



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

ESCUELA DE HÁBITAT, INGENIO Y CREATIVIDAD

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN**

**PROTOTIPO LORAWAN PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL
AIRE DENTRO DE LOS LABORATORIOS DE LA GESTURH**

NORMA JEAN PAZ FERRÍN

TUTOR: DARWIN MARCELO PILLO GUANOLUISA

IBARRA – ECUADOR

AGOSTO, 2025

Ibarra, 13 de agosto de 2025 .

CERTIFICACIÓN TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de integración curricular titulado: PROTOTIPO LORAWAN PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE DENTRO DE LOS LABORATORIOS DE LA GESTURH, presentado por la estudiante NORMA JEAN PAZ FERRIN con cédula de ciudadanía N°0803462365, para obtener el Título de INGENIERA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN.

Certifico que el trabajo cumple con todos los parámetros establecidos, mediante el cual el estudiante demuestra el desarrollo de competencias en el campo de conocimiento de su profesión con un nivel de argumentación coherente, para ser sometido a la evaluación por parte de los lectores.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de originalidad de TURNITIN.

Turnitin - Informe de Originalidad - Tesis Norma Jean Agosto 9 ..docx

Turnitin Informe de Originalidad	
Procesado el: 12-ago-2025 00:11 -05 Identificador: 2607154762 Número de palabras: 14869 Entregado: 4	Índice de similitud 5%
Tesis Norma Jean Agosto 9 ..docx Por NORMA JEAN PAZ FERRIN	Similitud según fuente Fuentes de Internet: 6% Publicaciones: 2% Trabajos del estudiante: 4%

Coincidencia del 1% (Internet desde 18-mar-2025) https://repositorio.ouca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/4584e3b6-09b9-4999-8126-b1800294c993/content
Coincidencia del 1% (trabajos de los estudiantes desde 04-jul-2024) Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE on 2024-07-04
Coincidencia del < 1% (Internet desde 01-abr-2025) https://repositorio.ouca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/cc73a1e2-c3dd-4644-8b72-e3974f9b1f5a/content
Coincidencia del < 1% (Internet desde 18-mar-2025) https://repositorio.ouca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d2636891-2e97-421e-aeba-23a9dafb07ce/content
Coincidencia del < 1% (Internet desde 16-oct-2024) https://repositorio.ouca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/32f595a0-aafc-4bba-acf8-f0b5873f6635/content
Coincidencia del < 1% (trabajos de los estudiantes desde 11-jun-2024) Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE on 2024-06-11
Coincidencia del < 1% (trabajos de los estudiantes desde 04-jul-2025) Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE on 2025-07-04
Coincidencia del < 1% (trabajos de los estudiantes desde 09-jul-2025) Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE on 2025-07-09
Coincidencia del < 1% (Internet desde 16-feb-2024)

http://turnitin.com/turnreport_printview.asp?eq=1&eb=1&esm=20&id=2607154762&sid=0&n=0&m=2&svr=38&w=72_2638665217362&lang=es

**Darwin
Pillo G.**

Firmado digitalmente por Darwin Pillo G.
DN: cn=Darwin Pillo G, gn=Darwin Pillo G, o=EC Ecuador, ou=Escuela de Arquitectura, Ingeniería, Diseño y Artes, ou=PUCE Ibarra, email=pillo@pucesi.edu.ec
Motivo: Apruebo este documento

Ubicación: Ibarra - Ecuador
Fecha: 2025-08-16 15:52:05.00

(f): _____
Mgs. Darwin Marcelo Pillo Guanoluisa
TUTOR DE TRABAJO
C.C.: 1003319660

PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El tribunal examinador, aprueba el presente trabajo en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Ibarra:

**Darwin
Pillo G.**

Firmado digitalmente por Darwin
Pillo G.
DN: cn=Darwin Pillo G.,
gn=Darwin Pillo G. c=EC
Ecuador l=EC Ecuador o=
Escuela de Arquitectura,
Ingeniería, Diseño y Artes
ou=PUCE Ibarra

e=dmpillo@pucesi.edu.ec
Motivo: Apruebo este documento
Ubicación: Ibarra - Ecuador
Fecha: 2025-08-19 15:52-05:00

(f):

Mgs. Darwin Marcelo Pillo Guanoluisa

C.C.: 1003319660

**LUIS
DAVID
NARVAE
Z ERAZO**

Firmado digitalmente
por LUIS DAVID
NARVAEZ ERAZO
DN: cn=LUIS DAVID
NARVAEZ ERAZO
gn=LUIS DAVID c=EC
Motivo: Soy el autor de
este documento
Ubicación:
Fecha: 2025-08-19
15:56-05:00

(f):

Mgs. Luis David Narváez

C.C.: 1002868378

**Mgs.
Stalin
Arciniegas**

Digitally signed by Mgs. Stalin
Arciniegas
DN: cn=Mgs. Stalin Arciniegas
gn=Mgs. Stalin Arciniegas c=EC
Ecuador l=EC Ecuador o=PUCESI
ou=Escuela de Ingeniería
e=smarciniegas@pucesi.edu.ec
Reason: I am the author of this
document
Location:

Date: 2025-08-19 13:02-05:00

(f):

Mgs. Stalin Marcelo Arciniegas Aguirre

C.C.: 1003496815

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo, *NORMA JEAN PAZ FERRIN*, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilidades de sus obras o prestaciones a título gratuito y oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 13 de agosto de 2025.

PAZ
FERRIN
NORMA
JEAN

Firmado digitalmente por PAZ
FERRIN NORMA JEAN
DN: cn=PAZ FERRIN NORMA
JEAN, gn=PAZ FERRIN
NORMA JEAN, o=EC Ecuador
l=EC Ecuador, ou=PUCE Ibarra
e=npjaz@pucesi.edu.ec
Motivo: Apruebo este
documento
Ubicación: Ibarra
Fecha: 2025-08-18 15:55:05:00

(f): _____

NORMA - JEAN PAZ FERRÍN,

C.C.: 0803462365.

AUTORÍA

Yo, *NORMA JEAN PAZ FERRIN*, portadora de la cedula de ciudadanía N° 0803462365, declaro que el presente trabajo de investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

PAZ
FERRIN
NORMA
JEAN

Firmado digitalmente por PAZ
FERRIN NORMA JEAN
DN: cn=PAZ FERRIN NORMA
JEAN, gn=PAZ FERRIN
NORMA JEAN, c=EC Ecuador,
l=EC Ecuador, o=PUCE Ibarra,
ou=PUCE Ibarra,
e=njpaz@pucesi.edu.ec
Motivo: Apruebo este
documento
Ubicación: Ibarra
Fecha: 2025-08-18 15:56:05:00

(f):.....

NORMA - JEAN PAZ FERRÍN.

C.C.: 0803462365.

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicar y agradecer, primeramente, a Dios, por permitirme vivir este momento tan especial junto a mis padres, **Juan Carlos Paz Albuja** y **Norma Ferrín Navarrete**, quienes han sido mi ejemplo a seguir y mi motor principal en esta etapa y en todos los objetivos que me propongo. Ellos han sido parte esencial y fundamental de esta experiencia y, con su esfuerzo, amor y apoyo incondicional, me han impulsado a seguir adelante, incluso en los momentos en que pensé que no podría más. Gracias por creer en mí, por estar siempre a mi lado, por acompañarme hasta alcanzar esta meta y por nunca soltar mi mano. Este logro es tanto mío como de ustedes.

A mi hermana **Renatta Paz**, gracias por tu apoyo, por tus palabras de aliento y por ese “tú sí puedes”. Gracias por escucharme en los días difíciles y por celebrar conmigo cada pequeño logro como si fuera tuyo.

A mi pequeña mascota, **Cleopatra**, mi compañera fiel, que con su compañía y cariño incondicional ha estado conmigo en cada momento, brindándome amor, alegría y ternura.

Dedico también este logro a **mis ángeles** de la guarda, mis abuelos, que desde el cielo me han protegido y guiado. Ellos me han transmitido fe, sabiduría y fortaleza para afrontar cada reto con firmeza y madurez, y sé que hoy sonrían orgullosos desde lo alto.

A mí mismo, por no rendirme, por cada madrugada de esfuerzo y cada noche de desvelo; por mantenerme firme cuando las fuerzas parecían agotarse; por creer en mis capacidades, aprender de mis errores y seguir adelante. Me agradezco la disciplina, la paciencia y la perseverancia que me han traído hasta aquí.

A todos ustedes, **familiares y amigos**, gracias por ser parte de este capítulo tan importante de mi vida, por su apoyo en la distancia o en la cercanía, por sus palabras y sus abrazos.

En esta vida, todo es posible. Los sueños sí se hacen realidad y, mientras tenga vida, yo seguiré soñando.

Con mucho amor.

Norma-Jean Paz Ferrín.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN TUTOR	i
PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	ii
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS	iii
AUTORÍA	iv
DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	12
CAPITULO I	14
ESTADO DEL ARTE	14
1.1 MARCO TEÓRICO	14
1.1.1 Monitoreo de la calidad del aire	14
1.1.2 Principios básicos del monitoreo de áreas	15
1.1.2.1 Categorías de sistema de monitoreo de áreas	15
1.1.3 Aplicaciones del monitoreo ambiental en entornos educativos	16
1.1.4 Sensores para monitoreo del ambiente	17
1.1.5 Conceptos Técnicos	19
1.1.5.1 Internet de las Cosas (IoT)	19
1.1.5.2 Redes de Baja Potencia y Largo Alcance (LPWAN)	21
1.1.5.4 Transmisión y visualización de datos en IoT	23
1.1.5.5 Protocolos para IoT	24
1.1.5.6 Computación en la nube	25

1.1.5.7 Desarrollo web	25
1.1.5.8 Arquitectura web	25
1.1.5.9 Lenguajes de programación	26
1.1.5.9.1 Lenguajes de programación para backend	26
1.1.5.9.2 Lenguajes de programación para frontend	27
1.1.6 Antecedentes	27
1.1.6.1 Diseño y desarrollo de un prototipo de red de sensores IoT utilizando tecnología LoRaWAN para el monitoreo de parámetros ambientales en interiores y exteriores.	27
1.1.6.2 Creación de un prototipo de monitoreo de temperatura del aire utilizando equipos de desarrollo de bajo costo y comunicación LoRaWAN: Implementación física de un prototipo de monitoreo de temperatura del aire utilizando equipos de desarrollo de bajo costo y comunicación LoRaWAN.	28
1.1.6.3 Sistema de monitoreo de contaminación del aire con redes de sensores inalámbricos en tiempo real.	28
CAPITULO II	30
MATERIALES Y MÉTODOS	30
2.1 Aspectos generales de la investigación	30
2.1.1 Tácticas para la recolección de datos	30
2.2 Metodología para el desarrollo	32
2.2.1 Fase 1: Desarrollo del prototipo	33
2.2.1.2 Diseño	35
2.2.1.3 Flujograma del prototipo	36
2.2.1.4 Arquitectura del prototipo	36
2.2.1.5 Tecnologías y herramientas utilizadas para la construcción del prototipo	37
2.2.1.6 Validación del prototipo	40
2.2.2 Fase 2: Desarrollo del sistema web	41
2.2.2.1 Alcance	41

2.2.2.2 Metodología XP	41
2.2.2.2.1 Fase 1: Planificación	41
2.2.2.2.2 Fase 2: Diseño	45
2.2.2.2.3 Fase 3: Desarrollo	49
2.2.2.2.4 Fase 4: Pruebas	50
CAPITULO III	51
RESULTADOS	51
Los rangos asignados se basados en la índice de calidad del aire según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2024) , donde se establecieron que según los colores haciendo referencia a seguro precaución o peligro	52
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFIA	65
ANEXO	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Calidad del aire deficiente.	15
Figura 2 Monitoreo Ambiental en la Educación.	18
Figura 3 Jerarquía de sensores de calidad de aire.	19
Figura 4 Funcionamiento de sensores de calidad del aire.	19
Figura 5 El internet de las cosas.	20
Figura 6 Funcionamiento del internet de las cosas.	21
Figura 7 Redes LPWAN.	22
Figura 8 Analíticas del internet de las cosas.	23
Figura 9 Comparación entre LoRa y LoRaWAN para conectividad IoT.	24
Figura 10 Diagrama de arquitectura IoT LoRaWAN.	25
Figura 11 Planos del taller de producción.	32
Figura 12 Ciclo de vida del prototipo.	33
Figura 13 Fases de la metodología XP.	34
Figura 14 Flujo del prototipo decodificador.	37
Figura 15 <i>Flujo de trabajo del proyecto.</i>	38
Figura 16 Sensor MQ-6.	39
Figura 17 Sensor DHT22.	40
Figura 18 Sensor Gas MQ-7.	40
Figura 19 Modulo ESP32 Lilygo TTGO.	41
Figura 20 Caso de uso 1: administrador del sistema web.	47
Figura 21 Caso de uso 2: usuarios del sistema web.	47
Figura 22 Arquitectura del sistema web.	48
Figura 23 Interacción entre el sistema web y el prototipo.	48
Figura 24 Modelo de la base de datos.	49
Figura 25 Interfaz gráfica del sistema web para el control de datos ambientales.	49
Figura 26 Prototipo resultante del desarrollo.	53
Figura 27 Conexión del prototipo con el bróker.	54
Figura 28 Registro de datos en la cocina del Laboratorio 180 ° de la GESTURH.	55
Figura 29 Prototipo finalizado.	56
Figura 30 Inicio de sesión en el sistema web.	57
Figura 31 Visualización de los datos ambientales en el sistema web.	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Requisitos del prototipo.	35
Tabla 2 Tabla de Pruebas de Funcionalidades del prototipo.	41
Tabla 3 Requisitos del sistema web.	43
Tabla 4 Roles del proyecto	44
Tabla 5 Historia de usuario 1: administración de usuarios.	44
Tabla 6 Historia de usuario 2: creación de reportes.	45
Tabla 7 Cronograma para el desarrollo del proyecto.	45
Tabla 8 Pruebas funcionales del sistema web.	50
Tabla 9 Unidades de medida de los sensores	52
Tabla 10 Resultados de pruebas funcionales del sistema web	56
Tabla 11 Pruebas funcionales del sistema web.	58

RESUMEN

El control de la calidad del aire se ha convertido en una preocupación fundamental debido a los efectos cada vez mayores de la contaminación atmosférica tanto en la salud pública como en el ecosistema. Las instalaciones educativas, especialmente los laboratorios destinados a la formación práctica, necesitan innovaciones tecnológicas que promuevan entornos seguros y saludables. Este proyecto muestra el diseño y el desarrollo de un prototipo que utiliza la tecnología LoRaWAN, destinado a evaluar la calidad del aire dentro de los laboratorios de la Escuela de Gestión en Empresas Turísticas y Hoteleras de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Ibarra.

El sistema desarrollado integra dispositivos del internet de las cosas, incluyendo sensores y un Gateway para comunicaciones, con una arquitectura de software modular y distribuida que consta de un backend y un frontend basado en web. Los datos ambientales como monóxido de carbono, gas licuado de petróleo, humedad y temperatura se recogen y transmiten a través de la red LoRaWAN a un servidor central utilizando el protocolo MQTT. El backend procesa, almacena y gestiona los datos, mientras que el frontend ofrece visualización en tiempo real a través de paneles intuitivos.

Este método mejoró la sostenibilidad ecológica al permitir tomar decisiones bien informadas gracias a alertas oportunas. Su aplicación en entornos educativos fomenta la ciencia ciudadana, la concienciación medioambiental y el aprendizaje interdisciplinar al hacer que los datos reales sean accesibles y procesables tanto para los expertos como para el público en general.

Palabras clave: LoRaWAN, calidad del aire, IoT, sensores ambientales

ABSTRACT

Air quality control has become a fundamental concern due to the growing effects of air pollution on both public health and the ecosystem. Educational facilities, especially laboratories used for practical training, require technological innovations that promote safe and healthy environments. This project showcases the design and development of a prototype using LoRaWAN technology, intended to assess air quality within the laboratories of the School of Tourism and Hotel Management at the Pontifical Catholic University of Ecuador in Ibarra.

The proposed system integrates internet of things devices, including sensors and a communication gateway, with a modular and distributed software architecture consisting of a backend and a web-based frontend. Environmental data such as carbon monoxide, Liquefied petroleum gas, humidity and temperature are collected and transmitted via the LoRaWAN network to a central server using the MQTT protocol. The backend processes, stores, and manages the data, while the frontend offers real-time visualization through intuitive dashboards.

This method improved ecological sustainability by enabling well-informed decisions thanks to timely alerts. Its application in educational settings promotes citizen science, environmental awareness, and interdisciplinary learning by making real data accessible and actionable for both experts and the general public.

Keywords: LoRaWAN, Air quality, IoT, environmental sensors

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el monitoreo de la calidad del aire se ha convertido en una necesidad urgente, impulsada por la creciente preocupación por la salud humana y el impacto ambiental de la contaminación atmosférica. Las instituciones educativas y sus espacios de práctica, como los laboratorios de gastronomía y turismo, no son ajenos a esta problemática, ya que la exposición prolongada a contaminantes puede afectar directamente el bienestar de estudiantes, docentes y personal administrativo.

El laboratorio de la de la Escuela de Gestión en Empresas Turísticas y Hoteleras (GESTURH) de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Ibarra (PUCEI) representa un espacio clave para la formación práctica de los estudiantes. Sin embargo, el uso de equipos de cocina y químicos durante las actividades gastronómicas puede generar contaminantes que afecten la calidad del aire interior, poniendo en riesgo el bienestar de quienes hacen uso frecuente de este entorno académico.

Este trabajo presenta el desarrollo de un prototipo basado en la tecnología LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), diseñado para monitorear en tiempo real diversos parámetros de calidad del aire dentro del laboratorio de la GESTURH. A través de una arquitectura distribuida, compuesta por sensores, un sistema backend y una plataforma web interactiva, se logró la recolección, transmisión, almacenamiento y visualización de datos ambientales relevantes.

El prototipo desarrollado utiliza tres sensores principales para monitorear distintos aspectos de la calidad del aire. El sensor MQ6 permite detectar la presencia de gases domésticos e inflamables, lo que es útil para medir la concentración de gas licuado de petróleo (GLP) en el aire. Por otro lado, el sensor MQ7, detecta y monitorea las concentraciones de CO (monóxido de carbono por sus siglas) en el aire.

Finalmente, el sensor DHT22 mide parámetros ambientales básicos como la temperatura y la humedad relativa del aire, esenciales para interpretar correctamente las condiciones del entorno. La incorporación de estos sensores permitió una evaluación integral de la calidad del aire en tiempo real dentro del laboratorio de la GESTURH para garantizar un entorno saludable y seguro. Considerando este preámbulo, se definieron los siguientes objetivos para ejecutar este proyecto.

Objetivo general:

Desarrollar un prototipo basado en tecnología LoRa para el monitoreo en tiempo real de la calidad del aire en los laboratorios de la GESTURH.

Objetivos específicos:

Identificar los parámetros críticos de calidad del aire en entornos educativos cerrados con los parámetros establecidos de medición.

- Diseñar e implementar un sistema de sensores compatibles con tecnología LoRa, adaptado al entorno del laboratorio, con enfoque en las actividades realizadas en el área de cocina.
- Desarrollar una plataforma web para visualizar los datos recolectados.
- Evaluar el prototipo en condiciones reales de uso en el laboratorio de la GESTURH.

Este documento se encuentra organizado en tres apartados. En el primer capítulo se exhibe el marco teórico relacionado con la calidad del aire, las tecnologías de monitoreo y el uso de LoRa y su tecnología. El capítulo II describe la metodología utilizada tanto en el desarrollo del prototipo y el desarrollo del sistema web. Finalmente, el tercer capítulo expone los resultados obtenidos, así como la validación del sistema en el laboratorio de la GESTURH.

CAPITULO I

ESTADO DEL ARTE

El presente capítulo tiene como finalidad establecer el marco conceptual que permitirá fundamentar la selección de metodologías y herramientas adecuadas para abordar la problemática de esta investigación. Para ello, se introducen los principales conceptos relacionados con la calidad del aire en zonas internas, así como las tecnologías asociadas a su monitoreo, incluyendo sensores y el desarrollo web para la creación de un sistema de registro.

Asimismo, se lleva a cabo una revisión de antecedentes y trabajos previos que han abordado estudios afines. Esta revisión permitió establecer una base sólida para el desarrollo de la presente investigación.

1.1 MARCO TEÓRICO

1.1.1 Monitoreo de la calidad del aire

Según SafetyCulture Content Team (2024) el monitoreo de la calidad del aire implica evaluar los diferentes ejemplos de contaminantes presentes en el medio ambiente para comprender sus efectos sobre la salud. Este proceso emplea diferentes sensores e instrumentos para identificar contaminantes atmosféricos como partículas en suspensión (PM2.5 y PM10), gases como dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), ozono (O₃) y compuestos orgánicos volátiles (COV). Esta actividad es esencial para conocer la dimensión de la influencia de la contaminación del ambiente sobre la salud humana, para evitar una calidad del aire deficiente como se describe en la Figura 1.

Figura 1

Calidad del aire deficiente.



Los sistemas de monitoreo de calidad del aire pueden ser fijos o móviles, y van desde estaciones meteorológicas de alta precisión hasta redes de sensores portátiles. La integración de tecnologías IoT ha permitido que el monitoreo sea más accesible y en tiempo real, favoreciendo una mejor toma de decisiones por parte de gobiernos, empresas y ciudadanos (SafetyCulture Content Team, 2024)

1.1.2 Principios básicos del monitoreo de áreas

Implementar un monitoreo ambiental efectivo requiere una metodología clara, que incluya la identificación de variables, puntos de medición, herramientas de análisis y comunicación de resultados. Ruiz (2023) detalla cómo estos procedimientos son vitales para garantizar un control eficiente de los factores ambientales. La correcta aplicación de esta metodología facilita la detección temprana de cambios ambientales, optimiza recursos y promueve acciones oportunas que contribuyen a la conservación del entorno y la sostenibilidad a largo plazo.

1.1.2.1 Categorías de sistema de monitoreo de áreas

El monitoreo ambiental en cocinas es fundamental para garantizar la seguridad, la eficiencia energética y la calidad del aire. Los sistemas de monitoreo se clasifican en varias categorías que permiten controlar distintos aspectos del ambiente y la operación, contribuyendo a un entorno más saludable y seguro para los usuarios.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021), alrededor de 2100 millones de personas continúan utilizando combustibles sólidos como leña, carbón y queroseno para cocinar y calentar sus hogares, mayormente en países de ingresos medianos y bajos. Esta situación afecta especialmente a las zonas rurales, donde casi la mitad de la población depende de estas fuentes contaminantes, en contraste con solo un 14% en áreas urbanas. El uso de estos combustibles genera contaminación del aire interior con partículas nocivas que afectan gravemente la salud, en particular de mujeres y niños, quienes pasan más tiempo en ambientes cerrados.

La OMS señala que la exposición prolongada a este tipo de contaminación doméstica provoca alrededor de 3,2 millones de muertes prematuras al año, vinculadas a enfermedades como problemas cardíacos, accidentes cerebrovasculares, infecciones respiratorias, enfermedad pulmonar obstructiva crónica y cáncer de pulmón. Además, la contaminación contribuye a la pérdida significativa de años de vida saludable y afecta desproporcionadamente a las mujeres y niños debido a sus roles en las tareas domésticas y la recolección de combustibles.

Con el objetivo de afrontar este problema, la OMS ha extendido un número de directrices y recomendaciones para promover el uso de combustibles y tecnologías menos contaminantes, como la energía solar, electricidad, gas natural y biogás. También apoya a los países en la implementación de políticas que mejoren el acceso a energías limpias y fomenta campañas para aumentar la adopción de estas alternativas, especialmente en regiones vulnerables como África subsahariana.

La organización destaca la necesidad urgente de medidas políticas y sociales para reducir la desigualdad en el acceso a fuentes de energía saludables, mejorar la ventilación en las viviendas y promover el desarrollo sostenible, a fin de proteger la salud pública y mitigar el cambio climático.

La norma ISO 14001 ofrece un marco reconocido globalmente que permite a las organizaciones optimizar el control de sus impactos ambientales, integrando acciones preventivas y sostenibles dentro de sus operaciones (Monografías, s.f.)

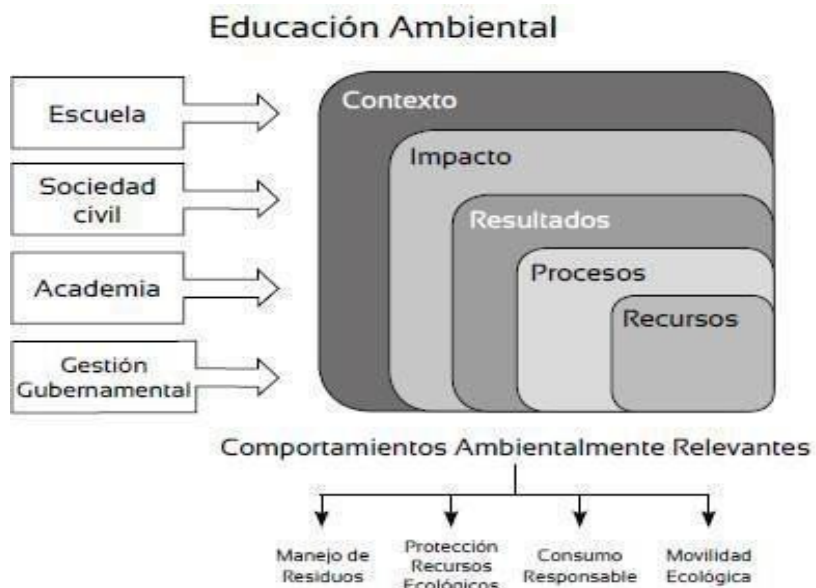
1.1.3 Aplicaciones del monitoreo ambiental en entornos educativos

Como explica Sandoval (2020), el monitoreo ambiental en entornos educativos ofrece una oportunidad valiosa para fomentar la conciencia ecológica y el pensamiento crítico en los estudiantes. A través de proyectos de recolección y análisis de datos reales, los jóvenes pueden comprender mejor las dinámicas ambientales que afectan su salud y calidad de vida.

Implementar sistemas de monitoreo de calidad del aire en escuelas y universidades también permite crear espacios de aprendizaje interdisciplinarios, donde se integran conocimientos de ciencias naturales, tecnología, matemáticas y ciudadanía. Los aspectos que abarca el monitoreo ambiental dentro de entornos educativos son ilustrados en la Figura 2.

Figura 2

Monitoreo Ambiental en la Educación.



Nota. Tomado y adaptado de *Monitoreo de los procesos de educación ambiental: Propuesta de estructuración de un sistema de indicadores de Educación ambiental*, artículo de Muñoz Montilla y Páramo Bernal (2018) disponible en *Revista Colombiana de Educación*.

Además, los datos recopilados en estos proyectos pueden ser utilizados para promover políticas de sostenibilidad dentro de las instituciones educativas, como la reducción del uso de vehículos motorizados, la plantación de árboles o la optimización de la ventilación en las aulas. De esta manera, el monitoreo ambiental se convierte en un motor de cambio hacia comunidades más saludables y conscientes.

1.1.4 Sensores para monitoreo del ambiente

Se tratan de dispositivos contruidos con la finalidad de detectar y medir la concentración de contaminantes específicos en el ambiente. Algunos sensores, como se ilustran en la Figura 3, están especializados en partículas sólidas como PM2.5 y PM10, mientras que otros miden gases como el dióxido de nitrógeno (NO₂), el ozono (O₃) o el dióxido de azufre (SO₂).

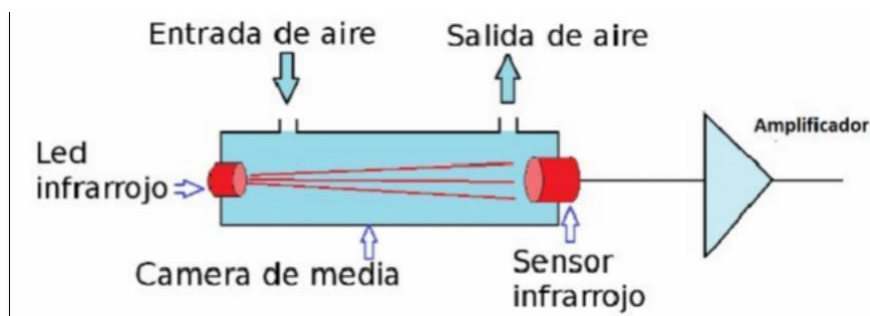
Figura 3
Jerarquía de sensores de calidad de aire.



Nota. Esta figura muestra la jerarquía de sensores de calidad del aire. Tomado de *LoRa vs LoRaWAN – ¿Cuál es la diferencia? Tu Fuente Experta En IoT*, por IoT Consulting, 2021.

Según Alvarez et al., (2023) existen sensores de alta precisión utilizados en laboratorios o estaciones gubernamentales, así como sensores de bajo costo que, aunque menos precisos, permiten despliegues masivos en zonas donde no sería viable económicamente instalar equipos sofisticados. Estos sensores, como se demuestran en la Figura 4, suelen conectarse a sistemas de transmisión de datos para visualizar la información en tiempo real.

Figura 4
Funcionamiento de sensores de calidad del aire.



Nota. Ejemplo de un sensor infrarrojo no dispersivo (NDIR) utilizado para conocer las concentraciones de CO₂ y CO en el ambiente. Tomado de "*Sensores de calidad del aire: cómo funcionan (ART2133S)*", por N. C. Braga, 2021.

El avance en la miniaturización y eficiencia de los sensores ha impulsado su integración en proyectos educativos, comunitarios y de investigación. Gracias a su facilidad de uso

y costos cada vez más accesibles, ahora es posible que más personas participen activamente en la vigilancia y el cuidado de la condición del aire que respiran.

1.1.5 Conceptos Técnicos

1.1.5.1 Internet de las Cosas (IoT)

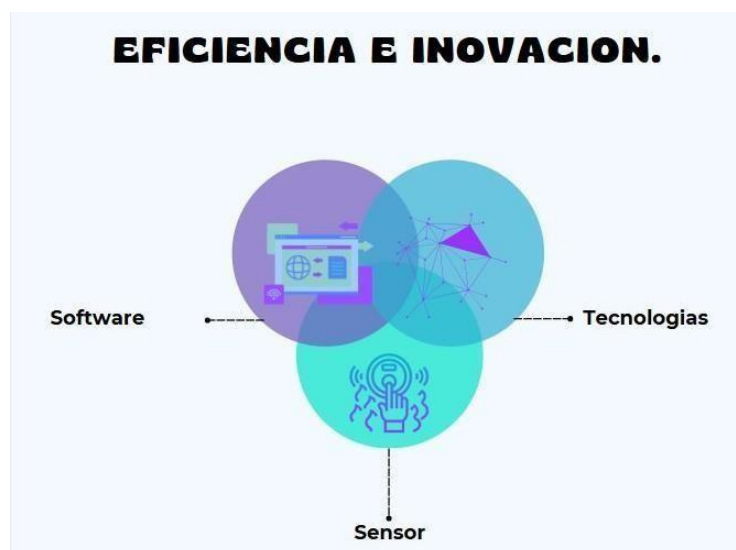
Silvestre (2016) menciona:

El Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) se refiere a la interconexión en red de todos los objetos cotidianos, que a menudo están equipados con algún tipo de inteligencia. En este contexto, Internet puede ser también una plataforma para dispositivos que se comunican electrónicamente y comparten información y datos específicos con el mundo que les rodea. (p.7)

Para Fortinet (s.f.) el IoT se relaciona a un entorno en el que dispositivos tangibles se conectan a Internet a través de sensores, software y diversas tecnologías digitales. Esta conexión les permite enviar y recibir datos, lo que favorece la automatización e interacción idónea entre sistemas. Además de los dispositivos convencionales como computadoras y teléfonos inteligentes, el IoT incluye artículos cotidianos como electrodomésticos, vehículos e incluso ropa. Gracias a esta red interconectada, es posible supervisar y controlar procesos a distancia, lo que mejora la eficiencia operativa y allana el camino para nuevas soluciones en áreas como la automatización del hogar, la atención médica, la fabricación y el transporte, como se demuestra en la Figura 5.

Figura 5

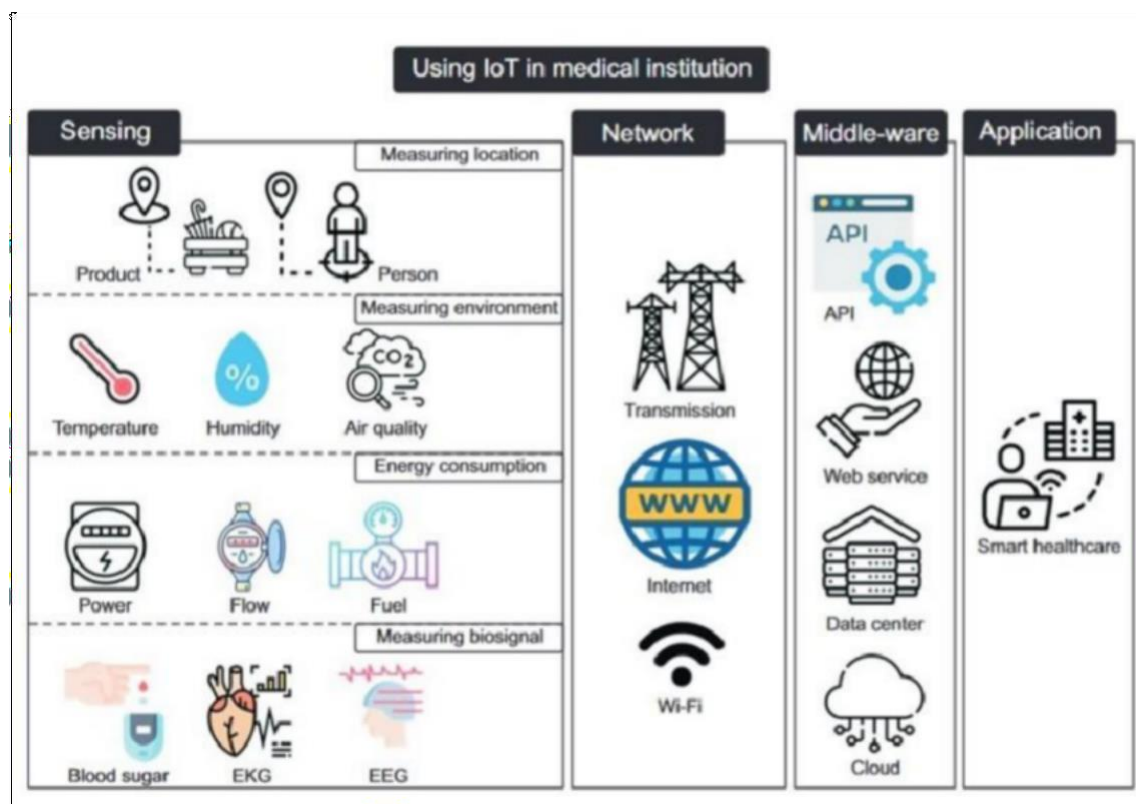
El internet de las cosas.



Según Mobatime (s.f.), el IoT da a entender como una “red de objetos físicos que incorporan sensores, software y otras tecnologías con el fin de conectarse e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet” (p.1). Estos artículos, que abarcan desde electrodomésticos hasta automóviles y equipos médicos, como se puede observar en la Figura 6, permiten recopilar y transmitir información en tiempo real, lo que facilita la automatización y la toma de decisiones basada en datos (IBM, 2025).

Figura 6

Funcionamiento del internet de las cosas.



Nota. Esquema de uso del IoT en las instituciones sanitarias. Tomado de *Usage of the Internet of Things in Medical Institutions and its Implications*, por Kong, H., An, S., Lee, S., Cho, S., Hong, J., Kim, S., & Lee, S., 2022.

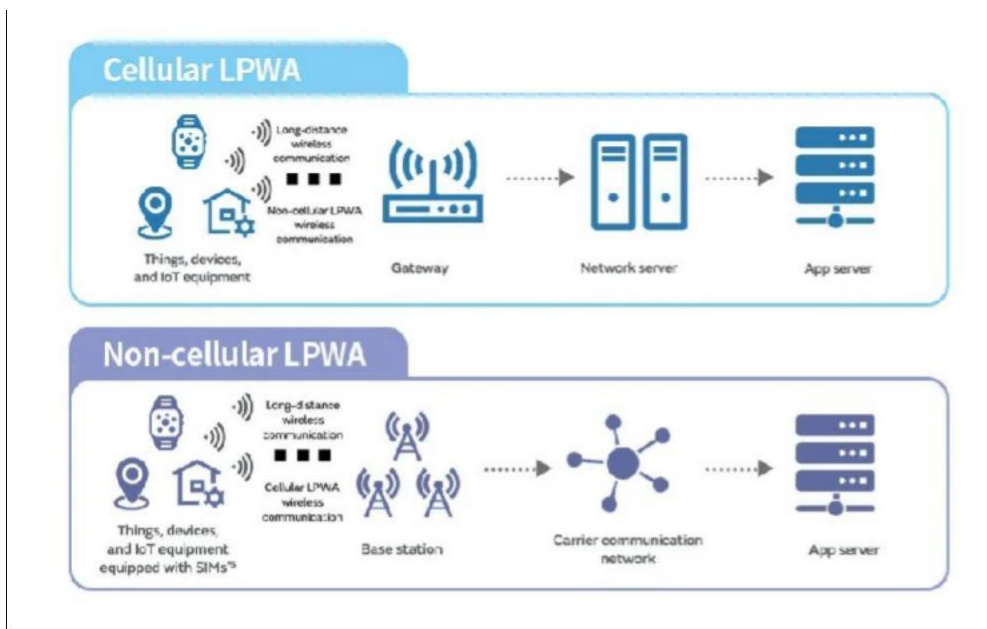
El IoT transforma objetos cotidianos en herramientas inteligentes capaces de interactuar entre sí y con el entorno. Gracias a la reducción en las dimensiones de sensores y la disminución de problemas en las redes de comunicación, los instrumentos de IoT pueden operar de manera eficiente y autónoma. Esto abre la puerta a soluciones innovadoras en distintas ramas como la salud, la agricultura, la industria y la gestión urbana.

1.1.5.2 Redes de Baja Potencia y Largo Alcance (LPWAN)

Las redes de baja potencia y largo alcance (LPWAN, por sus siglas en inglés) son tecnologías de comunicación diseñadas para transmitir pequeñas cantidades de datos a largas distancias utilizando un consumo de energía mínimo. Estas redes son ideales para aplicaciones donde los dispositivos deben funcionar durante años con baterías pequeñas, como en el caso del monitoreo ambiental o la agricultura inteligente (DIGI. 4C, s.f.). Los puntos para tomar en consideración sobre estas tecnologías son presentadas en la Figura 7.

Figura 7

Redes LPWAN.



Nota. Tomado de *¿Qué es LPWAN? Introducción a la tecnología de redes de área amplia de bajo consumo*, por El, H., 2024.

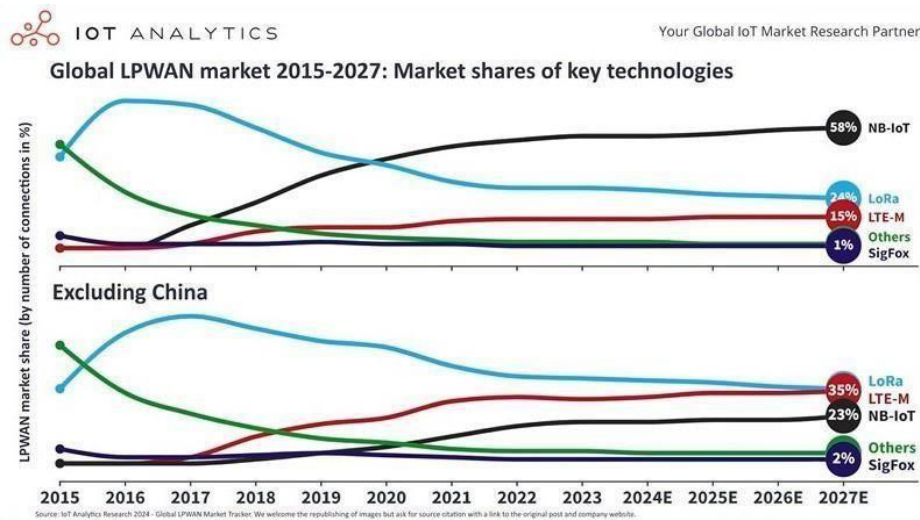
Entre las principales características de las LPWAN se incluyen su bajo costo de implementación, gran cobertura y alta eficiencia energética. Estas propiedades permiten conectar una enorme cantidad de dispositivos dispersos geográficamente, sin necesidad de infraestructura costosa o de alta densidad, como ocurre en las redes celulares tradicionales.

En los últimos años se ha dado un progreso significativo dentro del área de la conectividad con LPWAN. De acuerdo con un estudio realizado por IoT Analytics (2024), para finales de 2023 se registraban cerca de 1.300 millones de conexiones basadas en esta tecnología

crecimiento anual compuesta (TCAC) del 26 % hasta el año 2027 (Sinha, 2024). Los resultados de este estudio se muestran en la Figura 8.

Figura 8

Analíticas del internet de las cosas.



Nota. Tomado de *Global LPWAN Market Tracker and Forecast 2015-2027 (Q1/2024 Update)*, por IoT Analytics, 2024.

LPWAN abarca diferentes tecnologías y estándares, siendo algunos de los más conocidos LoRa, Sigfox y NB-IoT. Cada uno tiene sus particularidades dependiendo del tipo de servicio, la frecuencia en que opera y su ancho de banda, lo que permite seleccionar la solución más adecuada dependiendo del caso de uso específico.

1.1.5.3 LoRa y LoRaWAN

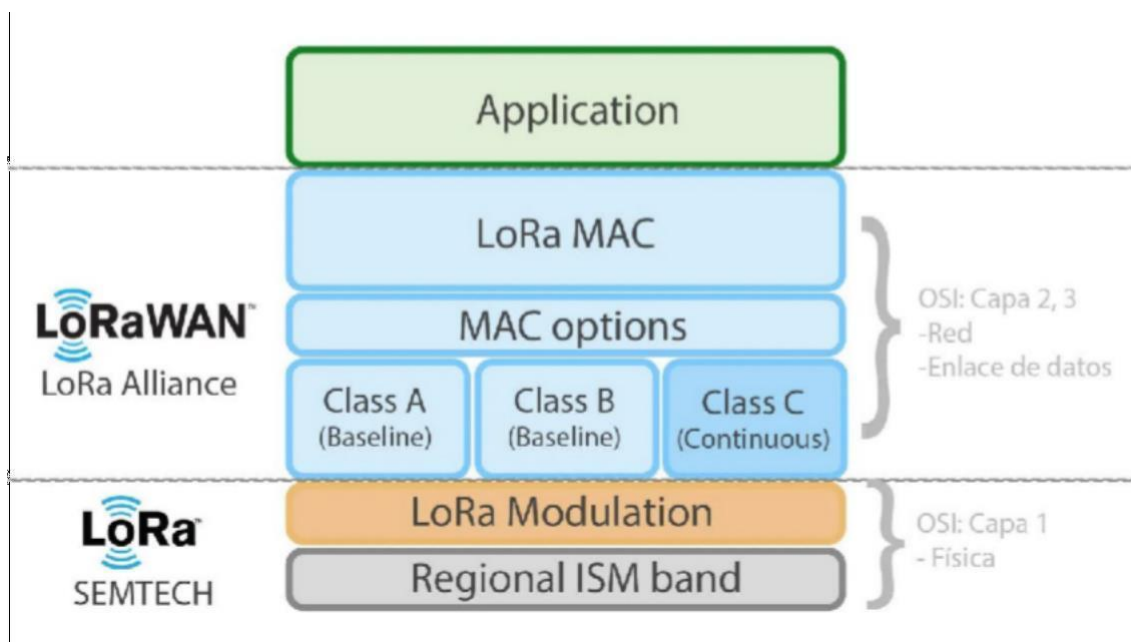
Consulting, (2021) indica que LoRa, acrónimo de long range (largo alcance), es una tecnología de modulación inalámbrica basada en CSS (*chirp spread spectrum* por su nombre en inglés) que permite comunicaciones a larga distancia con bajas tasas de transmisión de datos. Es especialmente eficaz para conectar dispositivos en entornos tanto rurales como urbanos, facilitando la comunicación en aplicaciones donde se requiere un alcance extenso y bajo consumo energético en lugares cuya cobertura de redes tradicionales se ve acotada. (Tecnología LoRA y LoRAWAN, s.f.)

Por otro lado, Baltuille (2023) menciona que LoRaWAN es el protocolo de red que se construye sobre la modulación LoRa. Define cómo los dispositivos LoRa se comunican a través de gateways y servidores de red, permitiendo una arquitectura escalable, segura

9 se puede observar una comparativa entre el protocolo LoRa/LoRaWAN y el modelo OSI para redes informáticas.

Figura 9

Comparación entre LoRa y LoRaWAN para conectividad IoT.



Nota. Adaptado de *Conceptos básicos que te ayudarán a entender LoRa y LoRaWAN en minutos*, por Becolve Digital, 2023.

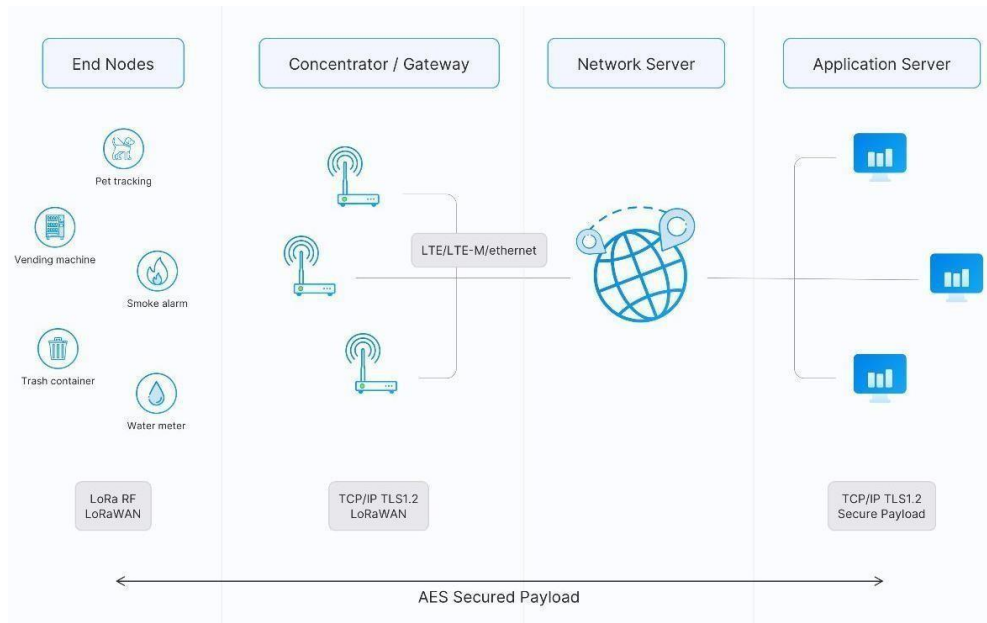
Khairullah (2025) explica que la combinación de LoRa y LoRaWAN ha impulsado significativamente el despliegue de redes de sensores para aplicaciones como el monitoreo ambiental, la agricultura de precisión, la gestión de ciudades inteligentes y más. Su flexibilidad y bajo consumo energético la convierten en una opción ideal para proyectos que requieren comunicación de largo alcance sin sacrificar la autonomía de los dispositivos.

1.1.5.4 Transmisión y visualización de datos en IoT

Lombera & Caccia (2024) mencionan que la transmisión de datos en sistemas IoT de monitoreo ambiental implica enviar la información recopilada por los sensores hacia una plataforma centralizada, usualmente a través de redes LPWAN, Wi-Fi o redes móviles. Este proceso requiere asegurar que los datos lleguen de manera íntegra, segura y en el menor tiempo posible. La arquitectura IoT LoRaWan se presenta en la Figura 10

Figura 10

Diagrama de arquitectura IoT LoRaWAN.



Nota. Una arquitectura típica de red LoRaWAN. Tomado de *Monitorización en la nube de «Livestock» para aplicaciones IoT en el ámbito de «Smart Agriculture»*, por Idrovo Urgilés, R. M., 2021.

Una vez transmitidos, los datos deben ser visualizados de forma comprensible mediante plataformas web, aplicaciones móviles o paneles interactivos. La visualización suele incluir gráficos, mapas en tiempo real, indicadores de alerta y análisis históricos, que permiten interpretar el estado ambiental de manera rápida y precisa.

El diseño de las plataformas de visualización es crucial para facilitar la toma de decisiones, especialmente en contextos educativos y comunitarios. Interfaces intuitivas y accesibles permiten que incluso personas sin formación técnica puedan entender la información y actuar en consecuencia.

1.1.5.5 Protocolos para IoT

MQTT. El protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) se ha convertido en un referente al momento de establecer una comunicación en entornos IoT debido a su diseño ligero y eficiente. Como establece el Comité Técnico de MQTT de OASIS (2023), este protocolo soporta comunicación bidireccional con garantía de entrega de mensajes y diferentes niveles de calidad de servicio, adaptándose a dispositivos con recursos limitados y conexiones variables. Además, MQTT es especialmente útil en escenarios

médicos, y cuenta con el respaldo de importantes organizaciones internacionales y empresas líderes del sector.

1.1.5.6 Computación en la nube

MQTT es el protocolo fundamental que usan dispositivos, pasarelas y aplicaciones para comunicarse dentro de la plataforma IoT. Según IMB (2025) La conexión requiere autenticación mediante una clave API y una señal correspondiente. Las aplicaciones pueden enviar y recibir eventos, órdenes y estados a través de temas MQTT con formatos específicos. No está permitido el uso de mensajes retenidos. Existen códigos de cierre que facilitan la identificación de errores en las conexiones. Para mejorar la escalabilidad, las aplicaciones pueden emplear suscripciones temporales o compartidas para distribuir la carga.

1.1.5.7 Desarrollo web

El desarrollo web impacta de manera directa en la experiencia del usuario al combinar usabilidad, funcionalidad y satisfacción. Según Imagar (2024), este proceso abarca tanto el diseño visual (front-end) como la lógica interna (back-end), adaptándose a las necesidades del cliente.

1.1.5.8 Arquitectura web

En la era digital, las aplicaciones web son esenciales para la mayoría de las experiencias en línea, desde redes sociales hasta plataformas de comercio electrónico. Comprender la arquitectura que las sostiene resulta fundamental para desarrollar sistemas escalables, seguros y con buen rendimiento. Según Carmatec (2024), esta arquitectura describe cómo se organizan y comunican los diferentes componentes de la aplicación, facilitando tanto la experiencia del usuario como el mantenimiento y la evolución tecnológica.

En este sentido, la arquitectura abarca la estructura del lado del usuario, que incluye la lo que él observa y frameworks como React, Angular y Vue.js, así como la del lado del servidor, donde se gestionan la lógica de negocio, las bases de datos y los servidores web. La comunicación se realiza mediante protocolos seguros como HTTPS y tecnologías en tiempo real como WebSockets. Para garantizar escalabilidad y rendimiento, se aplican técnicas como balanceo de carga, almacenamiento en caché y escalado horizontal o vertical.

La seguridad se fortalece mediante mecanismos de autenticación, autorización, cifrado y validación de datos de entrada. Estas arquitecturas modernas están organizadas en

diferentes niveles, tales como la capa de presentación, la lógica empresarial, el acceso a datos, la infraestructura y la integración, lo que favorece la modularidad, facilita el mantenimiento y permite una mayor adaptabilidad a futuros cambios.

Arquitectura de software cliente-servidor.

Patricio (2019) explica que la arquitectura cliente-servidor establece una división definida de funciones dentro de un sistema, conformado por dos partes principales: el cliente, encargado de realizar solicitudes, y el servidor, responsable de atenderlas. Esta estructura permite que ambos elementos puedan desarrollarse y modificarse por separado sin interferir uno con el otro, siempre que mantengan una comunicación clara a través de la interfaz establecida.

Arquitectura de capas. La arquitectura en capas es, según Pérez (2024), un enfoque de diseño muy común debido a su sencillez y transparencia, que organiza la aplicación en distintas capas independientes para asignar funciones específicas y mejorar el mantenimiento, aunque puede tener problemas en cuanto a rendimiento y capacidad de escalado.

Modelo-Vista-Controlador. El patrón MVC es una arquitectura ampliamente utilizada en el desarrollo de aplicaciones porque permite dividir el código en componentes separados, facilitando la escalabilidad y el mantenimiento. Hernández (2021), destaca que el patrón MVC disminuye la complejidad de la creación de aplicaciones con un grado de intrincación alto, haciendo que el proceso sea más manejable, a su vez permitiendo que varios desarrolladores colaboren en una aplicación al mismo tiempo.

1.1.5.9 Lenguajes de programación

Según Redactor (2024), los lenguajes de programación permiten formular comandos para computadoras, lo que hace posible desarrollar software, aplicaciones móviles, aplicaciones web, herramientas de análisis de datos e inteligencia artificial, adaptados al proyecto específico y a la competencia técnica necesaria.

1.1.5.9.1 Lenguajes de programación para *backend*

Java. Java destaca como uno de los lenguajes de programación más populares debido a su flexibilidad y capacidad para ejecutarse en diversas plataformas. Su enfoque orientado a objetos facilita la creación de aplicaciones escalables y estructuradas, útiles tanto en contextos empresariales como móviles. De acuerdo con IBM (2024), se reconoce a Java

por su facilidad de adaptación, rendimiento estable y capacidad de ejecutarse en distintos entornos, cualidades que lo posicionan como una opción clave para el desarrollo de soluciones tecnológicas actuales, como sistemas web e integraciones con dispositivos.

JavaScript. Basado en el lenguaje Java, JavaScript es un lenguaje de programación dinámico que se utiliza tanto en navegadores como en otros entornos como Node.js. Su diseño flexible permite adoptar varios paradigmas, como el orientado a objetos o el funcional. Además, cuenta con capacidades como la creación dinámica de scripts y el manejo de funciones como objetos (Contributors, 2024).

1.1.5.9.2 Lenguajes de programación para *frontend*

HTML. El HyperText Markup Language es la herramienta fundamental implementada en la creación de la mayoría de los sitios web. Permite estructurar el contenido de las páginas y hacerlas funcionales, para dar lugar al diseño visual con tecnologías como CSS. Como señala Morales (2020):

HTML es esencial para quienes desean aprender sobre desarrollo web, ya que permite crear páginas básicas y avanzar hacia conceptos más complejos como CSS y JavaScript. (p.1)

CSS. Abreviatura de Hojas de Estilo en Cascada, es un lenguaje esencial en el desarrollo web que se encarga de dar formato visual a los elementos creados con HTML, como colores, tipografías, tamaños y alineaciones. Fue creado por el W3C en 1996 para superar las limitaciones del HTML en cuanto al diseño, permitiendo separar el contenido de su apariencia. Como explica Gustavo B. (2025), hay tres formas principales de aplicar CSS: en línea, embebido en el documento y mediante archivos externos, siendo esta última la más práctica para mantener estilos consistentes en varias páginas. Gracias a CSS, los sitios web no solo lucen mejor, sino que también son más fáciles de actualizar y mantener.

1.1.6 Antecedentes

1.1.6.1 Diseño y desarrollo de un prototipo de red de sensores IoT utilizando tecnología LoRaWAN para el monitoreo de parámetros ambientales en interiores y exteriores.

Contreras y Narváez (2024), indican que, al desarrollar su tesis en la Universidad Politécnica Salesiana, su propuesta fue diseñar un prototipo de red de sensores IoT utilizando tecnología LoRaWAN donde se monitoreó criterios como temperatura, humedad, ruido y calidad del aire, en ambientes tanto internos como externos. El sistema

recopilaba datos mediante nodos enlazados a una red LoRa y los visualizaba en tiempo real a través de una plataforma web. Este trabajo representa un importante antecedente para el presente estudio, ya que se emplea una tecnología similar; sin embargo, la diferencia principal radica en el contexto de aplicación, pues el presente proyecto está enfocado exclusivamente en ambientes cerrados del laboratorio de la GESTURH con énfasis en condiciones controladas y optimización energética.

1.1.6.2 Creación de un prototipo de monitoreo de temperatura del aire utilizando equipos de desarrollo de bajo costo y comunicación LoRaWAN: Implementación física de un prototipo de monitoreo de temperatura del aire utilizando equipos de desarrollo de bajo costo y comunicación LoRaWAN.

En Ecuador, Bonilla (2023) desarrolló un prototipo de monitoreo de temperatura del entorno basado en el protocolo LoRaWAN, implementado en el ambiente universitario de la Escuela Politécnica Nacional. Este proyecto demostró la eficiencia de esta tecnología en términos de cobertura, consumo energético y bajo costo, sentando precedentes para aplicaciones similares en interiores. Sin embargo, su enfoque se centró exclusivamente en la variable de temperatura, sin abarcar otros gases o contaminantes como los presentes en entornos de cocina, lo que marca la diferencia con el presente estudio.

1.1.6.3 Sistema de monitoreo de contaminación del aire con redes de sensores inalámbricos en tiempo real.

En 2018, Ortiz presentó una propuesta innovadora para conocer la condición del aire mediante el uso de tecnologías inalámbricas de bajo costo en la Universidad San Francisco de Quito. La investigación surge como respuesta a la problemática global de contaminación atmosférica, la cual cobra aproximadamente siete millones de vidas humanas cada año debido a patologías asociadas con la polución del aire, identificando al sector transporte como el principal emisor de compuestos contaminantes como óxidos de carbono, monóxido de carbono y dióxido de carbono.

La arquitectura del sistema comprende estaciones de medición integradas por sensores especializados: el modelo MQ135 para la detección de CO₂, el sensor óptico Sharp GP2Y10 para material particulado PM2.5, y el dispositivo LM35 para registro térmico, todos estos componentes interconectados mediante una plataforma Arduino Nano que procesa y envía la información a través de módulos de comunicación XBee Pro S1 hacia

una estación central construida sobre Raspberry Pi, garantizando conectividad inalámbrica efectiva en un radio de 500 metros en condiciones de campo abierto.

La contribución de Ortiz radica en su planteamiento de democratización del monitoreo ambiental, facilitando el despliegue masivo de puntos de medición mediante tecnologías económicamente viables, contrastando con los sistemas convencionales de alto valor monetario empleados en estaciones de monitoreo tradicionales. La solución incorpora una plataforma web desarrollada mediante tecnologías PHP que emplea la biblioteca de visualización JavaScript HighChart, complementada con técnicas AJAX y formato JSON para la representación gráfica de información en tiempo real, respaldada por un sistema de almacenamiento MariaDB.

La validación experimental realizada en el campus universitario evidenció la eficacia del prototipo mediante estudios comparativos entre ambientes cerrados y abiertos, registrando niveles promedio de dióxido de carbono de 1097 partes por millón en espacios confinados frente a 316.77 ppm en áreas exteriores, confirmando la capacidad del sistema para identificar y cuantificar diferencias ambientales relevantes.

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente capítulo se exponen de manera sistemática las metodologías, herramientas y procedimientos aplicados en el desarrollo del prototipo y el sistema web orientados a fortalecer los procesos de monitoreo y solventar problemas relacionados a las condiciones del aire en la GESTHUR.

Del mismo modo, se detallan los métodos empleados para la recopilación de datos mediante el uso del prototipo, instalado en el laboratorio de Gastronomía y Turismo. Esta descripción metodológica establece los fundamentos técnicos que respaldan el proceso de implementación, en concordancia con los objetivos específicos definidos para dar respuesta a la problemática identificada.

2.1 Aspectos generales de la investigación

La investigación realizada para este proyecto es aplicada, ya que se enfoca en desarrollar soluciones tecnológicas específicas para mejorar la calidad del aire en los laboratorios, al analizar en detalle las características y funcionamiento del sistema de monitoreo

El enfoque de la investigación aborda aspectos cualitativos, tales como explorar la visión establecida por el personal docente de la GESTURH, facilitando una comprensión contextualizada del entorno y los requerimientos del sistema. Por otro lado, la recopilación y análisis de datos numéricos provenientes de sensores y mediciones ambientales, permitieron obtener información objetiva y medible sobre la calidad del aire, tendencias y niveles de contaminación. La integración de ambos enfoques permitió una evaluación integral del contexto, elevando la calidad del monitoreo dentro de los laboratorios y optimizando la toma de decisiones.

2.1.1 Tácticas para la recolección de datos

La técnica de observación se empleó para analizar el entorno y las condiciones actuales en el laboratorio, permitiendo detectar necesidades y problemáticas relacionadas con la presencia de contaminantes.

En la Figura 11 se presenta un plano de la cocina de la GESTURH donde se observa con claridad la distribución del mobiliario y los equipos, como hornos, planchas, parrillas y freidoras, la mayoría trabajando con gas licuado de petróleo. La ubicación de la cocina se encuentra estratégicamente situada dentro del laboratorio, lo que permite un acceso

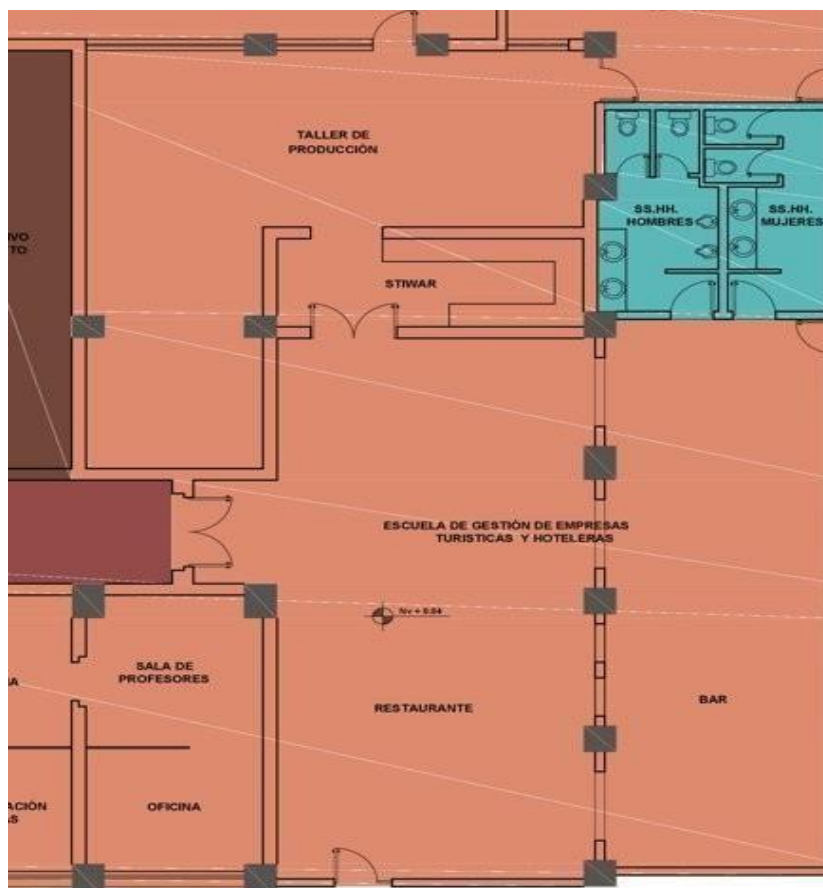
eficiente desde diferentes áreas operativas y facilita la supervisión de las actividades que allí se desarrollan.

Además, se han identificado los puntos óptimos para la colocación de los sensores ambientales, considerando factores como la circulación del aire, la proximidad a fuentes de emisión de contaminantes como lo es la estufas, hornos y extractores, y la necesidad de obtener datos representativos de todo el entorno donde colocamos los sensores. La elección precisa de estos puntos permite maximizar la eficiencia del monitoreo y garantizar una detección oportuna de cualquier variación significativa en los niveles de contaminantes presentes en el ambiente.

Los sensores contemplados para el uso en este proyecto no tuvieron ninguna restricción al momento de enviar datos ambientales debido al material de las cocinas industriales, el cual en su mayoría es el acero inoxidable, caracterizado principalmente por su resistencia al calor, corrosión, facilidad de limpieza y durabilidad.

Figura 11

Planos del taller de producción.



Nota. Adaptado de *Planos del taller de producción*, por F. Morán, 2011, en *Reglamento arquitectónico*.

También, se llevaron a cabo entrevistas no estructuradas, que facilitaron obtener información detallada sobre los procesos de control de acceso y las expectativas de los encargados del laboratorio. Los guiones de entrevistas fueron diseñados considerando las normativas ISO 14001:2015 e ISO 16000:2015, que proporcionan marcos para la gestión ambiental y la evaluación de la condición del ambiente interno, respectivamente. El instrumento fue previamente validado por expertos, quienes revisaron minuciosamente cada una de las preguntas para asegurar su pertinencia y claridad. Gracias a ello, fue posible recopilar información detallada sobre la interfaz amigable de la aplicación implementada en dicho laboratorio. El 12 de mayo de 2025 se realizó la entrevista a Lic. Gonzalo Rubio, responsable del Laboratorio de Cocina Profesional GESTURH. La naturaleza abierta y flexible de esta entrevista, como se muestra en el Anexo A, facilitó una comprensión más profunda del contexto organizacional dentro de la GESTURH.

Como punto crucial de la investigación, se recopilaron datos mediante una red de sensores instalados estratégicamente, capaces de medir variables de contaminantes. Para asegurar la fiabilidad de los sensores, con base en la información recopilada previamente, se implementó una red de sensores inalámbricos de bajo consumo.

2.2 Metodología para el desarrollo

La investigación se llevó a cabo en dos fases debido a la complejidad de su desarrollo. La primera fase consistió en el diseño, desarrollo y ensamblaje de los sensores adecuados, para la constitución del prototipo, como se ilustra en la Figura 12. Esta metodología promovió un enfoque ágil en el proceso de prototipado.

Figura 12

Ciclo de vida del prototipo.



Nota. Tomado de *Los ciclos de vida del software (II)*, por IS3ados, 2008, noviembre 25. La segunda fase tuvo un enfoque al desarrollo de la visualización de los datos recopilados por el prototipo, aplicando la metodología de Extreme Programming (XP), como se muestra en la Figura 13. Para un desarrollo ágil, los datos fueron enviados a la nube para su almacenamiento y procesamiento, donde posteriormente fue posible visualizarlos en un dashboard interactivo.

La metodología XP permitió una colaboración continua con los usuarios finales de la GESTURH, asegurando que el dashboard se ajuste a sus necesidades. Además, se realizaron iteraciones rápidas para incorporar feedback, lo que facilitó el seguimiento en tiempo real y la toma de decisiones informadas, optimizando así el monitoreo del sistema desarrollado.

Figura 13

Fases de la metodología XP.



Nota. Tomado de *Ingeniería del software en entornos del software libre*, por Aycart Pérez, D., Gibert Ginestà, M., Hernández Matías, M., & Mas Hernández, J., 2007.

2.2.1 Fase 1: Desarrollo del prototipo

En la elaboración del prototipo del decodificador se ejecutó empleando la metodología de prototipado, una orientación que facilita la construcción progresiva mediante distintas etapas bien definidas. Este método permitió organizar y controlar cada fase del proceso, asegurando así resultados óptimos.

Tal como expone Felipe (2021), cada una de las etapas y los procesos involucrados que conforman la base para el desarrollo exitoso del prototipo se describen en detalle a continuación.

1. **Recolección de requisitos.** Se analiza el problema para definir qué necesita el software. En esta etapa se establecen los requisitos básicos que guiarán el diseño del prototipo.
2. **Diseño y construcción del prototipo.** Se desarrolla una versión inicial del prototipo basada en los requisitos, priorizando rapidez y eficiencia en el uso de recursos para mantener bajo el costo.
3. **Evaluación.** El prototipo creado se prueba para verificar que funcione correctamente y cumpla con los requisitos planteados al inicio.
4. **Modificación.** Después de la evaluación, se corrigen errores y se realizan mejoras para que el prototipo sea más útil y efectivo para los usuarios.
5. **Documentación.** Todo el proceso de diseño y desarrollo se registra detalladamente para tener una guía clara que facilite el desarrollo del producto final.
6. **Pruebas.** Finalmente, los usuarios prueban el prototipo para ofrecer su opinión y sugerencias, lo que permite hacer ajustes que mejoren la calidad y funcionalidad del software definitivo.

2.2.1.1 Recolección y refinamiento de requisitos

Se materializó el compendio de requisitos funcionales y no funcionales para la ejecución del proyecto, como se muestran en la Tabla 1, a través de entrevistas con el Licenciado Gonzalo Rubio, responsable del laboratorio de cocina profesional de la GESTURH

Tabla 1

Requisitos del prototipo.

ID	Requisito funcional
RFP-01	<p>Captación de datos ambientales</p> <p>El sistema deberá ser capaz de detectar y medir parámetros de calidad del aire, incluyendo niveles de contaminantes como:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Sensor 1: Mide Monóxido de carbono (CO) ● Sensor 2: Mide temperatura y humedad relativa. ● Sensor 3: Mide gas licuado de petróleo (GLP)
RFP-02	<p>Procesamiento de datos</p> <p>El prototipo deberá procesar localmente las mediciones captadas por los sensores, transformando los datos en información útil y estructurada.</p>

RFP-03	Transmisión de datos vía LoRa El sistema deberá enviar los datos procesados mediante la tecnología LoRa, permitiendo una comunicación inalámbrica de bajo consumo energético.
RFP-04	Monitoreo continuo en un entorno específico (laboratorio) El dispositivo debe operar de forma continua dentro del laboratorio, realizando mediciones periódicas de los contaminantes presentes en el ambiente.
Código	Requisito no funcional
RNFP-01	El prototipo debe tener una presentación intuitiva y fácil de utilizar para los estudiantes y docentes de la GESTURH, facilitando la interpretación de los datos de calidad del aire y la generación de reportes.
RNFP-02	Debe existir una integración manera fluida entre el prototipo y el sistema web desarrollado para el monitoreo y gestión de la calidad del aire en los laboratorios GESTHRU.
RNFP-03	El tiempo de respuesta para capturar, procesar y validar las mediciones ambientales, así como para generar reportes, no debe superar los 5 segundos para asegurar una experiencia ágil y eficiente.

Limitaciones. El prototipo presenta limitaciones, ya que solo medirá parámetros ambientales básicos como calidad del aire, temperatura, humedad, gases específicos, movimiento, luz y presión, sin incluir análisis complejos ni almacenamiento avanzado.

Propósito. El propósito es monitorear la calidad del aire en el laboratorio de la GESTRUH. Este prototipo está diseñado para realizar tareas de monitoreo, validación y extracción de información mediante sensores LoRaWAN implementados en el laboratorio.

Alcance. Este prototipo integra un sistema que permite la validación de la información recopilada por los sensores, garantizando su fiabilidad. Asimismo, se ha implementado una interfaz que posibilita la visualización pública de los datos en tiempo real, permitiendo una interpretación clara y eficiente de las lecturas correspondientes a los distintos contaminantes medidos.

2.2.1.2 Diseño

En esta fase, se desarrolló un esquema inicial detallado de los elementos clave de la arquitectura y los flujos operativos previstos para el prototipo. Este diseño preliminar, que se puede observar en la Figura 16, funcionó como una guía fundamental,

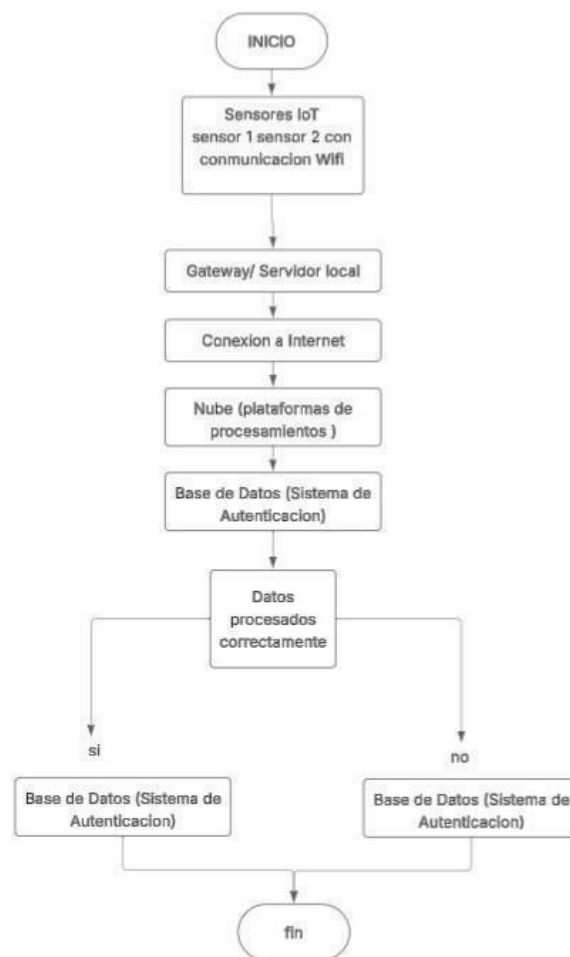
proporcionando una visión detallada del marco conceptual y los procesos internos que influirán en las acciones e interacciones del prototipo.

2.2.1.3 Flujograma del prototipo

El flujograma, como se puede observar en la Figura 14, ilustra el funcionamiento de un prototipo IoT con sensores LoRa 32 que envían datos a un gateway. Este gateway transmite la información a la nube mediante TCP/IP. Desde la nube, los datos se comunican al sistema de administración mediante protocolos MQTT o HTTP para ser visualizados en dashboards.

Figura 14

Flujo del prototipo decodificador.

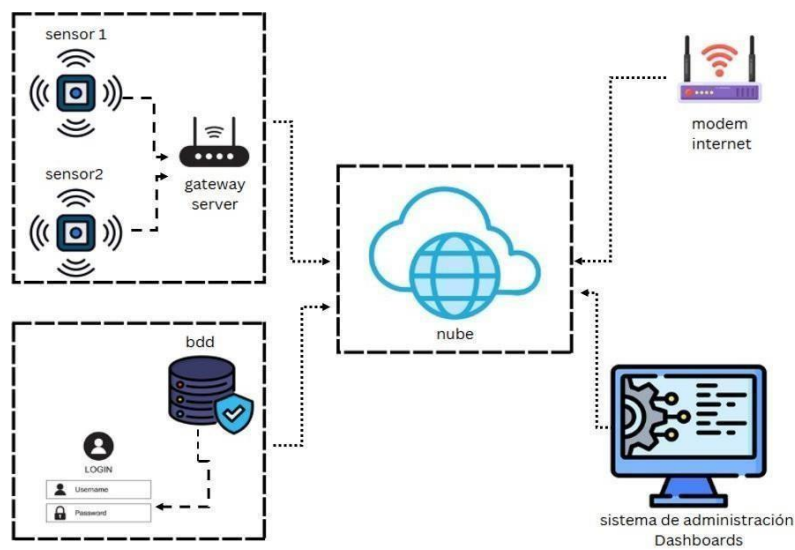


2.2.1.4 Arquitectura del prototipo

La Figura 15 muestra la organización del prototipo, el flujo que siguen los datos, los componentes empleados y la comunicación entre los datos enviados por el prototipo hacia el bróker.

Figura 15

Flujo de trabajo del proyecto.



2.2.1.5 Tecnologías y herramientas utilizadas para la construcción del prototipo Para la elaboración del prototipo implementado en los laboratorios de la GESTURH, se utilizaron diversas herramientas y tecnologías que permitieron la implementación de un sistema eficiente, confiable e integrado.

Para la captura de datos ambientales, se emplearon dos sensores LoRa (Lora32), los cuales fueron ubicados estratégicamente en diferentes puntos del laboratorio con el objetivo de obtener mediciones representativas. Estos sensores poseen la capacidad de trasladar datos a largas distancias con un bajo consumo energético, gracias a la tecnología LoRa. La comunicación entre los sensores y el gateway se estableció mediante el protocolo LoRaWAN, lo que permitió una transmisión inalámbrica estable y de bajo ancho de banda.

El gateway utilizado está equipado con un módulo TCP/IP, que permite enviar los datos recopilados por los sensores hacia la nube. Para ello, se integró un servicio de mensajería basado en el protocolo MQTT, un estándar ampliamente utilizado en soluciones de IoT por su eficiencia en redes con recursos limitados. Esta herramienta permitió el envío de los datos desde el gateway hacia un servidor central, donde posteriormente son procesados y almacenados.

Una vez en el servidor, los datos pueden ser visualizados por los usuarios a través de una plataforma web desarrollada específicamente para este propósito. Con la meta de salvaguardar la seguridad y la confidencialidad de la información, se implementó un

sistema de autenticación que condiciona el acercamiento a los datos. A diferencia de los datos provenientes del prototipo, que se almacenan en la nube, la información correspondiente a cada usuario registrado se guarda localmente en una base de datos relacional, lo que facilita su gestión y resguardo.

Sensor MQ-6. El sensor MQ-6, demostrado en la Figura 16, es un sensor de tipo semiconductor diseñado para detectar gases licuados del petróleo, como el propano y el butano. Es fácil de integrar en proyectos electrónicos, ya que solo requiere una resistencia y una alimentación de 5V. Su salida de voltaje varía en función de la concentración de gas detectado, dentro de un rango de 300 a 10,000 ppm, lo que permite su uso con microcontroladores como Arduino. Su consumo energético es de aproximadamente 950 mW y entrega una señal de entre 2.5 y 4.0V cuando detecta propano a 2000 ppm. (Electronics, Sensor Gas MQ-6, 2025)

Figura 16

Sensor MQ-6.



Nota. Tomado de *Sensor Gas MQ-6*, por AV Electronics, 2025.

Sensor DHT22. Como explica Mechatronics (2023), el sensor DHT22, también conocido como AM2302, es un dispositivo digital que mide temperatura y humedad con alta precisión. Opera con un voltaje de 3 a 6 voltios, entrega datos a través de un único cable digital y es compatible con plataformas como Arduino, Raspberry Pi y NodeMCU. Su rango de temperatura va desde -40°C hasta 80°C, y su humedad de 0 a 100% con una actualización cada dos segundos, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de monitoreo ambiental y control automático. Este sensor ha sido ilustrado en la Figura 17.

Figura 17

Sensor DHT22.



Nota. Tomado de *Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22*, por Naylamp Mechatronics, s.f.

Sensor MQ-7. El MQ-7 es un sensor diseñado para detectar monóxido de carbono (CO) en varias concentraciones de partículas, según la descripción del sensor MQ-7 (Electronics). Funciona a 5 V y cuenta con salidas analógica y digital, siendo esta última ajustable mediante un potenciómetro. Este sensor, presentado en la Figura 18, es ideal para alarmas de gas y tiene un tamaño compacto de 32×20 mm.

Figura 18

Sensor Gas MQ-7.

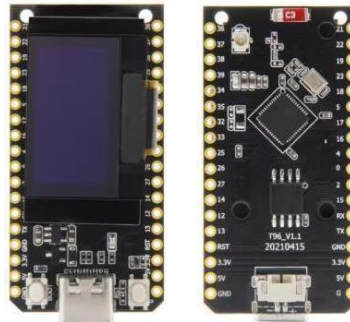


Nota. Tomado de *Sensor Gas MQ-7*, por AV Electronics, 2024.

Modulo ESP32 Lilygo TTGO. Como explica Industrial (2025), la placa LilyGO TTGO T-Display ESP32, ilustrada en la Figura 19, es un módulo de desarrollo compacto que integra un microcontrolador ESP32 con conectividad Wi-Fi y Bluetooth, junto a una pantalla TFT a color de 1.14 pulgadas. Está diseñada para ser fácil de usar, compatible con Arduino IDE y MicroPython, lo que la hace ideal tanto para principiantes como para desarrolladores avanzados.

Figura 19

Modulo ESP32 Lilygo TTGO.



Nota. Tomado de *Modulo ESP32 LilyGo TTGO*, por TCS INDUSTRIAL SHOP, s.f.

2.2.1.6 Validación del prototipo

En la fase de validación, se realizaron diversas pruebas funcionales para verificar el correcto desempeño del sistema. Estas incluyeron pruebas de conectividad involucrando los sensores Lora32 y el bróker, asegurando una transmisión estable de datos. También se evaluó la eficacia del protocolo MQTT en el envío de información hacia la nube, comprobando la integridad de los paquetes y la comunicación en tiempo real. Estas pruebas se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2

Tabla de Pruebas de Funcionalidades del prototipo.

ID	PRUEBA FUNCIONAL	DESCRIPCIÓN	RESULTADO OBTENIDO
PF-001	Encendido de los sensores	Verificar que los sensores se energizan correctamente al iniciar el sistema.	
PF-002	Lectura y procesamiento de datos	Confirmar que los sensores entregan datos válidos y el microcontrolador los interpreta.	
PF-003	Envío de datos del microcontrolador	Validar que los datos procesados se transmiten correctamente al sistema destino.	

2.2.2 Fase 2: Desarrollo del sistema web

Esta parte del documento describe el diseño y la ejecución del sistema web destinado a desplegar los resultados de las mediciones enviadas por el prototipo dentro de los laboratorios de la GESTURH. El desarrollo utilizó la metodología ágil XP, lo que facilitó el avance gradual del sistema a través de ciclos iterativos de mejora continua y validaciones periódicas.

2.2.2.1 Alcance

Este proyecto se centró en el análisis de los requisitos, así como en la planificación y creación de un sistema basado en la web, enfocado al monitoreo y la gestión de la calidad del aire en el área del laboratorio GESTURH. El prototipo del sistema fue estructurado en varios módulos funcionales que respondieron a las necesidades identificadas durante el proceso de levantamiento de información. Entre estos módulos se incluyeron la gestión de usuarios y generación de reportes, todos orientados a apoyar la supervisión eficiente de la calidad del aire en el entorno del laboratorio.

En el módulo de administración de usuarios, se introdujeron funcionalidades que permiten al administrador gestionar los usuarios que podrán ingresar al sistema, asegurando un control adecuado de los accesos. Por su parte, el módulo de generación de reportes permitió conocer de los datos recolectados por los sensores, todo esto dentro de una interfaz gráfica amigable para el usuario.

2.2.2.2 Metodología XP

La programación extrema (XP) es una metodología ágil que prioriza la rapidez, la simplicidad y el trabajo en equipo. Según Raeburn (2025), “el proceso es muy riguroso y altamente estructurado, pero los resultados realmente valen la pena”, y aunque su enfoque es exigente, XP busca optimizar la calidad del software, por lo que para aplicarla de forma efectiva se recomienda usar herramientas que permitan gestionar tareas y actualizar avances en tiempo real.

2.2.2.2.1 Fase 1: Planificación

Durante la planificación se recopilaron requisitos clave para desarrollar un sistema web enfocado en la presentación gráfica de los datos sobre la calidad del aire recolectados por el prototipo. Reuniones con el Licenciado Gonzalo Rubio permitieron definir módulos y funcionalidades mediante historias de usuario basadas en las necesidades del laboratorio GESTURH.

Requisitos. Mediante reuniones y entrevistas semiestructuradas con el responsable del laboratorio, se identificaron y documentaron siete requisitos funcionales y tres no funcionales del sistema web. Presentados en la Tabla 3, estos guiaron el diseño e implementación precisa del prototipo final.

Tabla 3

Requisitos del sistema web.

ID	Requisito funcional
RFW-01	El sistema deberá mostrar los parámetros de medidos de calidad del aire como CO, GLP, temperatura y humedad.
RFW-02	El sistema deberá visualizar en tiempo real los datos medidos en una interfaz gráfica.
RFW-03	El sistema deberá emitir alertas automáticas cuando los niveles de contaminantes superen los umbrales establecidos.
RFW-04	El sistema deberá registrar y almacenar los datos medidos junto con la fecha y hora.
RFW-05	El sistema deberá enviar los datos registrados a una base de datos o servidor en la nube.
RFW-06	El sistema deberá permitir el acceso remoto a la información desde dispositivos móviles o web.
RFW-07	El sistema deberá permitir la calibración de los sensores para garantizar lecturas precisas.
ID	Requisito no funcional
RNFW-01	El sistema debe tener una interfaz gráfica fácil de interpretar y utilizar por los usuarios del laboratorio de la GESTURH.
RNFW-02	El sistema web debe ser compatible con navegadores populares como Google Chrome y Firefox.
RNFW-03	El sistema web no debe demorarse más de 5 segundos en mostrar los datos de la calidad del aire.

Roles del proyecto. De acuerdo con los requisitos específicos del proyecto, se han establecido las funciones clave las cuales, a su vez, llevan a cabo tareas específicas y complementarias, lo que facilita la implementación exitosa del proyecto y la provisión de un sistema que satisfaga adecuadamente los requisitos del cliente. Estos roles se describen en la Tabla 4.

Tabla 4*Roles del proyecto*

Nombre	Rol	Responsabilidades
Lic. Gonzalo Rubio	Responsable del laboratorio de cocina de la GESTURH	<ul style="list-style-type: none"> ● Establecer los requisitos del proyecto. ● Participar en las reuniones planificadas para evaluar el progreso del proyecto. ● Revisar y aprobar las funcionalidades implementadas en cada ciclo de desarrollo. ● Ofrecer comentarios y propuestas de mejora durante el proceso de desarrollo. ● Confirmar o rechazar las entregas del producto final.
Norma Jean Paz Ferrin	Desarrolladora	<ul style="list-style-type: none"> ● Codificar el sistema web conforme a los requerimientos. ● Asistir a las reuniones de planificación y evaluación del progreso. ● Trabajar en conjunto con el personal del laboratorio de cocina para resolver dudas y obtener retroalimentación.

Historias de usuario. Las historias de usuario ayudan a definir y comprender los requerimientos particulares de quienes interactúan con el sistema. En la Tabla 5 se presenta la historia de usuario que permitirá al administrador del sistema gestionar a los usuarios.

Tabla 5*Historia de usuario 1: administración de usuarios.*

Historia de Usuario	
Número: 1	Nombre: Administración de usuarios
Usuario: Administrador	Iteración: 1
Descripción: El sistema debe permitir al administrador configurar los permisos de acceso para los distintos usuarios.	

Criterios de aceptación:

- Se debe permitir al administrador registrar y modificar a los usuarios.
- Se debe admitir la asignación de roles a los usuarios.

En la Tabla 6 a continuación, se presenta una historia centrada en la generación de reportes, esencial para respaldar decisiones y comunicar resultados a las autoridades competentes.

Tabla 6

Historia de usuario 2: creación de reportes.

Historia de Usuario	
Número: 2	Nombre: Creación de reportes
Usuario: Personal GESTURH	Iteración: 2
Descripción: Con el objetivo de facilitar la rendición de cuentas, como responsable del laboratorio necesito disponer de herramientas que me permitan generar reportes y visualizar datos estadísticos sobre la utilización del sistema GESTURH.	
Criterios de aceptación: <ul style="list-style-type: none">● El usuario debe escribir su usuario y contraseña para ingresar al sistema.● El sistema debe mostrar gráficos estadísticos que representen visualmente la evolución de los niveles de contaminantes en el laboratorio de la GESTURH.● El sistema debe permitir la exportación de los reportes y gráficos generados en formato PDF.	

Cronograma de actividades. El cronograma estructura las etapas del proyecto de forma ordenada, iniciando con la fase exploratoria y culminando con la integración. Cada iteración se enfoca en un módulo particular, facilitando un desarrollo progresivo y asegurando el logro de metas y calidad. El cronograma diseñado para la ejecución de este proyecto se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7

Cronograma para el desarrollo del proyecto.

NOMBRE	DURACIÓN
Análisis de los laboratorios de cocina	10 días

Recopilación de requisitos y expectativas	3 días
Definición de módulos del sistema	1 día
Establecimiento de las herramientas y entorno de desarrollo	1 día
Creación de historias de usuario	3 días
Priorización de los datos obtenidos por el módulo de medición de calidad del aire	1 día
Planificación de actividades	1 día
ITERACIONES	
ITERACIÓN 1: ADMINISTRACIÓN DE USUARIOS	8 días
Diseño del módulo y sus funcionalidades	1 día
Desarrollo de la historia de usuario 1	5 días
Pruebas funcionales	2 días
ITERACIÓN 2: CREACIÓN DE REPORTE	6 días
Diseño del módulo y sus funcionalidades	1 día
Desarrollo de la historia de usuario 2	3 días
Pruebas funcionales	2 días
ITERACIÓN 3: INTEGRACIÓN Y PRUEBAS	15 días

2.2.2.2.2 Fase 2: Diseño

Durante esta etapa, se desarrollaron diversas actividades orientadas al fortalecimiento del sistema de medición de criterios ambientales en los laboratorios de cocina de la GESTHUR. Entre las principales acciones realizadas se encuentra la diagramación de los casos de uso que describen las acciones que pueden realizar los usuarios del sistema, enfocados en la recolección, análisis y visualización de datos ambientales.

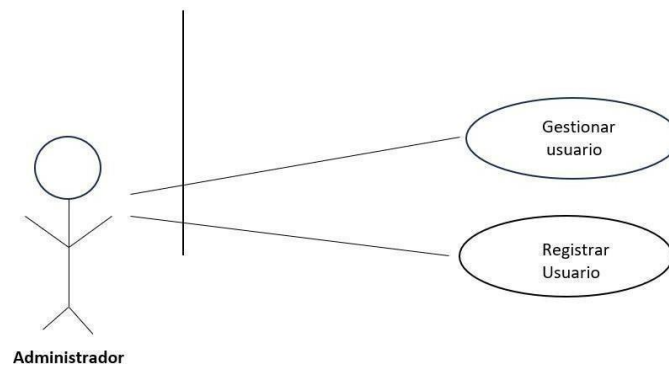
Asimismo, se elaboraron diagramas y modelos que representan la estructura del sistema web y su flujo de trabajo para la generación de reportes técnicos. Se realizó la esquematización de la base de datos para almacenar la información proveniente de los sensores de calidad del aire, incluyendo parámetros como niveles de contaminantes, fecha y hora de medición, ubicación de las estaciones, así como el control de accesos y credenciales de los usuarios responsables del monitoreo y validación de los datos.

Casos de uso. A partir de los requerimientos y funcionalidades identificados mediante las historias de usuario se crearon los casos de uso para el administrador y el personal de

la GESTURH. La Figura 20 representa las diferentes interacciones que puede realizar el administrador del sistema. Estas interacciones incluyen la gestión integral de usuarios dentro del módulo correspondiente, abarcando acciones como el registro, la actualización y la eliminación de cuentas. Así se permitió asegurar un control conveniente sobre los accesos al sistema y mantener actualizada la base de datos de usuarios que participan en el monitoreo de la calidad del aire.

Figura 20

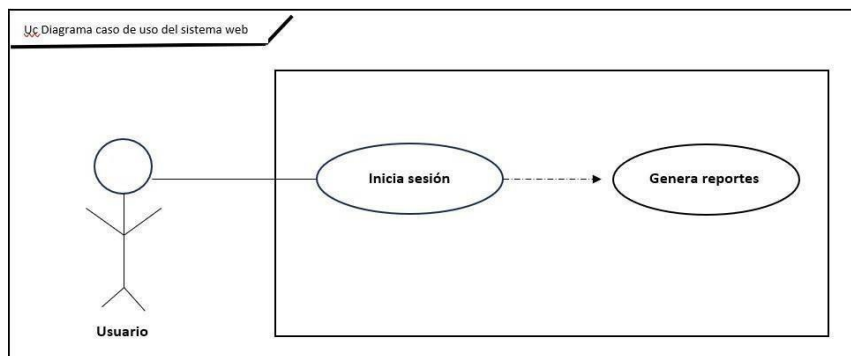
Caso de uso 1: administrador del sistema web.



Una vez un usuario sea registrado por el administrador del sistema web, este contará con la posibilidad de visualizar los reportes de calidad del aire en base a los datos enviados por el prototipo. Este caso de uso se ilustra en la Figura 21.

Figura 21

Caso de uso 2: usuarios del sistema web.

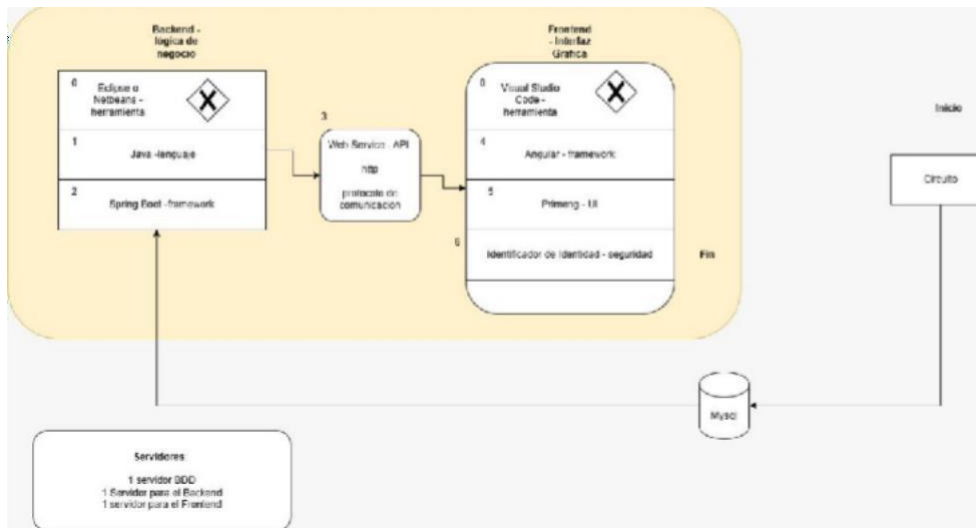


Arquitectura del Sistema. Para el sistema web se decidió usar el modelo MVC ya que ofrece una forma ordenada y estructurada de desarrollar. Al separar la lógica del negocio, la presentación y el control, es posible trabajar de una manera más clara y efectiva. Esta división permitió hacer cambios en una parte sin perjudicar a las demás, lo que disminuyó

los errores y agilizó el desarrollo. La Figura 22 muestra un esquema de la arquitectura MVC aplicada en el sistema web.

Figura 22

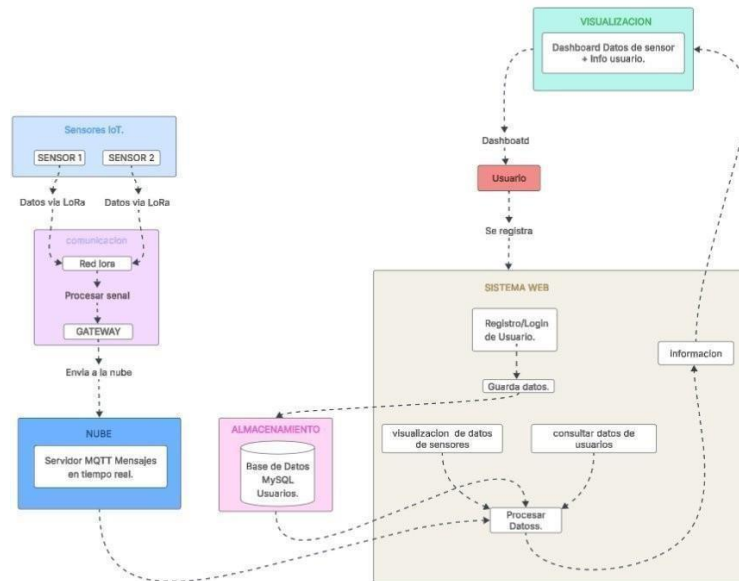
Arquitectura del sistema web.



En la Figura 23 se detalla la interacción entre el sistema web con el prototipo, el cual capta variables ambientales y las envía al sistema web para su visualización. El backend gestiona y guarda en la base de datos la información referente a los usuarios, para posteriormente ser gestionada en el frontend. La conexión entre componentes se establece a través de una API.

Figura 23

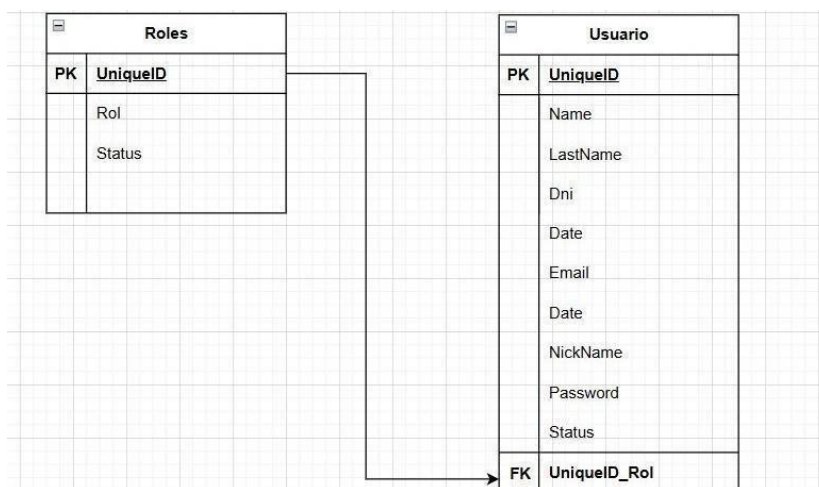
Interacción entre el sistema web y el prototipo.



Diseño de la base de datos. Para el control y gestión de usuarios se diseñó una base de datos relacional donde la información de cada usuario estará ligada a un rol, el cual determinará a qué aspectos del sistema web podrá acceder cada usuario. En la Figura 24 se presenta la base de datos en su estado final.

Figura 24

Modelo de la base de datos.

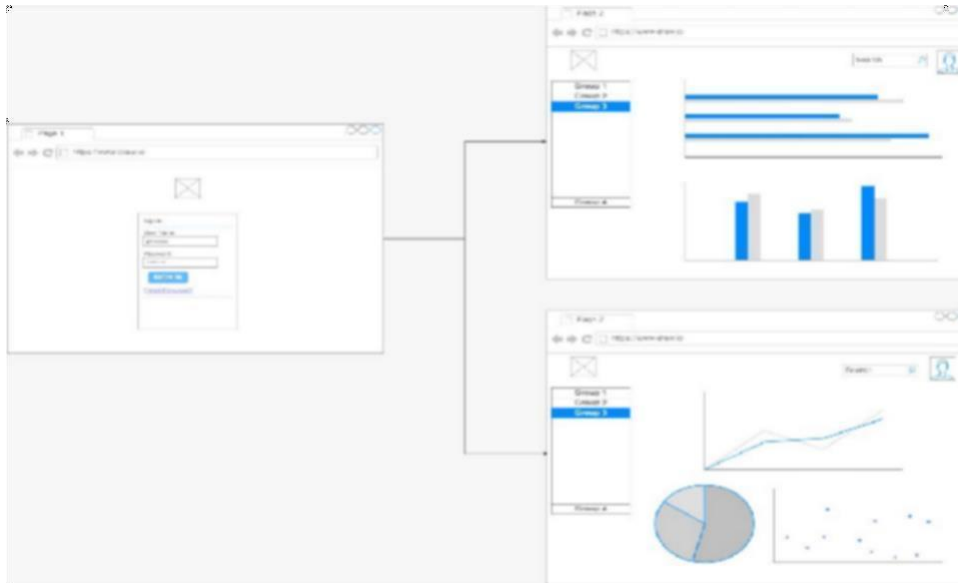


Diseño de la interfaz gráfica. Para asegurar que la información dentro del sistema web sea presentada al usuario de una manera intuitiva y amigable se realizó un boceto de cada

pantalla, tales como el inicio de sesión, la generación de reportes y el control de usuarios por parte del administrador. Estos diseños pueden observarse en la Figura 25.

Figura 25

Interfaz gráfica del sistema web para el control de datos ambientales.



2.2.2.2.3 Fase 3: Desarrollo

Tecnologías y herramientas utilizadas para el desarrollo del sistema web. En cuanto al desarrollo del sistema, se utilizaron distintas herramientas de programación tanto para el backend como para el frontend. Para el backend, se emplearon entornos de desarrollo como Eclipse y NetBeans, utilizando Node.js como entorno de ejecución para JavaScript en el servidor. Node.js permitió gestionar las solicitudes del cliente, comunicarse con el servidor MQTT y manipular la base de datos. En el frontend, se hizo uso de Visual Studio como entorno de desarrollo, junto con tecnologías web como HTML, CSS y JavaScript, para construir una interfaz gráfica intuitiva, amigable y funcional.

Además, se utilizó la librería MQTT.js en el entorno Node.js, que facilitó la suscripción y publicación de mensajes en los tópicos utilizados por los sensores. Esta librería fue esencial para establecer la comunicación en tiempo real entre los dispositivos IoT y el servidor. Asimismo, se incorporó la librería Axios para realizar solicitudes HTTP cuando fue necesario intercambiar datos entre la aplicación web y la base de datos, brindando una interfaz moderna y eficiente para el manejo de peticiones asíncronas.

La implementación de estas tecnologías dio paso a la elaboración de un sistema integral que aprovecha las capacidades del protocolo LoRaWAN para el monitoreo ambiental, a

la vez que ofrece un punto de interacción accesible para el usuario y segura para la visualización y gestión de los datos. Este enfoque modular también facilita futuras ampliaciones del sistema, como la incorporación de más sensores o nuevas funcionalidades en la plataforma web.

2.2.2.2.4 Fase 4: Pruebas

Validación del sistema. Para la etapa de pruebas, se diseñaron distintas pruebas funcionales con sus respectivos escenarios para confirmar que el prototipo y su sistema web son estables y operativamente eficientes. Estas pruebas han sido detalladas en la Tabla 8.

Tabla 8

Pruebas funcionales del sistema web.

ID	FUNCIONALIDAD A PROBAR	RESULTADO ESPERADO	RESULTADO OBTENIDO
PF-001	Envío de datos del microcontrolador	Se envían los datos desde el microcontrolador hacia el sistema web.	
PF-002	Visualización de datos en sistema web	Se visualizan los datos en el sistema web.	
PF-003	Administración de usuarios	El administrador puede registrar, editar y eliminar usuarios.	
PF-004	Inicio de sesión	Los usuarios pueden acceder al sistema web.	

CAPITULO III

RESULTADOS

Finalizada la investigación, este capítulo muestra los resultados alcanzados durante las etapas descritas en el capítulo anterior, evidenciando que se han cumplido los objetivos iniciales. Utilizando las pruebas funcionales establecidas en el capítulo previo, se llevaron a cabo pruebas de software para verificar la correcta operación del sistema web.

A su vez, se presenta un prototipo basado en tecnología LoRaWAN que permitió monitorear la calidad del aire en los laboratorios de la GESTURH, contribuyendo así a la mejora de las condiciones ambientales y al desarrollo de un ambiente más saludable para los usuarios de dichos espacios.

Fase 1: Resultados de la construcción del prototipo

En esta etapa se construyó el prototipo utilizando los sensores MQ-6, MQ-7 y DHT22, integrados con una placa LilyGO con tecnología LoRa. Los sensores recopilan datos que se transmiten de forma analógica al gateway, donde deben ser convertidos a señales digitales para su correcta visualización. Para la calibración del sensor MQ-6 los, se empleó la ecuación descrita por Aurasopon (2024).

$$ppm = A \cdot \left(\frac{R_8}{R_0} \right)^B$$

Donde:

ppm: Cantidad del gas medido en el aire, expresada en partes por millón.

A y B: Constantes que varían según el gas y el sensor, obtenidas de la curva de calibración.

R₈: Resistencia del sensor al detectar el gas.

R₀: Resistencia del sensor en aire limpio, usada como referencia.

Mediante el análisis de (Nisal Kobbekaduwa, 2021) se pudo establecer la ecuación logarítmica para la calibración del sensor MQ-7 donde se utiliza la escala de valores y la resistencia con la concentración de monóxido de carbono en ppm.

$$ppm = 10 \cdot \frac{\log_{10}(\text{ratio}) - b^c}{m}$$

Donde:

ratio: Señal de la medida y la señal de referencia.

b: Es el desplazamiento que se obtiene en la calibración.

m: Pendiente de la curva de calibración.

ppm: Concentración de partes por millón.

log10: Relación entre resistencia.

c: Potencia o exponente aplicado al cociente.

10: La potencia de 10 invierte el logaritmo.

Los rangos asignados se basaron en el índice de calidad del aire según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2024), donde se establecieron que según los colores haciendo referencia a seguro precaución o peligro

Si el índice < 50 → color verde (seguro)

Si está entre 50 y 75 → amarillo (precaución)

Si es ≥ 75 → rojo (peligro)

Las unidades de medida en que se expresan las variables utilizadas para medir la calidad del aire por cada sensor han sido recopiladas en la Tabla 9.

Tabla 9

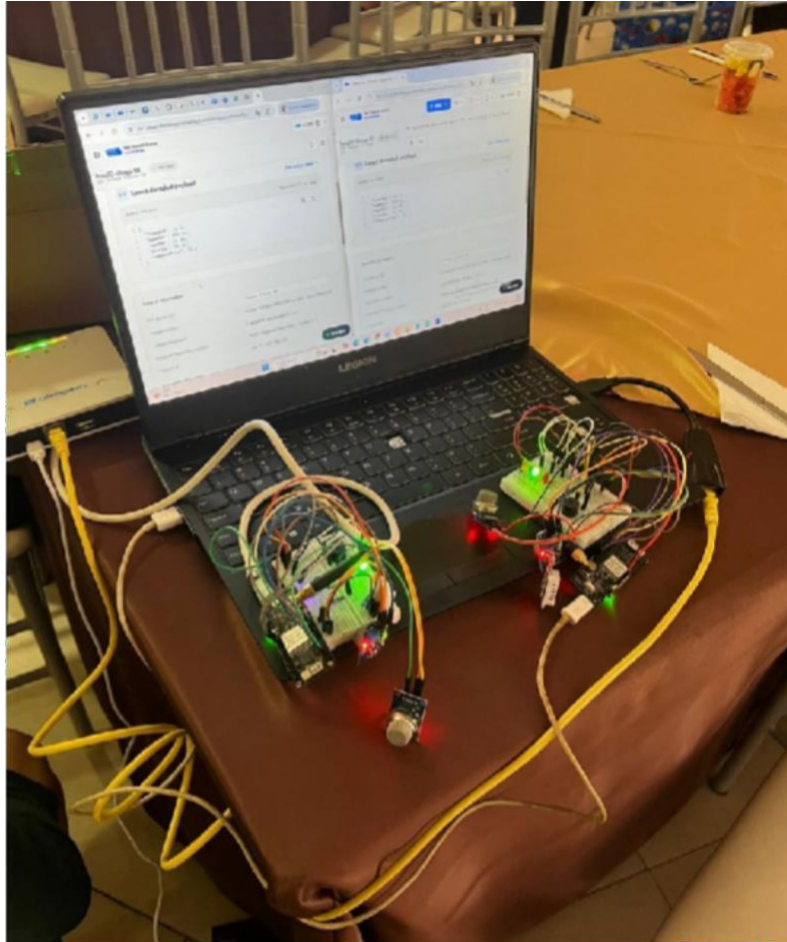
Unidades de medida de los sensores

SENSOR	VARIABLE MEDIDA	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA
MQ-6	Concentración de gases inflamables	Gas licuado de petróleo	ppm
MQ-7	Partículas de monóxido de carbono	Monóxido de carbono	ppm
DHT22	Temperatura ambiente	Temperatura	Grados Celsius
DHT22	Humedad relativa del aire	Humedad	Porcentaje

El prototipo resultante, ilustrado en la Figura 26, cuenta con dos placas LilyGo, donde cada una integra un sensor MQ-6, un sensor MQ-7 y un sensor DHT22, además de una bocina y LEDs para alertar de lecturas ambientales que sobrepasen los parámetros establecidos.

Figura 26

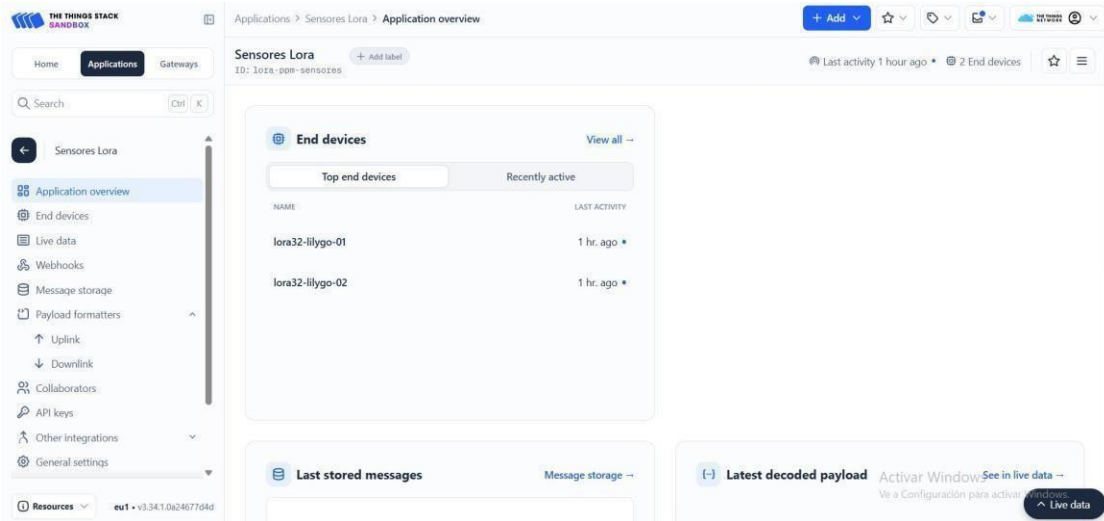
Prototipo resultante del desarrollo.



Para realizar el envío de los datos ambientales hacia el sistema web, primero se establece una conexión con The Things Network, un servicio bróker de código abierto para interconectar dispositivos IoT a través de internet utilizando el protocolo LoRaWAN (Alfaiot-webmaster, 2022). En la Figura 27 se muestra la conexión del bróker con las dos placas LilyGo.

Figura 27

Conexión del prototipo con el bróker.



El prototipo está compuesto por dos placas que fueron instaladas en diferentes ubicaciones dentro del laboratorio 180 de la GESTURH, como se muestra en la Figura 28. Para poder garantizar de la mejor forma un monitoreo eficaz en este espacio, se realizó un análisis previo donde se tomó en cuenta factores como la circulación del aire, la concentración de calor, lugares donde el personal de cocina permanece por más tiempo, además que exista una línea de vista libre hacia los prototipos.

Figura 28

Registro de datos en la cocina del Laboratorio 180 ° de la GESTURH.



Con el objetivo de permitir una instalación segura también se tomó en cuenta que se debe evitar exponer la antena LoRa a humedad excesiva o derrames de líquidos. En general, aunque el prototipo opera sin problemas en un entorno de cocinas, se debe evitar el contacto directo con líquidos o vapores intensos que puedan afectar los circuitos electrónicos. Teniendo estos previos requisitos en consideración se definieron puntos estratégicos para la colocación de los dispositivos, con el propósito de recopilar datos ambientales detectados por los sensores integrados en cada una de las placas.

Mediante la implementación de LEDs se estableció un sistema de semáforos en base a los resultados de los parámetros medidos por los sensores. Esto permitió visualizar el tipo de riesgo medido en tiempo real dentro de los laboratorios, donde el semáforo se encenderá de color verde ante la ausencia de riesgo, de color amarillo cuando existe un nivel de riesgo entre el 50% y 75%, y finalmente, de color rojo cuando el laboratorio se encuentra en peligro. El prototipo resultante implementando el sistema de semáforos se puede observar en la Figura 29.

Figura 29

Prototipo finalizado.



Los resultados de las pruebas funcionales diseñadas para el prototipo, mostrados en la Tabla 10, indican que el prototipo cumple adecuadamente con sus funciones principales en diversas situaciones.

Tabla 10

Resultados de pruebas funcionales del sistema web

ID	PRUEBA FUNCIONAL	DESCRIPCIÓN	RESULTADO OBTENIDO
PF-001	Encendido de los sensores	Verificar que los sensores se energizan correctamente al iniciar el sistema.	Los sensores se encienden correctamente.
PF-002	Lectura y procesamiento de datos	Confirmar que los sensores entregan datos válidos y el microcontrolador los interpreta.	El microcontrolador recibe correctamente los datos enviados por los sensores.
PF-003	Envío de datos de	Validar que los datos procesados se	El bróker recibe correctamente los

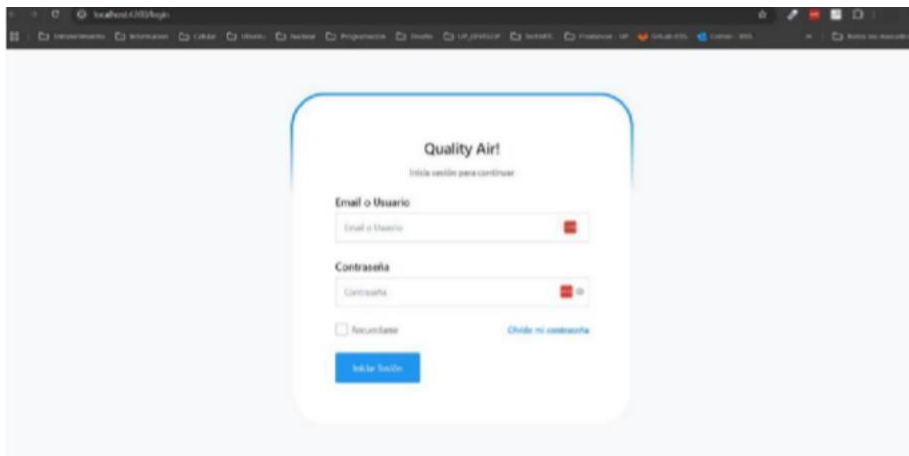
	microcontrolador	transmiten correctamente al bróker.	datos enviados por el microcontrolador.
--	------------------	-------------------------------------	---

Fase 2: Resultados del desarrollo e implementación del sistema web

La Figura 30 presenta la página de autenticación utilizada para ingresar al sistema. Dentro de esta pantalla es primordial que el usuario ingrese correctamente sus datos para que pueda iniciar sesión, específicamente los espacios para ingresar el email o usuario y la respectiva contraseña, ambos necesarios para verificar la identidad y garantizar un acceso seguro. El sistema no permite el registro directo de usuarios. Solo el administrador puede crear nuevas cuentas, accediendo al formulario de alta mediante el enlace “Iniciar sesión” para generar credenciales.

Figura 30

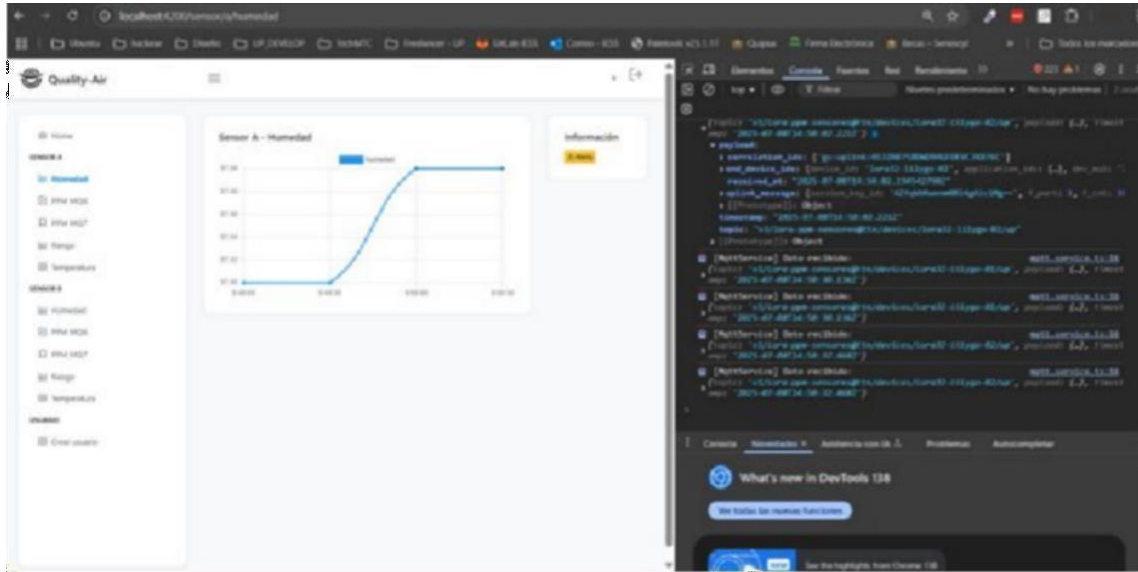
Inicio de sesión en el sistema web.



A su vez, en la Figura 31 se encuentra la visualización de la lectura de los sensores, los cuales son procesados y enviados hacia el bróker, que posteriormente se encarga de dirigirlos hacia la página web donde son ilustrados de una manera amigable para el usuario.

Figura 31

Visualización de los datos ambientales en el sistema web.



En la Tabla 11 se pueden observar los resultados tras la ejecución de las pruebas funcionales diseñadas para el sistema web. Estos resultados demuestran el correcto desempeño de la herramienta desarrollada en base a los requisitos entregados por la GESTURH.

Tabla 11

Pruebas funcionales del sistema web.

ID	FUNCIONALIDAD A PROBAR	RESULTADO ESPERADO	RESULTADO OBTENIDO
PF-001	Envío de datos del microcontrolador	Se envían los datos desde el microcontrolador hacia el sistema web.	Datos enviados correctamente.
PF-002	Visualización de datos en sistema web	Se visualizan los datos en el sistema web.	Datos visibles sin errores.
PF-003	Administración de usuarios	El administrador puede registrar, editar y eliminar usuarios.	Funcionalidad operativa.

PF-004	Inicio de sesión	Los usuarios pueden acceder al sistema web.	Inicio de sesión exitoso.

CONCLUSIONES

1. Se determinaron como fundamentales ciertos parámetros, entre ellos el monóxido de carbono, el gas licuado de petróleo, la temperatura y la humedad relativa, ya que son esenciales para analizar la calidad del aire en espacios interiores y garantizar un entorno saludable para los ocupantes.
2. Se llevó a cabo un sistema de sensores sólido y flexible, utilizando módulos LoRa que destacan por su bajo consumo energético y buena cobertura, permitiendo la transmisión de datos desde espacios con condiciones particulares, como la zona de cocina.
3. Se desarrolló una plataforma web operativa que facilita la visualización en tiempo real de los datos emitidos por el prototipo, ofreciendo representaciones gráficas claras y un registro histórico de la información recopilada.
4. La prueba en condiciones reales confirmó que el prototipo funciona de manera confiable, entregando datos útiles y en tiempo real, sin presentar interrupciones relevantes en la transmisión ni errores en las mediciones.

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios periódicos para actualizar los parámetros de interés según las actividades académicas y las normativas ambientales vigentes.
2. Optimizar el diseño físico y la ubicación de los sensores para evitar interferencias por calor, vapor o grasa, y asegurar su mantenimiento regular.
3. Incorporar funcionalidades adicionales como reportes automáticos, exportación de datos y notificaciones ante niveles críticos de contaminación.
4. Realizar evaluaciones a largo plazo y durante diferentes épocas del año para verificar la estabilidad del sistema en condiciones variadas, además de considerar mejoras de calibración y respuesta ante cambios rápidos en el ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (26 de Julio de 2023). *Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés)*. Obtenido de ¿Qué es el PM, y cómo llega al aire?: <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>
- Agency, U. S. (14 de marzo de 2023). *Calidad del aire interior*. Obtenido de Acerca de los contaminantes del aire en interiores y sus fuentes: <https://espanol.epa.gov/cai/acerca-de-los-contaminantes-del-aire-en-interiores-y-sus-fuentes#VOC>
- Agency, U. S. (14 de marzo de 2023). *United States Environmental Protection Agency*. Obtenido de El impacto de los compuestos orgánicos volátiles en la calidad del aire interior: <https://espanol.epa.gov/cai/el-impacto-de-los-compuestos-organicos-volaticos-en-la-calidad-del-aire-interior>
- Alfaiot-webmaster. (21 de 03 de 2022). *The Things Network (TTN), una red IoT global para la sociedad*. Obtenido de AlfaIoT: <https://alfaiot.com/iot/the-things-network-ttn-una-red-iot-global-para-la-sociedad/>
- Alvarez Cruz, A., Morales Pérez, M. C., & Daniellys Alejo Sánchez, R. A. (2023). Evaluación comparativa de sensores de partículas en Santa Clara, Cuba. *RIELAC*, 44(2).
- Aurasopon, A. K. (28 de agosto de 2024). *Enhancing Gas Sensor Accuracy through Ripple Rejection in Switching Power Supplies*. Obtenido de International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT).
- Automation, H. (s.f.). *WiFi LoRa 32 V3*. Obtenido de <https://heltec.org/project/wifi-lora-32-v3/>
- AV Electronics. (12 de octubre de 2024). *Sensor Gas MQ-6*. Obtenido de AV Electronics: <https://avelectronics.cc/producto/sensor-gas-mq-6/>
- AV Electronics. (13 de diciembre de 2024). *Sensor Gas MQ-7*. Obtenido de AV Electronics: <https://avelectronics.cc/producto/sensor-gas-mq-7/>
- Aycart Pérez, D., Gibert Ginestà, M., Hernández Matías, M., & Mas Hernández, J. (2007). *Ingeniería del software en entornos del software libre* (2da ed.). Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya. Obtenido de <https://openaccess.uoc.edu/server/api/core/bitstreams/22f99ced-0b58-4cc4-b31a-763ca4a14e8a/content>
- B., G. (15 de abril de 2025). *¿Qué es CSS?* Obtenido de Hostinger: <https://www.hostinger.com/es/tutoriales/que-es-css>
- Baltuille, P. (15 de Junio de 2023). *Instituto Nacional de Ciberseguridad*. Obtenido de Instituto Nacional de Ciberseguridad: <https://www.incibe.es/incibe-cert/blog/lorawan-y-su-aportacion-las-tecnologias-iiot>
- Becolve Digital. (2023 de abril de 27). *Conceptos básicos que te ayudarán a entender LoRa y LoRaWAN en minutos*. Obtenido de Becolve Digital:

<https://becolve.com/blog/conceptos-tecnicos-basicos-que-te-ayudaran-a-entender-lora-y-lorawan-low-power-wide-area-network-en-pocos-minutos/>

- Bonilla, V. (5 de Octubre de 2023). *Creación de un prototipo de monitoreo de temperatura del aire utilizando equipos de desarrollo de bajo costo y comunicación LoRaWAN : Implementación física de un prototipo de monitoreo de temperatura del aire utilizando equipos de desarrollo de bajo costo*, [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/24933>
- Braga, N. C. (s.f.). *Sensores de calidad del aire: cómo funcionan (ART2133S)*. Obtenido de Instituto NCB: <https://newtoncbraga.com.mx/articulos/13-medio-ambiente-y-salud/6834-sensores-de-calidad-del-aire-como-funcionan-art2133s>
- Carmatec. (14 de marzo de 2024). *Understanding Web Application Architecture: A Guide to Scalable Development*. Obtenido de Carmatec: <https://www.carmatec.com/understanding-web-application-architecture>
- Carmatec. (18 de junio de 2024). *Arquitectura de Aplicaciones Web: Guía completa 2025*. Obtenido de Carmatec: <https://www.segurosyfinanzashoy.com/monitoreo-ambiental-que-es-definicion-y-concepto/>
- Committee, O. M. (31 de mayo de 2023). *OASIS Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) TC*. Obtenido de OASIS Open: https://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=mqtt
- Contreras, K., & Narváez, V. (15 de noviembre de 2024). *Diseño y desarrollo de un prototipo de red de sensores IoT utilizando tecnología LoRaWAN para el monitoreo de parámetros ambientales en interiores y exteriores*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19439/1/UPS-GT003019.pdf>
- Contributors, M. (15 de ABIRL de 2024). *JavaScript*. Obtenido de MDN Web Docs: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript>
- DIGI. 4C. (s.f.). (¿. e. potencia)?, Productor) Obtenido de DIGI. 4C: <https://es.digi.com/resources/definitions/lpwan>
- El, H. (3 de junio de 2024). *¿Qué es LPWAN? Introducción a la tecnología de redes de área amplia de bajo consumo*. Obtenido de MOKOSmart: <https://www.mokosmart.com/es/what-is-lpwan-low-power-wide-area-network/>
- Electronics, A. (2025). *Sensor Gas MQ-6*. Obtenido de https://avelectronics.cc/producto/sensor-gas-mq-6/?srsltid=AfmBOoqugi6wwdVOW17v-Te7PP6brab5Tm5W2NrvNiEzXE_7bsFfDZFq
- Electronics, A. (s.f.). *Sensor Gas MQ-7*. Obtenido de AV Electronics: https://avelectronics.cc/producto/sensor-gas-mq-7/?srsltid=AfmBOoq0Vc1zk85F19xsHKqfBDJjx2YzlsbUQKqIhBOw12H99kil_19v

- Expertos en Ciencia y Tecnología, E., & ertos en Ciencia y Tecnología, E. (27 de Octubre de 2022). *VIU Universidad Online*. Obtenido de VIU Universidad Online: <https://www.universidadviu.com/pe/actualidad/nuestros-expertos/como-se-conectan-los-dispositivos-iot-la-red>
- Felipe. (6 de julio de 2021). *Modelo de prototipos: ¿qué es y cuáles son sus etapas?* Obtenido de Hosting Plus: <https://www.hostingplus.pe/blog/modelo-de-prototipos-que-es-y-cuales-son-sus-etapas/>
- FORTINET*. (s.f.). (¿. e. (IoT)?, Productor) Obtenido de FORTINET: <https://www.fortinet.com/lat/resources/cyberglossary/iot>
- Gaona, S., & Matabay, R. (2017). *Impacto de las Compras Públicas en las Asociaciones de Producción Textil de la Economía Popular y Solidaria en la Ciudad de Quito, en el Periodo 2014-2016*. Quito: Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/10828/1/T-UCE-0005-100-2017.pdf>
- Guru, R. (s.f.). *Singleton*. Obtenido de Patrones de diseño (Refactoring Guru): <https://refactoring.guru/es/design-patterns/singleton>
- Hernández. (28 de junio de 2021). *l patrón modelo-vista-controlador: Arquitectura y frameworks explicados*. Obtenido de Patrones de Diseño: <https://www.freecodecamp.org/espanol/news/el-modelo-de-arquitectura-view-controller-pattern/>
- Hernández Sampieri, R. F. (2010). *Metodología de la Investigación*. McGraw Hill Education. Obtenido de Metodologia de la Investigacion Hernandez Sampieri 6a Edicion.
- Huang, N. (1 de febrero de 2023). *mokolora*. Obtenido de Por qué LoRaWAN IoT está prosperando sobre otros LPWAN: <https://www.mokolora.com/es/lorawan-iot-is-thriving-over-other-lpwan/>
- IBM. (10 de marzo de 2024). *¿Qué es Java?* . Obtenido de ¿Qué es Java? : <https://www.ibm.com/es-es/topics/java>
- IBM*. (7 de 2 de 2025). (b. y. ¿Qué es el IoT (IoT)? Definición, Productor) Obtenido de IBM: [https://www.ibm.com/mx-es/topics/internet-of-things#:~:text=El%20Internet%20de%20las%20cosas%20\(IoT%20por%20sus%20siglas%20en,permite%20recopilar%20y%20compartir%20datos.](https://www.ibm.com/mx-es/topics/internet-of-things#:~:text=El%20Internet%20de%20las%20cosas%20(IoT%20por%20sus%20siglas%20en,permite%20recopilar%20y%20compartir%20datos.)
- Idrovo Urgilés, R. M. (2021). *Monitorización en la nube de «Livestock» para aplicaciones IoT en el ámbito de «Smart Agriculture»*, [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de Catalunya]. Obtenido de <https://hdl.handle.net/2117/355650>
- Imagar. (4 de Enero de 2024). *La importancia del desarrollo web en la experiencia de usuario*. Obtenido de Imagar: <https://www.imagar.com/blog-desarrollo-web/la->

importancia-del-desarrollo-web-en-la-experiencia-de-
usuario/?utm_source=chatgpt.com

IBM. (18 de Febrero de 2025). *Comunicación con aplicaciones (MQTT)*. Obtenido de IBM Cloud Docs.

Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública . (2020). Manual de Higiene y Seguridad. En I. N. Pública, *REGLAMENTO DE HIGIENE Y SEGURIDAD* .
<http://www.investigacionsalud.gob.ec/webs/intranet/wp-content/uploads/2020/12/RHS2020121782RHS.pdf>.

Internet, U. I. (17 de Enero de 2024). *LoRaWAN: ¿en qué consiste este protocolo y para qué se emplea?* Obtenido de LoRaWAN: ¿en qué consiste este protocolo y para qué se emplea?: <https://www.unir.net/revista/ingenieria/lorawan/>

IONOS, E. e. (31 de enero de 2023). *¿Cómo funciona el modelo cliente-servidor?* Obtenido de IONOS: <https://www.ionos.com/es-us/digitalguide/servidores/know-how/modelo-cliente-servidor/>

IoT Analytics. (4 de junio de 2024). *Global LPWAN Market Tracker and Forecast 2015-2027 (Q1/2024 Update)*. Obtenido de IoT Analytics: <https://iot-analytics.com/product/global-lpwan-market-tracker-and-forecast-2015-2027-q1-2024-update/>

IoT Consulting. (15 de Marzo de 2021). *IoT Consulting*. Obtenido de IoT Consulting: <https://iotconsulting.tech/lora-vs-lorawan/>

IoT Consulting. (15 de marzo de 2021). *LoRa vs LoRaWAN – ¿Cuál es la diferencia? Tu Fuente Experta En IoT*. Obtenido de IoT Consulting: <https://iotconsulting.tech/lora-vs-lorawan/>

IS3ados. (2008). *Los ciclos de vida del software (II)*. Obtenido de IS3ados: <https://is3ados.blogspot.com/2008/11/los-ciclos-de-vida-del-software-ii.html>

Khairullah, E. A. (2025). Aplicaciones IoT para la gestión inteligente del agua basadas en LoRaWAN: una revisión. *Journal of Information and Telecommunication* , 1-27. doi:<https://doi.org/10.1080/24751839.2025.2458889>

Kong, H., An, S., Lee, S., Cho, S., Hong, J., Kim, S., & Lee, S. (31 de octubre de 2022). Usage of the Internet of Things in Medical Institutions and its Implications.

healthcare Informatics Research, 28(4), 287-296. Obtenido de <https://doi.org/10.4258/hir.2022.28.4.287>

Ley de Economía Popular y Solidaria. (2012). Obtenido de <https://www.seps.gob.ec/wp-content/uploads/Reglamento-General-de-la-Ley-Organica-de-Economia-Popular-y-Solidaria.pdf>

Lombera, E. N., & Caccia, M. (2024). Tecnología IoT para Sensores Inteligentes y Redes Inalámbricas: Un Enfoque en la Evolución hacia un Nodo de Monitoreo Ambiental.

MOKOLORA. (21 de Octubre de 2021). *Definición de sensores LoRaWAN*. Obtenido de Definición de sensores LoRaWAN: <https://www.mokolora.com/es/definicion-lorawan-sensors/>

MokoSmart. (2023). Obtenido de <https://www.mokosmart.com/es/lora-technology/>

Monografías. (s.f.). *Sistema de Gestión Ambiental ISO 14000*. Obtenido de Monografías: https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/d_recursos_humanos/concurso/normativa/_archivos/000007_Otras%20normativas%20especificas/000000_SISTEMA%20DE%20GESTI%C3%93N%20%20AMBIENTAL%20ISO%201400.pdf

Moraes, F. (2020). *HTML For Beginners The Easy Way: Start Learning HTML & CSS Today*. Obtenido de HTML.com: <https://html.com/>

Muñoz Montilla, A. N., & Páramo Bernal, P. F. (2018). Monitoreo de los procesos de educación ambiental: Propuesta de estructuración de un sistema de indicadores de Educación ambiental. *Revista Colombiana de Educación*(74), 81-106. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6710838>

Naylamp Mechatronics. (s.f.). *Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 (AM2302)*. Obtenido de Naylamp Mechatronics: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html>

Nazareno, B. (15 de marzo de 2023). *Repositorio Institucional Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/24933/1/CD%2013624.pdf>

- Nowatzki, J. (12 de 2021). Obtenido de North dakota state university.
- OMS. (2021). *Contaminación del aire en los hogares.* " Organización Mundial de la Salud. Obtenido de Contaminación del aire en los hogares." Organización Mundial de la Salud.: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>.
- OMS. (19 de diciembre de 2022). *World Health Organization*. Obtenido de Organizacion Mundial de la Salud: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Ortiz Espinosa, D. R. (17 de mayo de 2018). *Universidad San Francisco de Quito (USFQ)*. Obtenido de Sistema de monitoreo de contaminación del aire con redes de sensores inalámbricos en tiempo real: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/7314/1/138262.pdf>
- Patel, J. (9 de febrero de 2024). *Fundamentos de la arquitectura de aplicaciones web: ¿Cómo funcionan las aplicaciones web?* Obtenido de Monocubed: <https://www.monocubed.com/blog/web-application-architecture/>
- Patricio. (2019).
- Patricio, H. (2019). *The Dojo MX*. Obtenido de Entendiendo REST: Arquitectura cliente-servidor: <https://blog.thedojo.mx/2019/07/04/entendiendo-rest-arquitectura-cliente-servidor.html>
- Pérez, J. (15 de Marzo de 2024). *Arquitectura en Capas: Guía Completa*. Obtenido de DesarrolloSoftware.com: <https://reactiveprogramming.io/blog/es/estilos-arquitectonicos/capas>
- Platzi. (19 de Abril de 2025). <https://platzi.com/blog/que-es-frontend-y-backend/>. Obtenido de <https://platzi.com/blog/que-es-frontend-y-backend/>: <https://platzi.com/blog/que-es-frontend-y-backend/>
- Pranaair. (s.f.). *Prana Air* . Obtenido de ¿Qué es VOC?: <https://www.pranaair.com/es/what-is-voc/>
- Raeburn, A. (13 de febrero de 2025). *La programación extrema (XP) produce resultados, pero ¿es la metodología adecuada para ti?* Obtenido de Asana: <https://asana.com/es/resources/extreme-programming-xp>

- Redactor. (27 de junio de 2024). *Lenguajes de programación: qué son y para qué se utilizan*. Obtenido de Área F5: https://areaf5.es/blog/lenguajes-de-programacion-que-son-y-para-que-se-utilizan?utm_source=chatgpt.com
- Revista ACOFI (si no hay autor, p. d. (2006). *ACOFI*. Obtenido de ACOFI.: https://acofi.edu.co/revista/Revista2/2006_II_11/contenido/prot_incremental.htm
- Rikasensor. (30 de Abril de 2024). *La importancia de los sensores de calidad del aire*. (L. i. aire, Productor) Obtenido de La importancia de los sensores de calidad del aire: <https://www.rikasensor.com/es/blog-the-importance-of-air-quality-sensors.html>
- Ruiz, R. (2023). *Monitoreo Ambiental* . Obtenido de Qué es, definición y concepto. Seguros y Finanzas Hoy.: <https://www.segurosyfinanzashoy.com/monitoreo-ambiental-que-es-definicion-y-concepto/>
- SAC. (15 de julio de 2023). *Sensor DHT22 (AM2302): características y uso con microcontroladores*. Obtenido de SAC Electrónica.
- SAC, N. M. (2023). Obtenido de Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 (AM2302): <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html>
- SAC, N. M. (2023). *Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 (AM2302)*. Obtenido de Naylamp Mechatronics - Perú: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html>
- SafetyCulture Content Team. (18 de Diciembre de 2024). *Monitoreo de la calidad del aire*. Obtenido de SafetyCulture: <https://safetyculture.com/es/temas/monitoreo-de-la-calidad-del-aire/>
- Sandoval, L. I. (2020). Educación Ambiental en la finca Los Chíparos como estrategia educativa para los estudiantes de décimo año de educación general básica en la Unidad Educativa Municipal Eugenio Espejo D.M. Quito 2019. *Educación Ambiental en la finca Los Chíparos como estrategia educativa para los estudiantes de décimo año de educación general básica en la Unidad Educativa Municipal Eugenio Espejo D.M. Quito 2019*. Quito, Quito, Ecuador.

- Silvestre, J. S. (2016). *Internet de las cosas* .
- Sinha. (21 de marzo de 2024). (m. q. LPWAN 2024: Las tecnologías con licencia aumentan su participación entre los 1.300 millones de conexiones globales, Productor) Obtenido de Sinha: <https://iot-analytics.com/lpwan-market/>
- Sinha, S. (21 de Marzo de 2024). *IOT ANALYTUCS*. Obtenido de IOT ANALYTUCS: <https://iot-analytics.com/lpwan-market/>
- Sinnaps. (s.f.). "*Metodología XP o Programación Extrema: ¿Qué es y cómo aplicarla?*". Obtenido de Sinnaps: <https://www.sinnaps.com/blog-gestion-proyectos/metodologia-xp>
- Standardization., G. a. (2015).
- Standardization., I. O. (2015).
- SYDLE. (22 de marzo de 2022). *SYDLE*. Obtenido de Innovación y Tecnología: <https://www.sydle.com/es/blog/internet-de-las-cosas-6239c79c3bbdd676577a1e76>
- TCS INDUSTRIAL. (2025). *Modulo ESP32 Lilygo TTGO*. Obtenido de Modulo ESP32 Lilygo TTGO: <https://tcsindustrial.com/shop/es/electronics/477-modulo-esp32-lilygo-ttgo.html>
- TCS INDUSTRIAL SHOP. (s.f.). *Modulo ESP32 LilyGo TTGO*. Obtenido de TCS INDUSTRIAL SHOP: <https://tcsindustrial.com/shop/es/electronics/477-modulo-esp32-lilygo-ttgo.html>
- Tecnología LoRA y LoRAWAN*. (s.f.). (T. L. LoRAWAN, Productor) Obtenido de Tecnología LoRA y LoRAWAN: <https://www.catsensors.com/es/lorawan/tecnologia-lora-y-lorawan>
- Valdivieso, A., Siluk, C., & Michelin, C. (2022). Análisis Prospectivo Estratégico del Sector Textil Productivo Ecuatoriano para Incrementar la Competitividad en las Exportaciones. *SIGMA*, 13. doi:<https://doi.org/10.24133/sigma.v9i02.2827>
- Villa, L. (s.f.). *Consultores tecnológicos*. Obtenido de Consultores tecnológicos: <https://consultorestecnologicos.net.co/tecnologia-de-comunicacion-lorawan/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20LoRaWAN%3F,necesidad%20de%20usar%20mucho%20energ%C3%ADa>.

ANEXO

GUION DE ENTREVISTA: PROTOTIPO IOT DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN EL LABORATORIO 180 DE LA GESTURH

Entrevistadora: Norma-Jean Paz Ferrin

Entrevistado: Lic. Gonzalo Rubio

Fecha: 12 de mayo de 2025

PREGUNTAS PARA RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE COCINA PROFESIONAL GESTURH

Norma Jean Paz Ferrin: Buenos días, Licenciado Gonzalo Rubio. Agradezco su tiempo para esta entrevista relacionada con la creación de un sistema IoT para el monitoreo de la calidad ambiental en el laboratorio. Comenzaré con algunas preguntas técnicas para entender mejor las necesidades actuales. ¿Con qué frecuencia monitorean la calidad del aire en el laboratorio actualmente?

Lic. Gonzalo Rubio: No contamos con ningún tipo de monitoreo actualmente. Sería la primera vez que implementamos un sistema así en nuestras instalaciones.

Norma Jean Paz Ferrin: Entiendo. Y desde su perspectiva, ¿qué contaminantes considera prioritarios para medir?

Lic. Gonzalo Rubio: Principalmente el gas del tanque de gas. Es nuestra principal preocupación por los riesgos que implica en la salud.

Norma Jean Paz Ferrin: ¿Qué áreas del laboratorio requieren monitoreo especial de la calidad del aire?

Lic. Gonzalo Rubio: Principalmente el taller de producción, específicamente el laboratorio 180.

Norma Jean Paz Ferrin: ¿Ha tenido problemas previos con la ventilación o calidad del aire interior?

Lic. Gonzalo Rubio: No, hasta el momento no hemos experimentado problemas significativos. Sin embargo, queremos ser proactivos en este aspecto.

Norma Jean Paz Ferrin: ¿Cuenta el laboratorio con procedimientos de calibración para el equipo de monitoreo?

Lic. Gonzalo Rubio: No, actualmente no disponemos de tales procedimientos ya que no contamos con equipos de monitoreo.

Norma Jean Paz Ferrin: ¿Qué recursos o capacitación considera necesarios para mantener la calidad de las mediciones?

Lic. Gonzalo Rubio: Considero fundamental contar con capacitación adecuada y supervisión constante. Necesitamos personal que entienda cómo funciona el sistema y pueda interpretar correctamente los datos.

Norma Jean Paz Ferrin: ¿Qué expectativas tiene respecto a la integración del sistema con otras tecnologías del laboratorio?

Lic. Gonzalo Rubio: Me parece excelente para cuidar la salud de todos los que utilizamos los laboratorios durante las prácticas.

Norma Jean Paz Ferrin: ¿Cuál es su experiencia con sistemas IoT o soluciones digitales?

Lic. Gonzalo Rubio: He tenido la oportunidad de ver esta tecnología implementada en hoteles y restaurantes.

Norma Jean Paz Ferrin: En cuanto a la interfaz del sistema, ¿prefiere un sistema visual y manejable para usuarios con diferentes niveles técnicos?

Lic. Gonzalo Rubio: Definitivamente que sea visual. Es importante que cualquier miembro del equipo pueda entender la información presentada.

Norma Jean Paz Ferrin: ¿Qué tipo de reportes considera útiles para la gestión diaria?

Lic. Gonzalo Rubio: Principalmente alertas tempranas y alarmas.

Norma Jean Paz Ferrin: ¿Qué nivel de escalabilidad espera del sistema a futuro?

Lic. Gonzalo Rubio: Alta escalabilidad para adaptarse a futuras demandas y expansiones.

Norma Jean Paz Ferrin: ¿Considera importante la seguridad y privacidad de datos en el laboratorio?

Lic. Gonzalo Rubio: Sí, absolutamente. La integridad y confidencialidad de la información son aspectos críticos para nuestra operación.

Norma Jean Paz Ferrin: ¿Ha experimentado problemas con la comunicación inalámbrica en el laboratorio?

Lic. Gonzalo Rubio: Un poco. En algunas áreas la señal puede ser intermitente, lo cual debemos considerar.

Norma Jean Paz Ferrin: ¿Cuál es la ubicación ideal para instalar sensores y gateways dentro del laboratorio?

Lic. Gonzalo Rubio: Cerca de los hornos donde se concentra el mayor calor. Esas son las áreas que más nos preocupan y donde queremos tener un monitoreo constante.

Norma Jean Paz Ferrin: ¿Qué dificultades cree que podrían presentarse en la instalación y operación del sistema IoT?

Lic. Gonzalo Rubio: Creo que ninguna. Estamos bastante optimistas sobre la implementación, aunque debemos considerar la capacitación del personal como un aspecto importante.

Norma Jean Paz Ferrin: ¿Cuenta con infraestructura que pueda interferir con la señal inalámbrica?

Lic. Gonzalo Rubio: Sí, tenemos algunos equipos y estructuras.

Norma Jean Paz Ferrin: ¿Existe alguna zona donde se concentren actividades que generen más humo, vapores o calor, como cocinas, hornos o autoclaves?

Lic. Gonzalo Rubio: Sí, cerca de los hornos. Es ahí donde se generan las mayores temperaturas y potencialmente más emisiones.

Norma Jean Paz Ferrin: Respecto a la operación y seguimiento, ¿hay horarios pico donde se acumula más personal o se realizan actividades de mayor emisión?

Lic. Gonzalo Rubio: Sí, al mediodía. Es cuando tenemos mayor concentración de actividades y personal en el laboratorio.

visuales como barras, líneas o indicadores tipo semáforo, o prefiere tablas numéricas? **Lic. Gonzalo Rubio:** Definitivamente por gráficos. Son más intuitivos y permiten ver tendencias rápidamente.

Norma Jean Paz Ferrin: ¿Qué colores cree que serían más claros y comprensibles para indicar

el estado del aire? Por ejemplo, los colores verde, amarillo y rojo podrían indicar un estado bueno, moderado y peligroso respectivamente.

Lic. Gonzalo Rubio: Sí, me parece muy bien ese esquema de colores. Es intuitivo y universalmente reconocible, lo que facilita la interpretación rápida para cualquier persona.

Norma Jean Paz Ferrin: Respecto a la interacción e interpretación, ¿considera útil que aparezcan cuadros emergentes o alertas cuando los niveles de contaminantes superen ciertos límites?

Lic. Gonzalo Rubio: Sí, eso sería muy útil. Las alertas que nos permitirían tomar acciones correctivas rápidamente.

Norma Jean Paz Ferrin: ¿Le gustaría tener botones que permitan cambiar entre distintos tipos de información, como temperatura, humedad, COV, tiempo real e historial?

Lic. Gonzalo Rubio: Sí, tener esa flexibilidad sería ideal.

Norma Jean Paz Ferrin: Licenciado Rubio, agradezco mucho toda esta información. Será muy útil para la construcción del sistema. ¿Tiene alguna pregunta o comentario adicional que quisiera compartir?

Lic. Gonzalo Rubio: No, creo que hemos cubierto todos los aspectos importantes. Estoy muy interesado en ver cómo avanza este proyecto y cómo puede mejorar las condiciones de trabajo en nuestro laboratorio.

Norma Jean Paz Ferrin: Perfecto. Estaré en contacto para mantenerlo informado sobre los avances y próximos pasos en la implementación del sistema. Muchas gracias por su tiempo.

Lic. Gonzalo Rubio: Gracias a usted por considerar la seguridad y bienestar de todos nosotros en el laboratorio.



PUCE | IBARRA

Ibarra, 15 de agosto de 2025

Mgs. Gonzalo Rubio
COORDINADOR DE LA CARRERA DE GASTRONOMÍA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE-IBARRA

Presente. –

Estimada Norma -Jean Paz Ferrin,

En representación de la Carrera de Gastronomía de la PUCE-IBARRA, es un gusto comunicar que hemos recibido y evaluado el proyecto titulado: **“Prototipo LoRaWAN para el monitoreo de la calidad del aire dentro de los laboratorios de la GESTURH”**, presentado por usted en nuestras instalaciones.

Deseamos manifestar nuestra satisfacción por la calidad y pertinencia de la propuesta, la cual constituye un aporte valioso para nuestra carrera y contribuye al fortalecimiento de la formación académica y profesional en el área correspondiente.

Reconocemos y apreciamos su dedicación, compromiso y profesionalismo demostrados durante el desarrollo del trabajo. Confiamos en que los conocimientos y habilidades adquiridos le serán de gran utilidad en su futuro desempeño profesional.

Atentamente,

MGS.
GONZALO
RUBIO

Firmado digitalmente
por MGS. GONZALO
RUBIO
Fecha: 2025.08.15
10:53:04 -05'00'

Mba. Gonzalo Rubio
COORDINADOR DE LA CARRERA DE GASTRONOMÍA
PUCE – Sede Ibarra