atípico Local, el Bosque de Aislamiento y el Envelope Elíptico)
E5		Algoritmos de selección de prototipos (PS) y Balance de Datos (DB)



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

E6	Análisis de autoridades
----	-------------------------

Luego, se muestran los análisis de cada uno de los artículos seleccionados previamente para la revisión bibliográfica:

E1: En el artículo se utilizó la IoT para monitorear la calidad del agua en el río Tahuando en Ibarra, Ecuador. Se monitorearon varias medidas de contaminación, como la turbidez, la temperatura, la calidad del agua, el pH y la temperatura. Se utilizó la tecnología de comunicación inalámbrica para recopilar y enviar los datos a un servidor remoto. Los datos de medición se utilizaron para analizar la contaminación del río y determinar su estado en diferentes regiones. El sistema desarrollado logró reducir la matriz de datos en un 97% y alcanzar una performance de clasificación del 90%. Además, se desarrolló una métrica cuantitativa de balance (QMB) para medir el equilibrio entre el rendimiento y el consumo de energía. El sistema se implementó en una boya flotante y se desarrolló una interfaz de monitoreo para visualizar el estado de cada sensor y el nivel de contaminación del río. Los resultados indicaron que hay un alto nivel de contaminación en la zona de la iglesia Campiña.

Asimismo, este artículo utiliza varios marcos de referencia y herramientas para medir y controlar la contaminación ambiental a través del uso de IoT. En cuanto a los estándares y normativas comunes, se menciona que la Organización de las Naciones Unidas (ONU) estableció que el 90% de los residuos no son tratados adecuadamente y que el 70% de las industrias descargan contenidos contaminantes sin cumplir con estándares adecuados o inspecciones rigurosas. Además, se menciona que la contaminación del agua incluye altos niveles de demanda de oxígeno bioquímico (BOD), nitrógeno y fósforo, por lo que es necesario desarrollar sistemas que permitan detectar y medir los niveles de contaminación en los ríos para mantener un equilibrio ecológico óptimo y limitar el daño ambiental y prevenir la propagación de enfermedades.

E2: En el artículo, se utilizó la IoT para diseñar un prototipo de sistema de monitoreo de material particulado en espacios reducidos, con el objetivo de obtener información sobre la calidad del aire en estos espacios y contribuir a la solución de la contaminación del aire en la ciudad de Guayaquil. Las mediciones de contaminación que se monitorean son los niveles de material particulado fino en el aire. Para la comunicación, se utilizó el protocolo MQTT y se hospedó el servidor en la nube en la plataforma ThingSpeak. Los datos de medición se utilizaron para evaluar y visualizar de manera remota los resultados y para determinar la calidad del aire en los espacios físicos. Los resultados del prototipo mostraron que es posible utilizar tecnología de bajo costo y bajo consumo para monitorear la contaminación del aire en espacios reducidos y obtener información sobre la calidad del aire de manera remota.

Por otra parte, el artículo menciona la OMS y sus límites establecidos para determinar la calidad del aire considerada saludable. Sin embargo, no se especifica qué marco de referencia o normativas específicas se utilizaron para medir y controlar la contaminación ambiental en el contexto del prototipo de IoT descrito en el artículo.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

E3: En el artículo, la IoT se utilizó para desarrollar dispositivos de monitoreo ambiental portátiles e instalables en vehículos que envían mensajes MQTT a un servidor con una base de datos de series temporales ubicada en el Edge computing. Estos dispositivos se utilizaron para monitorear la contaminación del aire en la ciudad de Ibarra, Ecuador, mediante el uso de sensores que miden gases como el CO, NOx y CO2, así como la temperatura y la humedad. La tecnología de comunicación utilizada fue GPS/GPRS y el protocolo de envío de mensajes fue MQTT. Los datos de medición se utilizaron para determinar la concentración de contaminación del aire en la ciudad, clasificándola en tres categorías: baja, normal y alta, a través del uso de un esquema de análisis de datos con detección de valores atípicos y una etapa de clasificación supervisada. Los resultados relevantes mostraron que el porcentaje de rendimiento de los nodos IoT utilizados para inferir la calidad del aire fue mayor al 90%, además de que el consumo de memoria fue de 14 Kbytes en flash y 3 Kbytes en RAM, lo que reduce el consumo de energía y ancho de banda necesarios en las estaciones de medición de contaminación del aire tradicionales.

Asimismo, En este artículo se utiliza como marco de referencia los estándares y normativas comunes que se utilizan para medir y controlar la contaminación ambiental, tales como la OMS y el acuerdo de París, que tiene como objetivo limitar el aumento de la temperatura global por debajo de dos grados Celsius por año. También se mencionan iniciativas de organizaciones mundiales que proponen limitar la emisión de gases contaminantes provenientes de la combustión de combustibles fósiles, especialmente el petróleo. Además, se mencionan las herramientas y prácticas de medición y control de la contaminación ambiental mediante IoT, como las estaciones de monitoreo de calidad del aire y las aplicaciones móviles que reciben información de los diferentes satélites que rodean el globo. También se menciona la red de monitoreo de calidad del aire de Quito y la importancia de conocer el comportamiento humano para detectar cuándo y dónde aumenta el tráfico y las personas están en mayor riesgo de exposición a la contaminación del aire.

E4: En el documento, la IoT se utiliza en este sistema de monitoreo de la calidad del aire para recopilar información en tiempo real de las condiciones atmosféricas en diferentes ubicaciones de la ciudad de Ibarra, Ecuador. Se monitorean mediciones de contaminación como CO2, NOx, luz UV, temperatura y humedad. Se utiliza tecnología de comunicación inalámbrica para transmitir los datos recopilados a un servidor central. Los datos de medición se utilizan para clasificar automáticamente si una ubicación está excediendo los límites establecidos de emisión de gases y para alertar a las autoridades y a la población sobre la calidad del aire. El sistema también puede ser utilizado para comparar los resultados con los límites de emisión de gases establecidos por la OMS y para tomar medidas preventivas.



Por otra parte, el artículo no menciona específicamente qué marco de referencias sobre estándares y normativas se utiliza para medir y controlar la contaminación ambiental. Sin embargo, se menciona que la OMS establece límites para la concentración de ciertos gases contaminantes en el aire y que algunas ciudades de América Latina y el Caribe superan esos límites. También se menciona que, en Ecuador, algunas ciudades tienen índices de contaminación del aire superiores a lo recomendado.

E5: En el artículo, la IoT se utilizó en este sistema para desarrollar dispositivos electrónicos que recogen datos sobre las condiciones ambientales y los transmiten a un servidor de IoT a través de una red de telefonía celular 4G. Los sensores de estos dispositivos miden la contaminación del aire, incluyendo gases tóxicos como el monóxido de carbono, el dióxido de carbono, el ozono y el óxido de nitrógeno. Estos datos se utilizan para determinar el grado de contaminación en tiempo real y para visualizar el estado de la contaminación en una plataforma con una precisión del 90% o más. El objetivo principal de este sistema es ayudar a mitigar los efectos negativos de la contaminación del aire en la salud humana y el medio ambiente.

Asimismo, este artículo no menciona específicamente ningún marco de referencia o normativa comúnmente utilizada para medir y controlar la contaminación ambiental. En lugar de eso, se centra en describir el sistema de medición y control de la contaminación ambiental que se ha desarrollado para la ciudad de Ibarra, Ecuador, utilizando el concepto de Internet of Things (IoT). El sistema se basa en 13 nodos sensor ubicados en diferentes puntos de la ciudad que recopilan datos sobre las condiciones ambientales y los envían a través de una red de teléfonos celulares 4G a un servidor IoT.

E6: En el artículo, la IoT se utilizó en el prototipo MyAIR para recopilar y almacenar los datos de medición de contaminantes del aire de forma inalámbrica en una plataforma de Internet de las Cosas (IoT). Los contaminantes monitoreados incluyen monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂), y material particulado PM₁₀, PM_{2.5} y PM₁. La tecnología de comunicación utilizada incluye Zigbee y Bluetooth en una red malla. Los datos de medición se utilizan para proporcionar información sobre la contaminación presente en una zona determinada y alertar a la población a través de una aplicación móvil. Los resultados de las pruebas de caracterización mostraron que el prototipo MyAIR es una red confiable y escalable para la supervisión en línea de contaminantes del aire.

Por otra parte, En este artículo, se menciona que se utilizó la Norma de Calidad del Aire Ambiente y las directrices de la OMS como marco de referencia para la medición y control de la contaminación ambiental. Además, se menciona el uso de equipos de referencia para realizar mediciones de contaminantes del aire y compararlas con las mediciones



realizadas por el prototipo MyAIR. También se mencionan los errores relativos de algunos de estos equipos de referencia y se utiliza el coeficiente de correlación para evaluar la estabilidad del prototipo. Estos marcos de referencia y herramientas de medición y análisis se utilizan para evaluar la confiabilidad y precisión del prototipo MyAIR para la supervisión en línea de contaminantes del aire.

Discusión

Los artículos E1, E2, E3, E4, E5 y E6 comparten la similitud de utilizar la Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) para monitorear la contaminación ambiental en diferentes contextos y regiones de América Latina. En todos los casos, se utilizan sensores y tecnología de comunicación inalámbrica para recopilar datos de medición y enviarlos a un servidor remoto. Los datos se utilizan para evaluar y visualizar de manera remota los resultados y para determinar el nivel de contaminación en diferentes áreas.

Sin embargo, hay algunas diferencias entre los artículos en cuanto a la tipología de contaminación que se monitorea y en cuanto a los sistemas de monitoreo y alerta que se desarrollan. Por ejemplo, el artículo E1 se centra en el monitoreo de la calidad del agua en un río y utiliza sensores para medir la turbidez, la temperatura, la calidad del agua y el pH. El artículo E2, por otro lado, se centra en el monitoreo de la contaminación del aire en espacios reducidos y utiliza sensores para medir la concentración de material particulado fino en el aire. Los artículos E2, E3, E4 y E5 también se centran en el monitoreo de la contaminación del aire, pero en diferentes ciudades de América Latina, y utilizan sensores para medir la concentración de gases contaminantes como el dióxido de nitrógeno y el monóxido de carbono.

En términos de sistemas de monitoreo y alerta, los artículos E1 y E2 describen sistemas que permiten evaluar y visualizar de manera remota los resultados del monitoreo, mientras que los artículos E3, E4, E5 y E6 describen sistemas que además incluyen la capacidad de emitir alertas en tiempo real sobre altos niveles de contaminación.

En cuanto a la importancia de estos estudios, todos ellos tienen como objetivo reducir la contaminación ambiental y mejorar la calidad del aire a través del monitoreo y la transmisión de datos de medición de contaminantes. Es esencial tomar medidas para reducir la contaminación del aire, ya que esto puede traer graves consecuencias para medio ambiente y la salud humana. Además, al proporcionar alertas y visualización, así como análisis de los datos, estos estudios pueden ayudar a tomar decisiones sobre cómo reducir la contaminación y mejorar la calidad del aire. Por otro lado, los estudios que se enfocan en el análisis del ciclo de vida y el impacto ambiental de dispositivos IoT también son importantes, ya que pueden ayudar a desarrollar tecnologías más sostenibles y menos contaminantes.



En general, el monitoreo y el control del ambiente son importantes para cualquier ciudad del país, ya que la contaminación puede afectar negativamente la salud de la población y el medio ambiente, asimismo tener consecuencias económicas y sociales significativas.

Conclusiones

Una vez realizada la investigación, se pueden considerar algunas posibles líneas de trabajo a futuro, como realizar estudios de caso específicos en diferentes ciudades de la región Sierra y Costa del Ecuador, para evaluar la efectividad de diferentes estrategias de monitoreo de la contaminación utilizando IoT. También puede ser útil promover el control de la contaminación industrial a través del uso de sensores de IoT que pueden monitorear las emisiones de gases contaminantes de las fábricas y otras instalaciones industriales y enviar alertas cuando se superen los límites permitidos. Esto puede contribuir con las autoridades y empresas a implementar medidas efectivas para disminuir las emisiones y proteger la salud, así como el medio ambiente.

Algunos de los contaminantes peligrosos para la salud, son las finas partículas PM_{2.5}, pueden ser monitoreados utilizando IoT y diferentes tecnologías de comunicación como Bluetooth, Wi-Fi, celular o radiofrecuencia. Los datos de medición de contaminación obtenidos con la tecnología de IoT pueden ser usados con herramientas y software estadístico para mejorar el monitoreo y registro de datos en la nube y ser analizados posteriormente para contribuir a la toma de decisiones y reducir la contaminación en áreas urbanas. También es posible monitorear otras mediciones de contaminación como la contaminación del agua o del suelo.

Se sugiere considerar la implementación de sistemas de monitoreo de contaminación ambiental utilizando IoT para mejorar la calidad del aire y la salud de la población. También se sugiere evaluar la viabilidad económica y técnica de implementar redes de sensores IoT para la medición de contaminantes en el aire en diferentes entornos urbanos de la región. Además, se recomienda promover la educación y concientización sobre la importancia de la contaminación del aire y cómo la implementación de tecnologías IoT puede contribuir a mejorarla. También se debería considerar la colaboración con instituciones y organizaciones gubernamentales y no gubernamentales para llevar a cabo proyectos de monitoreo de contaminación ambiental utilizando IoT.

La investigación sobre la contaminación ambiental y el uso de tecnologías de IoT puede proporcionar importantes perspectivas sobre cómo monitorear y controlar la contaminación en diferentes contextos.

Agradecimientos

En la ejecución del presente artículo científico agradezco a Dios y a personas que contribuyeron a su realización, aportando de manera significativa. Es por lo que quiero hacer mención especial a mi tutor que ayudó plasmando ideas y haciendo posible este artículo.



Así mismo agradezco a mis queridos docentes de la prestigiosa alma mater por la formación y conocimientos académicos que han sido pilar fundamental en mi desarrollo profesional para aportar a la comunidad.

Conflictos de intereses

Los autores no declaran conflicto de intereses.

Contribución de los autores

1. Conceptualización: Lincold Antonio Zambrano Cevallos.
2. Curación de datos: Lincold Antonio Zambrano Cevallos.
3. Análisis formal: Lincold Antonio Zambrano Cevallos.
4. Adquisición de fondos: Lincold Antonio Zambrano Cevallos.
5. Investigación: Lincold Antonio Zambrano Cevallos.
6. Metodología: Lincold Antonio Zambrano Cevallos.
7. Administración del proyecto: Lincold Antonio Zambrano Cevallos.
8. Recursos: Lincold Antonio Zambrano Cevallos.
9. Software: Lincold Antonio Zambrano Cevallos.
10. Supervisión: Leonardo Javier Chancay García.
11. Validación: Lincold Antonio Zambrano Cevallos.
12. Visualización: Lincold Antonio Zambrano Cevallos.
13. Redacción – borrador original: Lincold Antonio Zambrano Cevallos, Leonardo Javier Chancay García.
14. Redacción – revisión y edición: Lincold Antonio Zambrano Cevallos, Leonardo Javier Chancay García.

Financiamiento

La investigación no requirió fuente de financiamiento.

Referencias

Ali, S., Glass, T., Parr, B., Potgieter, J., & Alam, F. (2021). Low Cost Sensor with IoT LoRaWAN Connectivity and Machine Learning-Based Calibration for Air Pollution Monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70(1). doi:<https://doi.org/10.1109/TIM.2020.3034109>



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional**
(CC BY 4.0)

- Almalki, F., Alsamhi, S., Sahal, R., Hassan, J., Hawbani, A., Rajput, N., . . . Breslin, J. (2021). Green IoT for Eco-Friendly and Sustainable Smart Cities: Future Directions and Opportunities. *Mobile Networks and Applications*, 1-25. doi:<https://doi.org/10.1007/S11036-021-01790-W>
- Alvear-Puertas, V., Burbano-Prado, Y., Rosero-Montalvo, P., Tözün, P., Marcillo, F., & Hernandez, W. (2022). Smart and Portable Air-Quality Monitoring IoT Low-Cost Devices in Ibarra City, Ecuador. *Sensors*, 22(18). doi:<https://doi.org/10.3390/S22187015>
- Arca, R., López, F., & Delgado, J. (2020). Sistema ciber-físico en la nube para monitoreo de contaminación acústica urbana bajo plataforma IoT. *ProQuest*, 37(11), 91–103. Obtenido de <https://www.proquest.com/docview/2472669081>
- Directiva 2008/50/CE. (2022). Legislación: Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, relativa a la CA ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. Obtenido de <https://www.granada.org/inet/wordenanz.nsf/wwalias/2C32D090FAAFB67AC12583CC0028C05B>
- EPA. (2022a). Aire. Obtenido de US EPA: <https://espanol.epa.gov/espanol/aire>
- EPA. (2022b). Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés). Obtenido de US EPA. : <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>
- Ferrer-Cid, P., Barcelo-Ordinas, J., & Garcia-Vidal, J. (2021). Graph Learning Techniques Using Structured Data for IoT Air Pollution Monitoring Platforms. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(17), 13652–13663. doi:<https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3067717>
- Gómez-Meza, J., Matute-Arias, S., & Negrete, T. (2021). Diseño de un prototipo IoT para el monitoreo de material particulado en espacios reducidos utilizando ESP32 con servidor hospedado en la nube. *Sinergia Académica*, 4(3), 1-18. doi:<https://doi.org/10.51736/SA.V4I3.58>
- LOA. (2022). Código Orgánico del Ambiente. Ministerio del Ambiente. Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- MAATE. (2022). Ecuador es el tercer país en contar con un Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional. Obtenido de Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica: <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-es-el-tercer-pais-en-contar-con-un-sistema-de-contabilidad-ambiental-nacional/>



- Mabrouki, J., Azrou, M., Fattah, G., Dhiba, D., & Hajjaji, S. (2021). Intelligent monitoring system for biogas detection based on the Internet of Things: Mohammedia, Morocco city landfill case. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(1), 10–17. doi:<https://doi.org/10.26599/BDMA.2020.9020017>
- Mahajan, S., Tsai, T., Wu, W., & Chen, L. (2018). Design and implementation of IoT-enabled personal air quality assistant on instant messenger. *MEDES 2018 - 10th International Conference on Management of Digital EcoSystems*, 18(1), 165–170. doi:<https://doi.org/10.1145/3281375.3281398>
- Malleswari, S., & Mohana, T. (2022). Air pollution monitoring system using IoT devices: Review. *Materials Today: Proceedings*, 51(1), 1147–1150.
- Manz, O., Meyer, S., & Baumgartner, C. (2021). Life cycle assessment of an Internet of Things product: Environmental impact of an intelligent smoke detector. *ACM International Conference Proceeding Series*, 21(11), 72-79. doi:<https://doi.org/10.1145/3494322.3494332>
- Marques, G., & Pitarma, R. (2020). A Real-Time Noise Monitoring System Based on Internet of Things for Enhanced Acoustic Comfort and Occupational Health. *IEEE Access*, 8(1), 139741–139755. doi:<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3012919>
- NEPA. (2022). Todo lo que necesita saber sobre NEPA. Obtenido de <https://protectnepa.org/en-espanol/>
- NOM. (2022). Normas Oficiales Mexicanas. (S. d. Salud, Editor) Obtenido de <https://www.gob.mx/salud/en/documentos/normas-oficiales-mexicanas-9705>
- NTE. (2022). NTE INEN 2847. Obtenido de https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2847.pdf
- NTE INEN 2762. (2022). Instituto ecuatoriano de normalización norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 207:2002 (Primera Revisión).
- Pastor-Aparicio, A., Segura-Garcia, J., Lopez-Ballester, J., Felici-Castell, S., Garcia-Pineda, M., & Perez-Solano, J. (2020). Psychoacoustic Annoyance Implementation with Wireless Acoustic Sensor Networks for Monitoring in Smart Cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(1), 128–136. Obtenido de <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2946971>
- Pathak, N., & Bhandari, A. (2018). Understanding the Internet of Things and Azure IoT Suite. *Apress*, 25–51. doi:https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3709-0_2
- Pushpam, E., Kavitha, N., & Karthik, G. (1 de Enero de 2019). IoT Enabled Machine Learning for Vehicular Air



Pollution Monitoring. International Conference on Computer Communication and Informatics, ICCCI. Obtenido de <https://doi.org/10.1109/ICCCI.2019.8822001>

Rastogi, K., Lohani, D., & Acharya, D. (2021). Context-Aware Monitoring and Control of Ventilation Rate in Indoor Environments Using Internet of Things. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(11), 9257–9267. Obtenido de <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3057919>

Rosero, P., López, V., Riascos, J., & Peluffo, D. (2020). Intelligent WSN System for Water Quality Analysis Using Machine Learning Algorithms: A Case Study (Tahuando River from Ecuador). *Remote Sensing*, 12(1988), 1-18. doi:<https://doi.org/10.3390/rs12121988>

Rosero-Montalvo, P., Caraguay-Procet, J., Jaramillo, E., Michilena-Calderon, J., Umaquinga-Criollo, A., Mediavilla-Valverde, M., . . . Peluffo-Ordóñez, D. (Diciembre de 2018). Air quality monitoring intelligent system using machine learning techniques. *Proceedings - 3rd International Conference on Information Systems and Computer Science, INCISCOS*, 75-80. doi:<https://doi.org/10.1109/INCISCOS.2018.00019>

Rosero-Montalvo, P., López-Batista, V., Peluffo-Ordóñez, D., Lorente-Leyva, L., & Blanco-Valencia, X. (2019). Urban Pollution Environmental Monitoring System Using IoT Devices and Data Visualization: A Case Study. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 686–696. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-29859-3_58/COVER

Santos, C., Jimenez, J., & Espinosa, F. (2019). Effect of Event-Based Sensing on IoT Node Power Efficiency. *Case Study: Air Quality Monitoring in Smart Cities. IEEE Access*, 7(1), 132577–132586. doi:<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2941371>

Saravanan, D., & Santhosh Kumar, K. (2021). Improving air pollution detection accuracy and quality monitoring based on bidirectional RNN and the Internet of Things. *Materials Today: Proceedings*. doi:<https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.04.239>

Senthilkumar, R., Venkatakrishnan, P., & Balaji, N. (2020). Intelligent based novel embedded system based IoT enabled air pollution monitoring system. *Microprocessors and Microsystems*, 77(1), 103172. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/J.MICPRO.2020.103172>

Sinaluisa, M., Aucancela, A., Salazar, J., Gordon, J., & Castillo, J. (2020). Proposal of a wireless network for online supervision of air pollutants. *Telemática*, 19(1), 32–47. Obtenido de <https://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/view/366>



- Wan, L., Sun, Y., Lee, I., Zhao, W., & Xia, F. (2021). Industrial Pollution Areas Detection and Location via Satellite-Based IIoT. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(3), 1785–1794. doi:<https://doi.org/10.1109/TII.2020.2992658>
- Wang, W., Feng, C., Zhang, B., & Gao, H. (2019). Environmental Monitoring Based on Fog Computing Paradigm and Internet of Things. *IEEE Access*, 7(1), 127154–127165. doi:<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2939017>
- World Health Organization. (2022). Air pollution. Obtenido de https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
- Yun, J., & Woo, J. (2021). IoT-Enabled Particulate Matter Monitoring and Forecasting Method Based on Cluster Analysis. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(9), 7380–7393. doi:<https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3038862>

