

**PONTIFICA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE
ESMERALDAS**



CARRERA:

INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

PREVIO AL GRADO ACADÉMICO DE INGENIERÍA
EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

TEMA DE INVESTIGACIÓN:

ECOSISTEMA DE INTERNET DE LAS COSAS ORIENTADO A LA
ADQUISICIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS AMBIENTALES Y DE CALIDAD
DEL AIRE

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

REDES Y COMUNICACIONES

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIER EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

AUTOR:

ANGULO MONTENEGRO KARLA LILIBETH

ASESOR:

PICO VALENCIA PABLO (PhD.)

ESMERALDAS, 2023

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el Reglamento de Grado de la PUCESE previa la obtención del título de INGENIERA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN.

.....
PhD. Pablo Pico Valencia
Tutor de Tesis

.....
Mgt. Javier Velastegui Izurieta
Lector 1

.....
Mgt. Xavier Quiñónez Ku
Lector 2

.....
Mgt. Xavier Quiñónez Ku
Coordinador del Área Industria, Tecnología y Comunicación

AUTORÍA

Yo, Angulo Montenegro Karla Lilibeth con número de cédula de identidad 0802702852 manifiesto que mediante la presente investigación sobre el tema **“ECOSISTEMA DE INTERNET DE LAS COSAS ORIENTADO A LA ADQUISICIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS AMBIENTALES Y DE CALIDAD DEL AIRE”** los resultados obtenidos como tesis de grado, previo a la obtención del título de **“INGENIERA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN”** son de total responsabilidad del autor, y que se ha respetado las fuentes de información consultadas, realizando las citas correspondientes y los resultados alcanzados son totalmente personales, únicos y legítimos. Al mismo tiempo declaro que todo el contenido incluyendo resultados, discusión, conclusiones, recomendaciones y otros efectos legales académicos que se desglosan, son y serán exclusiva responsabilidad académica del autor y de la PUCESE.

.....

Karla Lilibeth Angulo Montenegro

C.I. 0802702852

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico principalmente a Dios por haberme dado vida, salud, sabiduría e inteligencia para poder obtener este logro y por ayudarme a superar los retos que se interpusieron en mi camino.

Dedico con todo mi corazón a mi madre Carmela Montenegro Cortez por estar presente en cada momento de mi vida, por estar siempre apoyándome en todos mis proyectos, compartiendo mis triunfos y derrotas, por todos aquellos consejos llenos de sabidurías que me ha brindado y que siempre los aplicó mientras trabajaba en mi formación desde que nací, por sus bendiciones dada a lo largo de mi vida y por sus oraciones que siempre me protegen. Por eso le doy mi trabajo en ofrenda de su amor y paciencia.

A mi hermana Wendy Angulo Montenegro por sus palabras de aliento y deseos de superación, su gran corazón me lleva en admirarla cada día más. También lo dedico a mi amado hijo y esposo por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más.

A mi padre, hermano y demás familiares con quienes he compartido todos estos años, por todos aquellos momentos llenos de felicidad, por ser parte de mis recuerdos y deseo de superación.

Karla Angulo Montenegro

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios principalmente por darme salud, vida y sabiduría. Para mi amada madre ya que ella ha sido un pilar fundamental durante mi carrera universitaria, por todo el amor, consejos y principalmente su apoyo incondicional.

Agradezco a todos los docentes que han sido parte en mi formación profesional y por compartir sus conocimientos.

Un agradecimiento especial a mi asesor Pablo Pico por haberme guiado en todo momento tanto en las aulas de clases y durante este proyecto, por despejar las dudas existentes durante la elaboración de este trabajo de integración curricular.

Karla Angulo Montenegro

Índice de contenidos

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN.....	I
AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
Índice de contenidos	V
Índice de Figuras	VII
Índice de Tablas	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT.....	X
INTRODUCCIÓN.....	1
Presentación del problema.....	1
Planteamiento del problema	2
Justificación	2
Objetivos	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Bases teóricas-científicas.....	5
1.1.1. Calidad del aire en Ecuador.....	5
1.1.2. Internet de las Cosas (IoT).....	8
1.1.3. Comunicación en IoT	15
1.2. Antecedentes de la investigación.....	19
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	23
2.1. Delimitación de la investigación	23

2.2. Tipo de investigación.....	24
2.3. Métodos de investigación	24
2.4. Operacionalización de las variables	25
2.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	25
2.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	29
2.7. Materiales	29
2.8. Normas éticas.....	31
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	32
3.1. Análisis del sistema	32
3.1.1. Casos de uso (interacción del usuario con el sistema de monitoreo). 32	
3.1.2. Diagrama de secuencia (funcionalidad de los nodos sensores de IoT).	33
3.2. Arquitectura del sistema	35
3.2.1. Implementación de la capa de percepción (nodo sensor).....	35
3.2.2. Implementación de la capa de comunicación (nodo Gateway)	37
3.2.3. Implementación de la capa de aplicación (Plataforma IoT (Ubidots))	40
3.3. Evaluación de los datos proporcionados por el prototipo	41
3.3.1. Análisis de los datos de calidad ambiental monitoreados	44
3.4. Evaluación de la usabilidad del sistema	46
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN	49
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECONMEDACIONES.....	51
5.1. Conclusiones.....	51
5.2. Recomendaciones	52
ANEXOS.....	57

Índice de Figuras

Figura 1 Niveles de la calidad del aire	7
Figura 2 Arquitectura del internet de las cosas (IoT)	10
Figura 3 Plataforma IoT.....	12
Figura 4 Plataforma IoT Ubidots.....	13
Figura 5 Plataforma ThingSpeak.....	14
Figura 6 Plataforma Cayenne	14
Figura 7 Plataforma Node-Red.....	15
Figura 8 Arquitectura MQTT	18
Figura 9 Esquemización del protocolo HTTP.	18
Figura 10 Mapa de la zona sur de la ciudad de Esmeraldas. Fuente: Google Maps, 2022.	23
Figura 11 Caso de uso interacción del usuario con el sistema de monitoreo de la plataforma Ubidots.	33
Figura 12 Diagrama secuencial de la aplicación Ubidots.	34
Figura 13 Arquitectura del sistema.....	35
Figura 14 Diagrama de flujo del funcionamiento del nodo sensor.	36
Figura 15 Diseño y esquematización del prototipo electrónico.	37
Figura 16 Prototipo para el monitoreo de la calidad del aire.	37
Figura 17 Diagrama de flujo del funcionamiento del nodo Gateway.	38
Figura 18 Diagrama de comunicación MQTT	39
Figura 19 Envío de datos mediante el protocolo de comunicación.....	39
Figura 20 Diagrama de flujo del funcionamiento de la plataforma IoT.....	40
Figura 21 Presentación de gráfica lineal del dashboards de la plataforma Ubidots de las variables de temperatura, humedad, pm y altura.....	41
Figura 22 Datos de temperatura obtenida por el sistema.	42
Figura 23 Datos de humedad obtenida por el sistema.	42
Figura 24 Datos densidad del polvo obtenida por el sistema.	43
Figura 25 Datos de medición de la densidad de partículas.	43
Figura 26 Datos obtenidos del sensor barómetro (presión).....	44

Figura 27 Comparación de datos de humedad y material particulado de la caja 1.	45
Figura 28 Comparación de datos de humedad y material particulado de la caja 2.	45
Figura 29 Comparación de datos de temperatura, densidad de polvo y material particulado sector PUCESE.....	46
Figura 30 Comparación de datos de temperatura, densidad de polvo y material particulado sector CODESA.....	46
Figura 31 Evaluación de la usabilidad del sistema.....	47
Figura 32 Entrevista con Msc. Eduardo Rebolledo sobre la calidad del aire.....	57

Índice de Tablas

Tabla 1 Concentraciones de contaminantes criterio que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire.	6
Tabla 2 Comparación de los estándares	17
Tabla 3 Cuadro de variables e indicadores. Nodos IoT.....	26
Tabla 4 Cuadro de variables e indicadores. Calidad del producto del hardware. 27	
Tabla 5 Cuadro de variables e indicador. Calidad de datos.	28
Tabla 6 Información Modulo ESP8266.....	29
Tabla 7 Características Sensor DHT11	30
Tabla 8 Características Sensor GP2Y1010AU0F.....	30
Tabla 9 Características Sensor BMP180	31
Tabla 10 Muestra en función del tiempo.	44

RESUMEN

La contaminación es un factor que plantea graves riesgos para la salud. En Ecuador, el Ministerio del Medio Ambiente es responsable de monitorear la calidad del aire de acuerdo con las normas respectivas que establecen los límites aceptables de contaminación.

El objetivo principal de esta investigación es crear un sistema de monitoreo continuo de parámetros meteorológicos y contaminación del aire utilizando tecnología de comunicación basada en Internet de las Cosas para generar información útil para la toma de decisiones en el campo de la calidad del aire. El desarrollo metodológico de este estudio se basa en un modelo de arquitectura de referencia para sistemas IoT. Se basa en desarrollar un prototipo de sistema adecuado para un entorno o aplicación específica, a partir de la correcta selección de los componentes disponibles. En este caso, se utilizó un controlador Esp8266 y un sensor de monitoreo de contaminación como entradas al hardware electrónico. Por el lado del software, se implementó un sistema de memoria gráfica y un sitio web Ubidots para la plataforma IoT.

El resultado principal de esta investigación fue un prototipo de IoT de estación electrónica lista para usar y de bajo costo que permite monitorear los niveles de contaminación del aire ambiental y permite acceder a los datos desde cualquier dispositivo con acceso a Internet a través de un sitio web. Otro resultado de esta investigación es: Conexión inalámbrica con estaciones electrónicas, almacenamiento de datos generados, configuración de plataforma IoT a nivel de visualización web.

Palabras Claves: Microcontroladores, Parámetros meteorológico, Esp8266, BPM, Ubidots, Arquitectura IoT, Plataforma IoT.

ABSTRACT

Pollution is a factor that poses serious health risks. In Ecuador, the Ministry of Environment is responsible for monitoring air quality according to the respective norms that establish acceptable pollution limits.

The main objective of this research is to create a continuous monitoring system for meteorological parameters and air pollution using communication technology based on the Internet of Things to generate useful information for decision making in the field of air quality. The methodological development of this study is based on a reference architecture model for IoT systems. It is based on developing a prototype system suitable for a specific environment or application, starting from the correct selection of the available components. In this case, an Esp8266 controller and a pollution monitoring sensor were used as inputs to the electronic hardware. On the software side, a graphical memory system and an Ubidots website were implemented for the IoT platform.

The main outcome of this research was a ready-to-use and low-cost electronic station IoT prototype that allows monitoring ambient air pollution levels and allows accessing the data from any device with Internet access through a website. Another result of this research is: wireless connection with electronic stations, storage of generated data, configuration of IoT platform at web visualization level.

Keywords: Microcontrollers, Meteorological parameters, Esp8266, BPM, Ubidots, IoT architecture, IoT platform.

INTRODUCCIÓN

Presentación del problema

Los cambios anormales del clima causado por el calentamiento global constituyen parte significativa de los problemas más importantes que se presentan en todos los países. A partir de esta premisa la calidad del aire juega un papel muy importante en el desarrollo de la vida en el planeta Tierra. En este sentido la Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que más de 1,6 millones de muertes prematuras fueron causado por la contaminación del medio ambiente, casi toda la población mundial (99%) respira aire que excede altos niveles de contaminación [1], [2].

Mediante la estrecha relación existente entre los avances tecnológicos y la sociedad se ha adquirido un nuevo alcance a las prácticas de evaluación y monitoreo de la calidad del aire mediante la integración de Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés). Las tecnologías de IoT permiten optimizar algunos recursos (i.e., climático, energético, ecológico) a través de la utilización de algunos sensores (i.e., humedad, temperatura, barómetro, material particulado) mismos que permiten receptar información y enviarla a la nube (*cloud*). Por esta razón al IoT se lo puede concebir como un modelo que recoge todas las tecnologías de comunicación inalámbricas como redes de sensores inalámbricos, redes móviles y actuadores. Además, los sistemas IoT brindan una solución eficaz y eficiente para mejorar el entorno de vida, la salud pública y el bienestar de las personas [3].

Las redes de sensores inalámbricos están formadas por microsensores para distribuirse en diferentes áreas. Estos microsensores o redes de sensores inalámbricos adquieren información del ambiente o de un entorno específico, por el cual, se puede monitorear condiciones físicas como es el caso de la temperatura, presión y agentes contaminantes [4].

En las redes de sensores inalámbricos orientadas al ámbito de la calidad del aire sus nodos trabajan de forma cooperativa estableciendo y manteniendo automáticamente la conectividad entre ellos. Algunos nodos habilitan la lectura de gases (contaminantes de aire, CO₂, O₂ y NO₂) y de condiciones ambientales (i.e., temperatura, humedad, aceleración) que son enviados a una estación de base para ser procesados y en base a la información creada tomar decisiones [5].

Planteamiento del problema

La calidad del aire es uno de los factores importantes que se debe monitorear en tiempo real en las ciudades modernas. En el caso de Ecuador los parámetros de calidad del aire se establecen mediante normativas, las cuales contemplan los niveles adecuados de la calidad del aire para el bienestar de la población. Asimismo, se considera relevante la fijación de niveles que garanticen la protección de la salud y el bienestar humano. En este sentido, según el Ministerio de Ambiente la contaminación atmosférica es uno de los problemas que ha generado una mayor preocupación para los ecuatorianos [5].

Para poder monitorear la calidad y magnitudes se lo puede realizar mediante sensores, dispositivos electrónicos y sistemas de información que carguen, procesen y conviertan los datos en información relevante [4]. Los sistemas de monitoreo de calidad del aire tienen como objetivo vigilar los niveles de las condiciones atmosféricas y ambientales. Por ejemplo, se puede considerar como sistema de este tipo una infraestructura de monitoreo del nivel de monóxido de carbono (CO₂) en una ciudad [5]. Para ello, se puede emplear las tecnologías de IoT. Este tipo de sistemas son típicos de las ciudades de países desarrollados. Por ello, muchas de las ciudades de países en vías de desarrollo no disponen de este tipo de sistema o su uso es incipiente. Sobre este trasfondo, esta investigación, enfocada en el contexto de la ciudad de Esmeraldas, se plantea responder a la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera las tecnologías de IoT de bajo costo se deben emplear para implementar sistemas de monitoreo de la contaminación ambiental del aire? Además, la investigación busca conocer ¿cómo la computación en la nube e IoT se deben integrar para crear un sistema de monitoreo de calidad del aire confiable y efectivo?

Finalmente, la investigación busca dar solución a un problema de la ciudad de Esmeraldas, sitio que cuenta con una refinería, una central hidroeléctrica y otras empresas. Generalmente, se habla de contaminación; pero no existen evidencias (datos) que permitan validar las hipótesis en término de enfermedades respiratorias y muertes suscitadas en la población esmeraldeña.

Justificación

El propósito de esta investigación es fomentar el progreso a través de un prototipo electrónico de bajo costo que utiliza Internet de las cosas (IoT) para monitorear parámetros ambientales. Además, se busca desarrollar una aplicación basada en IoT que

pueda leer datos sobre la calidad del aire, presentándolos en una interfaz gráfica que resalta el uso de widgets. Esta aplicación y el servidor asociado permiten determinar datos como: temperatura, humedad, CO₂, densidad de polvo y presión. Todo esto con el fin de brindar información concisa y en tiempo real para la toma de decisiones sobre el estado de la calidad del aire, dado que los resultados obtenidos del proyecto podrán ser utilizados como portal educativo e informativo.

Uno de los recursos principales que es afectado por la contaminación es el aire. Datos de este tipo son inexistentes en el caso de la realidad de Esmeraldas, sitio donde se plantea esta investigación. Por ello, en el cantón de Esmeraldas, es pertinente el desarrollo de este tipo de investigación e implementación de plataforma de monitoreo de la calidad del aire que aporten en la regulación adecuada de las emisiones de contaminantes emitidas a la atmósfera, y que todos los habitantes respiran día a día.

Por las razones anteriormente expuestas es recomendable que se disponga un sistema o dispositivo electrónico que proporcione datos en tiempo real, este sistema propuesto es apropiado porque proporciona los elementos necesarios para realizar nuevas investigaciones y porque la información generada puede permitir que las agencias ambientales y de planificación urbana tomen decisiones de política ambiental basadas en datos. Además, este proyecto aporta significativamente en el cumplimiento de los objetivos del Programa Institucional de Investigación y Vinculación de la PUCESE enmarcado en Aire y Salud.

Objetivos

Objetivo general

Crear un sistema de monitoreo continuo de parámetros meteorológicos y de contaminación del aire mediante el uso de las tecnologías de comunicación basadas en Internet de las Cosas, a fin de generar información útil para la toma de decisiones en el ámbito de la calidad del aire.

Objetivos específicos

- a) Identificar las principales normativas ecuatorianas de calidad del aire para determinar las variables/parámetros de regulación.

- b) Determinar cuáles son las principales tecnologías de IoT compatibles con el monitoreo de parámetros de calidad del aire.
- c) Diseñar un ecosistema de IoT orientado al monitoreo y almacenamiento de datos relacionados con la contaminación del aire.
- d) Implementar una interfaz web accesible al usuario para llevar a cabo el monitoreo de datos de calidad del aire capturados por la plataforma de IoT.

Contribuciones científicas relacionadas

La investigación ha dado como fruto una publicación enviada a un congreso internacional.

Angulo-Montenegro, Karla; Pico-Valencia, Pablo. PROTOTIPO DE UN SISTEMA DE MONITOREO AMBIENTAL DE BAJO COSTO BASADO EN TECNOLOGÍAS DE INTERNET DE LAS COSAS. UN CASO DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE ESMERALDAS, ECUADOR. XVI Congreso Iberoamericano de Computación para el Desarrollo - COMPDES2023 (Enviado a revisión).

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Bases teóricas-científicas

Esta sección describe la base conceptual relacionada con el tema de investigación, a saber, el paradigma de la regulación de la calidad del aire, el monitoreo de la calidad del aire en tiempo real y también ofrece un enfoque de la tecnología IoT. A partir de las descripciones de estas bases teóricas se pretende que se entiendan los conceptos para la aplicación de este paradigma en el monitoreo de la calidad del aire mediante sensores IoT.

1.1.1. Calidad del aire en Ecuador

1.1.1.1. Normativas de la calidad del aire

La contaminación tiene como consecuencia el deterioro de la calidad del aire que tiende a aparecer en los lugares más inesperados. Ecuador sufre una severa contaminación del aire por vehículos, industrias u otros contaminantes que afectan la calidad del aire. Con la tecnología ubicua es posible conocer la diversidad de contaminantes que se producen, sus niveles y el impacto que estos pueden causar [6].

Uno de los objetivos del Gobierno Nacional de Ecuador es mejorar la calidad del aire con diferentes estrategias y valores establecidos por las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS), las regulaciones que se rigen a partir de la “ Ley de Gestión Ambiental” y el Control de la Contaminación Ambiental [7].

De acuerdo con el texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente de Ecuador Libro VI Anexo 4, se presentan las normas destinadas a proteger la salud humana, la calidad del aire y el bienestar de los ecosistemas para cumplir con los límites máximo permisible de la contaminación del aire a nivel del suelo. De allí que el párrafo IV, Art. 220 indica:

“La Autoridad Ambiental Nacional expedirá la norma técnica de control de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión, mediante la figura legal correspondiente que será de cumplimiento obligatorio. De ser necesario la Autoridad Ambiental Nacional podrá disponer la evaluación y control de la calidad del aire ambiente mediante indicadores biológicos para lo cual, establecerá las normas técnicas y lineamientos respectivos” [7].

La Entidad Ambiental de Control de Ecuador establece las normas generales de contaminación del aire, por ende, las evaluaciones están regidas por el tiempo de su máxima concentración de contaminantes del aire y por su densidad. Las normas también especifican información sobre los límites permisibles y en base a ellos, se establecen en el estándar o normativa de la calidad del aire, por el cual se impondrán las concentraciones de contaminantes que se encuentren fuera de los límites regulados o controlados. En la tabla 1 se observa los siguientes niveles de alerta, alarma y emergencia [8].

Tabla 1 Los criterios de concentración de contaminantes determinan los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire [9].

Contaminante	Nivel de alerta ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nivel de alarma ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nivel de emergencia ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas PM2.5	25	50	100
Partículas PM10	50	100	150
Dióxido de azufre (SO ₂)	100	200	500
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	100	200	400
Ozono (O ₃)	120	150	200
Monóxido de carbono (CO)	5	10	30

Cada plan prescribe la aplicación de medidas adecuadas al nivel de calidad del aire, en donde están autorizadas para restringir o prohibir actividades en las áreas afectadas para proteger la salud de la población.

En el Ecuador existe un plan de alerta, alarma y emergencia, donde, podrá proceder la ejecución de limitar hasta prohibir las actividades en el sector, como se indica en la Figura 1.

1.1.1.2. Parámetros de calidad del aire

Las industrias y la combustión originada por los medios de transportes actuales son las principales fuentes de emisión de monóxido de azufre, monóxido de nitrógeno, ozono, monóxido de carbono y material particulado [9].

El monitoreo del aire muestra un resultado de los procedimientos que se realiza para tomar muestra y análisis de los contaminantes atmosférico. A continuación, se describen los principales parámetros ambientales contemplados en la normativa ecuatoriana de calidad del aire.

Nivel de Alerta	Nivel de Alarma	Nivel de Emergencia
<ul style="list-style-type: none"> • Se debe informar a la ciudadanía por medio de comunicación (p. ej. Noticiero, redes sociales, periódico). • En áreas con mayores niveles de contaminación del aire, se debe restringir el movimiento de vehículos o la operación de fuentes de combustión estacionarias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los ciudadanos deben ser informados de la fijación de un nivel de alerta. • La circulación de vehículos o el uso de fuentes de ignición estacionarias en lugares de urgencia deben estar restringidos o incluso prohibidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se prohíbe el tránsito de vehículos y se prohíbe la operación de incineradores estacionarios en las áreas de emergencia.

Figura 1 Niveles de la calidad del aire [58].

Monóxido de Carbono (CO) Gas incoloro, inodoro y tóxico producto de los combustibles fósiles que es producido por incendios forestales, humo industrial y vehículos. Cuando los niveles de contaminación alcanzan niveles altos, las personas pueden experimentar algunos síntomas de intoxicación por el monóxido de carbono tales como: dolores de cabeza, pérdida de conocimiento, falta de aire, náuseas y la muerte) [10]. Por tanto, los vehículos y las industrias son responsables de un 80% de las emisiones hacia a la atmósfera.

Ozono (O3) El ozono O₃ está compuesta por tres átomos de oxígeno. El O₃ tiene color azul, olor muy intenso e incluso es perjudicial para la salud humana. Este contaminante es un gas natural de la atmósfera de la Tierra, a pesar de eso a nivel del suelo se transforma en gas contaminantes u ozono troposférico. El ozono troposférico es creado por la quema de combustibles, vehículos y humo de las industrias. Está compuesto por esmog fotoquímico y oxidantes [11].

Dióxido de Nitrógeno (NO₂) El NO₂ es producido por la quema de maderas y combustibles fósiles (i.e., gasolina, carbón y gas natural). Unas de las causas que ha permitido el aumento de esta emisión contaminante es por el desplazamiento de vehículos de transporte. El dióxido de nitrógeno es responsable sobre los efectos de la salud de los ciudadanos y por el medio ambiente [9], [11].

Dióxido de Azufre (SO₂) El dióxido de azufre es el óxido predominante del azufre presente en la atmosfera. Es producido por combustibles fósiles derivado del petróleo y carbono. Uno de los efectos que puede provocar la salud humana es alterar el funcionamiento de los bronquitos, daño pulmonar y paro cardiacos [9]- [11].

PM 10 Estas partículas son una forma de contaminación del aire y pueden consistir en una variedad de sustancias, como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas y otras partículas sólidas o líquidas. Las partículas PM10 son lo suficientemente pequeñas como para ser inhaladas por los seres humanos y pueden penetrar en las vías respiratorias más grandes, como la nariz y la garganta, así como en los pulmones. Estas partículas pueden tener diversos orígenes, como emisiones industriales, escapes de vehículos, quema de combustibles fósiles, polvo del suelo y actividades de construcción.

Las autoridades y organismos reguladores monitorean los niveles de partículas PM10 en el aire para evaluar la calidad del aire y tomar medidas adecuadas para proteger la salud pública. Se establecen límites y estándares de calidad del aire para controlar y reducir la concentración de partículas PM10, así como para informar al público sobre los niveles de exposición y tomar medidas preventivas cuando sea necesario [2].

Todos los contaminantes anteriormente descritos pueden ser capturados por sensores. En este sentido, existen tecnologías como las redes de sensores inalámbricas y tecnologías asociadas al Internet de las Cosas (IoT) para monitorear en tiempo real usando Internet.

1.1.2. Internet de las Cosas (IoT)

Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés) es considerado como un puente que conecta la realidad con el mundo virtual a través de la creación de espacios inteligentes que incluyen la integración de muchos dispositivos de diferentes proveedores. Todo esto es posible gracias al trabajo de investigación del hombre en inventar la automatización de

procesos para crear un grado de comodidad en las situaciones que realizan en su día a día [12].

Los dispositivos IoT establecen una conexión a través de un proceso llamado máquina a máquina (M2M), que ocurre cuando dos dispositivos electrónicos conectados por cualquier método (p. ej. Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth), hacen su trabajo sin intervención humana. Este proceso se realiza cuando los sensores reciben señales y transmiten datos a los actuadores implementados en la electrónica IoT.

El Internet de las Cosas puede ser contemplado como una composición de sensores y actuadores que son capaces de proveer y recoger información, además, digitaliza y coloca en redes bidireccionales aptas de transmitir todos los datos para ser usados por una gran cantidad de servicios y usuarios finales [14].

Al presentarse como una red de objetos físico que usa sensores e interfaces de programación de aplicaciones para conectarse e intercambiar datos a través de Internet, el IoT se ve como una verdadera evolución de la interconectividad con una mejor percepción de la información y con servicios cada vez más completos. Algunas de las principales características correspondientes al Internet de las Cosas son las siguientes:

a) Conectividad: El IoT se basa en la capacidad de conectar diferentes dispositivos entre sí a través de redes, como Internet, redes inalámbricas y redes de sensores. Estas conexiones permiten la transferencia de datos y la comunicación en tiempo real.

b) Sensores y actuadores: Los dispositivos IoT están equipados con sensores y actuadores que les permiten recopilar datos del entorno y realizar acciones físicas. Estos sensores pueden medir variables como temperatura, humedad, movimiento, presión, entre otros, mientras que los actuadores pueden realizar acciones como encender o apagar dispositivos, activar alarmas, etc.

c) Recopilación y análisis de datos: Los dispositivos IoT recopilan datos continuamente a través de los sensores. Estos datos se pueden analizar y procesar para extraer información valiosa, detectar patrones, realizar predicciones y tomar decisiones basadas en los datos recopilados.

d) Interacción máquina a máquina (M2M): El IoT permite la comunicación directa entre dispositivos sin la intervención humana. Los dispositivos pueden intercambiar datos, coordinar acciones y realizar tareas de forma autónoma, lo que lleva a una mayor automatización y eficiencia en diversos procesos.

e) **Escalabilidad:** El IoT puede escalar fácilmente al agregar más dispositivos a la red. Esto permite la creación de redes complejas y extensas de dispositivos interconectados, lo que proporciona un potencial enorme en términos de alcance y aplicaciones.

f) **Aplicaciones diversas:** El IoT tiene aplicaciones en una amplia gama de industrias y sectores, incluyendo hogares inteligentes, ciudades inteligentes, industria manufacturera, salud, agricultura, transporte, energía, entre otros. Las posibilidades son casi ilimitadas y están en constante expansión.

1.1.2.1. Arquitectura IoT

Una arquitectura se define como un marco de referencia de los componentes de la red, la organización funcional, la configuración, los principios y procedimientos para el funcionamiento de la red y los formatos de datos utilizados en el proceso [13].

La arquitectura de Internet de las Cosas debe ser adaptable permitiendo que múltiples dispositivos interactúen dinámicamente y admitan diferentes formas de comunicación.

No existe un consenso que establezca una arquitectura global de Internet de las Cosas, por ello, los investigadores proponen arquitecturas bastante diferentes según los objetivos que se hayan establecido para dar una solución determinada [14].

Es importante señalar, que normalmente en la arquitectura-capas se suele utilizar de manera que se implemente la red de IoT usando 4 capas (sensorial, conectividad, análisis y procesamiento, aplicación) tal y como se presenta en la Figura 2. No obstante, es posible extender dichas capas.

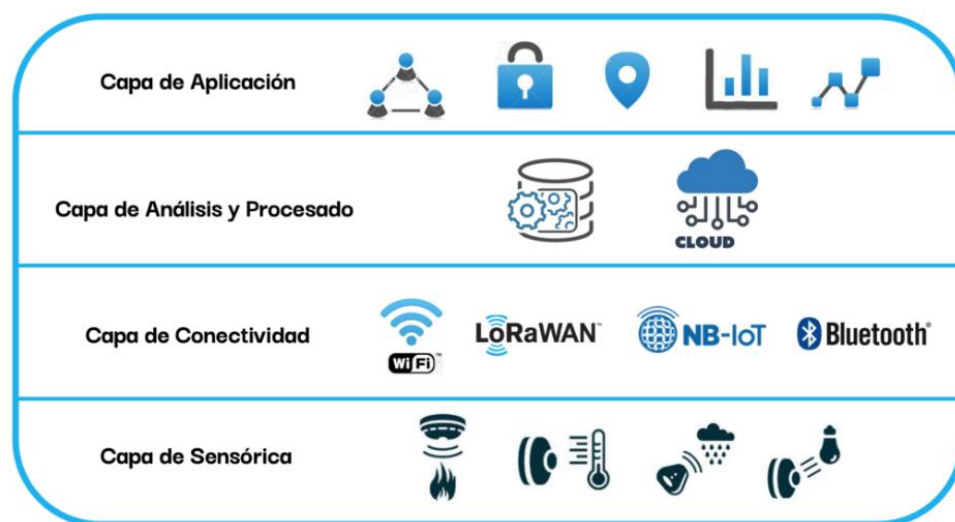


Figura 2 Arquitectura del internet de las cosas (IoT) [14],[15].

- **Capa de sensórica.** Es la primera capa que captan datos sobre el estado de un proceso o una condición ambiental, de los cuales se obtendrán de manera analógica o digital y luego se procede en compartirla a las capas superiores [15].
- **Capa de conectividad.** Establece un canal de comunicación entre sensores o dispositivos y una plataforma o puerta de enlace que se puede implementar en una máquina centralizada o arquitectura en la nube, a través de una amplia gama de tecnologías inalámbricas (i.e., Wi-Fi, Bluetooth, LPWAN) [16].
- **Capa de análisis y procesado.** Le permite recopilar datos de sensores para que pueda analizarlos y procesarlos en tiempo real (o casi en tiempo real) para usarlos para generar inteligencia comercial efectiva [17].
- **Capa de aplicación.** Brinda capacidades de administración de dispositivos para ayudar a las empresas a integrar, organizar, monitorear y administrar dispositivos de forma remota, y proporciona funciones críticas para el estado, la conectividad y la seguridad del sistema a lo largo del ciclo de vida de la empresa [16].

1.1.2.2. Plataformas IoT

Las plataformas IoT al igual que el término IoT son conceptos extensos, existen simples plataformas que sirve para el almacenamiento de datos e interfaces para crear proyectos IoT muy fáciles que pueden ser manejados por el usuario, así mismo, pueden encontrarse plataformas más complejas y completas que hacen uso de herramientas para realizar predicciones, análisis y creaciones de interfaces. Es importante destacar que la plataforma IoT debe garantizar una recopilación y visualización claras de los datos enviados desde los diversos dispositivos IoT conectados a la plataforma; además, si la plataforma es de código abierto, deben permitir el permiso para crear aplicaciones en cualquier dispositivo electrónico [18], [19], así como se presenta en la Figura 3.

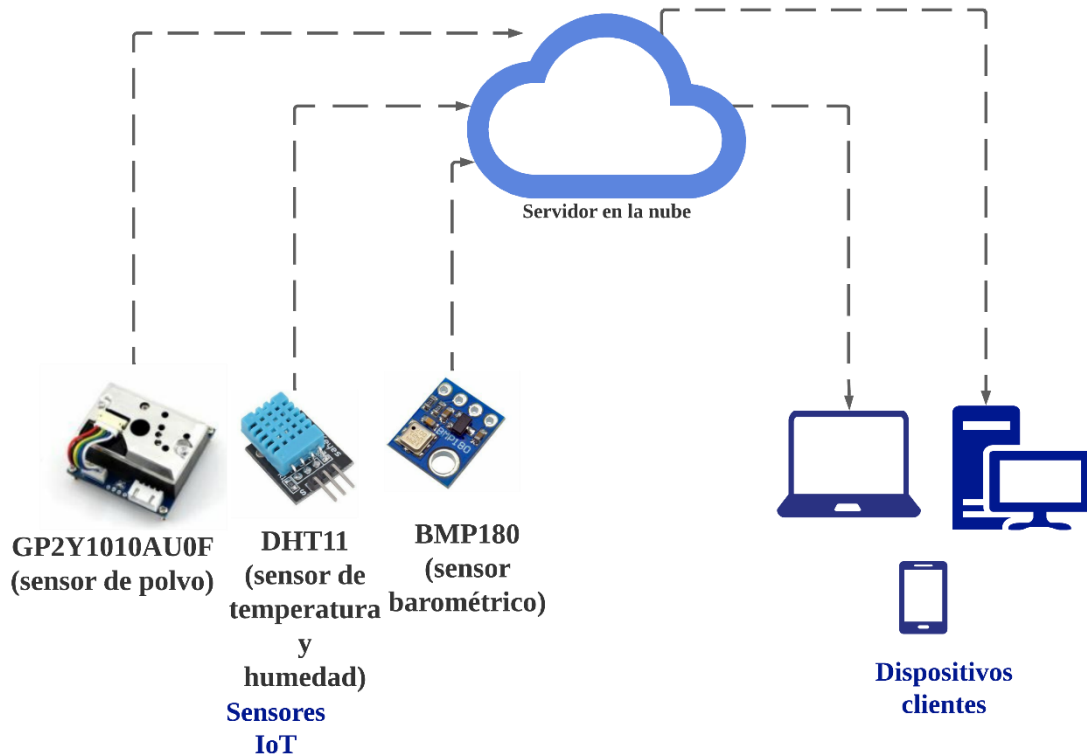


Figura 3 Plataforma IoT [20].

Existen un sinnúmero de aplicaciones que permiten implementar la capa de aplicación en Internet de las Cosas. Algunas de ellas son las siguientes: Ubidots, ThingSpeak, NodeRed, entre otras.

Ubidots. Ubidots es una plataforma de IoT (Internet de las cosas) basada en la nube que proporciona a los usuarios una manera fácil y rápida de recopilar, analizar y visualizar datos de sensores en tiempo real. Con su enfoque en la facilidad de uso y la accesibilidad. Una de las características más destacadas de Ubidots es su interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar. La plataforma cuenta con un conjunto de herramientas poderosas pero sencillas que permiten a los usuarios configurar sus dispositivos y sensores para recopilar datos y enviarlos a la nube en tiempo real [18]. Los usuarios pueden luego visualizar estos datos en una variedad de formatos, incluyendo gráficos y tablas, lo que permite una fácil interpretación de los datos como se muestra en la Figura 4.

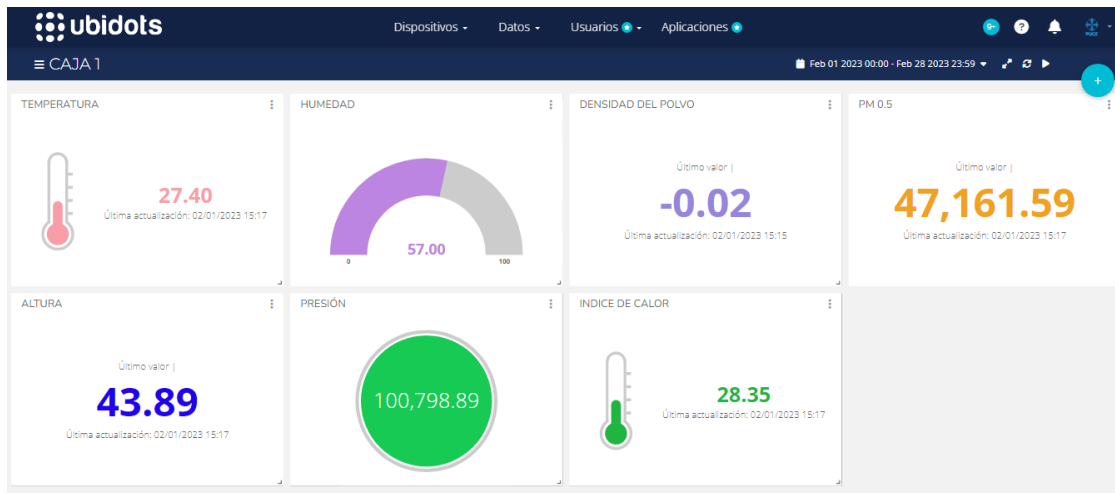


Figura 4 Plataforma IoT Ubidots [20].

La plataforma admite una amplia gama de dispositivos de IoT, incluidos sensores, módems, celulares y dispositivos integrados. Los usuarios pueden conectar sus dispositivos a la nube de Ubidots utilizando una variedad de protocolos de comunicación, como MQTT, HTTP y UDP [18].

Ubidots es una plataforma de IoT muy potente y accesible que ofrece a los usuarios una variedad de herramientas y servicios para recopilar, analizar y visualizar datos en tiempo real. Con su interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar, su amplia compatibilidad con dispositivos y plataformas, y su conjunto de herramientas de análisis de datos, Ubidots es una excelente opción para cualquier persona que busque una solución de IoT de alta calidad y asequible.

ThingSpeak. Es una plataforma IoT que permite almacenar y descargar los datos de los sensores permitiendo el análisis y monitoreo en línea de sus datos, estos datos ofrecen una amplia variedad de herramientas y servicios para el análisis de datos. Los usuarios pueden visualizar sus datos en tiempo real utilizando gráficos y tablas personalizables [19].

La plataforma permite a los usuarios configurar sus propios canales de datos, lo que les permite recopilar datos de sensores de manera específica y personalizada para sus proyectos. Los usuarios pueden configurar diferentes campos para recopilar diferentes tipos de datos, así como se muestra en la Figura 5 lo que les permite analizar y visualizar los datos de manera más precisa.

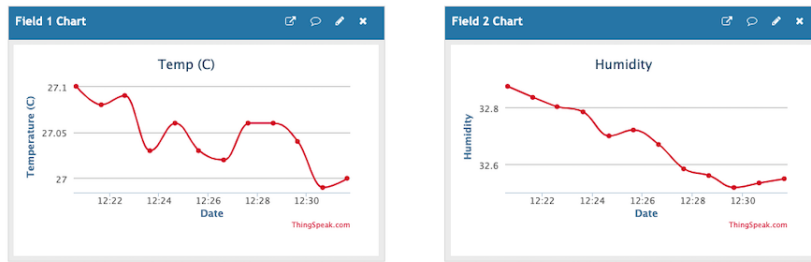


Figura 5 Plataforma ThingSpeak [21].

Cayenne. Es una plataforma de IoT (Internet de las cosas) basada en la nube que permite a los usuarios recopilar, analizar y visualizar datos de sensores en tiempo real. Con su enfoque en la facilidad de uso y la accesibilidad, Cayenne ha ganado popularidad entre una amplia gama de usuarios, desde desarrolladores y diseñadores hasta empresarios y aficionados a la tecnología.

Una de las características más destacadas de Cayenne es su interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar. La plataforma cuenta con un conjunto de herramientas poderosas pero sencillas que permiten a los usuarios configurar sus dispositivos y sensores para recopilar datos y enviarlos a la nube en tiempo real. Los usuarios pueden luego visualizar estos datos en una variedad de formatos, incluyendo gráficos y tablas, lo que permite una fácil interpretación de los datos [20].

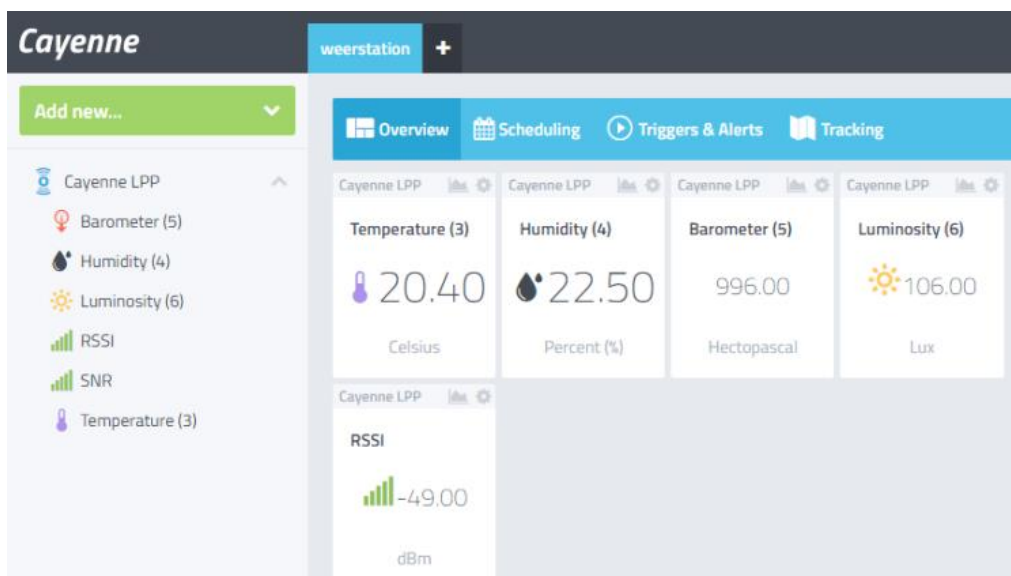


Figura 6 Plataforma Cayenne [20].

NodeRED. Es una plataforma de programación visual para IoT que ofrece una amplia gama de características y funcionalidades para el desarrollo de flujos de trabajo. Su interfaz de usuario basada en la web es intuitiva y fácil de usar, lo que permite a los usuarios crear flujos de trabajo sin la necesidad de tener conocimientos de programación avanzados. Node-RED utiliza nodos para representar diferentes funciones y servicios de IoT, lo que permite a los usuarios crear flujos de trabajo de forma modular y escalable. Los nodos pueden conectarse entre sí para crear flujos de trabajo más complejos, y también se pueden personalizar y programar para adaptarse a las necesidades específicas de cada proyecto [21].

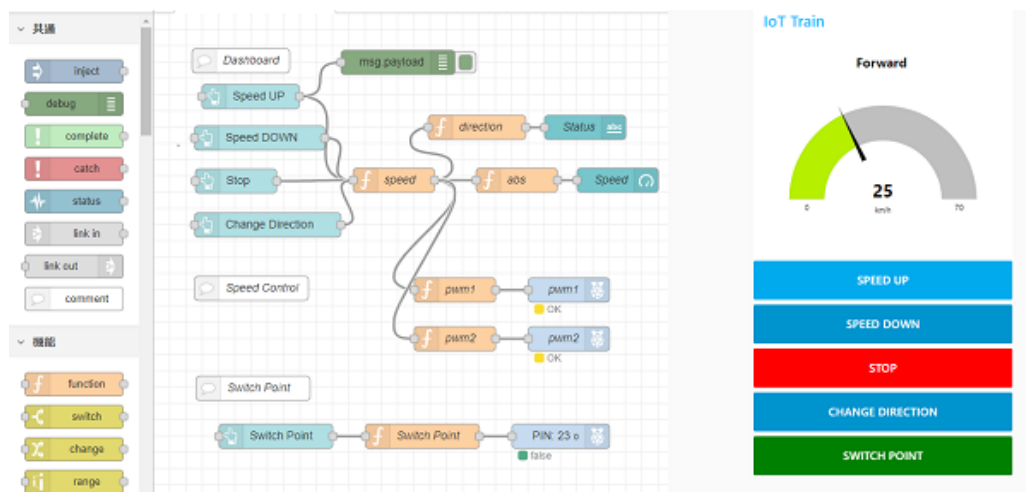


Figura 7 Plataforma Node-Red [23].

1.1.3. Comunicación en IoT

1.1.3.1. Estándares de comunicación inalámbricas

Los estándares de comunicación inalámbrica para IoT son el resultado de años de investigación por parte de la comunidad científica, cuyo objetivo es proporcionar un entorno de comunicación de dispositivo a máquina o de máquina a máquina (M2M) tanto de forma local como remota a través de la señal inalámbrica.

A continuación, se describen los estándares inalámbricos más populares y usados en el desarrollo de aplicaciones de IoT, y especialmente en la creación de sistemas para hogares digitales conectados.

Wi-Fi. Es una de las tecnologías más utilizadas en la actualidad, que abarca un sin número de dispositivos como computadoras, teléfonos inteligentes (smartphones), impresoras, televisores, bocinas de música, entre otros. Su finalidad es intercambiar información entre los diferentes dispositivos mediante el uso de una red [22].

Este tipo de tecnología también es conocida como la norma de conectividad IEEE 802.11, la cual presenta algunas características como su velocidad de datos entre 1-54 Mb/s, una sensibilidad de -95 dBm y opera con una frecuencia de 2.4 GHz/5 GHz [23], [24].

Además, a través de los años se ha mejorado las características de este estándar, las cuales son, el tener mayor alcance y mayor compatibilidad con los dispositivos de IoT, debido a sus inconvenientes en el consumo energético. Como resultado, surge el estándar 802.11ah con una actualización de sus características como generar un ultra bajo poder de consumo y la facilidad de conectividad con las aplicaciones de IoT [25].

Bluetooth. Es un estándar inalámbrico bastante usado por los dispositivos de IoT debido a que utiliza muy poca energía para su consumo.

Esta nueva tecnología derivada, se caracteriza por su bajo nivel de consumo y mejoramiento de largo alcance que su predecesor no tenía, además esta versión tiene un ancho de banda de 2.4 a 2.485 GHz, una sensibilidad de -95 dBm y un rango de velocidad de datos de 1-2 Mb/s. Actualmente, la versión 5 es la última actualización, que contiene características como la mejora de sus funciones de cobertura y comunicación para los dispositivos de IoT [23].

ZigBee. Es un estándar de comunicación inalámbrico de bajo consumo para el monitoreo y control de sensores en un ambiente conectado, como lo son zonas industriales, hogares y edificios. Al igual que la tecnología Bluetooth, tiene una comunidad de usuarios latente que proporcionan buenas reseñas en cuanto a su uso y aplicación, por lo tanto, la alianza ZigBee ha lanzado al mercado nuevas mejoras beneficiosas para los dispositivos de IoT.

ZigBee, a diferencia de Bluetooth, es más barato con sus servicios y proporciona un mayor alcance de comunicación en un área de 100 m a la redonda, aunque esta puede ser mayor mediante la aplicación de una arquitectura de red de tipo malla, que es la implementación característica en este estándar [26].

Como se ha dicho, esta tecnología al relacionarse con los dispositivos de IoT, ha lanzado una versión que se centra en otorgar un alto nivel de seguridad mediante la encriptación de los datos y un bajo consumo de energía denominada como Control Remoto de ZigBee (ZigBee Remote Control). La última versión en el mercado es la 3.0 que se encuentra disponible desde el año 2015, el cual provee un bajo rango de datos y consumo de energía. Por último, este protocolo brinda una operatividad de 2.4 GHz, una sensibilidad de -100 dBm, y un rango de datos de 250 Kb/s[26]-[23].

Tabla 2 Comparación de los estándares [26].

Principales características				
Estándares	Velocidad de datos	Ancho de banda	Alcance de comunicación	Intensidad de señal
Wifi	1 - 54 Mb/s	2,4 - 5 GHz	100 - 150 m	-95 dBm
Bluetooth	1 - 2 Mb/s	2,4 -2,485 GHz	10 m	-95 dBm
Zigbee	250 Kb/s	2,4 GHz	10 - 100 m	-100 dBm

1.1.3.2. Protocolos de comunicación

El protocolo de comunicación proporciona funciones específicas que incluyen reglas para transmitir y recibir datos entre dispositivos electrónicos conectados a la red, por el cual se determina los límites de consumo de envío de datos, donde algunos protocolos de comunicación son pocos eficientes. A continuación, se describen los principales protocolos que se implementan en redes de IoT.

Protocolo MQTT. Es especialmente desarrollado para la transmisión de datos generados por dispositivos de Internet de las cosas (IoT) de código abierto a través de redes inalámbricas. Este protocolo resulta muy útil en redes de baja capacidad, ya que se enfoca en minimizar los recursos necesarios de los dispositivos conectados a la red, al tiempo que garantiza la seguridad entre ellos. [8].

En cuanto a la arquitectura de MQTT, como se puede observar en la figura 5, radica en el denominado “intermediario” cuya función principal es la de distribuir mensajes entre los destinatarios registrados, para que los destinatarios hagan que el cliente acoja estos mensajes que son entregados al suscriptor. En este caso, el receptor será el cliente

que se comunica con el MQTT-Broker, envía lecturas de datos de temperatura y luego el broker selecciona los clientes conectados a él que tienen un modo de suscripción para recibir la información [27], [28].

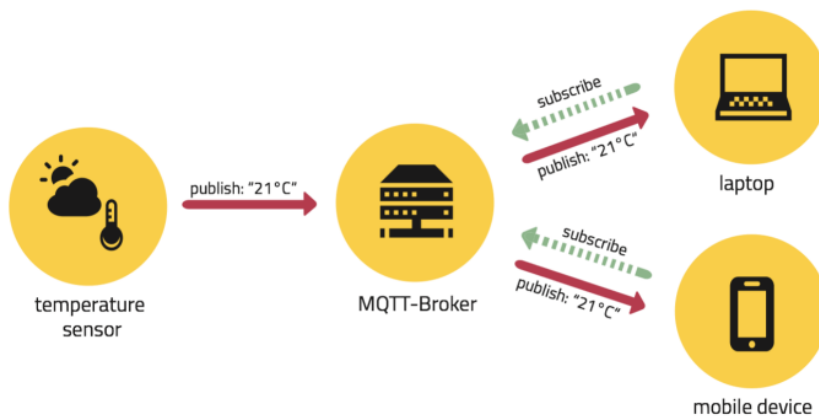


Figura 8 Arquitectura MQTT [39].

HTTP y HTTPS. El protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP por su sigla en inglés) permite que la información se comparta de forma segura a través de una conexión protegida por el protocolo de control de transmisión (TCP). Este protocolo es conocido para cualquiera que haya aprendido redes o programación, porque es un protocolo cliente-servidor. Para los dispositivos IoT, desempeña el papel de cliente al comunicarse con dispositivos de comunicación de máquina a máquina en la misma red, por lo que es mejor mantener la privacidad de las entradas externas para evitar la filtración de los datos [29].

El formato de los mensajes que realiza el rol del cliente en este protocolo corresponde a los mensajes de solicitud (request) y respuesta (response), donde se aplican los métodos de obtener (get) y publicar (post), respectivamente, como se ilustra en la figura 6. El primer método normalmente es utilizado para obtener datos de la web mediante el uso de variables en la cabecera de la solicitud; mientras que el otro se encarga de enviar los datos que se hayan solicitado [30]-[31].



Figura 9 Esquematación del protocolo HTTP [42].

1.2. Antecedentes de la investigación

A continuación, se presenta los resultados de la investigación del tema relacionada directamente con el objeto de estudio “ECOSISTEMA DE INTERNET DE LAS COSAS ORIENTADO A LA ADQUISICIÓN AUTOMÁTICA DE DATOS AMBIENTALES DEL AIRE”. Dichos estudios fueron recuperados luego de realizar una exploración que estuvo fundamentada en una cadena de investigación científica descrita como: (“sensor networks”) and (“environment”) AND (“IoT”). Esta cadena fue aplicada en diferentes bases de datos documentales y bibliotecas digitales como: IEEEExplore, Scopus y ACM. Se recuperaron 9 estudios de los cuales 6 fueron seleccionados porque se relacionan íntimamente en la temática estudiada. Además, se los consideraron porque fueron publicados en los últimos cinco años, esto es, entre 2017 y 2022. Los criterios que se han usado para describir los estudios relacionados son hardware, software libre y el alcance de la aplicación o dispositivo.

El primer estudio de investigación es realizado por Ullo, Sinha [32] titulada “Avances en sistemas inteligentes de monitorización del entorno mediante IoT y sensores”, tiene como objetivo lograr una revisión crítica de contribuciones notables y estudios de investigación sobre SEM, que involucran el monitoreo de la calidad del aire, la calidad del agua, la contaminación por radiación y los sistemas agrícolas. La revisión se divide sobre la base de los propósitos donde se aplican los métodos SEM, y luego cada propósito se analiza más a fondo en términos de los sensores utilizados, las técnicas de aprendizaje automático involucradas, y métodos de clasificación utilizados. El análisis detallado sigue a la extensa revisión que ha sugerido las principales recomendaciones e impactos de la investigación SEM sobre la base de los resultados de la discusión y tendencias de investigación analizadas. Los autores han estudiado críticamente los avances en la tecnología de sensores, los métodos de IoT y aprendizaje automático, que hacen de la monitorización del entorno un sistema verdaderamente inteligente.

Una segunda investigación se titula “Desarrollo una red de sensores que permita la monitorización de los niveles de contaminación mediante tecnología LPWAN”, fue realizado por [33] Tacuri y Wellington, por el cual desarrolla una red de sensores compuesta por dos nodos de monitorización, utilizando dos metodologías distintas para la obtención de datos, la primera es un muestreo activo y la segunda es un muestreo pasivo. Dichos muestreos definen los contaminantes a monitorizar donde comprenden tres contaminantes fundamentales como son: dióxido de carbono, monóxido de carbono

y dióxido de nitrógeno. El diseño de la red de sensores es capaz de integrarse con la red de SigFox y el muestreador pasivo arrojan coeficientes de correlación de Pearson nulo y débil en las medidas obtenidas, dichos datos se presentan en una aplicación móvil y una página web que indican las emisiones en partes por millón (ppm) de los gases contaminantes. De esta manera se encuentra la relación de las variables ambientales con respecto a las metodologías expuestas, así como el encapsulamiento de los dispositivos [33]. Esta investigación se relaciona con el tema de estudio debido al desarrollo de una red de sensores para el monitoreo de la contaminación ambiental, donde se aplica algunas tecnologías IoT para el envío de datos.

La tercera investigación titulada “Internet de las cosas (IoT) para medir y supervisar los datos de los sensores de la plataforma de la superficie del agua”, fue realizada por [34] Kafli y Khalid y se enfoca en estudiar la precisión de mediciones al tomar datos para el monitoreo del aire y el agua. El desarrollo de esta investigación tiene como objetivo crear sistemas más inteligentes y eficientes para monitorear el medio ambiente en Malasia. Dicha investigación utiliza un microcontrolador ARM (LPC 1768) donde tiene conectados varios sensores como el sensor de temperatura y humedad, sensor de monóxido de carbono, sensor de pH y sensor de nivel de agua para la advertencia de inundación, todos los datos obtenidos por los sensores son enviados a la nube. Los datos se recopilaron tres veces al día utilizando un método de muestreo basado en el tiempo para obtener datos precisos. Además de eso, los datos también pueden ser monitoreados en tiempo real a través de la nube de Internet por los usuarios, ya sea en su teléfono móvil o personal. La plataforma opera en la superficie del agua durante largos períodos de tiempo en diversos entornos de detección. El sistema de monitoreo resultó ser fácil de uso y cumple con su propósito que es analizar los niveles del agua y su contaminación, esta investigación es de gran importancia para realizar pruebas y envío de datos a diferentes usuarios por medio de la IoT.

El cuarto estudio publicado por Lu Ling, Cai Lecai, Gao Xiang [35] titula “Sistema inteligente de detección y purificación de la calidad del aire interior basado en el Internet de las Cosas”. Esta investigación tiene como propósito diseñar un sistema inteligente de detección de la calidad del aire. El sistema adopta la tecnología de Internet de las Cosas para que los usuarios puedan controlar el trabajo del sistema inteligente a través de teléfonos móviles o PC en cualquier momento y en cualquier lugar; al mismo tiempo, indirectamente resuelve el problema de los largos tiempos de purificación cuando el purificador de aire está encendido. Los purificadores de aire tradicionales generalmente

usan varios indicadores de diferentes colores para mostrar cualitativamente la calidad del aire actual. La visualización del sistema, tanto en dispositivos móviles como en PC, permite mostrar en tiempo real las condiciones precisas del aire ambiente. Esto facilita la recopilación y análisis de datos ambientales. El diseño propuesto en este artículo mejora significativamente la experiencia del usuario y tiene un amplio potencial de aplicación en la industria de los purificadores de aire. A través de esta investigación, es posible utilizar y analizar los patrones de calidad del aire mediante técnicas de extracción de datos. Esto permite realizar un monitoreo preciso y enviar datos de manera precisa a diferentes tipos de usuarios a través de una interfaz web.

La quinta investigación efectuada por Li, Zhao, Jin [36] titula “Internet de las cosas: dispositivos inteligentes en red para vigilar el ecosistema”, presenta las técnicas de Internet de las cosas (IoT) para establecer un prototipo de sistema de monitoreo de ecosistemas mediante el desarrollo de dispositivos inteligentes innovadores y el uso de tecnologías IoT para el monitoreo de ecosistemas en lugares aislados de los entornos. Este sistema puede capturar la dinámica espacial y temporal a múltiples escalas de variables y flujos clave del ecosistema, ofreciendo así servicios de información efectivos, confiables y representativos a científicos y partes interesadas. Los avances en el monitoreo de ecosistemas IoT incluyen nuevos registradores de datos y tecnología de red de sensores inalámbricos de larga distancia que admite la transmisión rápida de datos desde dispositivos a redes inalámbricas. La aplicabilidad de IoT de monitoreo de ecosistemas se verifica en tres ecosistemas frágiles, que incluyen un área de desertificación rocosa kárstica, el Parque Nacional de los Tigres de Amur y el ecotono desierto-oasis en China. Dicha investigación sirve como paradigma para el monitoreo de ecosistemas utilizando tecnología IoT, además, se hace referencia en proporcionar una plataforma para la toma de decisiones de los datos generados por el monitoreo del medio ambiente.

Finalmente, la sexta investigación publicado por Sathiri [37] titula “Red inalámbrica de sensores a través de 6LoWPAN para una agricultura de precisión” es realizada en el sector agrícola de la ciudad de Ibarra donde se ha observado una escasez de agua de riego para la producción, debido a los cambios climáticos que en la actualidad se presentan. Es por tal razón, que la investigación tiene como objetivo implementar un sistema tecnológico de optimización del uso de agua para mejorar el rendimiento de los cultivos. El sistema es una red inalámbrica de sensores que trabaja con el estándar 6LoWPAN, permitiendo monitorear las variables aplicadas a la agricultura de precisión como: humedad relativa, temperatura, humedad de suelo, luz y lluvia. Esta red envía las

mediciones recolectadas a una aplicación llamada estación-servidor para ser almacenadas en una base de datos; posteriormente serán visualizados en forma gráfica la medición actual o el historial de los cultivos por medio de una página web adaptiva a cualquier terminal [37]. De acuerdo con este estudio es importante para la investigación respectiva ya que se relación al monitoreo general del medio ambiente como: la humedad relativa, temperatura, humedad del suelo entre otros factores, además utiliza el estándar 6loWPAN donde será aplicado, y los resultados de los datos son visualizado en una página web utilizando herramientas basado en la IoT.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

En esta sección se describen los aspectos metodológicos de la investigación. Se delimitó la investigación temporal y espacialmente, se determinó el tipo de investigación y el método científico que se aplicó. Además, se describieron las técnicas de investigación empleados, así como los instrumentos de recolección de datos aplicados.

2.1. Delimitación de la investigación

En este proyecto se desarrolló un sistema de monitoreo en tiempo real de los parámetros meteorológicos y contaminación del aire usando tecnologías de IoT. La plataforma se desplegó en el sector sur de la ciudad de Esmeraldas con el fin de obtener datos reales del contexto de los barrios de la ciudad, sitio que concentra varias de las industrias potencial de contaminación atmosférica.

En la figura 10 se presenta los puntos geográficos por el cual se realizó la medición de datos empleando los nodos creados [38].

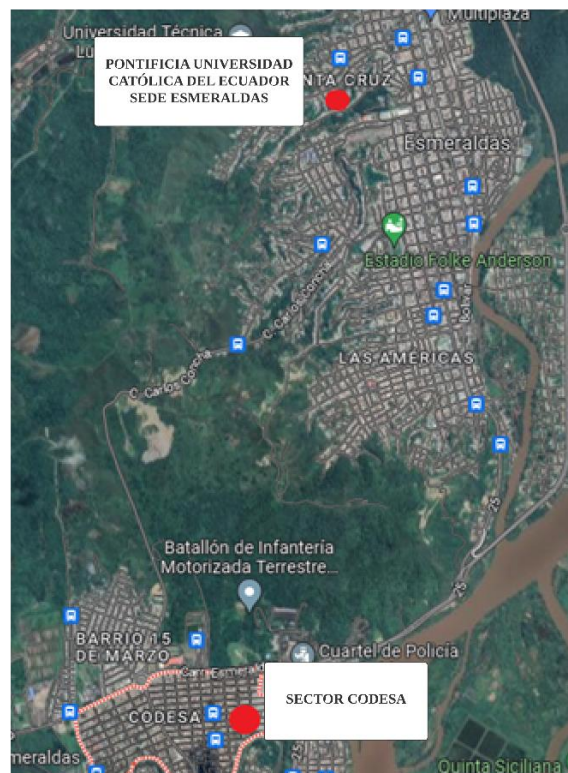


Figura 10 Mapa de la zona sur de la ciudad de Esmeraldas. Fuente: Google Maps, 2022.

2.2. Tipo de investigación

De acuerdo con los objetivos del estudio se lo ha considerado como una investigación de tipo cualitativa y cuantitativa, según la naturaleza de los datos y la información extraída.

La investigación cualitativa se enfoca en la exploración de la bibliografía o entrevista con el objetivo de comprender las variables, técnicas, estructuras y herramientas. En esta investigación se recopiló información sobre las herramientas de IoT, así como de las arquitecturas para llevar a cabo la integración de los sensores de calidad ambiental empleados en la construcción del prototipo electrónico [39]. Asimismo, se empleó para conocer cuáles son los principales parámetros de contaminación del aire y su impacto, según las normativas de calidad del aire de Ecuador.

Por otro lado, la investigación cuantitativa “utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías” [40], [41]. Este tipo de estudio se planteó por la necesidad de cuantificar los datos numéricos proporcionados por los sensores de la plataforma, esto es principalmente parámetro de calidad del aire (temperatura, humedad, índice de calor, presión, materia particulada PM05, y densidad de polvo).

2.3. Métodos de investigación

A continuación, se describen los métodos de investigación aplicados y cómo se llevó a cabo el proceso de acuerdo con su nivel de profundidad. De manera general se usaron los métodos inductivo, deductivo y experimental.

El método inductivo “es una estrategia de razonamiento basada en la inducción, para sacar conclusiones generales a partir de premisas específicas” [42]. Por lo tanto, este método es fundamental porque permitió recopilar información útil sobre la conectividad de sensores, evaluación de los prototipos propuestos en este estudio y aplicaciones IoT existentes de manera que se contextualizó en el monitoreo de calidad ambiental aterrizada a la realidad de Esmeraldas.

Por otro lado, el método deductivo “es una estrategia de razonamiento empleada para deducir conclusiones lógicas a partir de una serie de premisas o principios” [43]. Mediante este método se evidenciaron los resultados de usabilidad donde, se determinaron que las tecnologías de bajo costo IoT usadas fueron adecuadas para el monitoreo de la calidad del aire en los sectores sur de la ciudad de Esmeraldas.

Finalmente, el método experimental “es una técnica caracterizada por observar, manipular y registrar diversas variables que inciden en un determinado fenómeno u objeto de estudio” [55]. Mediante este proceso se realizaron algunas mediciones con el prototipo para el monitoreo de la calidad del aire, en el cual se tomaron datos de las variables ambientales obtenidos por los dos nodos elaborados.

2.4. Operacionalización de las variables

En la investigación se definieron 3 variables: nodos IoT, calidad del prototipo, calidad de datos, mismas que se muestran en la Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5. Cada variable tiene sus respectivas dimensiones e indicadores.

2.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la obtención de datos de la investigación se utilizaron tres técnicas de investigación, estas son: entrevista, observación científica y el experimento. Sus respectivos instrumentos fueron: un cuestionario, una ficha de observación y un cuestionario de usabilidad. A continuación, se describe las técnicas que fueron aplicadas.

En la primera técnica de investigación se empleó una entrevista a un experto en gestión ambiental Msc. Ing. Eduardo Rebolledo, docente de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Esmeraldas (PUCESE) para obtener un conocimiento previo de los parámetros ambientales, los impactos ambientales y los centros meteorológicos que tiene en diferentes partes de la ciudad de Esmeraldas. Esta entrevista se realizó en junio de 2022 con el objetivo de establecer el método adecuado para llevar a cabo el proceso de investigación. Se estableció un cuestionario con 12 preguntas abiertas para abordar algunas temáticas relacionado al monitoreo de la calidad del aire basado al internet de las cosas (Anexo 1).

En segundo lugar, se aplicó la técnica de observación científica. Esta técnica se realizó en el periodo dentro de los meses enero y febrero del año 2023 que tuvo como propósito recolectar algunos datos para el desarrollo de prototipo de nodo de monitoreo, su interfaz gráfica en la plataforma web orientada para los usuarios.

Tabla 3 Cuadro de variables e indicadores. Nodos IoT.

VARIABLES	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	DESCRIPCIÓN	TIPO DE VARIABLE
Nodos IoT	Dispositivos dotados de sensores que envían datos a un servidor o aplicación a la nube	Microcontrolador	Conectividad	Nivel de conectividad (Wi-Fi) aplicado al prototipo electrónico.	Cualitativa
			Memoria	Capacidad de memoria interna para el almacenamiento de datos.	Cualitativa
			Compatibilidad	Nivel de compatibilidad con los sensores empleados.	Cualitativa
			Velocidad de transmisión de datos	Valor numérico en bits por segundo (bps).	Cualitativa
			Entrada/salida	Indicador de los tipos de pines del microcontrolador.	Cualitativa
		Sensor	Exactitud	Capacidad del sensor para medir una variable de manera precisa, es decir, con un margen de error bajo.	Cualitativa
			Fiabilidad	Capacidad del sensor para operar de manera consistente y confiable en el tiempo, sin generar errores o fallas.	Cualitativa
			Tiempo de respuesta	Tiempo que tarda el sensor en detectar y registrar una variación en la variable medida.	Cualitativa
			Sensibilidad	Capacidad del sensor para detectar pequeñas variaciones en la variable medida.	Cualitativa
		Comunicación	Arquitectura	Es el diseño donde se establece el entorno de comunicación y sus partes.	Cualitativa
			Estándares	Estándares de comunicación inalámbrica con el que es compatible un nodo.	Cualitativa
			Protocolos	Modelo de comunicación de mensajes que se utiliza para compartir la información con el servidor.	Cualitativa

Tabla 4 Cuadro de variables e indicadores. Calidad del producto del hardware.

VARIABLES	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	DESCRIPCIÓN	TIPO DE VARIABLE
Calidad del producto del hardware	Grado de satisfacción que conforma el producto de hardware para satisfacer las necesidades del usuario aportando un valor significativo.	Fiabilidad	Tasa de fallos	Número de fallos que se producen en el producto por unidad de tiempo.	Cuantitativo
			Porcentaje de tiempo de inactividad	Tiempo que el producto está inactivo debido a fallos o reparaciones, expresado como un porcentaje del tiempo total de operación.	Cuantitativo
			Tiempo medio de recuperación	Tiempo promedio que se tarda en recuperar el producto después de un fallo, incluyendo el tiempo de reparación y el tiempo de reinicio.	Cuantitativo
			Capacidad de autodiagnóstico	Capacidad del producto para identificar y reportar fallos de manera automática.	Cualitativa
		Usabilidad	Tiempo de aprendizaje	Tiempo necesario para que un usuario aprenda a utilizar el producto de hardware de manera efectiva.	Cualitativa
			Tiempo de realización de tareas	Tiempo necesario para que un usuario complete una tarea específica utilizando el producto de hardware.	Cuantitativo
			Densidad de información	Cantidad de información que se presenta al usuario en una interfaz de usuario, y puede afectar la facilidad de uso del producto.	Cualitativa
			Eficiencia	Nivel de rendimiento esperado mediante el uso de cantidades y tipos adecuados de recursos.	Cualitativa
		Eficiencia	Velocidad	Tiempo necesario para que el producto de hardware complete su tarea.	Cuantitativo
			Capacidad de procesamiento	Cantidad de datos que el producto de hardware puede procesar en una unidad de tiempo.	Cuantitativo
			Rendimiento	Cantidad de trabajo realizado por el producto de hardware en una unidad de tiempo.	Cuantitativo

Tabla 5 Cuadro de variables e indicador. Calidad de datos.

VARIABLES	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	DESCRIPCIÓN	TIPO DE VARIABLE
Calidad de datos	Determinar la veracidad de los datos, es decir, que el hardware como tal brinde los datos reales que cumplan con un estándar.	Calidad de datos medidos por los sensores	Exactitud	Grado en el que los datos representan correctamente el verdadero valor del atributo deseado.	Cuantitativo
			Precisión	Determina la medida en que los datos son detallados y específicos.	Cualitativa
			Credibilidad	Capacidad que tienen los datos al ser considerado reales y creíbles.	Cualitativa
			Consistencia	Medida en que los datos son coherentes a lo largo del tiempo y no están en conflicto con otros datos.	Cualitativa
		Calidad de datos desplegados en la GUI	Exactitud	Medida en que los datos procesados son precisos y reflejan la realidad que representan.	Cualitativa
			Comprensibilidad	Nivel de comprensión de los datos para ser leídos e interpretados por el usuario.	Cualitativa
			Consistencia	Medida en que los datos procesados son coherentes a lo largo del tiempo y no están en conflicto con otros datos.	Cualitativa

Finalmente, se realizó pruebas de usabilidad donde se reflejarán los resultados tales como: funcionalidad, mantenibilidad, eficiencia. Para estos resultados se evaluó el alcance, la calidad de los sensores y la verificación de envío de datos mediante dispositivos IoT a la plataforma web Ubidots con 14 estudiantes de 7mo y 8vo nivel de la carrera Tecnología de la Información de la PUCESE.

2.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el análisis de la información se utilizó la estadística descriptiva, que permite “recolectar, almacenar, ordenar, crear tablas o gráficos y calcular parámetros básicos sobre conjuntos de datos” [44]. Esta técnica se utilizó para gestionar los datos cuantificables resultados de estudio que se obtienen del plan experimental y luego se presentan como tablas o gráficos estadísticos.

2.7. Materiales

Se realizó una elección estratégica de materiales, enfocándose en el correcto funcionamiento del sistema de monitoreo de la calidad del aire en términos de humedad, temperatura, presión y material particulado. Las tablas 6, 7, 8 y 9 presentan cada uno de los materiales utilizados y sus principales propiedades.

Tabla 6 Información Modulo ESP8266 [45].

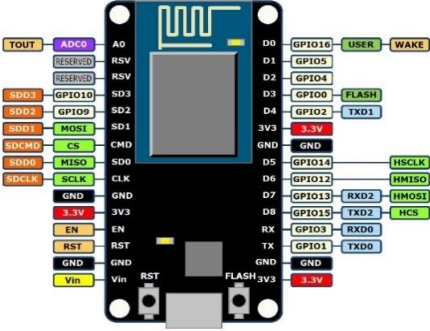
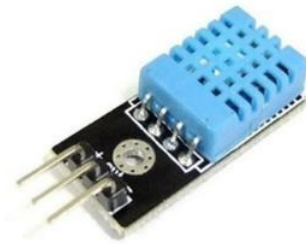
Modulo ESP8266	
	
Arquitectura	RISC de 32 bits
RAM	80 KB
Almacenamiento	Memoria flash de hasta 16 MB
Comunicaciones inalámbricas	Wi-Fi 802.11 b/g/n
Voltaje de operación	3.3V
Dimensiones	24 mm x 16 mm x 3 mm

Tabla 7 Características Sensor DHT11[46].

DHT11



Función	Consta de un termistor para medir la temperatura y un higrómetro capacitivo para medir la humedad.
Rango de medición	0 °C a 50 °C - 20% a 90% HR
Resolución	8 bits (1 °C) - 8 bits (±1 % HR*)
Precisión	±2% °C - ±5% RH

Tabla 8 Características Sensor GP2Y1010AU0F [47].

Sensor de polvo GP2Y1010AU0F



Función	Diseñado para detectar partículas de polvo muy finas en el aire, se puede utilizar como detector de purificador de aire.
Voltaje de Operación	7 V DC
Consumo de energía	11 mA-20 mA
Densidad de polvo	µg/m ³
Tensión de salida sin polvo	0,9 V
Temperatura de funcionamiento	10 a +65 ° C
Dimensiones (mm)	46*30*17.6 mm
Peso	16 gramos

Tabla 9 Características Sensor BMP180 [48].

Sensor barométrico



Función	Consiste en recolectar datos de la presión atmosférica/barométrica de alta precisión donde presenta un rango de medición de 300 a 1100 hectopascales (hPa) y un error de 0,03 hPa
Voltaje de Operación	5 V
Temperatura	85°C
Presión	1.100 hPa
Altitud	9.130 m
Velocidad del protocolo	3.4 MHz

2.8. Normas éticas

Se siguieron todas las normativas establecidas en el reglamento de grado de la PUCESE con el objetivo de cumplir con las reglas que decreta la institución, el respeto de derecho de autor durante la recolección de información como documentos bibliográficos y libros, así mismo, se utilizó hardware y software libre para el desarrollo del prototipo electrónico de monitoreo de parámetros de calidad del aire con herramientas IoT.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Análisis del sistema

En esta sección se levantaron y describieron los requerimientos funcionales del sistema integral comprendido por la aplicación de monitoreo y la forma en que los usuarios interactúan con el sistema. A través de un caso de uso se describen las acciones que los usuarios de la red de IoT puede desempeñar y a través de un diagrama de secuencia se describen las funcionalidades de los nodos de monitoreo.

3.1.1. Casos de uso (interacción del usuario con el sistema de monitoreo).

Los principales participantes del caso de usos del sistema de monitoreo de parámetros ambientales son: *ACTOR-ADMINISTRADOR* y *ACTOR-USUARIO*. Algunas de las funciones que llevan a cabo el administrador del sistema son las siguientes: (i) administrar dispositivos, donde el administrador puede agregar nuevos dispositivos a la plataforma Ubidots IoT, configurar sus parámetros y eliminar dispositivos obsoletos o innecesarios; (ii) gestionar usuarios, el administrador también tiene la capacidad de agregar o eliminar usuarios de la plataforma IoT Ubidots, así como otorgar permisos específicos a cada usuario según sus roles y responsabilidades; (iii) analizar y visualizar datos, el actor administrador puede utilizar la plataforma para analizar y visualizar los datos de sensores IoT en tiempo real, lo que les permite detectar patrones, tendencias y anomalías en los datos; (iv) configurar alertas, el administrador puede configurar alertas en la plataforma para que los usuarios sean notificados automáticamente si se detectan eventos específicos como puede ser una temperatura anormalmente alta o una caída en los niveles de humedad.

Por otro lado, el usuario final, llamado también usuario de monitoreo, puede monitorear en tiempo real el estado de los dispositivos IoT y los datos que generan, este es, temperatura, humedad, presión y densidad del polvo. Unos de los casos de uso común para un usuario de monitoreo en la plataforma IoT Ubidots podrían ser: (i) visualización de datos, donde los usuarios de monitoreo pueden ver los datos recopilados de sensores, lo que les permite detectar patrones, tendencias y anomalías en los datos; (ii) recepción de mensaje de alertas, los usuarios automáticamente reciben notificaciones de eventos específicos; (iii) despliegue de datos en tableros de control (dashboards) y generación de consultas, los usuarios de monitoreo tienen acceso a informes y análisis generados por la

plataforma Ubidots, lo que les permite identificar problemas y tomar decisiones basadas en datos.

En la Figura 11 se ilustran las acciones antes descritas en el contexto del sistema de monitoreo.

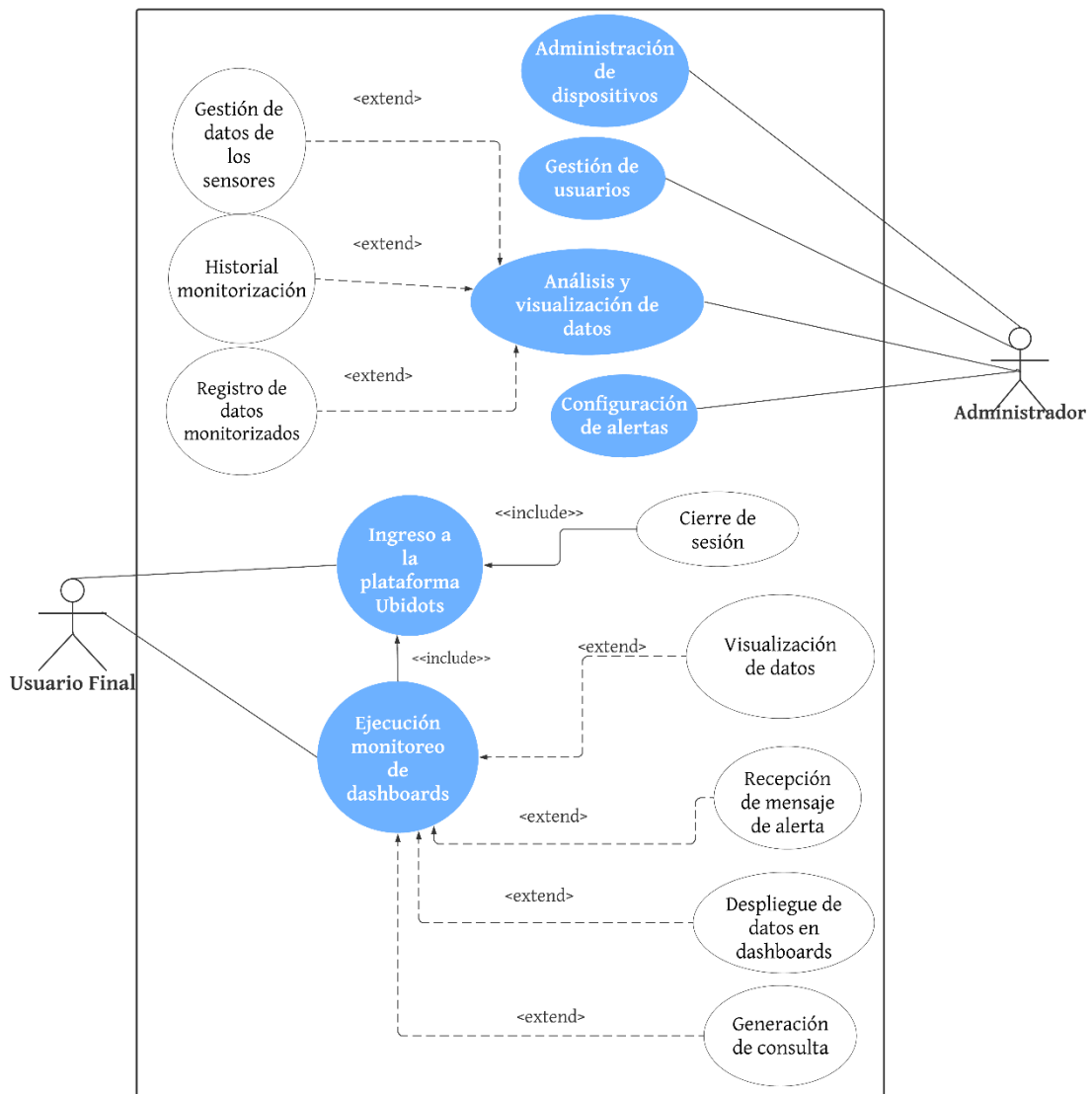


Figura 11 Caso de uso interacción del usuario con el sistema de monitoreo de la plataforma Ubidots.
Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Diagrama de secuencia (funcionalidad de los nodos sensores de IoT).

Un diagrama de secuencia representa una sucesión típica de eventos que ocurren en los nodos sensores de un sistema IoT, incluyendo la transmisión de datos hasta la plataforma IoT que gestiona los datos en la nube (para el caso de estudio, Ubidots). Cada nodo sensor puede tener diferentes especificaciones y funcionalidades dependiendo de los requisitos del sistema y entorno en el que se utiliza.

En la Figura 12, muestra el flujo del nodo sensor que comienza a recopilar datos del entorno, como la temperatura, la humedad, presión y densidad de polvo, y los almacenan temporalmente. El nodo sensor se comunica con el gateway de la red IoT, utilizando tecnología Wi-Fi, y transmite los datos medidos al gateway. El gateway recibe los datos del nodo sensor y los procesa.

El gateway envía los datos procesados a la plataforma IoT Ubidots utilizando el protocolo de comunicación MQTT. La plataforma IoT Ubidots almacenan los datos recibidos y los presenta en gráficos a partir de los cuales los usuarios pueden visualizar y analizar el comportamiento de los datos medidos del escenario donde se ha instalado el nodo sensor.

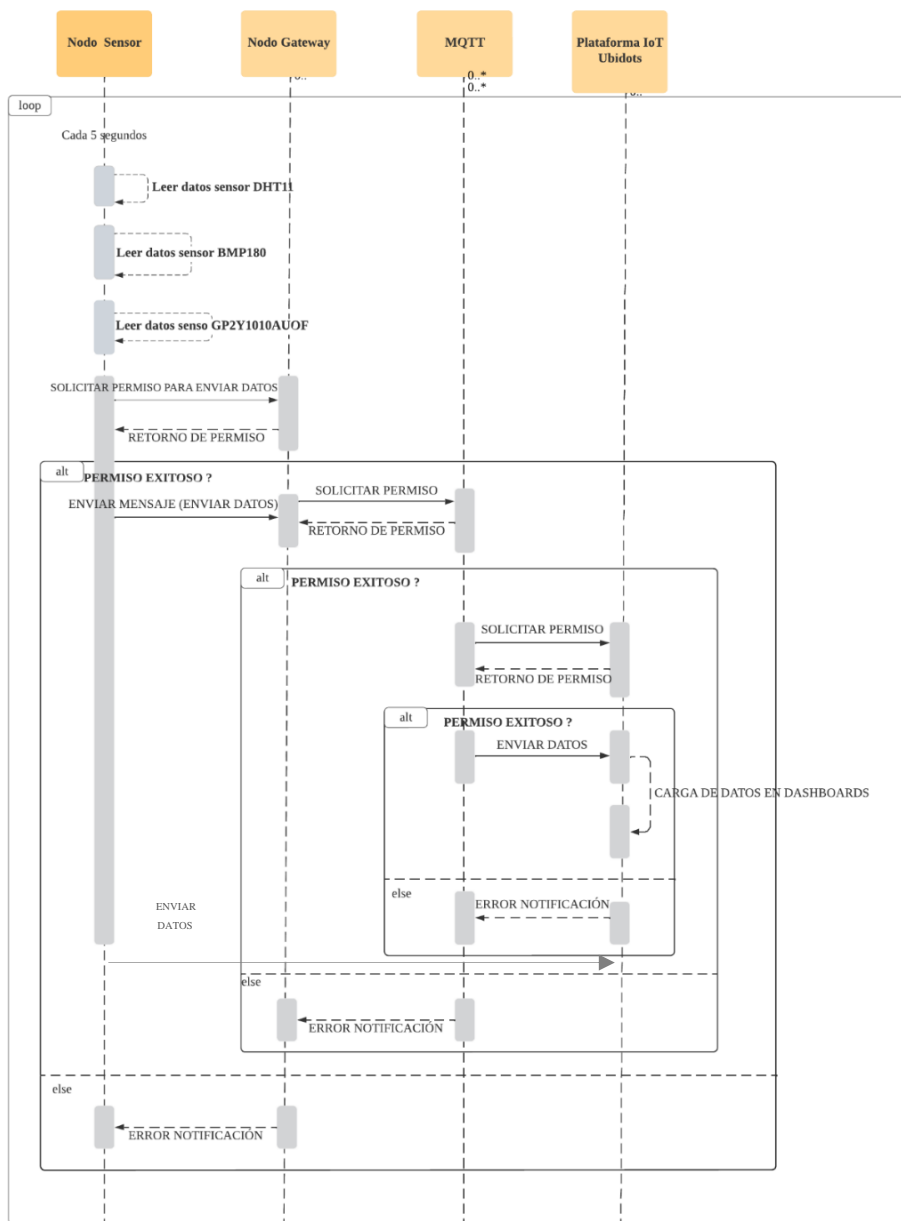


Figura 12 Diagrama secuencial de la aplicación Ubidots.
Fuente: Elaboración propia.

3.2. Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema de monitoreo utilizada consta de 3 capas con ciertas particularidades contextuales del problema. La primera capa hace referencia a los dispositivos de mediciones, la segunda capa es basada a la conectividad a la nube y la última capa es la visualización de los datos en una plataforma IoT.

En la Figura 13 se presenta la arquitectura lógica del sistema de monitoreo propuesto, de modo que, en la capa sensorica se realizó las lecturas de los parámetros ambientales que se midieron (temperatura, humedad, densidad del polvo, presión y materia particulado (pm)) utilizando sensores. Estos sensores están conectados a un microcontrolador capaz de transmitir los datos en la nube. En la capa de conectividad los datos de los sensores son transmitidos a la nube a través de una conexión inalámbrica Wi-Fi mediante el protocolo de comunicación MQTT. Los datos recibidos en la nube son procesados y almacenados en la plataforma IoT, que permite visualizar, analizar y controlar los datos de dispositivos IoT en tiempo real. Por último, en la capa de aplicación se utilizó la plataforma Ubidots. En dicha plataforma, la visualización de los datos se realiza a través de una interfaz web mediante dashboards personalizados.

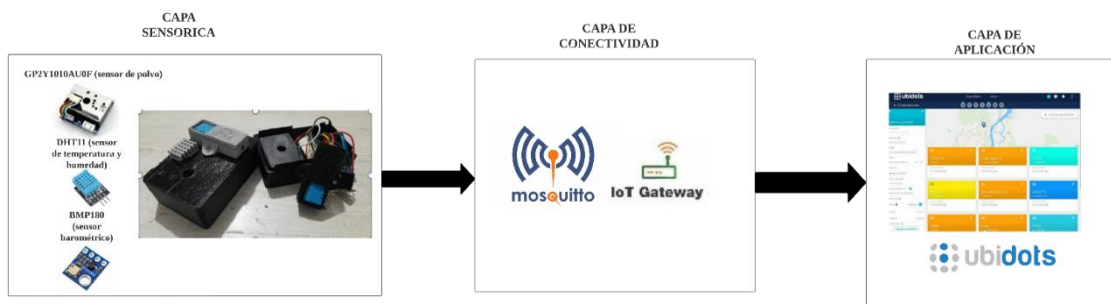


Figura 13 Arquitectura del sistema.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.1. Implementación de la capa de percepción (nodo sensor)

El proyecto de investigación ha contemplado dos tipos de nodos IoT (sensor y Gateway) y la implementación de la plataforma IoT.

El diagrama de flujo presentado en la Figura 14 representa de manera simplificada el proceso del nodo sensor. Este diagrama incluye la declaración de las librerías y variables necesarias para establecer la comunicación I2C y la activación del nodo sensor. Una vez activado, se inicia la lectura de datos de los sensores, con un intervalo de espera de cinco segundos. Posteriormente, se procede a transmitir la información a través del gateway.

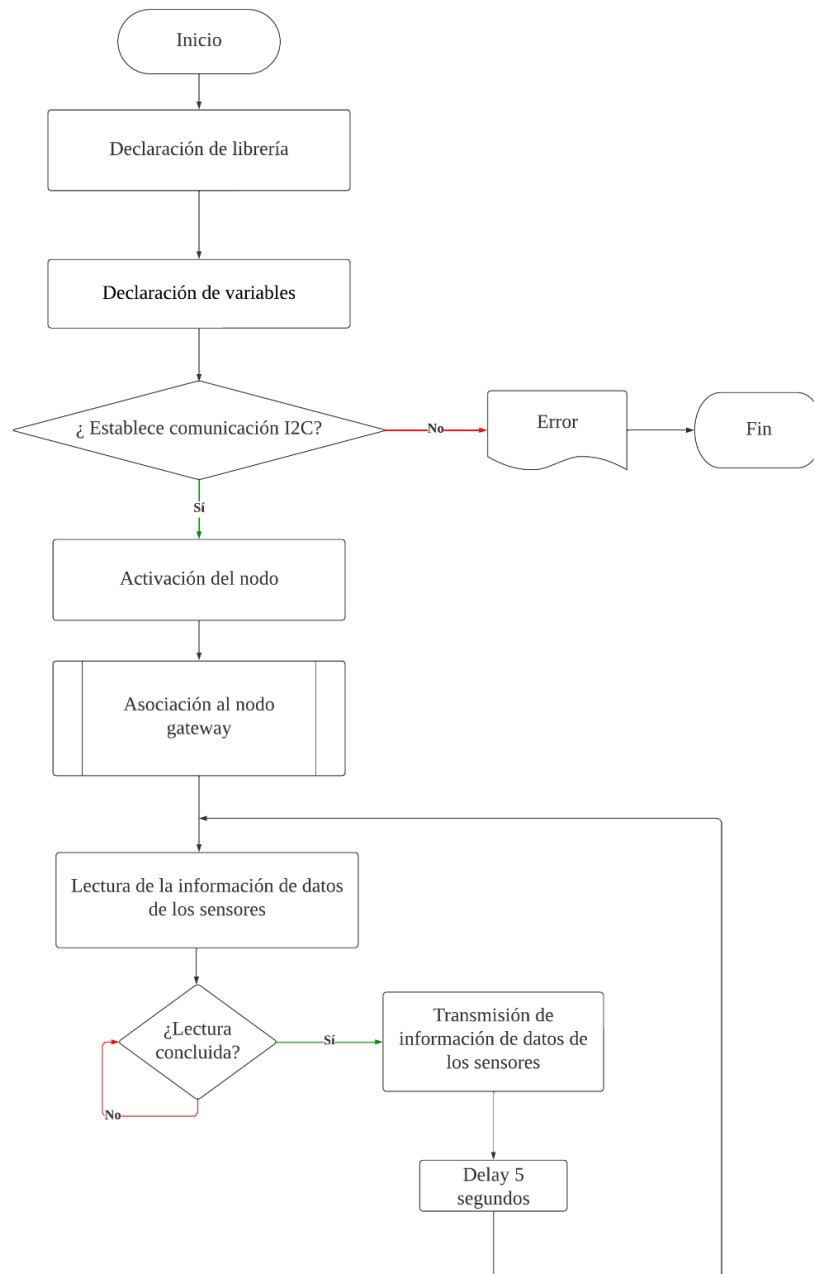


Figura 14 Diagrama de flujo del funcionamiento del nodo sensor.
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 15 se ilustra la esquematización lógica del circuito del prototipo electrónico. En dicho circuito los sensores utilizaron los pines del puerto I2C. Para medir la temperatura y la humedad se empleó el sensor DHT11, mismo que fue conectado en el pin digital 1 (D1) del microcontrolador.

De manera similar, el sensor llamado BMP280 permitió medir datos de altitud y presión atmosférica. En este caso se utilizó el pin digital 2 (D2) del microcontrolador. Otro sensor que se conectó al microcontrolador fue el sensor GP2Y1010AUOF para

medir la densidad del polvo. Este se conectó en el pin digital 5 (D5). Todos los sensores trabajaron con la conexión a tierra (GND) y con voltaje (VCC) de 3.3 V.

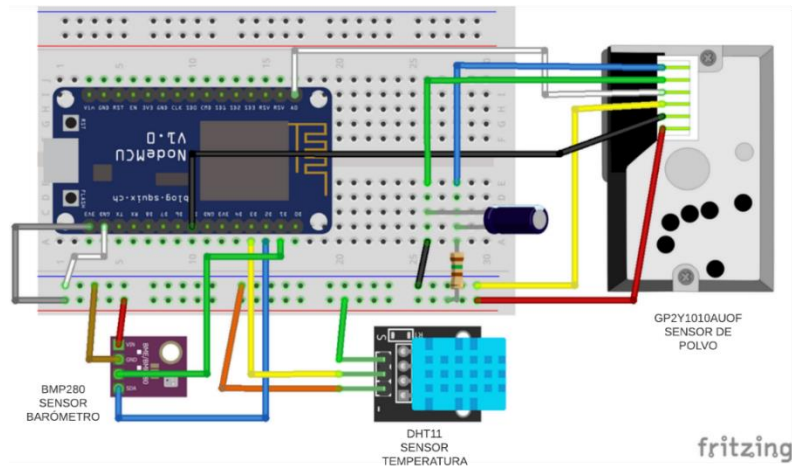


Figura 15 Diseño y esquematización del prototipo electrónico.
Fuente: Elaboración propia

Las Figuras 16.a y 16.b presentan cómo los sensores están conectados al microcontrolador ESP8266. En la figura 16.c muestra una cubierta hecha de material PLA (ácido poliláctico) por la impresora 3D láser CNC (control numérico por computadora) esto permite que los sensores estén protegidos y limita la interacción del usuario directamente con los sensores porque pueden cambiar los datos que recopilan. En el Anexo 4 se muestra ensamblaje de los protectores para los sensores.

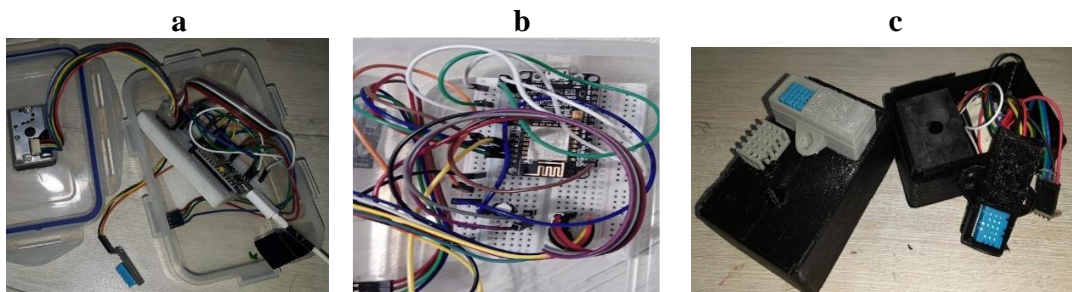


Figura 16 Prototipo para el monitoreo de la calidad del aire.
Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Implementación de la capa de comunicación (nodo Gateway)

El nodo Gateway actúa como intermediario entre dos o más redes diferentes. La Figura 17 presenta su funcionalidad y la forma cómo se enruta el tráfico de datos comenzando

con la configuración del Gateway y el protocolo de comunicación. Una vez realizado dicha configuración se establece la comunicación del nodo sensor y la conectividad con el servidor de internet para recibir los datos en la nube IoT luego se procede con el envío de datos a la plataforma IoT.

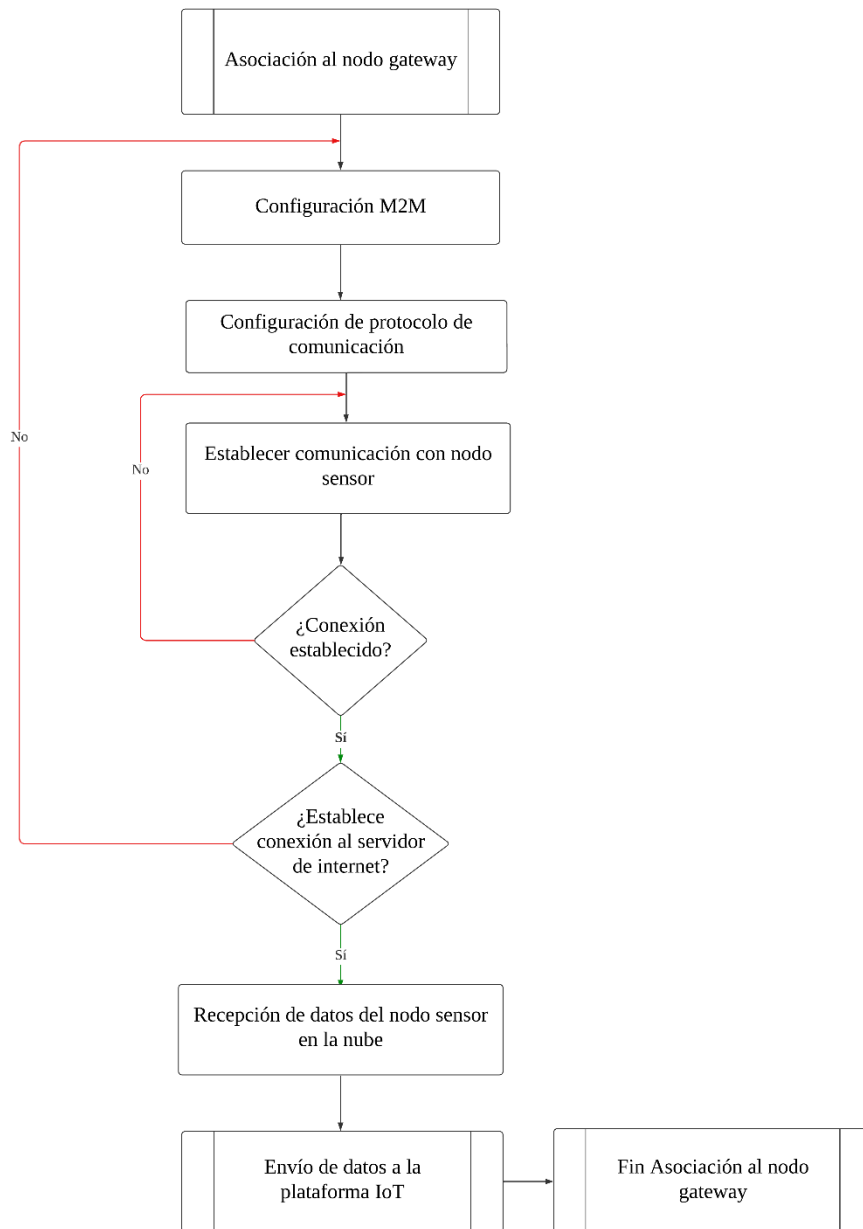


Figura 17 Diagrama de flujo del funcionamiento del nodo Gateway.
Fuente: Elaboración propia

El nodo gateway se encarga de enviar datos de los sensores para que posteriormente sea recibido en la nube a través de la plataforma IoT usada.

MQTT utiliza los mecanismos de publicación/suscripción y tópicos para facilitar la comunicación eficiente y flexible entre dispositivos en el contexto del Internet de las Cosas. Estos mecanismos permiten una arquitectura escalable y descentralizada, donde los dispositivos pueden intercambiar información de manera selectiva y sin la necesidad de establecer conexiones directas entre ellos, así como se muestra en la Figura 18. Basado en el modelo de publicación, el cliente que publica es el nodo final a través del microcontrolador ESP8266; mientras que el bróker es la plataforma Ubidots y éstos son visualizados por medio del dashboards de la plataforma IoT.

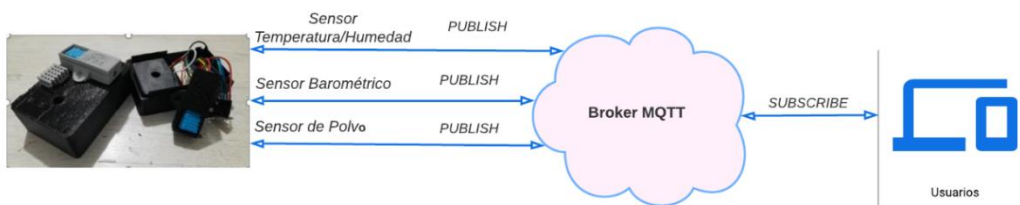


Figura 18 Diagrama de comunicación MQTT
Fuente: Elaboración propia

Para iniciar con el proceso de comunicación del sistema se verifica el estado de la red utilizando el servidor que contiene la dirección IP (i.e., 192.168.10.228), el puerto disponible para las pruebas de conexión es el 1883. A partir de esta dirección se configuran los dispositivos, con la aplicación MyMQTT. En la Figura 19 se muestra una prueba de envío de datos del sensor DHT11 y BMP280 mediante el protocolo de comunicación MQTT.

```

Administrator: Símbolo del sistema - mosquitto_sub -h 192.168.10.228 -t PROCESO_2
C:\Program Files\mosquitto>mosquitto_sub -h 192.168.10.228 -t PROCESO_2
Sensor_temperatura_2 = 110.0°C
Sensor_presion = 156 psi
Sensor_humedad = 0,08%
  
```

Figura 19 Envío de datos mediante el protocolo de comunicación.
Fuente: Elaboración propia

Una vez que se ha verificado que existe el proceso de comunicación con el protocolo MQTT, se procede con la instalación de la librería *UbidotsMQTTESP8266* para el envío de datos directamente a la plataforma Ubidots.

3.2.3. Implementación de la capa de aplicación (Plataforma IoT (Ubidots))

La plataforma IoT permite la conexión, gestión y análisis de los sensores IoT. Para implementar la capa de aplicación en la plataforma IoT Ubidots, se deben seguir los siguientes pasos: crear una cuenta, crear dispositivos, configurar variables, conectar los dispositivos, enviar datos a la plataforma y visualizar los datos en los dashboards. Ubidots ofrece una variedad de herramientas y opciones para cada uno de estos pasos, lo que permite personalizar la implementación de la capa de aplicación según las necesidades específicas del proyecto. La Figura 20 presenta un diagrama de flujo simplificado que muestra las acciones llevadas a cabo por el sistema de la plataforma IoT, desde la adquisición de datos hasta la visualización a través de los dashboards.

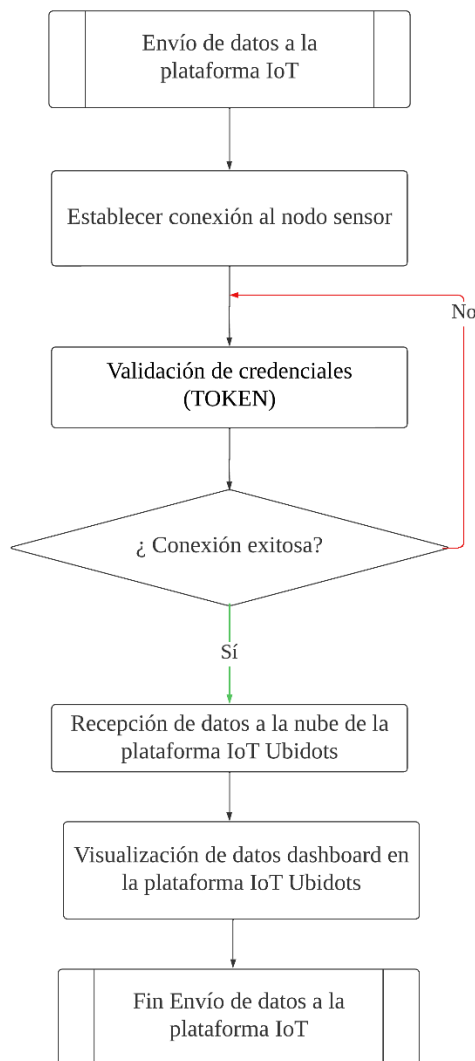


Figura 20 Diagrama de flujo del funcionamiento de la plataforma IoT.
Fuente: Elaboración propia

3.2.3.1. Sistema de monitoreo web

Ubidots proporciona herramientas para analizar los datos de los sensores y dispositivos de los nodos finales que fueron enviados a la plataforma sean usados para realizar análisis. Por lo cual, la plataforma Ubidots ofrece herramientas de análisis avanzadas, como la capacidad de crear alarmas y notificaciones para alertar a los usuarios cuando los datos superan ciertos umbrales.

En la Figura 21 se muestra la interfaz de monitoreo del sistema desarrollado, misma que realizó la configuración de alertas por email. Dependiendo del valor de los sensores que se estén utilizando se envía una alarma como, por ejemplo: enviar una alerta por email cuando la temperatura es mayor a 29° C.

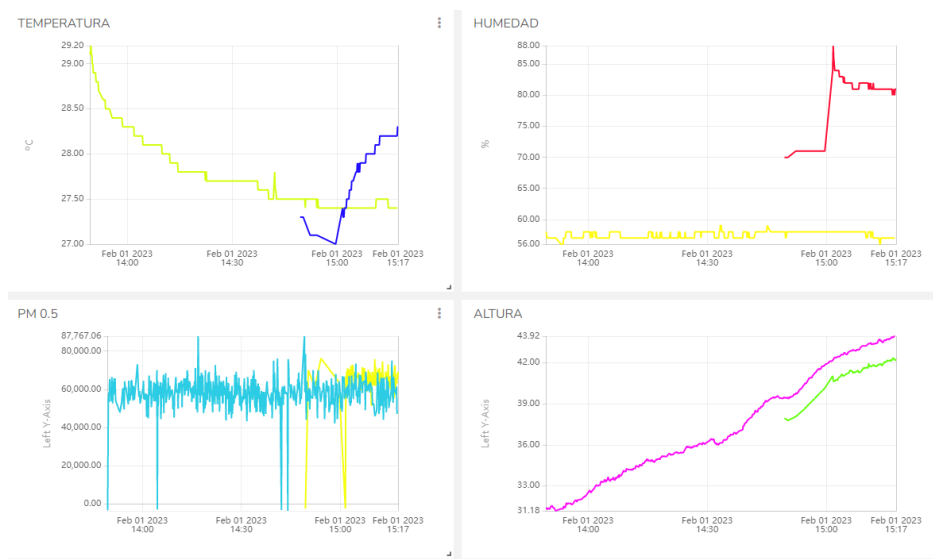


Figura 21 Presentación de gráfica lineal del dashboards de la plataforma Ubidots de las variables de temperatura, humedad, pm y altura.
Fuente: Elaboración propia

3.3. Evaluación de los datos proporcionados por el prototipo

Considerando que puede existir un alto índice de contaminación del medio ambiente, se realizó la prueba de monitoreo de parámetros meteorológico y calidad del aire del prototipo en la zona sur de la ciudad de Esmeraldas, donde el sensor 1 (c1) estuvo localizado en las instalaciones de la PUCESE y el sensor 2 (c2) estuvo instalado en el sector Codesa.

Para la evaluación del desempeño del sensor de temperatura y humedad (DHT11) en la Figura 22 se presentan las pruebas que se realizaron al ambiente externo en los meses

de febrero y marzo, por el cual, los datos obtenidos por la temperatura promedio ambiental se encuentra entre 27 a 29 grados centígrados

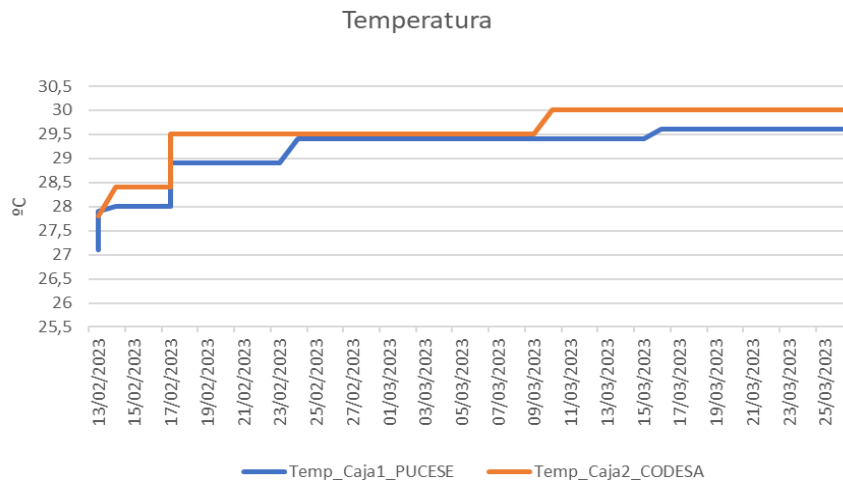


Figura 22 Datos de temperatura obtenida por el sistema.
Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos obtenidos del prototipo, se recopilaron mediciones de la humedad relativa del aire. Esta medida representa el porcentaje de vapor de agua presente en el aire en relación con su densidad de vapor de saturación. En la Figura 23 se muestra que la humedad relativa promedio de los nodos, donde el nodo sensor 1 (c1) estuvo localizada en las instalaciones de la PUCESE obteniendo resultados promedio de 74% de humedad relativa, mientras que el sensor 2 (c2) instalado en el sector CODESA sur de la ciudad de Esmeraldas se visualizan datos promedios del 90% de humedad relativa.

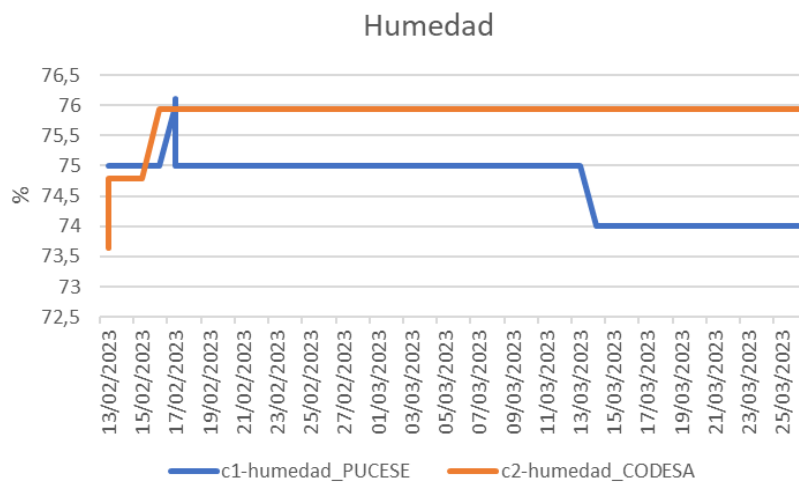


Figura 23 Datos de humedad obtenida por el sistema.
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 24 y Figura 25 se muestra los resultados de la prueba del sensor GP2Y1010AU0F que mide la densidad del polvo y la densidad de material particulado 0.5 ppm. Se visualiza que el promedio de la densidad del polvo del sensor 1 es de 0,029 kg/m³ y del sensor 2 su promedio es de 0,223kg/m³.

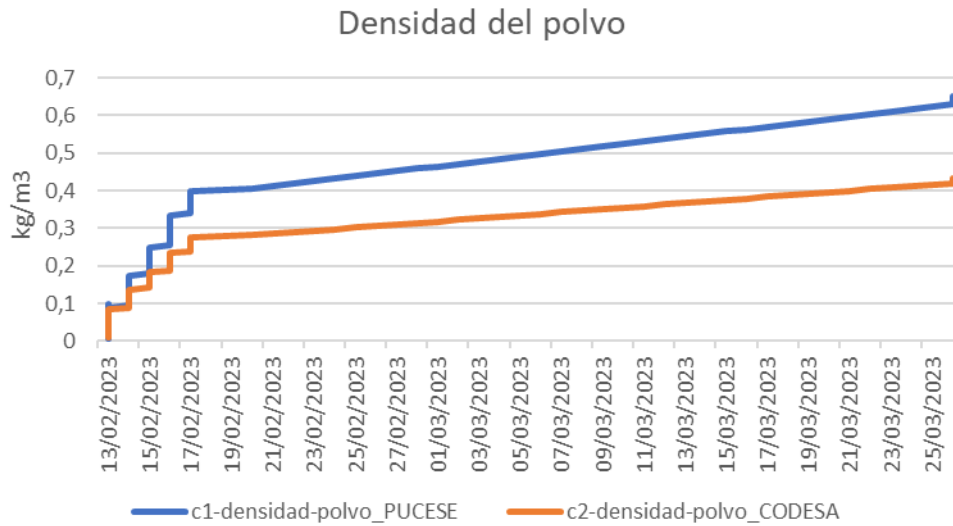


Figura 24 Datos densidad del polvo obtenida por el sistema.
Fuente: Elaboración propia

Para la evaluación de los datos del material particulado 2.5 pm se observa que el sensor 1 el promedio de sus datos es de 6084216 mg/m³ y del sensor 2 su promedio es de 7756230 mg/m³.

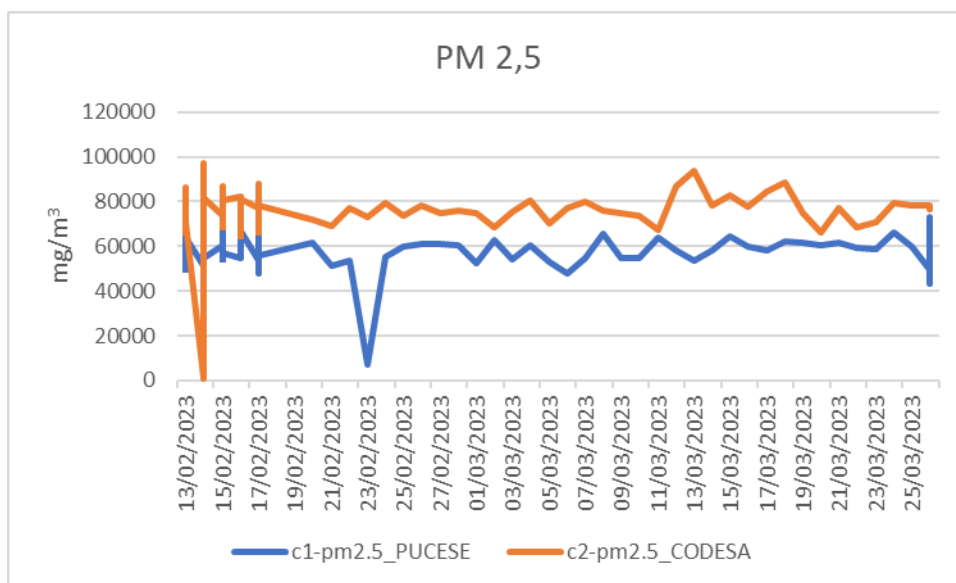


Figura 25 Datos de medición de la densidad de partículas.
Fuente: Elaboración propia

Con el objetivo de evaluar el rendimiento del sensor barométrico, en la Figura 26 se presentan las mediciones de la variable de presión. Estos datos fueron obtenidos utilizando los sensores BMP180 durante los meses de febrero y marzo. El promedio de las mediciones del sensor 1 es de 10,383.893 hPa, mientras que el promedio del sensor 2 es de 10,383.088 hPa.

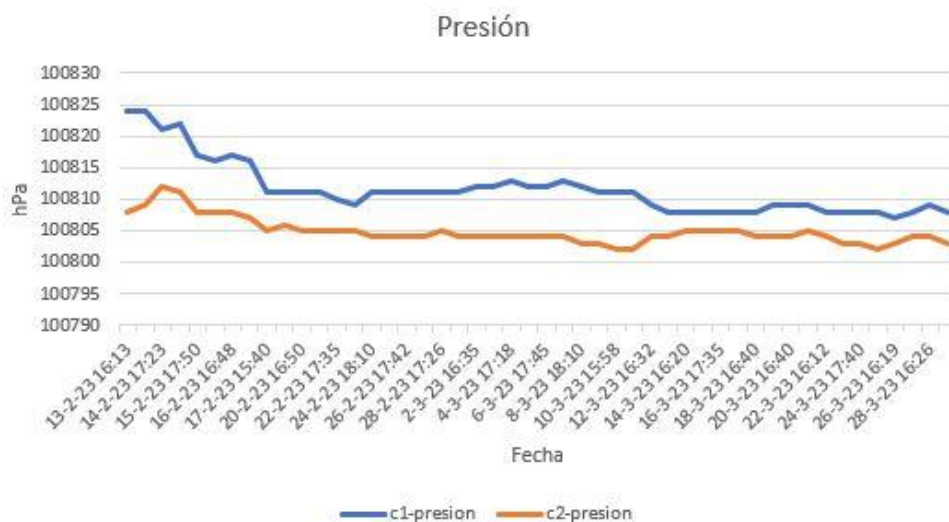


Figura 26 Datos obtenidos del sensor barómetro (presión).
Fuente: Elaboración propia

3.3.1. Análisis de los datos de calidad ambiental monitoreados

Los datos de sensores de concentración de contaminantes de bajo costo se recopilaron de manera georreferenciada y se agregaron durante un período de 43 días, de febrero a marzo. (Ver table 10).

Tabla 10 Muestra en función del tiempo.

Mes	Días	N° registros
Febrero	14	320
Marzo	29	468

Previo a la configuración de los sensores se evaluaron algunas variables meteorológicas como temperatura, humedad, densidad del polvo y material particulado. En la Figura 27 y Figura 28 se realizó el muestreo con los datos de humedad relativa y material particulado en el cual se presentaron perturbaciones fuera de los niveles de lecturas en el mes de febrero, por lo que algunos usuarios manipularon los sensores y no se mantuvo en una ubicación fija para las mediciones precisas.

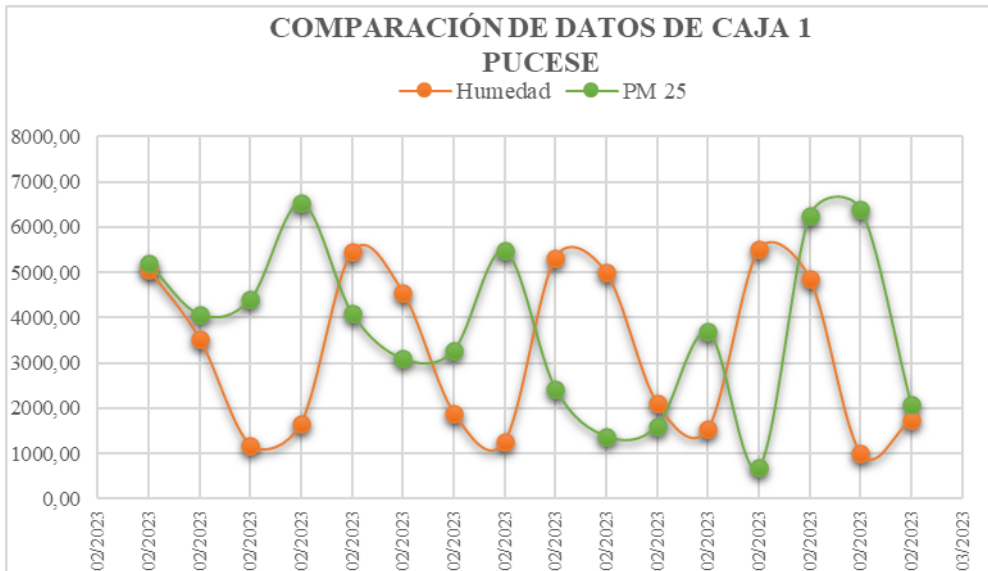


Figura 27 Comparación de datos de humedad y material particulado de la caja 1.
Fuente: Elaboración propia

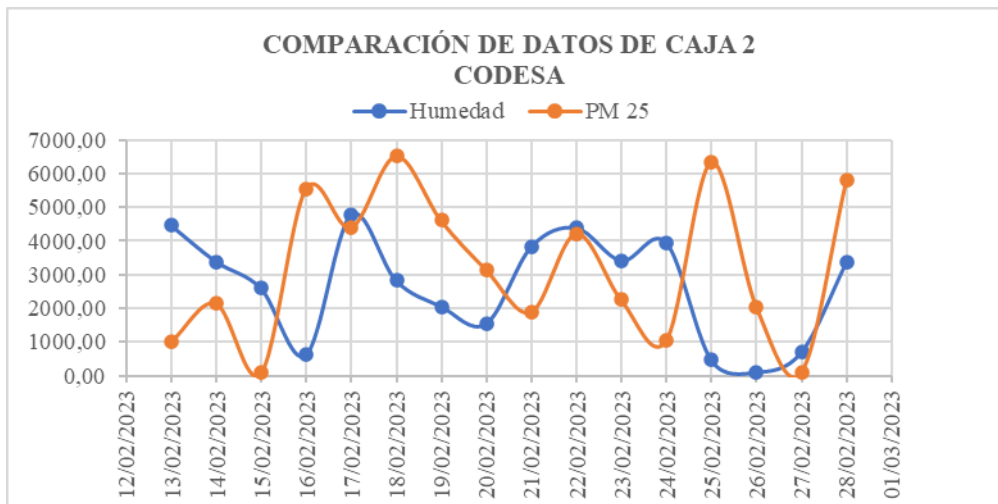


Figura 28 Comparación de datos de humedad y material particulado de la caja 2.
Fuente: Elaboración propia

Además, la Figura 29 compara los datos de temperatura, densidad de polvo y material particulado para los puntos georreferenciados de la PUCESE. Este gráfico muestra el cambio en los niveles de partículas 2.5 debido a la manipulación del sensor por parte del usuario.

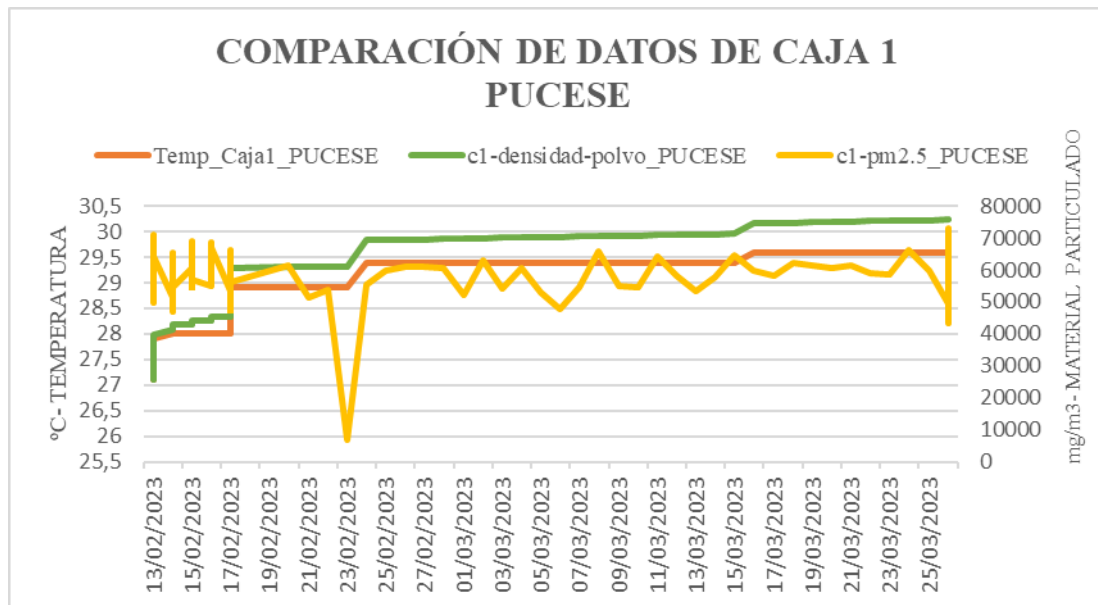


Figura 29 Comparación de datos de temperatura, densidad de polvo y material particulado sector PUCESE.
Fuente: Elaboración propia

De igual manera, en la Figura 30 se muestra la comparación de datos de temperatura, densidad de polvo y material particulado en el punto georreferencial CODESA, cuyos datos se mantienen constantes.

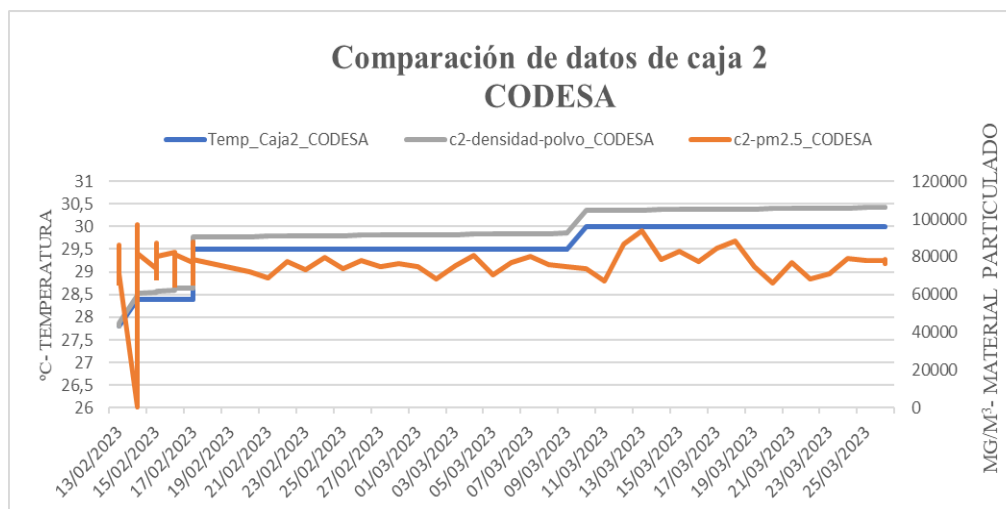


Figura 30 Comparación de datos de temperatura, densidad de polvo y material particulado sector CODESA.
Fuente: Elaboración propia

3.4. Evaluación de la usabilidad del sistema

Se realizó la evaluación de usabilidad de la manipulación del prototipo y uso de la plataforma web IoT Ubidots. Esta evaluación la realizaron 14 estudiantes de 7mo y 8vo nivel de la carrera de tecnología de la información en la PUCESE. Mediante la herramienta UXtweak se evaluó el uso del prototipo para el envío de datos a la plataforma

Ubidots IoT para el monitoreo de la calidad del aire, dicha herramienta se utilizó para desarrollar una encuesta de usabilidad relacionada con la plataforma IoT, donde la escala de calificación se establece de 1 (calificación mínima) a 10 (calificación máxima), así como se muestra en la Figura 31.

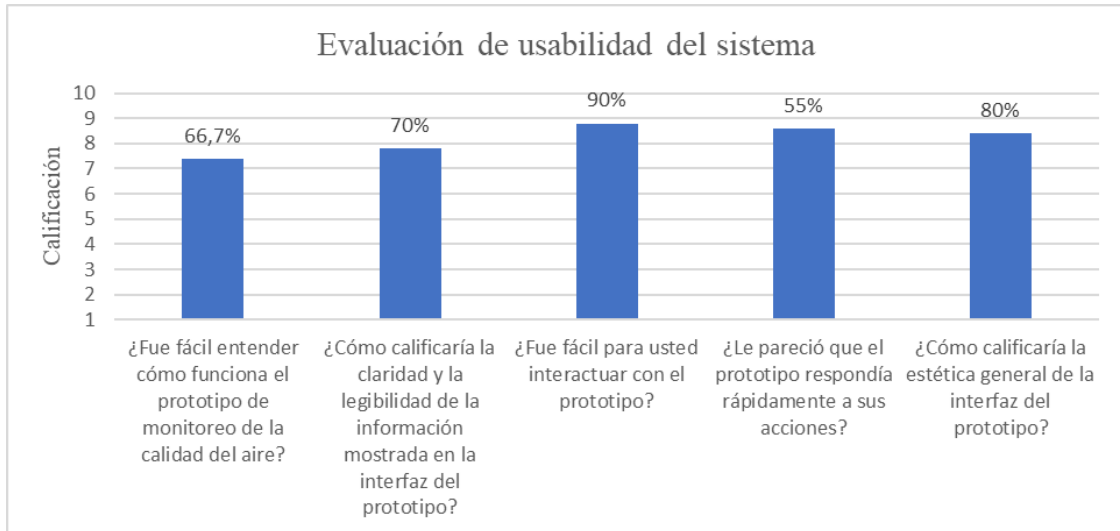


Figura 31 Evaluación de la usabilidad del sistema

Fuente: Elaboración propia.

En la primera pregunta, basada en la función del prototipo en el seguimiento del monitoreo en tiempo real de los parámetros meteorológicos, la calidad del aire, el 66.7% de los estudiantes dieron una puntuación promedio de 7.40 puntos, por lo que algunos estudiantes no interfirieron con algunos de los sensores utilizados en el prototipo.

La segunda pregunta evalúa la claridad y legibilidad de la información presentada a través del dashboard de la plataforma Ubidots IoT con un puntaje promedio de 7.80, otorgado por el 70% de los estudiantes, de los cuales los estudiantes manifestaron que el tablero de control debe contener más información sobre la interfaz donde se muestran los datos.

La tercera pregunta se basa en la manipulación o interacción del usuario con el prototipo, donde el 90% de los estudiantes encontraron el prototipo fácil de usar y dieron un puntaje promedio de 8.80, lo que indica que el prototipo electrónico de bajo costo es interactivo para todos los usuarios.

Para la operación de envío de datos del prototipo a la plataforma Ubidots, los estudiantes manifestaron que el tiempo de visualización de los datos en la plataforma es

muy rápido, por lo que pueden monitorear la calidad del aire en tiempo real, otorgándole un puntaje de 8.60.

Después de recibir los resultados de la evaluación de usabilidad de los estudiantes de la PUCESE, es importante asegurarse de que el sistema de monitoreo de la calidad del aire que utiliza la plataforma Ubidots IoT sea fácil de usar, eficiente y efectivo para los usuarios.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

La exploración del método SEM mediante un sistema inteligente de monitoreo ambiental como es evidente en el estudio de Ullo y Sinha [34] recopila datos ambientales utilizando protocolos y estándares de comunicación combinando tecnología IoT, sensores industriales, IA y WSN. En el estudio aplican el aprendizaje automático sobre datos espacio-temporales a lo largo del tiempo para generar datos sensoriales de alta calidad. Por otro lado, en este estudio se utilizó sensores IoT de bajo costo para el monitoreo ambiental utilizando técnicas sólidas de aprendizaje automático. Aunque la investigación se centra en la recopilación de datos ambientales, no se utilizan sensores industriales, que suelen tener un rango de medición más amplio debido a su costo. Sin embargo, el uso de sensores de bajo costo para investigaciones educativas son opciones más económicas y simples, adecuadas para aplicaciones menos exigentes o donde la precisión y durabilidad no son críticas, en cambio, los sensores industriales son más robustos, precisos, diseñados para su uso en entornos industriales exigentes donde la calidad y la precisión son fundamentales.

Las investigaciones propuestas por Tacuri y Wellington [35], y Khalid y Kafli [36], presentaron un enfoque similar al de la propuesta actual. Ambos estudios tenían como objetivo desarrollar sistemas más inteligentes y eficientes para el monitoreo del medio ambiente utilizando microcontroladores. En ambas investigaciones, se estableció la conexión de sensores para medir diversas variables, como temperatura, humedad, dióxido de carbono, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, pH y nivel del agua. Algunos datos mencionados son monitoreados en tiempo real y los envíos de datos se lo realizó por medio de las redes LPWAN utilizando la plataforma IBM. En cambio, la autora de este trabajo se basó en las mediciones de temperatura, humedad, material particulado, densidad del polvo utilizando el microcontrolador ESP3286 con la red Wi-Fi enviando los datos a la plataforma UBIDOTS. Aunque Ubidots puede tener limitaciones en cuanto a la escala y las capacidades de análisis avanzado en comparación con la plataforma de IBM, se pudo crear una capa de aplicación de IoT sin costo alguno, únicamente usando la versión de pruebas que ofrece la plataforma. En términos de amplitud de la cobertura de la red, es evidente que las redes LPWAN son más adecuadas para aplicaciones de IoT que requieren una amplia cobertura, bajo consumo de energía y transmisión de datos a

intervalos más largos. No obstante, en la investigación que se llevó a cabo en este proyecto se empleó las redes Wi-Fi debido a que son más adecuadas para aplicaciones locales que requieren una conexión rápida y confiable, donde el consumo de energía no es una limitación y se necesita una alta velocidad de datos. Además, muchos de los hogares de Esmeraldas cuentan ya con conectividad a este tipo de estándar de comunicación.

Analizando el estudio del apartado de usabilidad del prototipo, se tuvieron en cuenta algunos aspectos como el funcionamiento y la satisfacción del usuario, lo que llevó a una positividad media en comparación con Ling, Lecai y Xian [37], quienes obtuvieron un resultado favorable porque, además, del monitoreo en tiempo real, se realiza la purificación del aire en el interior. En el estudio que se describe en este informe se logró un nivel de usabilidad aceptable aun trabajando con tecnologías de bajo coste. Esto motiva a seguir trabajando en este tipo de prototipos para desarrollar aplicaciones complementarias a nivel de hogares, hospitales, instituciones educativas, entre otras.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECONMEDACIONES

5.1. Conclusiones

Esta investigación ha demostrado la viabilidad y el potencial del uso del Internet de las Cosas (IoT) como una solución eficiente para la adquisición automática de datos ambientales y de calidad del aire. A través de la revisión bibliográfica se ha logrado recopilar información precisa en tiempo real sobre diferentes variables ambientales (temperatura, humedad, densidad del polvo, pm 2.5 y presión) y sensores IoT, permitiendo así un monitoreo continuo.

Los resultados obtenidos muestran que los sensores IoT de bajo costo (DHT11, BMP280, GP2Y1010AUOF) puede desempeñar un papel fundamental en la recopilación de datos ambientales, ofreciendo una solución escalable y rentable para medir la calidad del aire y otros parámetros relevantes, por este motivo la implementación de los dos nodos sensores estuvieron en diferentes ubicaciones geográficas para el análisis y comparación de datos.

El primer nodo estuvo ubicado en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas y el segundo nodo se ubicó en el sector sur CODESA de la ciudad Esmeraldas lo que ha permitido la obtención de datos a gran escala y una visión más completa de los patrones y tendencias ambientales puesto que se pudieron observar en los análisis de los resultados una perturbación fuera de los niveles de lectura en el mes de febrero motivo que hubo manipulación de los nodos por los usuarios.

Además, la implementación de la plataforma web Ubidots permitió la transmisión y almacenamiento eficiente de datos recopilados, lo que facilita su acceso y análisis posterior. La capacidad de recopilar y procesar grandes cantidades de información en tiempo real ha permitido la identificación temprana de problemas ambientales y la toma de decisiones informadas.

Finalmente se evaluó el prototipo y el monitoreo de los datos basados en diferentes marcos de usabilidad por el cual el 75% de los estudiantes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas de 7mo y 8vo nivel de la carrera de Tecnología de la Información que realizaron la prueba de usabilidad determinó lo siguiente: fácil manejo del prototipo, la claridad y legibilidad de la información presentada a través del dashboard de la plataforma Ubidots IoT.

Como conclusión general, el Internet de las Cosas ha demostrado ser una herramienta poderosa en la adquisición automática de datos ambientales y de calidad del aire. Su capacidad para recopilar, transmitir y analizar información en tiempo real proporciona una base sólida para el monitoreo y la gestión ambiental efectiva. Con un enfoque adecuado en la selección de sensores, el diseño de infraestructuras robustas y la implementación de plataforma IoT puede desempeñar un papel crucial en la protección y preservación del medio ambiente para las generaciones futuras.

5.2. Recomendaciones

Como propuesta a futuro se recomienda implementar sensores detectores de plomo (Pb), dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂) u otros sensores que se necesiten en dependencia de los estándares establecidos por la norma que se quiera usar como guía, por lo que en este proyecto solo se pudo medir la densidad del polvo y el material particulado 2,5 en el ámbito de la calidad del aire.

También se recomienda crear más estaciones de monitoreo para colocar en diferentes puntos de la ciudad, asegurando una distribución adecuada de los sensores para obtener una cobertura óptima y representativa.

Como última recomendación se sugiere establecer una infraestructura de comunicación sólida para transmitir los datos recopilados por los sensores. Se puede utilizar tecnologías como LoRa, LPWAN o redes de malla, dependiendo de los requisitos de cobertura, consumo de energía y ancho de banda. Debido a que en este proyecto se trabajó con la red Wi-fi.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] WHO Air quality Guidelines, “WHO global air quality guidelines,” *Coast. Estuar. Process.*, pp. 1–360, 2021.
- [2] O. M. de la Salud, “Cambio climático y salud,” 2021. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>.
- [3] J. Saini, M. Dutta, and G. Marques, “Sensors for indoor air quality monitoring and assessment through Internet of Things: a systematic review,” *Environ. Monit. Assess.*, vol. 193, no. 2, 2021, doi: 10.1007/s10661-020-08781-6.
- [4] C. C. González Manrique, C. M. Rodríguez Chisco, and others, “Prototipo IoT para la medición de la polución atmosférica en la Universidad Católica de Colombia,” 2020.
- [5] L. C. Tagliabue, F. Re Cecconi, S. Rinaldi, and A. L. C. Ciribini, “Data driven indoor air quality prediction in educational facilities based on IoT network,” *Energy Build.*, vol. 236, p. 110782, 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2021.110782.
- [6] A. Martínez, ““El Nuevo Marco Jurídico En Materia Ambiental En Ecuador. Estudio Sobre El Código Orgánico Del Ambiente,” *Actual. Jurídica Ambient.*, vol. Sección “C, no. n.89, pp. 1–32, 2019.
- [7] Reglamento al Código Orgánico del Ambiente [RCOA], “Ley de planificación del desarrollo y ordenamiento territorial,” *Regist. Of. Supl. 507*, no. 752, pp. 1–192, 2019.
- [8] L. Tapia, “Acuerdo Ministerial No.97-A.” 2017.
- [9] D. Petersen, “El aire que respiramos,” *EL Inf.*, p. 1, 2019.
- [10] Ministerio del Ambiente Ecuador, “Norma ecuatoriana de calidad del aire” *Libr. VI, Anexo 4*, p. 10, 2011.
- [11] Dirección de Monitoreo Atmosférico, “¿ Qué es el ozono ? El ozono como contaminante del aire,” no. X, p. 1, 2017.
- [12] P. Asha *et al.*, “IoT enabled environmental toxicology for air pollution monitoring using AI techniques,” *Environ. Res.*, vol. 205, no. June 2021, p. 112574, 2022, doi: 10.1016/j.envres.2021.112574.
- [13] J. P. Dias, A. Restivo, and H. S. Ferreira, “Designing and constructing internet-of-Things systems: An overview of the ecosystem,” *Internet of Things*, vol. 19, no. January, p. 100529, 2022, doi: 10.1016/j.iot.2022.100529.
- [14] D. B. Machado and C. A. Calderón, “Propuesta de arquitectura para Internet de las

- Cosas Network Management View project,” no. November 2016, 2016.
- [15] C. Tonato Chuquimarca and S. Sinche Maita, “Análisis comparativo entre arquitecturas de sistemas IoT,” *Rev. Investig. en Tecnol. la Inf.*, vol. 10, no. 21, pp. 55–70, Sep. 2022, doi: 10.36825/RITI.10.21.006.
- [16] B. Mazon-Olivo and A. Pan, “Internet of Things: State-of-the-art, Computing Paradigms and Reference Architectures,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 20, no. 1, pp. 49–63, 2022, doi: 10.1109/TLA.2022.9662173.
- [17] Y. L. C. Nuñez and A. F. Moreno, “La Gestión En Internet De Las Cosas,” *Telemática*, vol. 20, no. 2, pp. 63–84, 2021.
- [18] N. S. Mohammed and N. H. Selman, “Home Energy Management and Monitoring Using Ubidots Platform,” *Al-Furat J. Innov. Electron. Comput. Eng.*, vol. 1, no. 3, p. 14, 2020, doi: 10.46649/150920-03.
- [19] K. A. Pranoto *et al.*, “Comparison Analysis of Data Sending Performance Using The Cayenne and ThingSpeak IoT Platform,” in *2022 International Conference on Informatics, Multimedia, Cyber and Information System (ICIMCIS)*, Nov. 2022, pp. 337–342, doi: 10.1109/ICIMCIS56303.2022.10017648.
- [20] M. Belmonte, “Diseño e implementación de un sistema de alarma IoT basada en tecnologías Open Source.,” pp. 0–209, 2019.
- [21] Raúl Sánchez Madrid, “Sistema de monitorización meteorológico y ambiental con componentes de bajo coste y gestión de mensajería MQTT,” *Univ. Autónoma Barcelona*, pp. 1–13, 2022.
- [22] Cisco, “¿Qué es Wi-Fi? - Definición y tipos,” *CISCO*, 2020. <https://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/what-is-wifi.html> (accessed Aug. 27, 2022).
- [23] ICTP, “Wireless Standards for IoT: WiFi, BLE, SigFox, NB-IoT and LoR,” 2019. http://wireless.ictp.it/school_2017/Slides/IoTWirelessStandards.pdf.
- [24] K. K. Singh, A. Singh, K. Cengiz, y D. Le, Eds., “Machine Learning and Cognitive Computing for Mobile Communications and Wireless Networks,” *Wiley*, 2022.
- [25] A. Cama and D. Cama, “Las redes de sensores inalámbricos y el internet de las cosas,” *Inge Cuc*, vol. 8, no. 1, pp. 163–172, 2012.
- [26] A. Khalifeh, H. Salah, S. Alouneh, A. Al-Assaf, and K. Darabkh, “Performance Evaluation of DigiMesh and ZigBee Wireless Mesh Networks,” *2018 Int. Conf. Wirel. Commun. Signal Process. Networking, WiSPNET 2018*, 2018, doi: 10.1109/WiSPNET.2018.8538620.

- [27] S. Quincozes, T. Emilio, and J. Kazienko, “MQTT Protocol: Fundamentals, Tools and Future Directions,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 17, no. 09, pp. 1439–1448, Sep. 2019, doi: 10.1109/TLA.2019.8931137.
- [28] E. Buetas, “MQTT-SCACAUTH: Esquema de seguridad para el protocolo MQTT y su uso en el entorno del IIoT.” 2021.
- [29] T. Yokotani and K. Kawai, “Concepts and requirements of IoT networks using IoT Data Exchange Platform toward International standards,” *2019 IEEE Conf. Stand. Commun. Networking, CSCN 2019*, 2019, doi: 10.1109/CSCN.2019.8931337.
- [30] M. A. Daud and W. S. H. Suhaili, “Internet of things (IoT) with coap and HTTP protocol: A study on which protocol suits IoT in terms of performance,” *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 532, pp. 165–174, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-48517-1_15.
- [31] R. Rouse and K. Ferguson, “What is HTTP - HyperText Transfer Protocol,” *W3school*, 2019. <https://www.w3schools.in/http-tutorial/intro/>.
- [32] S. L. Ullo and G. R. Sinha, “Advances in smart environment monitoring systems using iot and sensors,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 11, 2020, doi: 10.3390/s20113113.
- [33] R. Tacuri and G. Wellington, “Desarrollo una red de sensores que permita la monitorización de los niveles de contaminación mediante tecnología LPWAN,” vol. 2507, no. February, pp. 1–9, 2020.
- [34] N. Kafli and I. Khalid, “Internet of Things (IoT) for Measuring and Monitoring Sensors Data of Water Surface Platform,” *2017 IEEE 7th Int. Conf. Underw. Syst. Technol. Theory Appl.*, 2017, doi: 10.1109 / USYS.2017.8309441.
- [35] L. S. Lu Ling, Cai Lecai, Gao Xiang, “Sistema inteligente de detección y purificación de la calidad del aire interior basado en el Internet de las Cosas,” *Sichuan Univ. Sci. Eng.*, vol. 31, 2018, doi: 10.11863/j.suse.2018.04.10.
- [36] X. Li *et al.*, “Internet of Things to network smart devices for ecosystem monitoring,” *Sci. Bull.*, vol. 64, no. 17, pp. 1234–1245, 2019, doi: 10.1016/j.scib.2019.07.004.
- [37] E. A. Maya Olalla and G. X. Chafra Altamirano, “Red inalámbrica de sensores a través de 6LoWPAN para una agricultura de precisión,” *Sathiri*, no. 6, p. 22, 2018, doi: 10.32645/13906925.277.
- [38] G. Maps, “Mapa geográfico zona sur de la ciudad de Esmeraldas,” pp. 1–2, 2022.
- [39] A. Y. R. Machado and L. S. G. Carrillo, “la investigación cualitativa: una mirada a partir del estudio de caso en los contextos educativos,” *Paper Knowledge*.

- Toward a Media History of Documents*, vol. 8, pp. 269–277, 2021.
- [40] F. Luis and G. Moncayo, *Metología de la investigación*. Mexico, 2014.
- [41] G. Guevara, A. Verdesoto, and N. Castro, “Educational research methodologies (descriptive, experimental, participatory, and action research),” *Rev. Científica Mundo la Investig. y el Conoc.*, no. 3, pp. 163–173, 2020, doi: 10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173.
- [42] “Método inductivo,” *Significados.com*, 2022. <https://www.significados.com/metodo-inductivo/>.
- [43] “Método deductivo,” *Significados.com*, 2022. <https://www.significados.com/metodo-deductivo/>.
- [44] J. F. López, “Estadística descriptiva,” *Economipedia*, 2019. <https://economipedia.com/definiciones/estadistica-descriptiva.html>.
- [45] M. Kharade, S. Katangle, G. M. Kale, S. B. Deosarkar, and S. L. Nalbalwar, “A NodeMCU based fire safety and air quality monitoring device,” *2020 Int. Conf. Emerg. Technol. INCET 2020*, pp. 3–6, 2020, doi: 10.1109/INCET49848.2020.9153983.
- [46] D. Bolaños, “Sensor De Temperatura Y Humedad DHT11,” *Almacen*, p. 1, 2021.
- [47] Y. Li and J. He, “Design of an intelligent indoor air quality monitoring and purification device,” *Proc. 2017 IEEE 3rd Inf. Technol. Mechatronics Eng. Conf. ITOEC 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 1147–1150, 2017, doi: 10.1109/ITOEC.2017.8122535.
- [48] B. Sensortec, “BMP085 digital pressure sensor,” p. 27, 2014.

ANEXOS

Anexo 1. Instrumento para realizar la entrevista

<p>Nombre del entrevistado:</p> <p>Fecha y hora de la entrevista:</p>
<p>Basado en la calidad del aire</p> <ol style="list-style-type: none">1. ¿En la ciudad de Esmeraldas existen un sistema de monitoreo ambiental o una estación meteorológica? Si existen, preguntar: ¿Dónde está localizado el sistema de monitoreo ambiental?2. ¿Cuáles son los parámetros ambientales del aire que se deben utilizar para tomar muestra de gases contaminantes?3. ¿Existen valores límites de calidad del aire aceptable en Ecuador?4. ¿Cómo se puede monitorear la calidad del aire?5. ¿Se puede definir una cobertura consistente para monitorear la calidad del aire?6. ¿Cuál es su opinión sobre la contaminación del aire que se presenta en la ciudad de Esmeraldas?7. ¿Cuáles son las principales causas por el cual se registran un alto índice de contaminación ambiental basándose en la calidad del aire?8. ¿Cree que en Ecuador es importante tomar acciones para frenar la contaminación ambiental y el cambio climático producido por emisión de gases tóxicos de las industrias? <p>Internet de las cosas y la contaminación ambiental</p> <ol style="list-style-type: none">1. ¿Cree que el internet de las cosas puede llegar a cambiar nuestras vidas drásticamente?2. ¿Que otro tipo de soluciones IoT existen para la conservación ambiental?3. ¿Considera que el monitoreo del aire mediante soluciones IoT es importante hoy en día?4. ¿Considera que el IoT tiene una buena relación entre costo/beneficio?

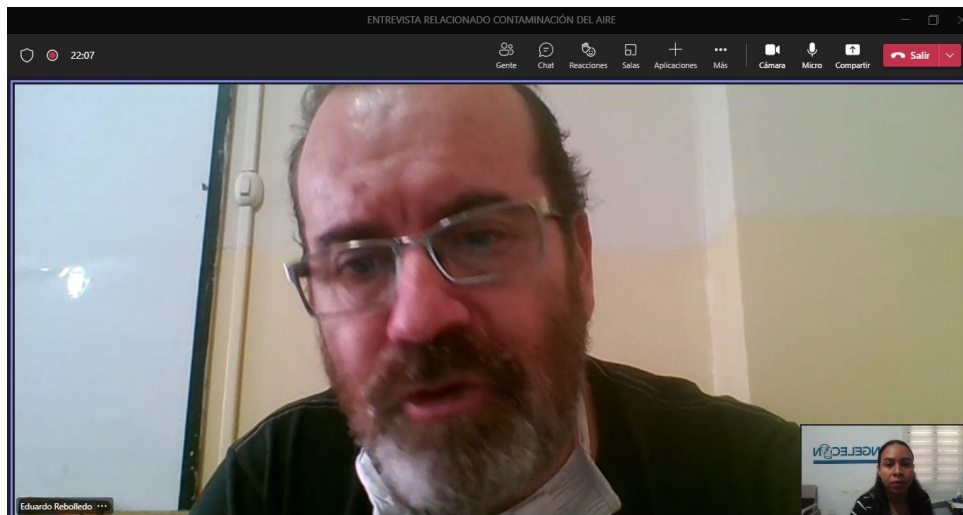
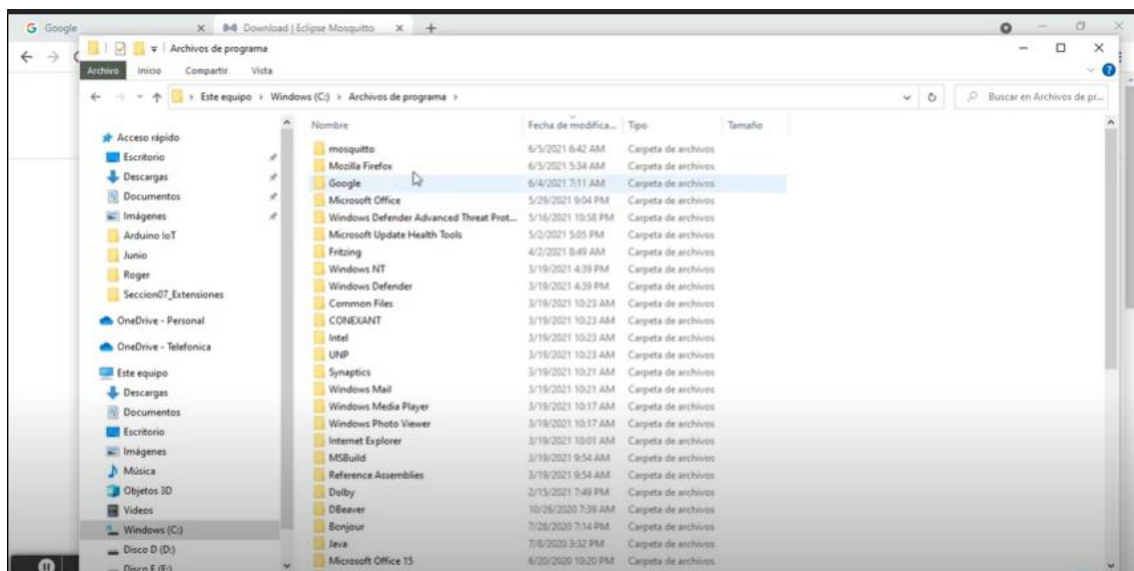


Figura 32 Entrevista con Msc. Eduardo Rebolledo sobre la calidad del aire.

Anexo 2: Configuración del servidor MQTT

Descargar el instalador mosquitto versión 2.0, luego se procede a ejecutar el programa. Terminando el procedimiento, se creará una carpeta en disco: “C:\Program Files\mosquitto”

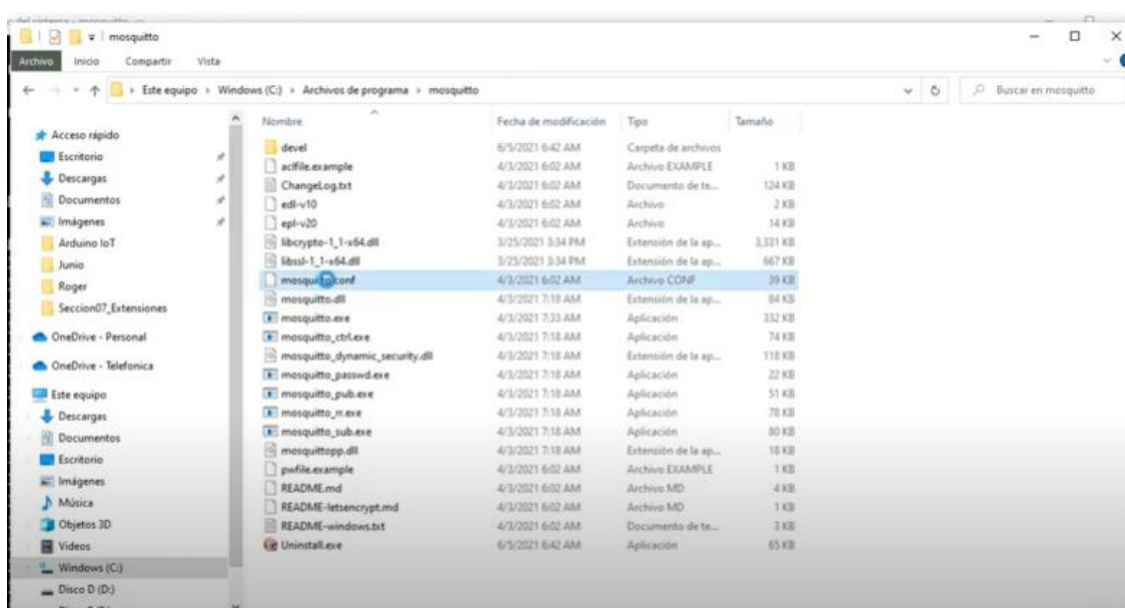


Para comenzar a ejecutar la herramienta mosquitto se debe abrir el sistema de comando (cmd) y entrar al directorio donde se encuentra la carpeta mosquitto.

El comando “mosquitto -v” permite inicializar la herramienta y visualizar la versión.

```
C:\Program Files\mosquitto>mosquitto -v
1622893442: mosquitto version 2.0.10 starting
1622893442: Using default config.
1622893442: Starting in local only mode. Connections will only be possible from clients running on this machine.
1622893442: Create a configuration file which defines a listener to allow remote access.
1622893442: For more details see https://mosquitto.org/documentation/authentication-methods/
1622893442: Opening ipv4 listen socket on port 1883.
1622893442: Opening ipv6 listen socket on port 1883.
1622893442: mosquitto version 2.0.10 running
```

Para conectarse en diferentes IP se debe modificar el archivo: mosquitto.conf. Dentro del archivo en el apartado Listeners se debe adicionar otro listeners para dar permisos a diferentes IP. En la sentencia allow_anonymous true permite conectarse remotamente usuarios no autenticado.



```
*mosquitto.conf: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
# messages sent to a subscriber will always match the QoS of its subscription.
# This is a non-standard option explicitly disallowed by the spec.
#upgrade_outgoing_qos false

# When run as root, drop privileges to this user and its primary
# group.
# Set to root to stay as root, but this is not recommended.
# If set to "mosquitto", or left unset, and the "mosquitto" user does not exist
# then it will drop privileges to the "nobody" user instead.
# If run as a non-root user, this setting has no effect.
# Note that on Windows this has no effect and so mosquitto should be started by
# the user you wish it to run as.
#user mosquitto

# =====
# Listeners
# =====

listener 1883 0.0.0.0
allow_anonymous true

# Listen on a port/ip address combination. By using this variable
# multiple times, mosquitto can listen on more than one port. If
# this variable is used and neither bind_address nor port given,
# then the default listener will not be started.
# The port number to listen on must be given. Optionally, an ip
```

Inicialización del servidor mosquitto MQTT

Se ejecuta mosquitto con el nuevo archivo de configuración para levantar el servicio.

Paso 1: `mosquitto -c mosquitto.conf`

```
C:\Program Files\mosquitto>mosquitto -c mosquitto.conf
```

Paso 2: En otra consola se ejecuta el comando (`mosquitto_sub -h 192.168.10.250 -t demo`)

```
C:\Program Files\mosquitto>mosquitto_sub -h 192.168.1.6 -t demo
```

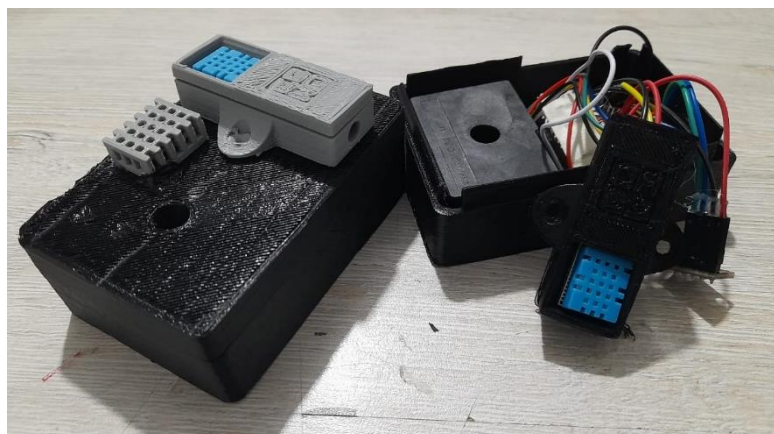
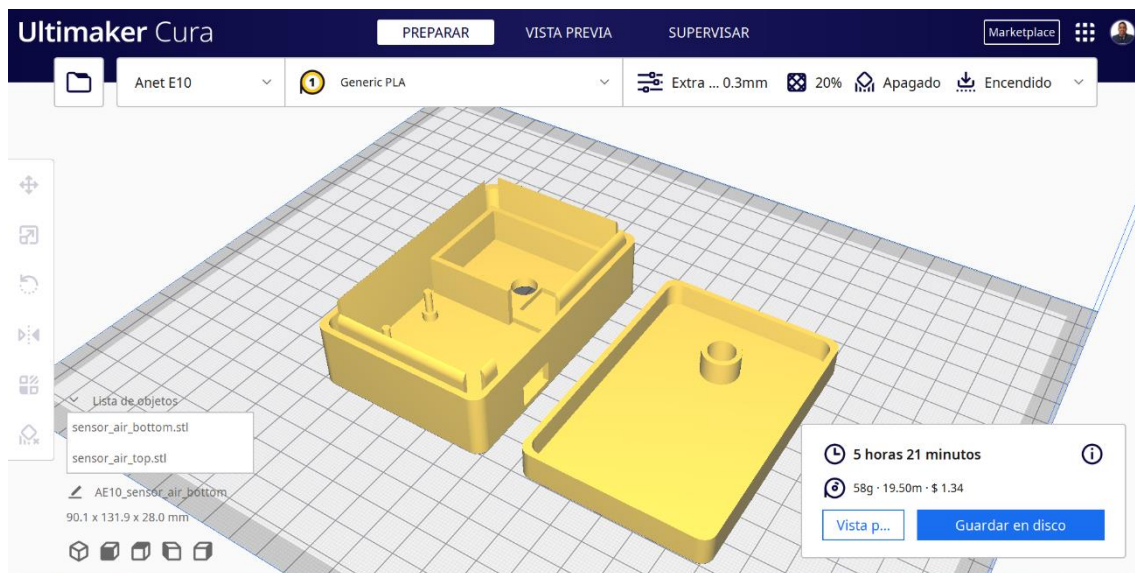
PASO 3: Abrir una nueva consola para verificar si se puede publicar (`mosquitto_pub -h 192.168.10.250 -t demo -m prueba`)

```
C:\Program Files\mosquitto>mosquitto_pub -h 192.168.1.6 -t demo -m prueba
```

Anexo 3: Evaluación de usabilidad del sistema Ubidots

The screenshot shows a survey interface from UXtweak. At the top left is the UXtweak logo, and at the top right is a 'Déjenos un Comentario' button. The main heading is 'Post-study questions'. Below it, the text reads 'Por favor, responda a las siguientes preguntas.' followed by 'Pregunta 1 de 6'. The question is '¿Fue fácil entender cómo funciona el prototipo de monitoreo de la calidad del aire?'. Below the question is a horizontal Likert scale from 1 to 5. The scale is labeled 'Muy difícil' at 1, 'Neutral' at 3, and 'Muy fácil' at 5. At the bottom left, it says 'Pregunta 1 de 6' and 'Paso 4 de 5'. At the bottom right is a yellow 'Siguiente' button.

Anexo 4: Ensamblaje de protectores para los sensores (realizado por máquina 3D)



Anexo 5: Código del prototipo encargado de medir datos y transmitir a el nodo receptor.

<https://github.com/klam0497/Prototipo/blob/b32223c4a6d31d1a6cfefd651c531b4be908755d/codigo.pdf>