

Universidad de Lima
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería de Sistemas



MODELO DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE INTERIOR BASADO EN ARQUITECTURA IOT

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas

Jesus Ernesto Zevallos Reyna

Código 20081939

Asesor

Carlos Martin Torres Paredes

Lima – Perú

Marzo de 2024

Modelo de monitoreo de calidad de aire interior basado en arquitectura IoT

Jesús Ernesto Zevallos Reyna
20081939@aloe.ulima.edu.pe
Universidad de Lima

Resumen: Como resultado del desarrollo tecnológico industrial se ha producido la contaminación ambiental, factor presente en millones de muertes a nivel mundial. Para evaluar y visualizar estos niveles de contaminación, se llevan a cabo procedimientos de monitoreo ambiental, utilizando tecnologías como las redes de sensores inalámbricos (WSN). En el marco de esta investigación, se comparó diversos sensores destinados a la medición de la calidad del aire, específicamente sensores de gas de la familia MQ, con énfasis en el MQ-135. Este sensor se usó para medir la calidad del aire interior (IAQ) en un laboratorio de una institución de educación superior ubicada en la ciudad de Lima. A lo largo de un periodo de 3 meses, se recolectó datos de manera diaria (lunes a viernes) durante un intervalo aproximado de 5 horas. Estos datos se subieron a la nube mediante la implementación del módulo wifi ESP8266 a la plataforma Thingspeak especializada en aplicaciones de internet de las cosas (IoT). Por último, a través de la aplicación de un modelo autorregresivo integrado de promedio móvil (ARIMA), se pronosticó la calidad del aire a futuro.

Palabras Clave: Calidad de aire interior, monitoreo ambiental, Arduino, sensores MQ, ARIMA.

Abstract: As a result of industrial technological development, environmental pollution has occurred, a factor present in millions of deaths worldwide. To assess and visualize these pollution levels, environmental monitoring procedures are carried out, using technologies such as Wireless Sensor Networks (WSN). In the context of this research, various sensors designed for air quality measurement were compared, specifically gas sensors from the MQ family, with emphasis on the MQ-135. This sensor was used to measure Indoor Air Quality (IAQ) in a laboratory of a higher education institution located in the city of Lima. Over a period of 3 months, data was collected on a daily basis (Monday to Friday) during an approximate 5-hour interval. This data was uploaded to the cloud through the implementation of the ESP8266 wifi module to the Thingspeak platform specialized in Internet of Things (IoT) applications. Finally, using an Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) model, the future air quality was forecasted.

Keywords: Indoor air quality (IAQ), environmental monitoring, Arduino, MQ sensors, ARIMA.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental actualmente es un problema crítico que aumenta conforme pasa el tiempo generando por ejemplo el efecto invernadero y calentamiento global, se produce a causa de los contaminantes gaseosos tanto naturales como consecuencia de la acción humana, lo cual impacta directamente al planeta y sus habitantes, un estudio realizado por la organización mundial de la Salud (World Health Organization [WHO], 2022) nos dice que la contaminación ambiental provoca anualmente 4,2 millones de muertes prematuras debido a la exposición a materia particulada fina, causantes de enfermedades cardiovasculares y respiratorias.

La calidad del aire hace referencia al estado del aire en la atmósfera, y su medición indica el nivel de pureza o nocividad para los humanos que inhalan dicho aire. El monitoreo de la calidad del aire también proporciona información sobre la cantidad de sustancias nocivas presentes en el aire. (Jabbar et al., 2022, p. 2).

Se puede separar la contaminación del aire en exteriores e interiores. Se encuentran numerosas investigaciones y pautas para combatir la contaminación exterior, un ejemplo de ello es el enfoque presentado por Concas et al., (2021) quienes sostienen que la monitorización de las concentraciones de los contaminantes del aire se realiza tradicionalmente mediante el uso de estaciones profesionales de monitoreo de calidad del aire.

En el contexto de la presente investigación, se ha enfocado en examinar la presencia de contaminantes en entornos interiores, como edificios, fábricas, salones de clase, según lo señalado por Saini et al. (2020), el efecto de la contaminación del aire en entornos interiores puede ser hasta 100 veces más pronunciado en comparación con los niveles de contaminantes en exteriores. Esto se debe a que los espacios cerrados facilitan la acumulación de posibles contaminantes con una eficacia significativamente mayor que los espacios al aire libre.

Se propone un modelo de monitoreo de la calidad del aire interior basado en una arquitectura de Internet of Things (IoT), compuesto por sensores electroquímicos de la familia MQ con placa de microcontrolador Arduino UNO, un repositorio de nube y un panel de indicadores gráficos en tiempo real que permite reportes posteriores. También revisamos las funciones, tipos y beneficios de la familia de sensores MQ a ser usados para el monitoreo continuo de los contaminantes del aire, tal como indican Karagulian et al. (2019) varios organismos encargados de la supervisión de la calidad del aire con fines regulatorios, así como autoridades locales, están evaluando la posibilidad de incorporar sensores de bajo costo en sus procedimientos habituales de medición para complementar el monitoreo con mediciones de referencia.

Los sensores de gases MQ han sido empleados para medir la de contaminación del aire bajo el comando de una placa Arduino con el código de control respectivo realizándose lecturas en tiempo real para el nivel de contaminación, es muy importante tomar mediciones ya que, Kumar et al. (2020) “la mala calidad del aire provoca varios riesgos para la salud, como enfermedades cardíacas, cáncer de pulmón y problemas respiratorios” (p. 242).

El objetivo de este estudio consiste en evaluar la calidad del aire en un espacio concurrido y cerrado tal como son los laboratorios en un campus universitario y verificar si se presenta mayor contaminación dependiendo del aforo del ambiente. A partir de estos datos se puede realizar un modelo de análisis de predicción de la contaminación, además de una concientización sobre la calidad de aire interior.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Red de sensores inalámbricos (WSN) en la contaminación del aire

Para el monitoreo de la contaminación ambiental en tiempo real se han desarrollado diversas técnicas, siendo la red de sensores inalámbricos (WSN) y los sistemas basados en Internet de las Cosas (IoT), las tecnologías más ampliamente aceptadas para el monitoreo de la calidad del aire interior (IAQ), esto se debe a su extensa influencia en la revolución industrial (Tran et al., 2020). Se tiene esta definición por parte de Dhingra et al. (2019) quienes indican que una WSN es un conjunto de nodos sensores, cada uno de los cuales tiene la capacidad para detectar distintos factores como por ejemplo la presión y composición del aire o la calidad del agua. Por otra parte, los autores Aziz y Ameen (2021) sostienen que la investigación en el ámbito de la red de sensores inalámbricos es activa, ya que se está avanzando en la implementación de nodos sensores con el objetivo de disminuir costos y mejorar la funcionalidad en áreas extensas. Este avance tiene aplicaciones significativas en la gestión ambiental y el control de emisiones.

A lo largo de este trabajo se hace uso de los sensores electroquímicos de la familia MQ los cuales se especializan en detectar los principales contaminantes que afectan a la calidad del aire, considerando que Esfahani et al. (2020) mencionan que para mejorar exitosamente la calidad del aire interior (IAQ), es esencial monitorear y evaluar de manera eficaz los contaminantes, identificando sus fuentes correspondientes.

La mayoría de las ciudades que monitorean la calidad del aire lo hacen a través de estaciones fijas que cumplen con rigurosos estándares de precisión, pero este método no brinda una adecuada medición ya que Concas et al. (2021) argumentan que no tiene una amplia cobertura, además que resulta un sistema de medición con altos costos, pues una sola estación puede llegar a costar cientos de miles o incluso millones de dólares. De igual manera, Paithankar et al (2023) indican que, debido al tamaño y los gastos asociados con las estaciones tradicionales de monitoreo de la calidad del aire, no resultan óptimas para una implementación extensa en zonas urbanas como es el caso de las ciudades

2.2 Internet de las cosas

Para la recolección de datos de los sensores MQ haremos uso del término internet de las cosas (IoT), Batra et al (2019) señalan que, con el avance de las tecnologías de comunicación de datos, el acceso a la información se ha vuelto más rápido para las personas. Además, hoy en día, las personas están interactuando con objetos físicos, una práctica que se encuentra dentro de la categoría de Internet de las Cosas.

En la actualidad internet de las cosas (IoT) tiene un gran impacto en la vida cotidiana y se va intensificando cada vez más, básicamente es la interconexión de objetos comunes a internet, esto facilita la programación de dichos objetos

para que funcionen sin usuarios controlándolos, se tiene la siguiente descripción por parte de Batra et al. (2019) quienes reportan que internet de las cosas (IOT) constituye un sistema integrado de dispositivos físicos, dispositivos múltiples, y otros sistemas que incorporan sensores, softwares y actuadores. Este conjunto posibilita la comunicación y conexión con el entorno físico, lo que permite recopilar e intercambiar datos con otros usuarios o dispositivos

Los autores Ullo y Sinha (2020) sostienen que las redes de sensores inalámbricos (WSN) ofrecen la conectividad de los datos recopilados a través de sensores y dispositivos de Internet de las Cosas (IoT). Estos datos se emplean para el registro, monitoreo y control de diversas condiciones ambientales, tales como la calidad del agua, la temperatura, la calidad del aire, entre otros.

Se hizo uso de IoT para enviar todos los datos de calidad de aire que recolectaron los sensores MQ en el rango de horas establecido, a un servidor alojado en la nube, con lo que se analizaron los datos en tiempo real. La magnitud de los sensores seleccionados es importante puesto que Kelechi et al. (2022) comentan que idealmente, los sensores que sean eficientes, económicos y de tamaño relativo son la elección óptima para monitorear el aire ambiental.

El internet de las cosas también se implementa en el sector ambiental, para monitorear los niveles de calidad de aire interior, Barot y Kapadia (2020) informan que IoT cambió el paradigma de monitoreo de la contaminación del aire, de estar basado en estaciones de monitoreo costosas y fijas administradas por el gobierno, a sistemas de monitoreo portátiles de bajo costo. Con la invención de la tecnología de detección de contaminantes del aire de bajo costo, muchos investigadores están trabajando en el sistema de monitoreo del aire.

2.3 Sensores especializados en el monitoreo de la contaminación del aire

Varios circuitos se fundamentan en las redes de sensores inalámbricos para el monitoreo de la calidad del aire, vamos a revisar unos cuantos:

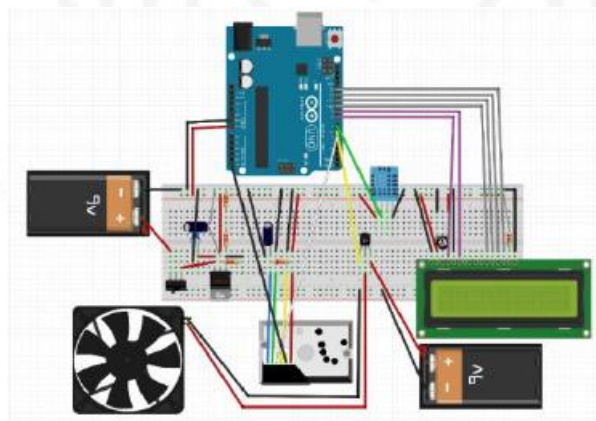
(Zhou et al., 2020), nos explican el siguiente diagrama:

Un sistema inteligente de monitoreo de la calidad del aire interior que incluye sensores, centro de control y actuador como componentes principales del sistema. Los sensores utilizados en el sistema son (i) sensor de polvo GP2Y1014AU y (ii) sensor de temperatura y humedad DHT11. El centro de control está basado en Arduino Leonardo, The Things Network (TTN) y Ubidots. Finalmente, los actuadores utilizados son el ventilador y la alerta SMS de Ubidots.

El diagrama del mencionado sistema de monitoreo se puede ver en la Figura 1, a continuación:

Figura 1

Diagrama del sistema



Nota. De “Internet of Things (IoT) Enabled Smart Indoor Air Quality Monitoring System” por M. Zhou, A. Abdulghani, M. Imran, Q. Abbasi., 2020, *Proceedings of the 2020 International Conference on Computing, Networks and Internet of Things*, 20, p.89-93 (<https://doi.org/10.1145/3398329.3398342>).

“Este sistema monitoreará la calidad del aire en términos de temperatura, humedad y PM2.5. Cuando la temperatura y la humedad superan el valor umbral predefinido se enviará un mensaje de alerta al teléfono móvil de los usuarios” (Zhou et al., 2020, p. 92).

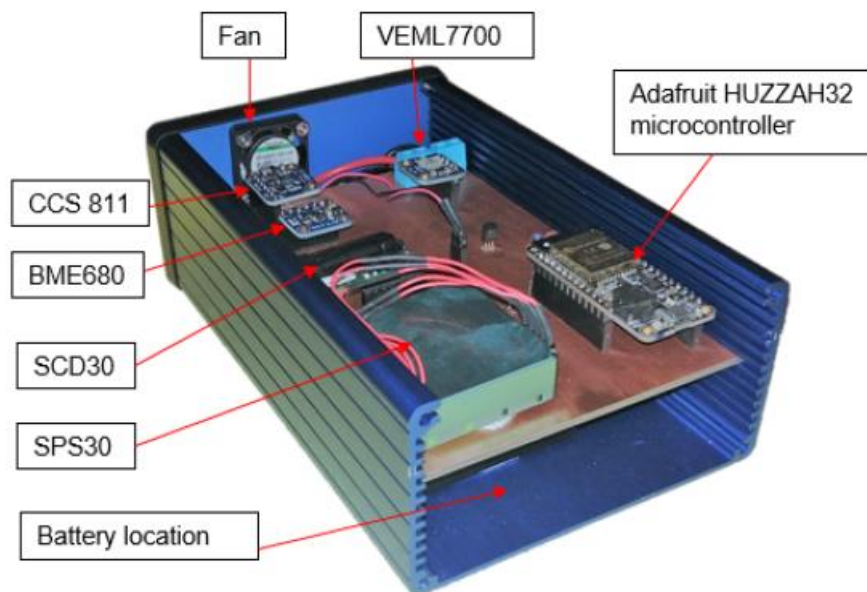
Un segundo sistema de monitoreo de la calidad ambiental nos trae otro circuito, Esfahani et al. (2020) “consiste en un conjunto de sensores de bajo costo, interconectados mediante I2C, controlados mediante una placa de

microcontrolador de desarrollo HUZAZH32 (Adafruit). Este módulo incluye un módulo Wi-Fi que puede enviar datos en tiempo real al servidor” (p. 2)

Se eligieron los sensores de presión, temperatura, humedad y gas (BME680), sensor de carbono (CCS811), sensor de CO2 (SCD-30), sensor de materia particulada (SPS30) y sensor de luz (VEML7700) que, junto al microcontrolador, son alimentados por 6 baterías de litio cubiertos por una carcasa con PCB, el prototipo se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Prototipo ensamblado del sistema de monitoreo



Nota. De “Smart City Battery Operated IoT Based Indoor Air Quality Monitoring System” por S. Esfahani, P. Rollins, J. Specht, M. Cole, J. Gardner, 2020, *2020 IEEE SENSORS*, pp. 1-4. ([https://doi: 10.1109/SENSORS47125.2020.9278913](https://doi.org/10.1109/SENSORS47125.2020.9278913))

Cuando se enciende, el microcontrolador se conecta automáticamente a la infraestructura Wi-Fi, al servidor en la nube. Luego dirige la energía al ventilador y a cada uno de los sensores individualmente, configurándolos en sus modos de manejo (para recopilar y almacenar datos). Los datos se transmiten desde los sensores al microcontrolador y se almacenan en la memoria. Luego se accede a los datos de calidad del aire en la memoria del microcontrolador y se procesan, calculando promedios móviles y calculando el índice de calidad del aire. Estos datos se transmiten al servicio Blynk de terceros, que transmite los datos a la aplicación del teléfono inteligente, en tiempo real, y se los muestra al usuario. (Esfahani et al., 2020, p.2)

3. ANTECEDENTES

3.1 Calidad del aire interior:

La calidad del aire se mide con la cantidad de los diferentes contaminantes que existen dentro del aire, los límites máximos permisibles (LMP) de contaminantes en el aire generalmente dependen de cada país, y existen agencias especializadas tanto en la calidad del aire interior como en la exterior como por ejemplo la EPA (Agencia de Protección Ambiental) en EE. UU. o MINAM (Ministerio del ambiente) en Perú.

Para poder medir la calidad del aire es necesario realizar un seguimiento de varios índices de contaminación ambiental y así poder tomar medidas preventivas, como Munera et al., (2021) nos dicen “varios estudios han demostrado que la exposición a la contaminación del aire a una edad temprana puede afectar la función pulmonar y aumentar el riesgo de enfermedades respiratorias, así como la probabilidad de mortalidad prematura” (p. 3470).

Es importante entender la naturaleza e implicaciones de los contaminantes para desarrollar estrategias efectivas de mitigación y preservar la calidad del aire que respiramos, entre estos diversos contaminantes, la organización mundial de la salud (World Health Organization [WHO]) expone que el Monóxido de carbono (CO), Dióxido de Nitrógeno

(NO₂), Dióxido de Azufre (SO₂), Materia particulada (PM), Ozono (O₃) son la causa principal de la contaminación del aire.

3.2 Red de sensores inalámbricos

Una red de sensores inalámbricos se compone de un conjunto de nodos sensores, los nodos transmisores que reúnen la información y la envían, y los nodos receptores que reciben esta información. Se pueden utilizar en una variedad de campos, como por ejemplo el monitoreo de la calidad ambiental, Aziz y Ameen, (2021) sostienen que las redes de sensores inalámbricos son sistemas interconectados que monitorean las condiciones del entorno. Los nodos se diseñan con la finalidad de ser energéticamente eficientes y distribuirse de manera descentralizada.

3.3 Monitoreo ambiental

En todas partes del mundo se implementan sistemas de medición de la calidad del aire, como se indicó previamente el modelo de monitoreo que consta de estaciones fijas que reportan una medición constante es el sistema más tradicional en varios países.

Otro método de monitoreo, por ejemplo, utilizando nodos MCU con sensores MQ2 y MQ9 es presentado por Kumar et al. (2020) consiste en: “Nodo MCU que tiene un módulo Wi-Fi que brinda acceso para cargar datos a la nube. Enviaremos datos usando Thing Speak API para que podamos ver los niveles de PM1.0, PM2.5 y PM10 con humo y nivel de monóxido de carbono en la web con visualización en una plataforma Thing Speak” (p. 244).

Saini et al. (2020). Nos traen un sistema de monitoreo basado en IoT que consta de:

La estructura se divide principalmente en cuatro partes: sistema de monitoreo, almacenamiento de datos, servicios de análisis de datos y sistema de visualización de datos. El sistema de monitoreo incluye varios sensores de calidad de aire interior (IAQ), microcontrolador y sistemas de comunicación. Los datos recopilados a través de los sensores se almacenan además en un sistema de almacenamiento de datos que puede ser en línea o físico. Además, los servicios de análisis de datos se pueden emplear para analizar el impacto de los contaminantes en las instalaciones de destino. El sistema de visualización ayuda además a los usuarios finales a obtener actualizaciones instantáneas sobre los niveles de IAQ. (p. 2).

3.4 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

La Organización de las Naciones Unidas (ONU, objetivos de desarrollo sostenible) nos informa que el 25 de septiembre de 2015, se aprobó una serie de objetivos globales por parte de líderes mundiales con el propósito de eliminar la pobreza, preservar el medio ambiente y garantizar el bienestar para toda la humanidad, formando así parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Cada uno de estos objetivos está acompañado por metas concretas que se pretende alcanzar en el transcurso de los próximos 15 años.

El ODS 13 se centra en "Acción por el clima" y tiene como objetivo tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos. La medición de la calidad del aire es relevante para el ODS 13 porque la contaminación del aire está directamente relacionada con las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos que contribuyen al cambio climático. Al utilizar sensores para monitorear la calidad del aire interior, se pueden obtener datos valiosos sobre la presencia de sustancias contaminantes y su impacto ambiental.

En el contexto del ODS 13, la implementación de tecnologías como los sensores MQ-135 puede contribuir a la conciencia sobre la calidad del aire y facilitar acciones más efectivas para reducir las emisiones y mejorar la salud ambiental, alineándose así con los objetivos globales de sostenibilidad.

4. METODOLOGÍA

La investigación se desarrolla en un campus universitario en la ciudad de Lima. Los sensores se instalaron en un aula de laboratorio donde se realizaron mediciones entre los meses de septiembre a diciembre del año 2022, durante aproximadamente 5 horas al día. Se envió la información recolectada en tiempo real a una nube para un análisis posterior y así crear medidas preventivas o análisis de predicciones. Se verificó que los datos obtenidos cumplieran con los estándares de calidad (ECA).

4.1 Elección de los sensores

Primero se realizó una comparativa de algunos sensores de medición de la contaminación para evaluar cuál se adaptaba mejor a esta investigación. El tipo y rango de medición, así como el precio aproximado y algunas características se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.*Comparativa de sensores*

Sensor	Tipo de Medición	Rango de Medición	Precio Aproximado (S/)	Características	Cita
SDS011	Partículas (PM 2.5, PM10)	0-999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	S/ 150	Salida digital USB, ventilador incorporado, rápido tiempo de respuesta	Solectroshop. (s.f.)
MH-Z19	Dióxido de Carbono (CO ₂)	0-5000 ppm	S/ 230	Sensor NDIR, Salidas UART, PWM	Naylamp Mechatronics. (s.f.)
CCS811	Compuestos Orgánicos Volátiles	400-8192 ppm	S/ 80	Mide CO ₂ y TVOC, cuenta con salida I2C	JoslinPeru. (s.f.)
MQ-135	Dióxido de Carbono (CO ₂), Amoníaco, Metano y otros gases	10-1000 ppm	S/ 12	Sensor de gas adecuado para la calidad del aire, ampliamente utilizado, tamaño compacto	Electromania. (s.f.)

Se eligieron los sensores de la familia MQ debido a su fácil implementación, tamaño compacto y precio asequible, además como se aprecia en la tabla 1, no se limita a medir un solo tipo de contaminante, puede detectar varios gases lo que permite una evaluación más completa de la calidad de aire interior

4.2 Sensores MQ

La familia de sensores MQ cuenta con una amplia variedad. A continuación, se describe 2 de los sensores empleados en la investigación, los cuales también son mostrados en la Figura 3.

4.2.1 MQ-7

El sensor MQ-7 se especializa en la medición del monóxido de carbono (CO) y tiene un rango de medición de 20 a 2000 ppm, cuenta con salida analógica y digital, un potenciómetro con el cual se puede calibrar el sensor. (Naylamp Mechatronics. (s.f.))

4.2.2 MQ-135

Se emplea mayormente para el monitoreo de gases proveniente de la quema de combustibles fósiles y el parque automotor, uno de los principales gases que detecta es el de dióxido de carbono (CO₂), este sensor también puede detectar el amoníaco (NH₃), alcohol, Óxido nítrico (NO), humo, entre otros.

Su rango de detección varía entre los 10 a 1000 ppm y al igual que otros sensores de la familia MQ cuenta con las mismas características de salida analógica y digital, potenciómetro, voltaje de 5V y conexión a tierra GND. (Electromania. (s.f.)). Las partes de este sensor se muestran en la Figura 4.

Figura 3.
Sensores MQ-7 y MQ-135



4.3 Normas de calidad del aire

Las mediciones se realizarán para validar que los contaminantes estén dentro del rango permitido por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP) dictados por el Ministerio de Ambiente (MINAM).

En la Tabla 2 se puede apreciar los ECA para el aire, dictados en el decreto supremo N° 003 del año 2017, el cual se maneja en la actualidad, que establece el cumplimiento obligatorio de diversas normas técnicas peruanas con productos derivados de hidrocarburos, donde la medición se da en microgramos por metro cúbico [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].

Tabla 2.

Estándares de Calidad Ambiental para Aire

Parámetros	Periodo	Valor [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Criterios de evaluación	Método de análisis
Benceno (C_6H_6)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO_2)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras ($\text{PM}_{2,5}$)	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM_{10})	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg)	24 horas	2	No exceder (NE)	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O_3)	8 horas	100	Máxima media diaria	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	
Plomo (Pb) en PM_{10}	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	Plomo (Pb) en PM_{10} (Espectrofotometría de absorción atómica)
Sulfuro de Hidrógeno (H_2S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

Nota. De MINAM, 2017

<https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-003-2017-MINAM.pdf>

La siguiente fórmula sirve para convertir las medidas de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a partes por millón (ppm): (1)

$$\text{Partes por millón (PPM)} = \frac{\mu\text{g}/\text{m}^3}{PM * (10^3/24.5)} \dots (1)$$

Donde PM viene a ser el Peso Molecular PM - (g/mol) del gas a medir.

4.4 Calibración de los sensores

Para que un sensor pueda generar lecturas fiables, antes de la medición de los contaminantes, se debe de pasar por un proceso de calibración el cual consta de 2 fases, el precalentamiento y la propia calibración (dependiendo del contaminante a medir)

4.4.1 Precalentamiento del sensor

Esta operación se realiza una sola vez y sirve para eliminar del sensor una posible humedad de fábrica, tenemos que conectar el sensor a su alimentación y a GND (conexión a tierra) y se procede a esperar aproximadamente un periodo de 24 horas con la finalidad de liberarlo de cualquier contaminación o humedad de fábrica.

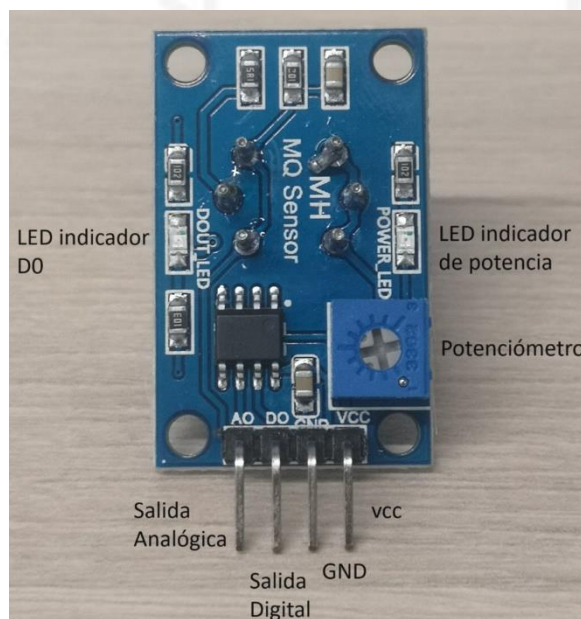
4.4.2 Calibración

La calibración es necesaria según el sensor y se realiza para saber si este tiene alguna desviación que pueda generar una lectura errónea, esto con la finalidad de validar el correcto funcionamiento del sensor y la fiabilidad de sus lecturas.

La calibración se hace dependiendo del sensor y del contaminante que vamos a medir, utilizando la salida digital del sensor, así como el potenciómetro, una vez que el umbral esté calibrado se puede leer la salida digital y comprobar la presencia del gas

Figura 4.

Partes de un sensor MQ-135



4.5 Thingspeak

Thingspeak es la plataforma seleccionada para la visualización de las mediciones de los sensores MQ-135 porque está diseñado específicamente para aplicaciones de Internet de las cosas (IoT) y monitoreo de sensores (Thingspeak. (s.f.)). Ofrece integración fácil con dispositivos IoT y se centra en la recopilación y visualización de datos de manera específica para estos casos, su estructura y funcionalidades están optimizadas para gestionar y visualizar datos de sensores, así como su compatibilidad con placas Arduino, módulos ESP8266 y uso de APIs que simplifican la conexión y el intercambio de datos entre los sensores y la plataforma.

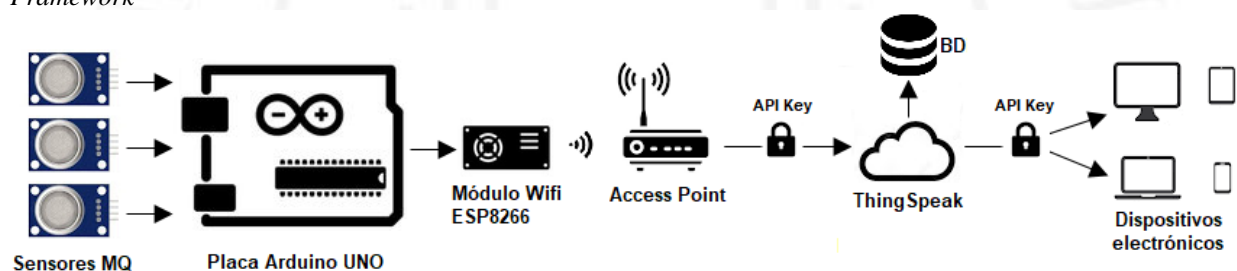
Thingspeak también nos permite opciones para exportar datos a una base de datos externa por lo que podemos guardar las mediciones que tomamos día a día y aplicar el análisis predictivo, lo que hace de esta plataforma la ideal para realizar la investigación propuesta.

4.6 Framework

A continuación, se explica brevemente el marco de trabajo para la elaboración de esta investigación:

Como se observa en la Figura 5, se comienza por los sensores MQ que se conectan a la placa Arduino UNO en los pines correspondientes para generar las lecturas analógicas. Mediante un módulo wifi se establece conexión a una red inalámbrica para poder enviar a la nube las lecturas de los sensores en tiempo real, configurando la red a la cual nos conectamos y registrando las lecturas con los API Key brindados por la plataforma elegida. Finalmente, mediante el uso de los API Key podemos visualizar en nuestros dispositivos electrónicos el grado de contaminación en el laboratorio donde se realiza la medición y también descargar la base de datos para poder trabajarla.

Figura 5.
Framework

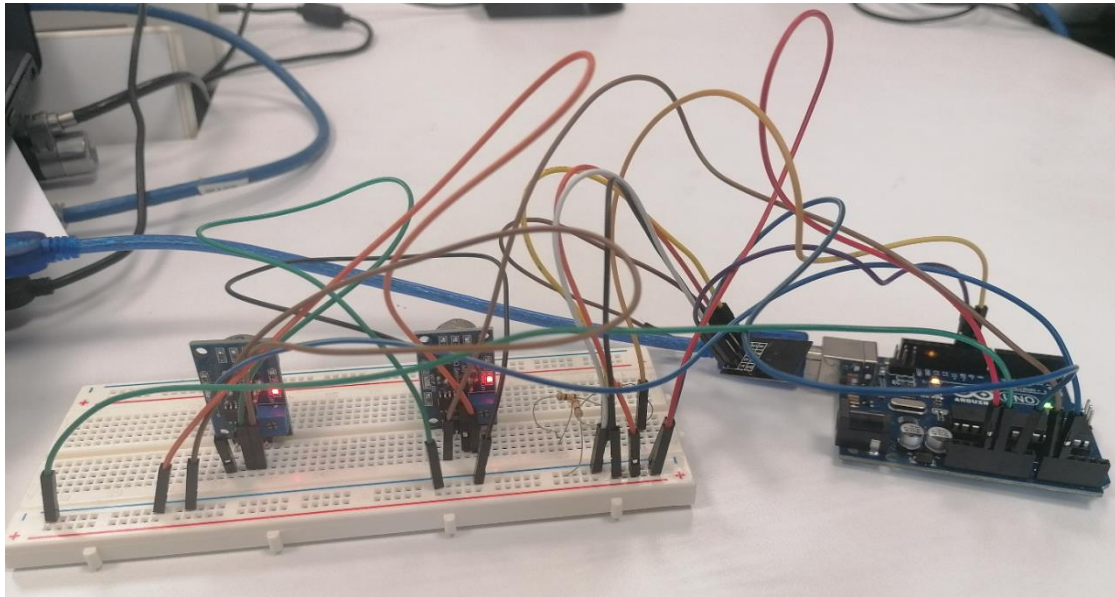


4.7 Visualización en la nube

Para el envío de los datos recopilados por dos sensores de calidad de aire (MQ-7, MQ-135) a Thingspeak, el circuito se armó con un protoboard y cables dupont utilizando 5 pines del módulo wifi (Transmisión, recepción, conexión a tierra, CH-PD para encender el módulo y voltaje de 3.3V).

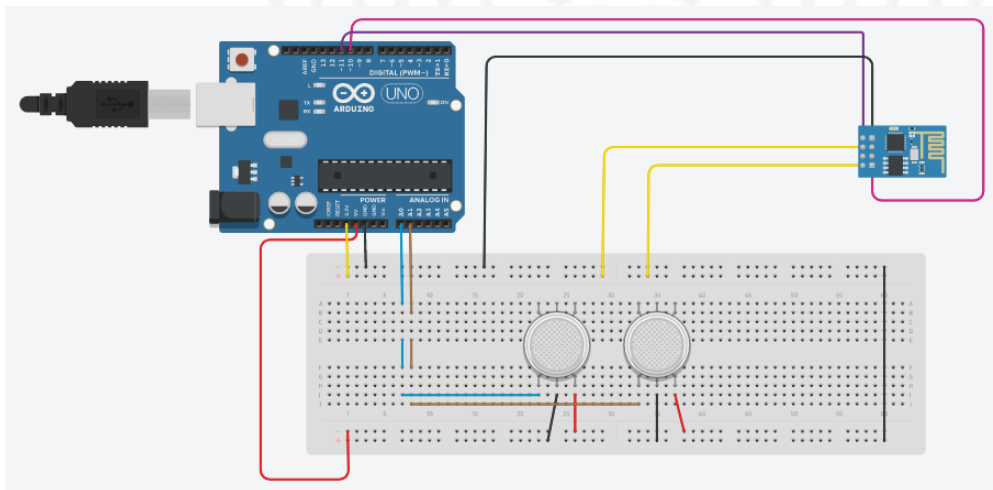
Se trabaja usando los pines analógicos, la conexión a tierra y el voltaje de 5V de los sensores MQ, la placa Arduino cuenta con los suficientes pines para alimentar al módulo y los sensores, incluyendo los pines de voltaje de 5V y 3.3V (sensores y módulo respectivamente), el circuito armado se puede apreciar en la Figura 6.

Figura 6.
Vista de la implementación con 2 sensores



En la Figura 7, se muestra un diagrama de la implementación del ensamblaje realizado en la plataforma Tinkercad únicamente para una mejor visualización.

Figura 7.
Diagrama de la implementación

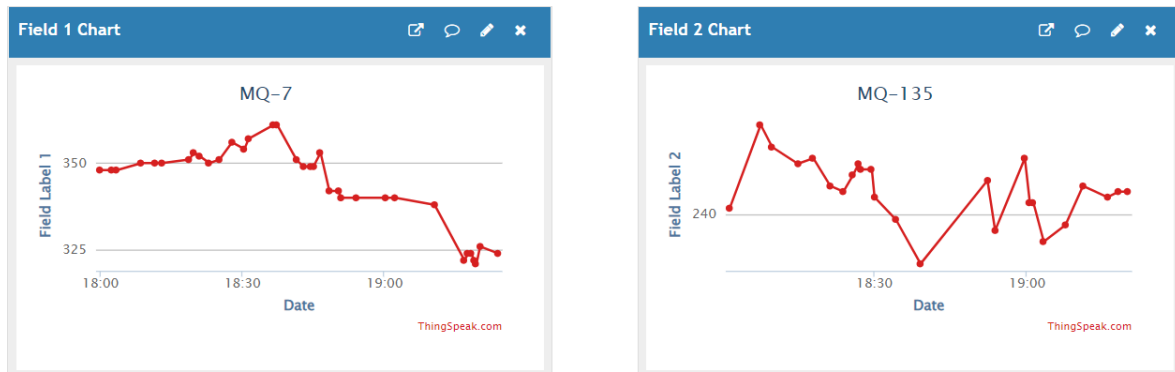


Ya que para estas pruebas se trabaja con 2 sensores es necesario añadir 2 campos (Fields) en el código, con esto podremos ver 2 gráficos en Thingspeak, correspondientes a cada uno de los sensores.

Mediante un print podemos ver las lecturas que mide el sensor en el monitor serial y mediante un return se añade el nuevo valor en Thingspeak tal como se muestra en la Figura 8. El Field 1 corresponde al sensor MQ-135, midiendo la presencia de diferentes gases como el dióxido de carbono, amoníaco, alcohol y benceno, las pruebas fueron realizadas en marzo de 2022.

Figura 8.

Visualización de las lecturas de 2 sensores MQ en la nube en tiempo real.



5. RESULTADOS

5.1 Lecturas Monitor serial

Figura 9.

Lecturas en el monitor serial

```

COM4
0. at command => AT OK
1. at command => AT+CWMODE=1 OK
2. at command => AT+CWJAP="ulwifis","" OK
222
3. at command => AT+CIPMUX=1 OK
4. at command => AT+CIPSTART=0,"TCP","api.thingspeak.com",80 OK
5. at command => AT+CIPSEND=0,51 Fail
1. at command => AT+CIPCLOSE=0 Fail
188
0. at command => AT+CIPMUX=1 OK
1. at command => AT+CIPSTART=0,"TCP","api.thingspeak.com",80 OK
2. at command => AT+CIPSEND=0,51 OK
4. at command => AT+CIPCLOSE=0 OK
186
0. at command => AT+CIPMUX=1 OK
6. at command => AT+CIPSTART=0,"TCP","api.thingspeak.com",80 OK
7. at command => AT+CIPSEND=0,51 OK
9. at command => AT+CIPCLOSE=0 Fail
181
    
```

La Figura 9 muestra un ejemplo de lectura en el monitor serial, a continuación, se procederá a explicar detalladamente:

El primer comando AT es para verificar la funcionalidad del módulo, con el segundo lo ponemos en modo estación para visualizar las redes disponibles y el tercero es para conectarse a la red wifi, como en este caso es una red abierta, el campo password está vacío.

Con el comando AT+CIPMUX=1 habilitamos el número de conexiones como cliente TCP (1: múltiples conexiones (hasta 4), 0: única conexión)

Con AT+CIPSTART, nos conectamos como cliente a la página web a donde vamos a enviar los datos, en este caso "Thingspeak" y en el puerto 80.

Con AT+CIPSEND establecemos la longitud de datos a enviarse con un máximo de 2048 bytes.

Y finalmente con el comando AT+CIPCLOSE cerramos la conexión.

Los valores que se generan después de los comandos AT son las lecturas de los sensores, las cuales se envían a Thingspeak y pueden visualizarse en tiempo real.

5.2 Modelo de validación de sensores

Es esencial realizar una verificación de la operatividad del sensor con el objetivo de garantizar la fiabilidad de las lecturas proporcionadas. Para llevar a cabo esta evaluación, se llevaron a cabo mediciones con un circuito consistente usando el framework previamente presentado. Se emplearon 8 sensores MQ-135 distintos y los resultados obtenidos reflejan que los sensores presentan un comportamiento transitorio de medición, después del cual se llega a mediciones estables.

Estas mediciones y su análisis son fundamentales para comprender el rendimiento y la estabilidad de los sensores, asegurando así la precisión y consistencia de los datos recopilados, en las Figuras 10, 11, 12 y 13 se muestran los resultados de la experimentación con los 8 sensores, siendo el eje Y los gases nocivos en ppm y el eje X el tiempo.

Figura 10.

Tiempo transitorio de medición sensor 1 y 2

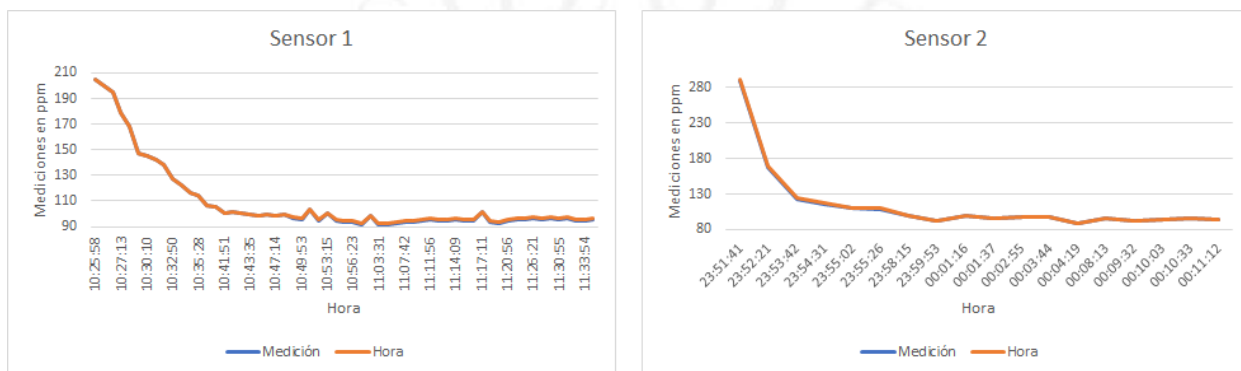


Figura 11.

Tiempo transitorio de medición sensor 3 y 4

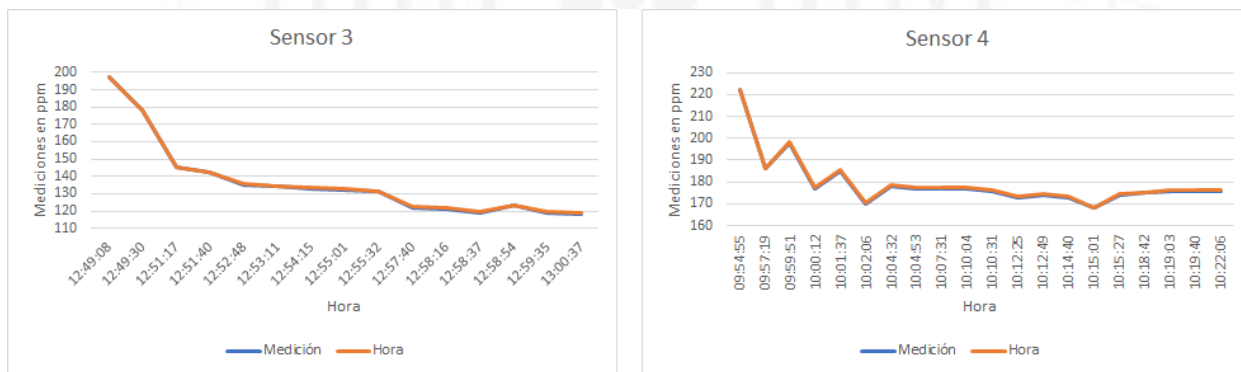


Figura 12.

Tiempo transitorio de medición sensor 5 y 6

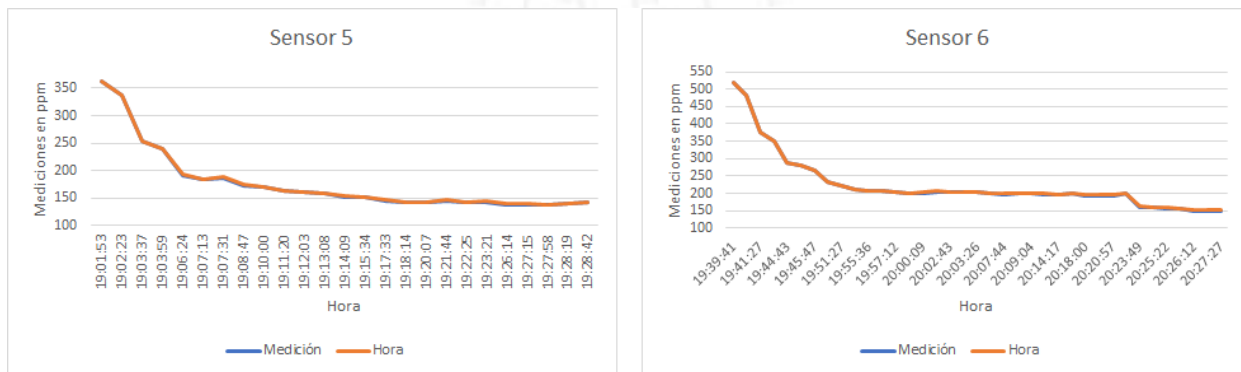
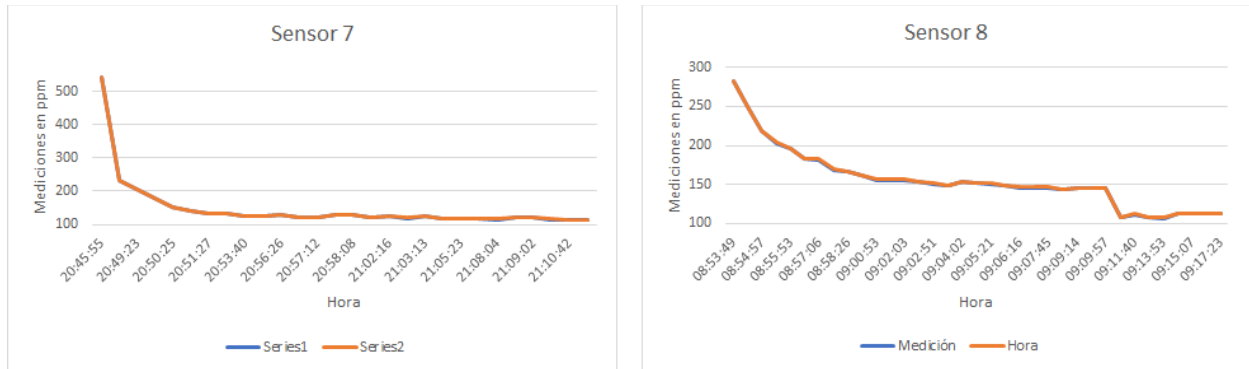


Figura 13.

Tiempo transitorio de medición sensor 7 y 8



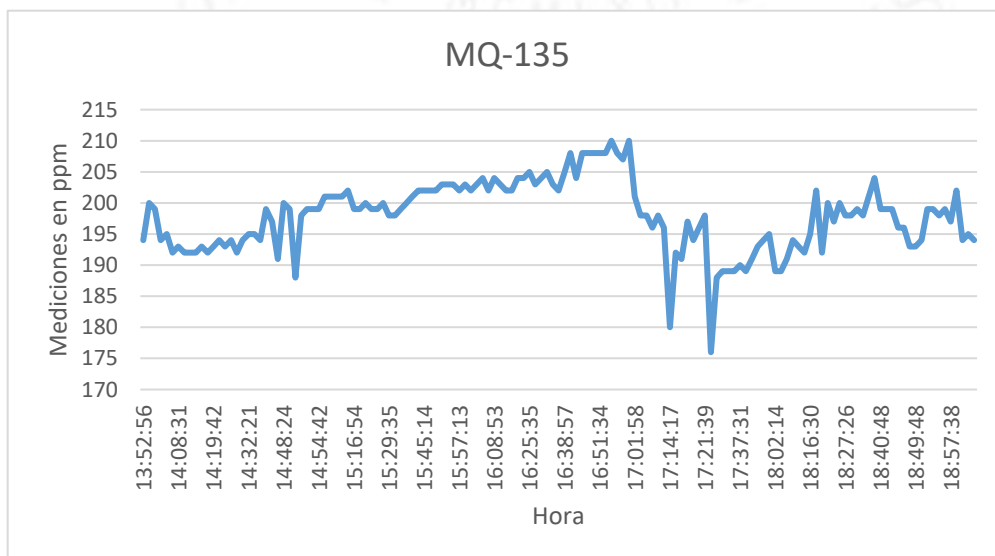
Se puede apreciar que los 8 sensores inician con mediciones altas de contaminación del aire al inicio de la experimentación, y a partir de cierto punto se estabiliza, si tomamos la hora donde el sensor nos da resultados estables y la restamos con la hora inicial, tenemos el tiempo aproximado de estabilización por sensor, es importante establecer este periodo de tiempo, ya que, si bien el sensor entrega medidas ni bien se energiza el circuito, no se pueden considerar fiables. En los 8 sensores el rango máximo de estabilización observado fue de 45 minutos

5.3 Dataset y aforo del ambiente de experimentación

Se llevaron a cabo recopilaciones de datos durante un período de tres meses en un laboratorio específico del pabellón de ingeniería en la universidad, correspondiente al ciclo académico 2022-2. Este laboratorio cuenta con una capacidad para albergar a 30 alumnos, 1 profesor y 4 asistentes, totalizando 35 personas. Las mediciones se realizaron de lunes a viernes desde las 13:00 hasta las 19:00 horas. Cada día, se registró el nivel de contaminación junto con la hora correspondiente. Posteriormente, se llevó a cabo un ejercicio de comparación entre las mediciones y la cantidad de personas presentes durante las horas de clase. La figura 14 ilustra las lecturas del sensor MQ-135 en el laboratorio asignado, durante un lunes, las clases se extienden desde las 11:00 a 17:00 horas. Justamente a las 17:00 horas es donde se registra una disminución en las mediciones, lo que muestra una correlación entre el descenso en los niveles de contaminación y el momento en que los alumnos concluyen sus clases y abandonan el ambiente, contribuyendo así a la descongestión del espacio.

Figura 14.

Visualización de las medidas en partes por millón (ppm) del sensor junto con la hora de registro.



Los horarios asignados en este laboratorio para el ciclo en el cual se realizó la investigación se encuentran anexados al final del documento.

5.4 Análisis predictivo

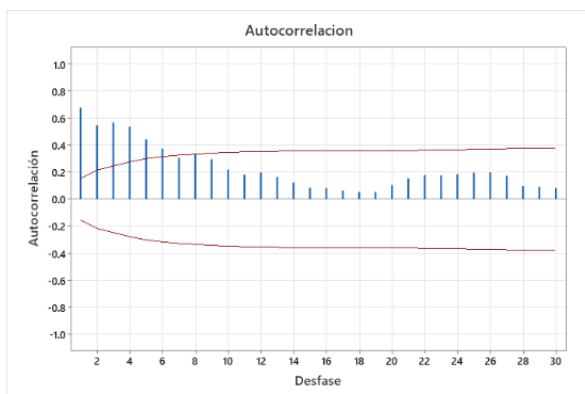
Para la elección de la herramienta a generar análisis predictivo nos basamos en 2 factores: tendencia temporal y estacionalidad. El primer factor puede presentarse en nuestro dataset debido a la cantidad de personas en el laboratorio durante las mediciones o el uso del sistema de ventilación. En el segundo factor, podría manifestarse estacionalidad como patrones cíclicos, al iniciar la clase y el laboratorio empezar a llenarse de personas, de igual manera al concluir y despejar el ambiente.

Es por esto por lo que con la ayuda de un modelo autorregresivo integrado de media móvil (ARIMA) se puede extrapolar los datos de los sensores para generar una predicción a futuro en base a los datos del pasado. Hacemos uso del software Minitab ya que nos permite saber la autocorrelación y autocorrelación parcial de los datos por día (ver Figura 15), si los resultados tienden a caer a 0 significa que tienen una serie interna de correlación que nos permite pronosticar.

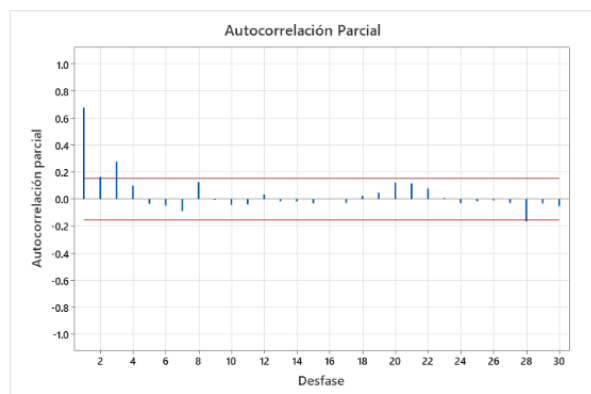
Figura 15.

Autocorrelación y Autocorrelación Parcial del sensor MQ-135

Función de autocorrelación: MQ-135



Función de autocorrelación parcial: MQ-135



ARIMA se basa en 3 componentes:

AR: Autorregresivo

I: Diferenciación (el número de veces que la serie debe ser diferenciada para hacerla estacionaria)

MA: Media móvil

Existen 2 modelos que se utilizan para pronosticar: modelo autorregresivo y modelo de media móvil, vamos a comparar dichos modelos para saber cuál presenta menor error y es el indicado a usar en el pronóstico.

Continuando con los datos del sensor MQ-135 en la Figura 16 podemos ver la suma de los cuadrados de los residuos siendo MC el error del modelo a comparar

El error del modelo autorregresivo es MC: 72.1907

El error del modelo de media móvil es: 64.3051

Figura 16.

Comparación de MC con modelos autorregresivo y media móvil

Modelo Autorregresivo			Modelo de Media Móvil		
Sumas de los cuadrados de los residuos			Sumas de los cuadrados de los residuos		
GL	SC	MC	GL	SC	MC
159	11478.3	72.1907	159	10224.5	64.3051
<i>Se excluyeron los pronósticos retrospectivos</i>			<i>Se excluyeron los pronósticos retrospectivos</i>		

En base a los resultados podemos concluir que el modelo de media móvil presenta menor error, por lo que este modelo se usará para analizar los datos y pronosticar la tendencia, el siguiente paso es generar el pronóstico con los coeficientes del modelo que tiene menor error, es decir un modelo autorregresivo 0, diferenciación 1 y media móvil 1 o ARIMA (0, 1, 1) para una cantidad de pronósticos igual a los que tenemos en medición del sensor por día, en este caso para los siguientes 130 datos, en la Tabla 3 se puede apreciar los datos pronosticados con un margen de error entre el límite inferior y límite superior:

Tabla 3.

Modelo ARIMA: MQ-135

Periodo	Pronóstico	Límite inferior	Límite Superior
163	194.569	178.848	210.289
164	194.637	177.488	211.787
165	194.706	176.238	213.174
166	194.775	175.077	214.473
167	194.844	173.988	215.700
168	194.913	172.959	216.866
169	194.981	171.983	217.979
170	195.050	171.053	219.047
171	195.119	170.162	220.075
172	195.188	169.307	221.068
173	195.256	168.484	222.028
174	195.325	167.690	222.960
175	195.394	166.922	223.866
176	195.463	166.177	224.748
177	195.532	165.455	225.608
178	195.600	164.753	226.447
179	195.669	164.070	227.268
180	195.738	163.404	228.072
181	195.807	162.755	228.859

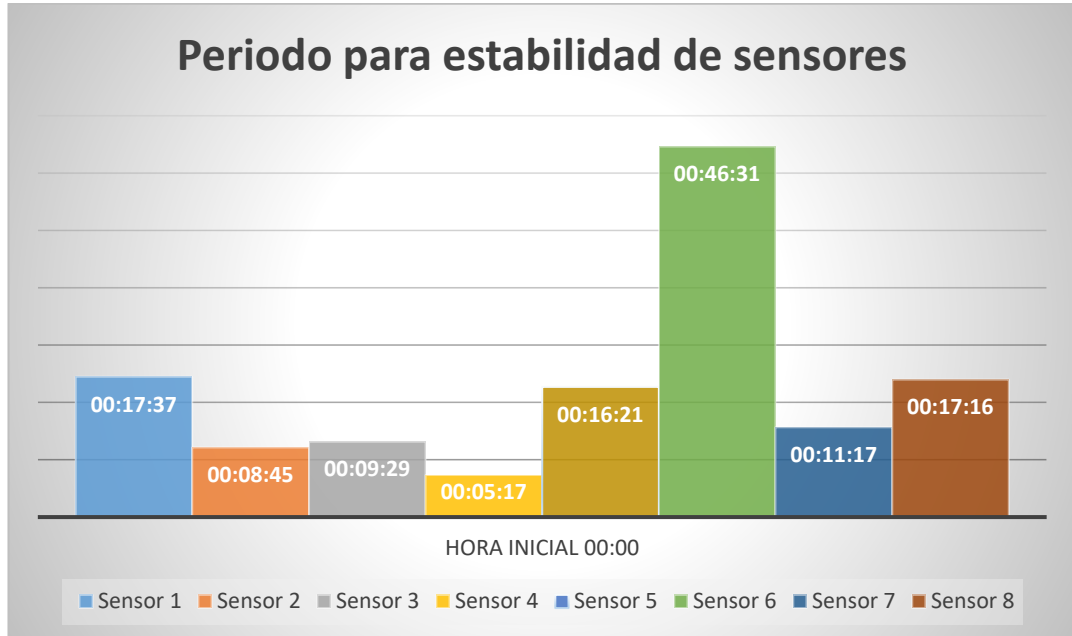
6. DISCUSIÓN

6.1 Periodo transitorio y periodo estable

En la Figura 17 se pueden observar los ensayos realizados a un grupo de 8 sensores MQ-135 tomando como hora inicial 00:00, que es cuando el sensor empieza a funcionar, hasta que las mediciones son estables

Figura 17.

Tiempo de estabilización de los sensores



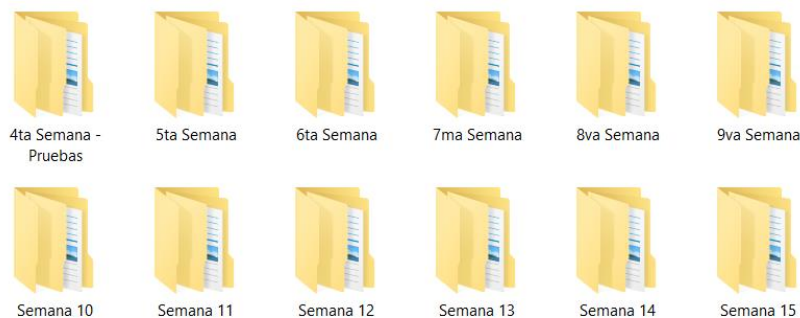
Al respecto se puede observar que el 87.5% de los sensores logra estabilizarse en un periodo máximo de 18 minutos, sin embargo, hay 1 que sobrepasa este margen de tiempo llegando a más de 40 minutos, para este trabajo de investigación se ha tomado un umbral para mediciones confiables de 50 minutos que sería un 8% mayor al sensor con el periodo de estabilidad máximo (sensor 6)

6.2 Pronóstico ARIMA

El dataset que abarca las medidas con la que trabajamos está estructurada por días y semanas, siguiendo el patrón del ciclo universitario, el cual consta de 16 semanas, como se muestra en la figura 18, se empezó a realizar las mediciones a partir de la semana 4 del ciclo universitario 2022-2.

Figura 18.

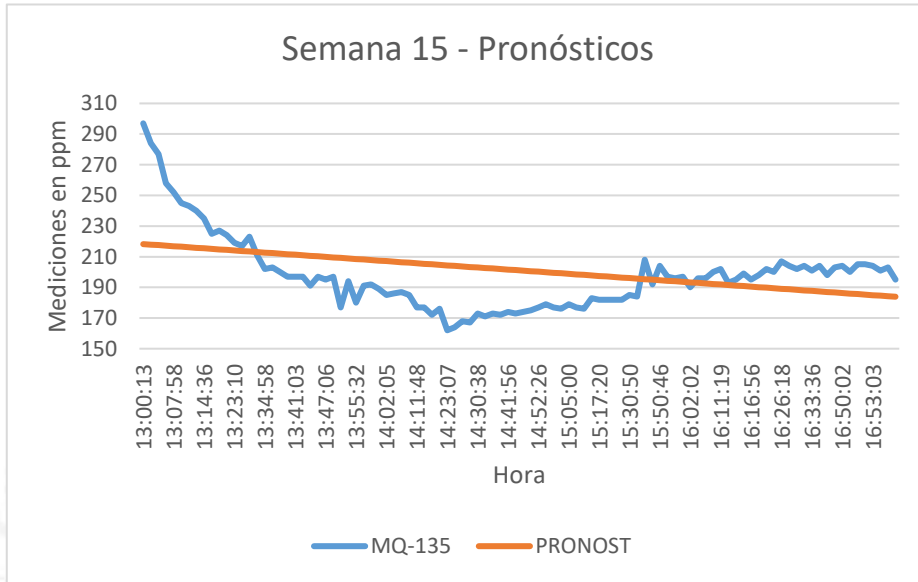
Dataset organizado por semanas de medición



Se usaron los datos de mediciones correspondientes al lunes de la semana 14 para el pronóstico con el modelo ARIMA, los datos pronosticados se compararon con los de la siguiente semana, es decir, el lunes de la semana 15. En la Figura 19 se puede observar que existe una similitud con tendencia decreciente entre los datos reales obtenidos (azules) y los pronosticados (naranjas).

Figura 19.

Lecturas sensor MQ-135 y pronóstico



6.3 Comparación de datos

A continuación, empleamos ARIMA para generar un pronóstico de los días lunes, desde la semana 5 hasta la semana 15, cubriendo toda nuestro dataset.

Para las semanas 9, 11 y 14 el modelo autorregresivo presentó un menor error promedio esperado (MC) por lo que se hizo uso del modelo autorregresivo ARIMA (1, 1, 0), los resultados son mostrados en las Figuras 20 y 21.

Figura 20.

Comparación de lecturas reales con el pronóstico ARIMA, semana 9 y 11

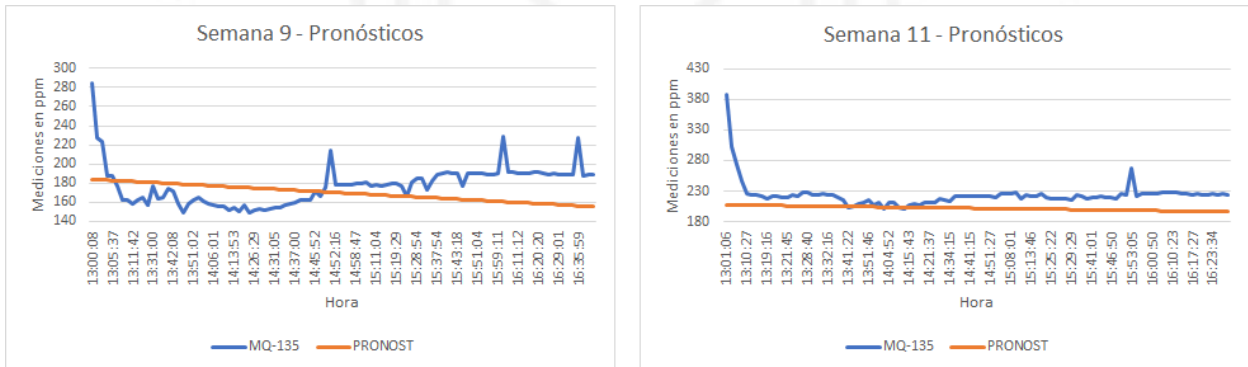
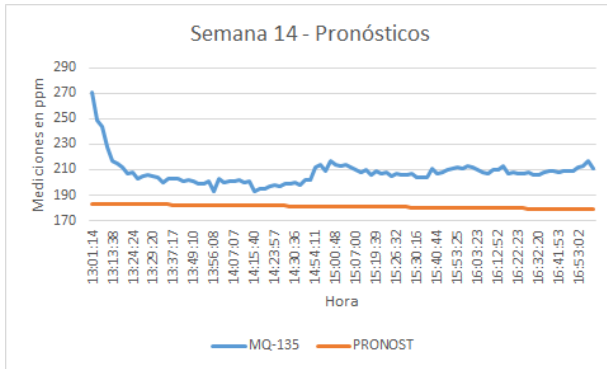


Figura 21.

Comparación de lecturas reales con el pronóstico ARIMA, semana 14



Para las demás semanas se trabajó con el modelo de media móvil ARIMA (0, 1, 1), los resultados obtenidos son presentados en las Figuras 22, 23, 24 y 25.

Figura 22.

Comparación de lecturas reales con el pronóstico ARIMA, semanas 6 y 7

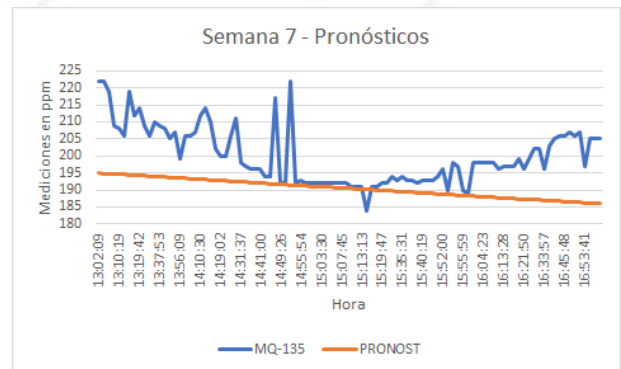
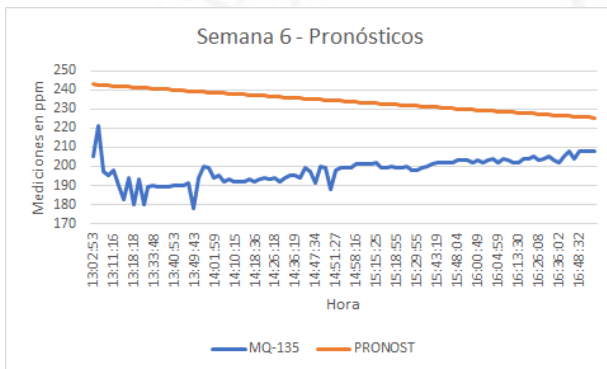


Figura 23.

Comparación de lecturas reales con el pronóstico ARIMA, semanas 8 y 10

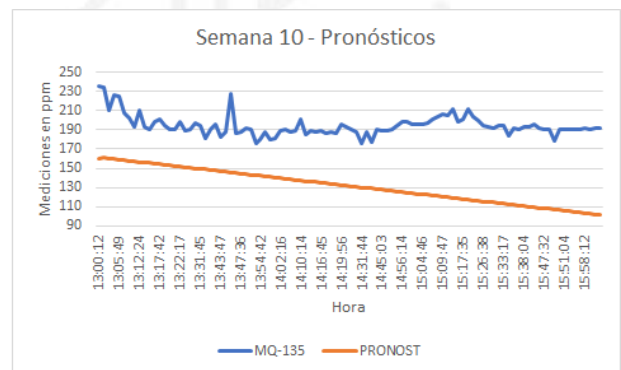
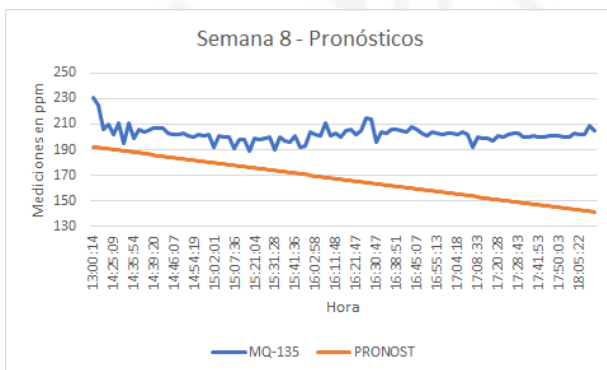


Figura 24.

Comparación de lecturas reales con el pronóstico ARIMA, semanas 12 y 13



Figura 25.

Comparación de lecturas reales con el pronóstico ARIMA, semanas 15



En algunas semanas se presenta una divergencia entre los datos pronosticados generados por ARIMA y los datos reales de los sensores, estas diferencias se explican porque se han identificado algunos factores fuera del control de la experimentación, tales como cantidad de alumnos, funcionamiento del aire acondicionado dentro del laboratorio, horario de uso libre del laboratorio por parte de los alumnos o el mismo cambio en el clima por el calentamiento global.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para el desarrollo de la investigación se recopiló información de los niveles de contaminación del aire en el laboratorio de una universidad en la ciudad de Lima, durante un periodo de 3 meses (septiembre, octubre y noviembre del 2022). Se observó un aumento en la contaminación cuando las clases estaban en curso y había una aglomeración de personas en el ambiente, seguido de una disminución al finalizar las mismas. Para tener un control más preciso de la variable monitoreada, se sugiere conocer el número exacto de personas que están presentes en el ambiente monitoreado por clase, dado que no todos los alumnos asisten de manera sistemática.

Con los diferentes ensayos realizados se demuestra que los sensores MQ presentan un tiempo de comportamiento transitorio y un tiempo de comportamiento estable. Es importante identificar estos tiempos para cada sensor, con el fin de establecer un umbral recomendado de operación a partir del cual obtengamos lecturas fiables.

En base a los resultados obtenidos con una muestra de 8 sensores MQ-135, se estableció un tiempo de respuesta de 50 minutos basado en el tiempo transitorio máximo que se encontró, sin embargo, la mayoría de los sensores encontraron la estabilidad en un periodo no mayor a 30 minutos. Se recomienda fijar este tiempo como umbral para mediciones confiables, si un sensor no se estabiliza en el límite de tiempo propuesto entonces se debe descartar.

Comparando los pronósticos realizados durante los 3 meses, se corroboró que la tendencia predicha por el modelo ARIMA se ajusta en la mayoría de los casos a las mediciones reales, y que el mejor modelo a utilizar para las mediciones fue el de media móvil ARIMA (0, 1, 1) ya que fue utilizado para un 70% de las semanas. Se recomienda comparar ambos modelos (autorregresivo y media móvil) para cada pronóstico a realizar sin asumir que se va a utilizar un solo modelo.

8. TRABAJOS FUTUROS

Como una continuación de este trabajo se sugiere continuar con la investigación agregando más sensores en el laboratorio y armar una red (WSN) usando protocolos de enrutamiento para que se comuniquen entre ellos, ya sea centralizando todos los datos para luego enviarlos a la nube o hacerlo de forma distribuida donde cada sensor enviaría sus lecturas de forma individual.

También podemos emplear modelos computacionales alternativos para evaluar los niveles de contaminación y simular estrategias de control, como por ejemplo haciendo uso de redes neuronales artificiales, ampliando el tiempo de experimentación para un periodo que abarque el ciclo académico completo.



REFERENCIAS

- Aziz, Z. A. A., & Ameen, S. Y. A. (2021). Air pollution monitoring using wireless sensor networks. *Journal of Information Technology and Informatics*, 1(1), 20-25.
- Barot, V., & Kapadia, V. (2020, July). Air quality monitoring systems using IoT: A Review. In *2020 International Conference on Computational Performance Evaluation (ComPE)* (pp. 226-231). IEEE.
- Batra, I., Verma, V., & Malik, A. (2019, June). A comparative analysis of data collection methods in internet of things. In *Proceedings of the Third International Conference on Advanced Informatics for Computing Research* (pp. 1-7).
- Concas, F., Mineraud, J., Lagerspetz, E., Varjonen, S., Liu, X., Puolamäki, K., Nurmi, P., & Tarkoma, S. (2021). Low-cost outdoor air quality monitoring and sensor calibration: A survey and critical analysis. *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, 17(2), 1-44.
- Dhingra, S., Madda, R. B., Gandomi, A. H., Patan, R., & Daneshmand, M. (2019). Internet of Things mobile-air pollution monitoring system (IoT-Mobair). *IEEE Internet of Things Journal*, 6(3), 5577-5584.
- Electromania. (s.f.). Sensor de Calidad de Aire MQ135. Electromania. Recuperado de https://www.electromania.pe/producto/__trashed/
- Esfahani, S., Rollins, P., Specht, J. P., Cole, M., & Gardner, J. W. (2020, October). Smart city battery operated IoT based indoor air quality monitoring system. In *2020 IEEE SENSORS* (pp. 1-4). IEEE.
- Jabbar, W. A., Subramaniam, T., Ong, A. E., Shu'lb, M. I., Wu, W., & de Oliveira, M. A. (2022). LoRaWAN-Based IoT System Implementation for Long-Range Outdoor Air Quality Monitoring. *Internet of Things*, 19, 100540.
- JoslinPeru. (s.f.). Sensor de Carbono CCS811. JoslinPeru. Recuperado de <https://joslinperu.com/producto/sensor-de-carbono-ccs811/>
- Karagulian, F., Barbiere, M., Kotsev, A., Spinelle, L., Gerboles, M., Lagler, F., ... & Borowiak, A. (2019). Review of the performance of low-cost sensors for air quality monitoring. *Atmosphere*, 10(9), 506.
- Kelechi, A. H., Alsharif, M. H., Agbaetuo, C., Ubadike, O., Aligbe, A., Uthansakul, P., ... & Aly, A. A. (2022). Design of a low-cost air quality monitoring system using arduino and thingspeak. *Comput. Mater. Contin*, 70, 151-169.
- Kumar, A., Kumari, M., & Gupta, H. (2020, February). Design and analysis of iot based air quality monitoring system. In *2020 International Conference on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC)* (pp. 242-245). IEEE.
- Munera, D., Aguirre, J., & Gomez, N. G. (2021). IoT-based air quality monitoring systems for smart cities: A systematic mapping study. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 11(4), 3470.
- Naciones Unidas. (s.f.). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Naylamp Mechatronics. (s.f.). Sensor MH-Z19 Gas CO2 - Dióxido de carbono. Naylamp Mechatronics. Recuperado de <https://naylampmechatronics.com/sensores-gas/269-sensor-mh-z19-gas-co2-dioxido-de-carbono.html>
- Naylamp Mechatronics. (s.f.). Sensor MQ-7 Gas Monóxido de Carbono (CO). Recuperado de <https://naylampmechatronics.com/sensores-gas/74-sensor-mq-7-gas-monoxido-de-carbono-co.html>
- Paithankar, D. N., Pabale, A. R., Kolhe, R. V., William, P., & Yawalkar, P. M. (2023). Framework for implementing air quality monitoring system using LPWA-based IoT technique. *Measurement: Sensors*, 26, 100709.
- Saini, J., Dutta, M., & Marques, G. (2020). Indoor air quality monitoring systems based on internet of things: A systematic review. *International journal of environmental research and public health*, 17(14), 4942.
- Soelectroshop. (s.f.). Nova PM Sensor SDS011 – Sensor de calidad del aire de alta precisión. Soelectroshop. Recuperado de <https://soelectroshop.com/es/sensores-calidad-del-aire/5228-nova-pm-sensor-sds011-sensor-de-calidad-del-aire-alta-precision-laser-pm25-modulo-test-polvo.html>
- ThingSpeak. (s.f.). ThingSpeak for IoT Projects. Recuperado el 23 de octubre de 2023, de <https://thingspeak.com/>
- Tran, V. V., Park, D., & Lee, Y. C. (2020). Indoor air pollution, related human diseases, and recent trends in the control and improvement of indoor air quality. *International journal of environmental research and public health*, 17(8), 2927.

- Ullo, S. L., & Sinha, G. R. (2020). Advances in smart environment monitoring systems using IoT and sensors. *Sensors*, 20(11), 3113.
- World Health Organization (WHO). (2022, 19 de diciembre). *Calidad del aire ambiental (exterior)*. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- World Health Organization (WHO). (s.f.). *Contaminación atmosférica*. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Zhou, M., Abdulghani, A. M., Imran, M. A., & Abbasi, Q. H. (2020, April). Internet of things (IoT) enabled smart indoor air quality monitoring system. In Proceedings of the 2020 international conference on computing, networks and internet of things (pp. 89-93).



ANEXOS

Por limitaciones de volumen de material complementario, se ha omitido en este documento, pero se encuentra disponible en el siguiente repositorio:

- <https://github.com/Breusio/Tesis-2>
- Código Arduino del módulo wifi ESP8266
- Código Arduino de los sensores
- Código Arduino módulo y sensores MQ-7, MQ-135
- Datasheets sensores
- Ensamble módulo-placa
- Horarios Labs 2022-2 I2-204
- Scoring Table de plataformas IoT



Reporte-v12

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%	13%	6%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad de Lima Trabajo del estudiante	2%
2	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
3	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.ulima.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	Matthew Smallman-Raynor, Andrew D. Cliff. "The Geographical Spread of Avian Influenza A (H5N1): Panzootic Transmission (December 2003–May 2006), Pandemic Potential, and Implications", Annals of the Association of American Geographers, 2008 Publicación	<1%