



UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA Y
TECNOLOGÍAS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN**

TEMA:

**DESARROLLO DE UN SISTEMA IOT PARA EL MONITOREO Y ALERTA DE
CALIDAD DEL AIRE EN PARQUEADEROS CERRADOS Y SEMI-CERRADOS.**

PRESENTAN:

- BASURTO CASQUETE JOSSELYNE MERCEDES
- ZAMBRANO SOLORZANO IVANIA DAYANA

DIRECTOR DEL TEMA:

ING. OSCAR ARMANDO GONZÁLEZ LÓPEZ

MANTA - MANABÍ - ECUADOR

2025(2)

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad Ciencias de la vida y tecnología matriz manta de la carrera de Tecnologías de la información de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de las estudiantes Basurto Casquete Josselyne Mercedes y Zambrano Solórzano Ivaria Dayana legalmente matriculado/a en la carrera de tecnología de la información periodo académico 2025-2, cumpliendo el total de 400 horas, cuyo tema del proyecto es **"DESARROLLO DE UN SISTEMA IOT PARA EL MONITOREO Y ALERTA DE CALIDAD DEL AIRE EN PARQUEADEROS CERRADOS Y SEMI-CERRADOS"**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 05 de 02 del 2026.

Lo certifico,


Ing. González López Oscar Armando
Docente Tutor(a)
Área:

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

DECLARACIÓN EXPRESA DE AUTORÍA

DECLARACIÓN EXPRESA DE AUTORÍA

Nosotras, **BASURTO CASQUETE JOSSELYNE MERCEDES** y **ZAMBRANO SOLÓRZANO IVANIA DAYANA**, en calidad de autoras del trabajo de titulación titulado:

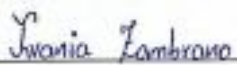
“DESARROLLO DE UN SISTEMA IOT PARA EL MONITOREO Y ALERTA DE CALIDAD DEL AIRE EN PARQUEADEROS CERRADOS Y SEMI-CERRADOS”.

Declaramos solemnemente que el presente trabajo es el resultado de nuestro propio esfuerzo, es original y de nuestra autoría, y que hemos citado de manera correcta todas las fuentes utilizadas, respetando las leyes vigentes sobre el derecho de autor.

Autorizamos a la Universidad Laica “Eloy Alfaro de Manabí” utilizar este trabajo con fines académicos o de investigación, así como a publicarlo en su repositorio digital institucional.



Basurto Casquete Josselyne Mercedes
C.I: 131662099-4



Zambrano Solórzano Ivania Dayana
C.I: 131642169-0

DEDICATORIA

Al Creador y dueño de absolutamente todo, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y mi refugio en medio de la incertidumbre. Digno de recibir todo honor y toda gloria, incluso mis logros, porque nunca fueron míos, sino parte de tu perfecto plan en mí. Este logro te pertenece a Ti, mi amado Jesús, quien me sostuvo, me guio y nunca me soltó en cada momento de este camino.

Gracias Dios por tu fidelidad en mí.

Al concluir esta hermosa etapa de mi vida, quiero dedicarle todo mi trabajo y esfuerzo tanto de esta Tesis como todo mi proceso de formación a mi madre, Margarita Solórzano, por su amor incondicional, su sacrificio constante y aun por cada oración que realmente me sostuvo en medio de lo difícil que podía ser el camino. Este logro es fruto del esfuerzo de ambas, de los sacrificios constante y de la fe que nunca se quebrantó.

Ha sido una mujer guerrera, ejemplo de mi vida de fortaleza y perseverancia, que nunca se cansó de luchar por mí y mis sueños.

Todo lo que hoy he cumplido lleva tu huella, mamá. Este logro también te pertenece y es reflejo del amor, la fe y el del esfuerzo sembrados, que hoy dan fruto.

Zambrano S. Ivania D.

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi sobrino **Ismael Mendoza Basurto**, quien fue mi fortaleza cuando mi mundo parecía derrumbarse, brindándome el apoyo necesario sin que él lo supiera. Fue, es y será mi curita al alma y el motor que me impulsa a seguir adelante y no rendirme.

A mi padre **Óscar Basurto (+)**, quien se convirtió en mi ángel guardián. Gracias por enseñarme la importancia de ser amable y saludar correctamente a las personas; siempre lo tengo presente y ahora comprendo el porqué. Ese valor me enseñó a conectar con los demás y a reconocer, con el tiempo, las verdaderas amistades, manteniéndolas presentes en cada etapa de la vida.

A **Don Oswaldo Villavicencio (+)**, por preguntarme siempre cuándo terminaría mis estudios, impulsándome a continuar y a no decaer, incluso cuando yo misma dudaba. Hoy cumplo la promesa que le hice en vida cuando me preguntaba cuándo iba a terminar, y yo, en tono de broma, le respondía: *“No se preocupe, don Villa, que así sea en la tumba le llevo mi título”*. Sin imaginar que el día más esperado llegaría sin su presencia física, pero con su recuerdo acompañándome para cumplirle.

A mi pareja sentimental **Jorman Vines**, quien, a pesar de las dificultades, siempre estuvo a mi lado apoyándome, incluso en los momentos más difíciles. Cuando sentía que ya no podía continuar, nunca dejó de recordarme la gran mujer, guerrera y valiente que soy.

Este logro es para todos ustedes, por confiar en mí, por no dejarme sola y por acompañarme en este duro camino de mi carrera profesional.

Basurto C. Josselyne M.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios profundamente, quien ha sido bueno en todo tiempo y cuyo acompañamiento se refleja en el siguiente versículo:

“No temas, porque yo estoy contigo; no desmayes, porque yo soy tu Dios que te esfuerzo; siempre te ayudaré, siempre te sustentaré...” (Isaías 41:10).

Gracias por tu amor y fidelidad.

De manera muy especial, agradezco a, mi mamá Margarita Solózano por ser un apoyo fundamental a lo largo de este proceso, sus oraciones y amor incondicional, mi hermano Iván Zambrano, por siempre estar presente de alguna u otra manera, brindándome su respaldo.

Agradezco a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, y en especial a la Carrera de Tecnologías de la Información, por la formación académica recibida a lo largo de mi etapa universitaria.

Agradezco a los docentes Ing. Óscar González e Ing. Mike Machuca, por su orientación brindada durante el desarrollo de este trabajo, así como a los demás docentes por sus palabras de ánimo en los momentos en que el cansancio y el desánimo estuvieron presentes.

A mismo, agradezco a mis compañeros quienes a lo largo del camino se convirtieron en amigos: Evelyn Loor, Elías Hernández, Joshue Bravo y Emely Tejena gracias por los gratos momentos compartidos durante mi etapa universitaria.

De igual manera, agradezco a Ramón Valencia y Stephany Alonzo, quienes, sin haber sido parte de mi círculo de amistad, estuvieron presentes y brindaron su apoyo en los últimos momentos de la realización de este trabajo de titulación.

A todas las personas que acompañaron este proceso, mi eterno agradecimiento.

Gracias a todos ustedes.

Zambrano S. Ivania D.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la fe necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

Mi sincero agradecimiento a la familia Vines Bermúdez, por su apoyo incondicional en un momento en el que no contaba con los recursos necesarios para continuar con mis estudios; su ayuda y solidaridad fueron fundamentales para no rendirme y seguir adelante.

De manera muy especial, agradezco a mi madre, la señora Estrella Casquete, por enseñarme a no renunciar incluso cuando el camino se volvió difícil. A mi hermana mayor, Mayra, por ser mi guía y mi ejemplo de mujer trabajadora, independiente y comprometida. Y a Daleska, quien, aun siendo la menor, se ha convertido en una motivación constante al recordarme, con su ejemplo, que rendirse nunca es una opción.

A mis grandes amigos, la Ing. Ana Lucas y el Ing. Joahan Mera, quienes, a pesar de haber culminado primero sus estudios, siempre me impulsaron a continuar y se convirtieron en una parte importante de mi vida.

Finalmente, agradezco a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí por mi formación académica, mi sincero agradecimiento a los docentes: al Ing. Óscar Gonzáles, por su guía y acompañamiento como tutor; al Ing. Mike Machuca, por su paciencia infinita y apoyo para culminar este trabajo de titulación; a Ramón Valencia, por su amistad y disposición para ayudarme; y a Sthefany Alonzo, por dedicar su tiempo y contribuir a que este proyecto se concluya con éxito. De todo corazón, muchas gracias a todos.

Basurto C. Josselyne M.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN	II
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	III
DECLARACIÓN EXPRESA DE AUTORÍA.....	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VII
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT.....	XVI
CAPÍTULO I.....	18
1 MARCO INTRODUCTORIO	18
1.1 Introducción	18
1.2 Presentación del tema.....	19
1.3 Ubicación y contextualización de la problemática.....	19
1.4 Planteamiento del problema	21
1.4.1 Problematización.....	21
1.4.2 Génesis del problema	21
1.4.3 Estado actual del problema	22
1.5 Diagrama causa - efecto del problema.....	23
1.6 Objetivos.....	24
1.6.1 <i>Objetivo general</i>	24
1.6.2 <i>Objetivos específicos</i>	24
1.7 Justificación.....	25
1.8 Impactos esperados	25
1.8.1 Impacto tecnológico	25
1.8.2 Impacto social.....	26
1.8.3 Impacto ecológico	26
CAPITULO II	28
2 MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	28
2.1 Antecedentes históricos	28
2.2 Antecedentes de investigaciones relacionadas al tema presentado	29
2.3 Definiciones conceptuales.....	31
2.3.1 Internet de las Cosas (IoT)	31
2.3.2 Arquitectura IoT	32

2.3.3	Sistema de monitoreo en tiempo real.....	32
2.3.4	Calidad del aire en Parqueaderos	33
2.3.5	Sensores IoT.....	33
2.3.6	Sensor MQ-7	34
2.3.7	Sensor MH-Z19C.....	34
2.3.8	Sensor PMS5003.....	35
2.3.9	Raspberry Pi.....	35
2.3.10	Tecnología LoRa y LoRaWAN.....	36
2.3.11	Protocolo MQTT.....	37
2.3.12	Visualización de Datos	38
2.4	Conclusiones relacionadas al marco teórico.....	38
CAPITULO III.....		41
3	MARCO DE INVESTIGACIÓN.....	41
3.1	Introducción	41
3.2	Tipos de Investigación	41
3.2.1	Investigación Aplicada	41
3.2.2	Investigación Cuantitativa.....	42
3.2.3	Investigación Descriptiva.....	43
3.2.4	Investigación Experimental.....	44
3.3	Métodos de Investigación	45
3.3.1	Métodos teóricos.....	45
3.3.2	Métodos empíricos	46
3.4	Fuentes de información de datos	46
3.4.1	Fuentes primarias.....	47
3.4.2	Fuentes secundarias	47
CAPITULO IV		70
4	MARCO PROPOSITIVO	70
4.1	Introducción	70
4.2	Descripción de la propuesta.....	70
4.3	Determinación de Recursos	71
4.3.1	Recursos Humanos.....	71
4.3.2	Recursos Tecnológicos.....	72
4.3.3	Recursos Económicos.....	72

4.4	Etapas de acción para el desarrollo de la propuesta	74
4.4.1	Fase I: Recolección y Análisis de requisitos	74
4.4.2	Fase II: Diseño del Sistema.....	76
4.4.3	Fase III: Implementación	78
4.4.4	Fase IV: Prueba, Validación y Retroalimentación.....	81
CAPITULO V.....		83
5	EVALUACIÓN Y RESULTADOS.....	83
5.1	Introducción	83
5.2	Presentación y monitoreo de resultados	83
5.2.1	Resultados según los objetivos planteados	84
5.3	Interpretación objetiva.....	89
CAPITULO VI.....		91
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
6.1	Conclusiones.....	91
6.2	Recomendaciones.....	92
BIBLIOGRAFÍA.....		93
ANEXOS.....		96
GLOSARIO.....		101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales contaminantes que se suelen encontrar en los Parquaderos	33
Tabla 2 Plan de Análisis e Interpretación de Datos.	52
Tabla 3 Encuesta - Pregunta 1 - Tabulación de datos.	52
Tabla 4 Encuesta - Pregunta 2 - Tabulación de datos.	53
Tabla 5 Encuesta - Pregunta 3 - Tabulación de datos.	55
Tabla 6 Encuesta - Pregunta 4 - Tabulación de datos.	56
Tabla 7 Encuesta - Pregunta 5 - Tabulación de datos.	58
Tabla 8 Encuesta - Pregunta 6 - Tabulación de datos.	59
Tabla 9 Encuesta - Pregunta 7 - Tabulación de datos.	60
Tabla 10 Encuesta - Pregunta 8 - Tabulación de datos.	62
Tabla 11 Encuesta - Pregunta 9 - Tabulación de datos.	63
Tabla 12 Encuesta - Pregunta 10 - Tabulación de datos.	65
Tabla 13 Encuesta - Pregunta 11 - Tabulación de datos.	66
Tabla 14 Encuesta - Pregunta 12 - Tabulación de datos.	67
Tabla 15 Recursos Humanos y funciones	71
Tabla 16 Recursos Tecnológicos del Sistema IoT y sus Funciones.....	72
Tabla 17 Presupuestos de Recursos Materiales	73
Tabla 18 Presupuestos de Recursos Indirectos.....	73
Tabla 19 Requisitos funcionales.....	75
Tabla 20 Requisitos no funcionales.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del parqueadero semicerrado correspondiente de la Plaza Centenario situado en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM).....	20
Figura 2 Parqueadero subterráneo del Instituto de Neurociencias de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM)	20
Figura 3 Diagrama Causa-Efecto del problema.....	23
Figura 4 Capas de la arquitectura IoT.....	32
Figura 5 Esquema del sensor MQ-7.....	34
Figura 6 PMS5003 Sensor de calidad de aire PM2.5	35
Figura 7 Esquema Raspberry Pi 5.....	36
Figura 8 Protocolo MQTT	38
Figura 9 Encuesta. Pregunta 1 – Representación Gráfica de Datos.....	53
Figura 10 Encuesta. Pregunta 2 – Representación Gráfica de Datos.....	54
Figura 11 Encuesta. Pregunta 3 – Representación Gráfica de Datos.....	56
Figura 12 Encuesta. Pregunta 4 – Representación Gráfica de Datos.....	57
Figura 13 Encuesta. Pregunta 5 – Representación Gráfica de Datos.....	58
Figura 14 Encuesta. Pregunta 6 – Representación Gráfica de Datos.....	60
Figura 15 Encuesta. Pregunta 7 – Representación Gráfica de Datos.....	61
Figura 16 Encuesta. Pregunta 8 – Representación Gráfica de Datos.....	62
Figura 17 Encuesta. Pregunta 9 – Representación Gráfica de Datos.....	64
Figura 18 Encuesta. Pregunta 1 – Representación Gráfica de Datos.....	65
Figura 19 Encuesta. Pregunta 11 – Representación Gráfica de Datos	67
Figura 20 Encuesta. Pregunta 12 – Representación Gráfica de Datos.....	68
Figura 21 Diseño de la base de datos.....	77
Figura 22 Interfaz de la aplicación móvil para el monitoreo de la calidad del aire	77
Figura 23 Notificaciones.....	78
Figura 24 Acceso remoto al servidor central del sistema IoT.....	79
Figura 25 Prueba de envío de datos.....	80
Figura 26 Verificación de la aplicación móvil mediante la revisión del código fuente	80
Figura 27 Sensores conectados para el sistema IoT.....	85
Figura 28 Diseño de la arquitectura del sistema	86
Figura 29 Plataforma de visualización y almacenamiento del sistema IoT	87

Figura 30 Prueba de la implementación.....	88
Figura 31 Formulario de encuesta aplicada a la población universitaria - Parte 1	96
Figura 32 Formulario de encuesta aplicada a la población universitaria - Parte 2	97
Figura 33 Proceso de instalación de la antena y Gateway LoRa.	98
Figura 34 Prueba de visualización de datos en la plataforma web IoT.....	98
Figura 35 Lugares seleccionados para prueba del sistema	99
Figura 36 Trabajo colaborativo de autoras de Tesis.....	100

RESUMEN

Se desarrolló un sistema basado en el Internet de las Cosas (IoT) cuyo propósito es realizar el monitoreo continuo en tiempo real de la calidad del aire en los parqueaderos cerrados y semicerrados de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (MANTA). El sistema propuesto permite la medición de contaminantes como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y partículas finas (PM_{2.5}) utilizando sensores IoT integrados en una arquitectura de comunicación inalámbrica.

La investigación se desarrolló mediante un enfoque cuantitativo, con un diseño descriptivo, experimental y aplicado. Como procedimiento se implementa una arquitectura IoT compuesta por sensores de bajo costo y un sistema de comunicación inalámbrica basado en tecnología LoRa. Los datos se transmiten a un servidor central donde se almacenan en una base de datos relacional y se muestran a través de un panel web y una aplicación móvil, permitiendo la generación de alertas automáticas cuando los valores superan los umbrales establecidos. Los resultados muestran que el sistema es capaz de realizar mediciones confiables e identifica las concentraciones elevadas de contaminantes, mostrando diferencias significativas entre los espacios cerrados y semicerrados. Por tanto, el sistema IoT propuesto proporciona una solución viable, de bajo costo y escalable para la monitorización de la calidad del aire en parqueaderos, mejorando la gestión preventiva protegiendo la salud de los usuarios.

Palabras claves: Internet de las Cosas; calidad del aire; monitoreo en tiempo real; gases contaminantes.

ABSTRACT

(An Internet of Things (IoT) system was developed to continuously monitor air quality in real time in the enclosed and semienclosed parking lots of the Eloy Alfaro Lay University of Manabí (Manta). The proposed system measures pollutants such as carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), and fine particulate matter (PM_{2.5}) using IoT sensors integrated into a wireless communication architecture.

The research employed a quantitative approach with a descriptive, experimental, and applied design. The procedure involved implementing an IoT architecture composed of low-cost sensors and a wireless communication system based on LoRa technology. Data is transmitted to a central server where it is stored in a relational database and displayed via a web dashboard and a mobile application, enabling the generation of automatic alerts when values exceed established thresholds. The results show that the system is capable of performing reliable measurements and identifying elevated concentrations of pollutants, revealing significant differences between enclosed and semi-enclosed spaces. Therefore, the proposed IoT system provides a viable, low-cost, and scalable solution for air quality monitoring in parking lots, improving preventative management and protecting the health of users.

Keywords: Internet of Things; air quality; real-time monitoring; polluting gases.

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I

1 MARCO INTRODUCTORIO

1.1 Introducción

La calidad del aire en espacios cerrados y semicerrados es un factor crítico para la salud y el bienestar de las personas, especialmente en entornos como los parqueaderos, donde la acumulación de gases contaminantes provenientes de los vehículos puede crear condiciones peligrosas. La exposición durante largos periodos a sustancias nocivas, como el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO₂) y las partículas finas (PM_{2.5}) plantea un riesgo importante, especialmente en áreas con ventilación limitada inadecuada.

Así, el avance del Internet de las Cosas (IoT) se presenta como una solución tecnológica capaz de integrar sensores, dispositivos de comunicación y plataformas digitales para el monitoreo continuo en tiempo real. Estas tecnologías brindan la capacidad de identificar condiciones de riesgo y generar alertas automáticas que facilitan la toma oportuna de decisiones para la protección de los usuarios.

El presente proyecto se enfoca en el desarrollo y validación de un sistema IoT de bajo costo para el monitoreo y alerta de la calidad del aire en parqueaderos cerrados y semicerrados de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Mediante la implementación de sensores específicos, una arquitectura de comunicación eficaz y herramientas de visualización, el objetivo es proporcionar una solución tecnológica que permita una gestión eficaz la calidad del aire y la reducción de los riesgos relacionados con la exposición a contaminantes.

1.2 Presentación del tema

Desarrollo de un sistema IoT para el monitoreo y alerta de calidad del aire en parqueaderos cerrados y semicerrados.

1.3 Ubicación y contextualización de la problemática

El presente proyecto se desarrollará en dos entornos con diferentes características de ventilación, con el objetivo de realizar mediciones comparativas en tiempo real de la calidad del aire utilizando tecnologías IoT.

El primer entorno corresponde al parqueadero de la Plaza Centenario (Planta baja) en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), ubicada en la ciudad de Manta, Ecuador. Este espacio se clasifica como semi-cerrado, ya que cuenta con áreas abiertas que brindan ventilación natural, aunque con restricciones, para el uso intensivo por parte de estudiantes, docentes, personal administrativo y visitantes.

El segundo entorno corresponde al parqueadero subterráneo del Instituto de Neurociencias de la ULEAM, ubicado dentro de las instalaciones de la universidad. La elección de este entorno refleja características de un espacio totalmente cerrado; que medirá cómo cambian las concentraciones de gases y partículas, comparando los datos con el parqueadero semi-cerrado. Así, examina cuán eficazmente responde el sistema IoT bajo diferentes circunstancias.

La observación en diversos entornos hará posible examinar cómo las condiciones de ventilación afectan la acumulación de partículas y gases contaminantes, así como determinar cuán eficiente es un sistema de monitoreo IoT en múltiples situaciones. Con esta información, será posible desarrollar alternativas más pertinentes para la activación de alertas tempranas, la gestión de la ventilación y la protección de la salud de las personas que utilizan estos espacios. Parqueadero subterráneo del Instituto de Neurociencias de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

Figura 1

Ubicación del parqueadero semicerrado correspondiente de la Plaza Centenario situado en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM)



Nota. Imagen del parqueadero semi-cerrado. Tomada de Google Maps.

Figura 2

Parqueadero subterráneo del Instituto de Neurociencias de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM)



Nota. Imagen del parqueadero cerrado. Tomada de Archivo institucional de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM).

1.4 Planteamiento del problema

1.4.1 Problematicación

¿Cómo diseñar e implementar un sistema basado en IoT que permita el monitoreo en tiempo real y la generación de alertas sobre la calidad del aire en parqueaderos cerrados y semicerrados, a fin de garantizar datos precisos que faciliten la gestión de la ventilación y la seguridad de los usuarios?

1.4.2 Génesis del problema

En la mayoría de los parqueaderos, la supervisión de estos parámetros de calidad del aire no se monitorea de manera continua ni con tecnologías que permitan la detección y alerta en tiempo real. Esto dificulta la toma de medidas inmediatas para prevenir La exposición durante largos periodos a sustancias nocivas, evitando algún tipo de enfermedad.

Los avances en el Internet de las Cosas (IoT) permiten la integración sensores, módulos de comunicación, almacenamiento en la nube y plataformas de visualización para un monitoreo de la calidad del aire preciso y automatizado. Sin embargo, en zonas como los parqueaderos de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, no se han encontrado sistemas que empleen estas tecnologías para medir y alertar constantemente. Esta carencia de soluciones tecnológicas constituye el centro del problema y genera necesidad de desarrollar un sistema IoT que posibilite el monitoreo en tiempo real la calidad del aire espacios elegidos, produciendo informaciones confiables para la gestión de la ventilación y la seguridad quienes lo utilizan.

1.4.3 Estado actual del problema

Actualmente, según la información disponible y observaciones preliminares, en el parqueadero de la Plaza Centenario de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) no se evidencia la presencia de un sistema IoT implementado para el monitoreo continuo de la calidad del aire.

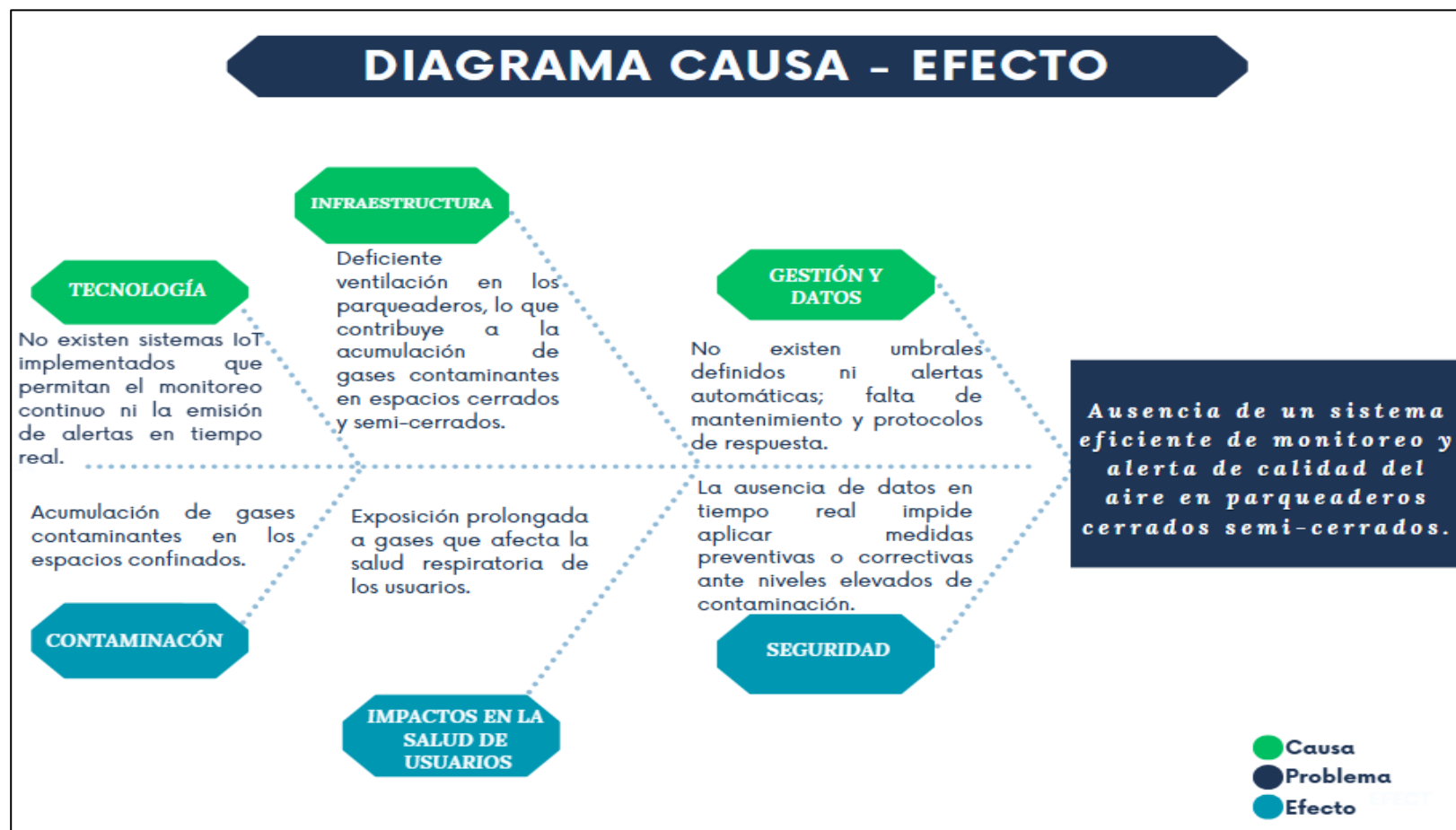
En cuanto al parqueadero cerrado ubicado en la universidad, este ha sido seleccionado como segundo punto de medición por sus características estructurales, que permiten diferenciarlo del parqueadero semi-cerrado de la ULEAM y así establecer una comparativa representativa entre ambos entornos.

Esta investigación busca contrastar las mediciones en ambos entornos con el fin de analizar la influencia de las condiciones de ventilación sobre la acumulación de gases contaminantes, evaluar la viabilidad del sistema IoT, convirtiéndolos en escenarios de interés para realizar mediciones y comparaciones dentro del alcance de esta investigación.

1.5 Diagrama causa - efecto del problema

Figura 3

Diagrama Causa-Efecto del problema



Nota. Diagrama fundamentado en Ishikawa utilizado al análisis del sistema de monitoreo de parqueaderos en ULEAM. Elaboración propia

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Diseñar un sistema IoT de bajo costo para el monitoreo y la validación en tiempo real de la concentración de gases contaminantes (CO, CO₂) y material particulado (PM2.5) en parqueaderos, que permita la visualización de datos y la generación de alertas automáticas cuando se superen los umbrales definidos.

1.6.2 Objetivos específicos

- Establecer los requerimientos técnicos y normativos para el monitoreo de calidad del aire en los parqueaderos, seleccionando los sensores específicos y hardware de soporte adecuado con la mejor relación costo - beneficio.
- Analizar la arquitectura del sistema, integrando el hardware para la captura, procesamiento y transmisión de datos.
- Determinar la estructura de la base de datos para el almacenamiento histórico de las mediciones y un panel de control para visualización de los datos en tiempo real y la configuración de alertas.
- Examinar el sistema implementado en un entorno real (un parqueadero cerrado o semi-cerrado), analizando su precisión y efectividad del sistema de alertas.

1.7 Justificación

El desarrollo de un sistema IoT para el monitoreo y alerta de la calidad del aire en parqueaderos cerrados y semicerrados se basa por la necesidad de prevenir riesgos para la salud de los usuarios, optimizar la gestión de la ventilación y garantizar un entorno seguro.

Desde el punto de vista de la Ingeniería en Tecnologías de la Información, este proyecto brinda la oportunidad de aplicar conocimientos en el diseño de arquitecturas IoT, integración de sensores, transmisión de datos en tiempo real, desarrollo de interfaces de visualización y gestión de bases de datos.

Su relevancia radica en que propone una solución tecnológica replicable y escalable para el monitoreo de la calidad del aire en espacios con ventilación limitada, demostrando el potencial de la tecnología de la información para el desarrollo de sistemas inteligentes que respalden la toma de decisiones y optimicen los procesos operativos.

1.8 Impactos esperados

1.8.1 Impacto tecnológico

El sistema propuesto contribuirá al fortalecimiento de soluciones tecnológicas destinadas al monitoreo continuo de la calidad del aire. Al emplear arquitecturas escalables y flexibles, se valida el uso de microordenador como servidor central y sensores, especialmente el MH-Z19C para dióxido de carbono y el PMS5003 material particulado, integrados mediante tecnologías de transmisión de datos.

1.8.2 Impacto social

Desde ámbito social, el proyecto contribuirá a la seguridad de las personas utilizan de parqueaderos cerrados y semicerrados. Proporcionar información oportuna sobre la calidad del aire y alertar sobre posibles niveles de riesgo.

El monitoreo continuo de la calidad del aire y la generación de alertas tempranas reducirán los riesgos asociados a la exposición prolongada a gases contaminantes, mejorando las condiciones de uso y permanencia en estos espacios.

1.8.3 Impacto ecológico

El impacto ecológico del proyecto estará asociado al uso eficiente de recursos tecnológicos y a la elección de materiales duraderos en la implementación. El uso de sensores de bajo consumo energético, como el MH-Z19C para dióxido de carbono (CO₂) y el PMS5003 para material particulado (PM_{2.5}), permitirá un funcionamiento continuo con un reducido requerimiento energético.

Además, el uso de microordenador eficientes como el servidor central y tecnologías de comunicación de largo alcance como LoRa contribuirá a disminuir el consumo de energía.

Aunque el sistema no recudirá directamente emisiones generadas por los vehículos, su aplicación permitirá optimizar la gestión de la ventilación en los parqueaderos facilitará el control de la ventilación mediante información en tiempo real, lo que contribuirá indirectamente a reducir la acumulación de contaminantes en espacios cerrados y semicerrados.

CAPÍTULO II

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Antecedentes históricos

El avance del desarrollo de sistemas de monitoreo de la calidad del aire ha llevado a una evolución debido al progreso en las tecnologías de información. Inicialmente, el monitoreo de la calidad del aire se llevó a cabo utilizando equipos de acceso de alto costo y difícil acceso, limitando la cobertura y la disponibilidad de información en tiempo real.

Con la aparición de Internet de las Cosas (IoT) a principios del siglo XXI, surgieron nuevas oportunidades para crear redes de sensores de bajo precio capaces de recopilar y transferir datos en tiempo real. Se permitió que estos avances tecnológicos se cambiaran de sistemas estáticos y centralizados a soluciones inteligentes, escalables y distribuidas (Vardomatski, 2025)

En Ecuador, el uso de sensores IoT para el monitoreo de la calidad del aire ha sido impulsado principalmente desde iniciativas universitarias. En la Escuela Politécnica Nacional se implementó un prototipo de un sistema para medir y monitorear diversos factores ambientales como la temperatura, presión atmosférica, humedad y calidad del aire basados en IoT (Toscano Aguirre, 2024), mientras que en la Universidad de Guayaquil se diseñó y construyó un prototipo IoT móvil para monitorización de calidad del aire y contaminantes como CO y CO₂ mediante sensores de bajo costo, integrando la plataforma Cayenne para la gestión información (Plua Torres & Rodríguez Cruz, 2022).

Estos antecedentes evidencian que las universidades han desempeñado un papel fundamental en la validación de tecnologías IoT en el país, teniendo como base para este desarrollo de sistema orientado a la calidad del aire en entornos y espacios diferentes.

2.2 Antecedentes de investigaciones relacionadas al tema presentado

Diversos estudios recientes han demostrado la efectividad de las tecnologías IoT en el monitoreo de la calidad del aire, confirmando la viabilidad de su aplicación en el contexto de la presente investigación.

2.2.1 Tema 1: Sistema de monitoreo de polución de aire en los predios de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Un estudio desarrollado en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (Pérez García, 2024) presentó un sistema orientado al monitoreo de polución del aire destinado a detectar gases contaminantes como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y gas propano.

2.2.2 Tema 2: Uso de dispositivos IoT inteligentes y portátiles de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Ibarra, Ecuador

Investigaciones recientes destacan el uso de IoT para la calidad del aire y el monitoreo urbano en ciudades ecuatorianas, donde se evalúa la factibilidad de sensores económicos para integrar redes de medición y generación de alertas (Alvear-Puertas, y otros, 2022).

2.2.3 Tema 3: Monitoreo de niveles de polución del aire con tecnología de transmisión de largo alcance

De manera similar (Tipán Alcívar, Párraga Álava, & Herrera Tapia, 2022) propusieron un desarrollo de un sistema de monitoreo de contaminantes atmosféricos, especialmente monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂), mediante el uso de sensores conectados a una placa Arduino, el cual está orientado a la recopilación y visualización de datos en tiempo real. La investigación integra tecnologías IoT junto con un sistema de transmisión de larga distancia basado en LoRa, permitiendo enviar información de manera eficiente desde un punto de monitoreo a servidores de almacenamiento y visualización en la nube.

2.2.4 Tema 4: Sensor de bajo coste basado en el Internet de las cosas para la monitorización de la calidad del aire PM2.5

Este estudio presenta el desarrollo de un sistema de monitoreo de la calidad del aire enfocado en medir partículas finas PM2.5 utilizando tecnologías de Internet de las cosas (IoT) y sensores de bajo costo. La propuesta incluye sensores de partículas para captar información. Los investigadores de este proyecto evalúan el rendimiento del sensor mediante procesos de calibración y comparación con equipos de referencia y obtienen resultados que muestran suficiente correlación entre mediciones. Además, el estudio enfatiza que el uso de sensores de bajo costo permite implementar sistemas de monitoreo continuo con costos menores, manteniendo un nivel adecuado de precisión para su aplicación práctica (Santoso, Santosa, & Sekaranom, 2025).

2.2.5 Tema 5: Un marco de IoT para la ciencia ciudadana que utiliza sensores de bajo coste para la gestión de la calidad del aire interior

El estudio presenta un sistema basado en IoT que tiene como objetivo monitorear la calidad del aire interior mediante sensores de bajo costo integrados en una arquitectura distribuida. El sistema permite la medición de variables como dióxido de carbono (CO₂), material particulado (PM2.5), temperatura y humedad con transmisión de datos en tiempo real a una plataforma en la nube. El estudio detalla la implementación puesta en marcha de un sistema ampliable que permite la recolección, visualización y análisis de datos, así como la participación de los usuarios en la generación de información sobre la calidad del aire interior. Los resultados demuestran la capacidad de los marcos de IoT para operar de forma continua y proporcionar información útil para analizar las condiciones en entornos cerrados (Barros, y otros, 2023).

En conjunto, los antecedentes revisados evidencian que la incorporación de tecnologías IoT en sistemas de monitoreo de la calidad del aire no solo es viable, sino que ofrece ventajas en términos de bajo costo, escalabilidad, disponibilidad de datos en tiempo real y generación de alertas tempranas. Estos beneficios justifican el desarrollo de un sistema aplicado específicamente a parqueaderos, como se plantea en la presente investigación.

2.3 Definiciones conceptuales

En esta sección se abordarán temas relevantes que permitirán comprender de manera integral el Desarrollo de un Sistema IoT para el monitoreo y alerta de calidad del aire en parqueaderos cerrados y semicerrados.

2.3.1 Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas (IoT) puede entenderse como un enfoque tecnológico que permite conexión de objetos físicos comunes a Internet o entre sí, con el propósito de recopilar y enviar información automáticamente en tiempo real, con una intervención humana mínima. Esta tecnología permite añadir dispositivos informáticos en una extensa variedad de objetos materiales, que abarca desde artículos domésticos comunes hasta dispositivos utilizados en ámbitos como la salud, el transporte y las ciudades inteligentes. Los dispositivos IoT que se incorporan a estos objetos físicos suelen clasificarse en dos tipos principales: los sensores, encargados de obtener información del entorno y transmitirla a otros sistemas, y actuadores, que reciben órdenes para llevar a cabo acciones específicas.

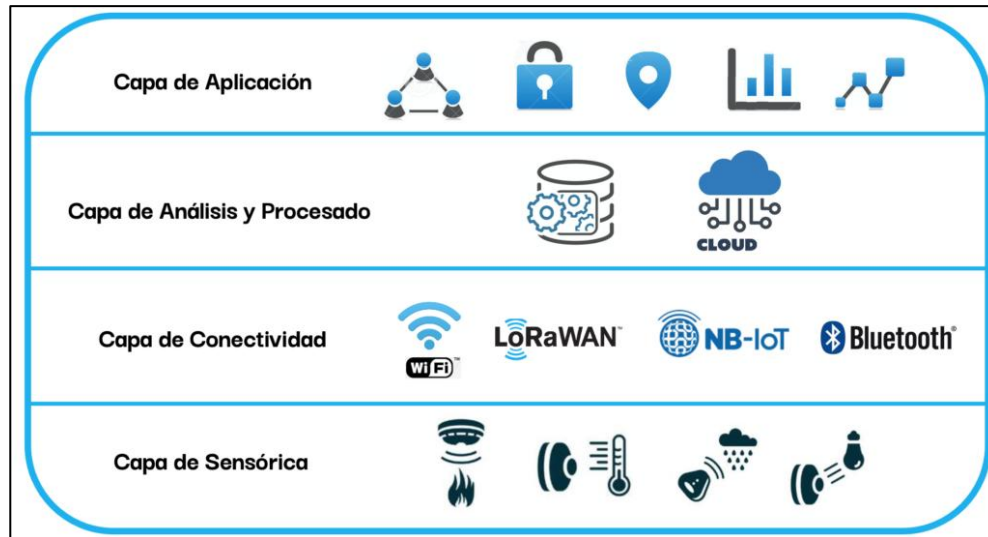
Gracias a esta capacidad de recopilación y transmisión de datos, el IoT permite aplicaciones como por ejemplo el monitoreo de la calidad del aire y la detección de contaminantes, contribuyendo a mejorar la seguridad y la gestión de los espacios donde se implementa (Red Hat, 2023).

2.3.2 Arquitectura IoT

La arquitectura de un sistema IoT se organiza en diferentes capas o niveles que permiten comprender la interacción entre los dispositivos conectados.

Figura 4

Capas de la arquitectura IoT



Nota. La imagen presentada corresponde a un diseño de arquitectura de 4 capas. (ISTEC, 2022).

2.3.3 Sistema de monitoreo en tiempo real

El monitoreo de tiempo real radica en su habilidad para identificar irregularidades antes de que se conviertan en situaciones más graves. Los dispositivos conectados a los sistemas de control transmiten datos de forma continua, lo que facilita realizar cambios inmediatos en caso de que se observe alguna variación de los valores previstos (FLIX, 2025).

En el contexto de la calidad del aire para que pueda identificar gases contaminantes, como el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO₂) y partículas suspendidas finas (PM_{2.5}). Este tipo de supervisión es particularmente importante en lugares cerrados o parcialmente cerrados, donde la concentración de sustancias dañinas puede suponer un peligro para la salud de las personas.

2.3.4 Calidad del aire en Parqueaderos

Según (Prana Air, 2025) a diferencia de los espacios exteriores, los parqueaderos subterráneos o cerrados retienen los gases. Esta es la razón por la cual resultan ser especialmente riesgosos.

Tabla 1

Principales contaminantes que se suelen encontrar en los Parqueaderos

Contaminante	Riesgo para la salud	Fuente principal en Parqueaderos
Monóxido de carbono (CO)	Dolor de cabeza, reducción de oxígeno, daño cerebral o muerte en casos extremos.	Emisiones de escape de vehículos por combustión incompleta de gasolina o diésel.
Dióxido de carbono (CO₂)	Somnolencia, fatiga, dolor de cabeza, dificultad al respirar.	Combustión completa de combustible fósil y respiratoria humana en espacios cerrados
Material particulado (PM_{2.5})	Penetración profunda en los pulmones, estrés cardiovascular, enfermedades respiratorias crónicas.	Ruido del motor, polvo, partículas de cubierta

Nota. Esta información corresponde a los contaminantes más importantes identificados en los parqueaderos.

2.3.5 Sensores IoT

Los sensores de IoT son componentes de hardware que revelan cambios en el entorno y recopilan datos creando un puente entre el mundo físico y digital. Pueden medir variables, como la temperatura, la presión, el movimiento y más, utilizando redes para interactuar y responder efectivamente. Resumiendo, los datos de tiempo real, estos sensores facilitan el mantenimiento

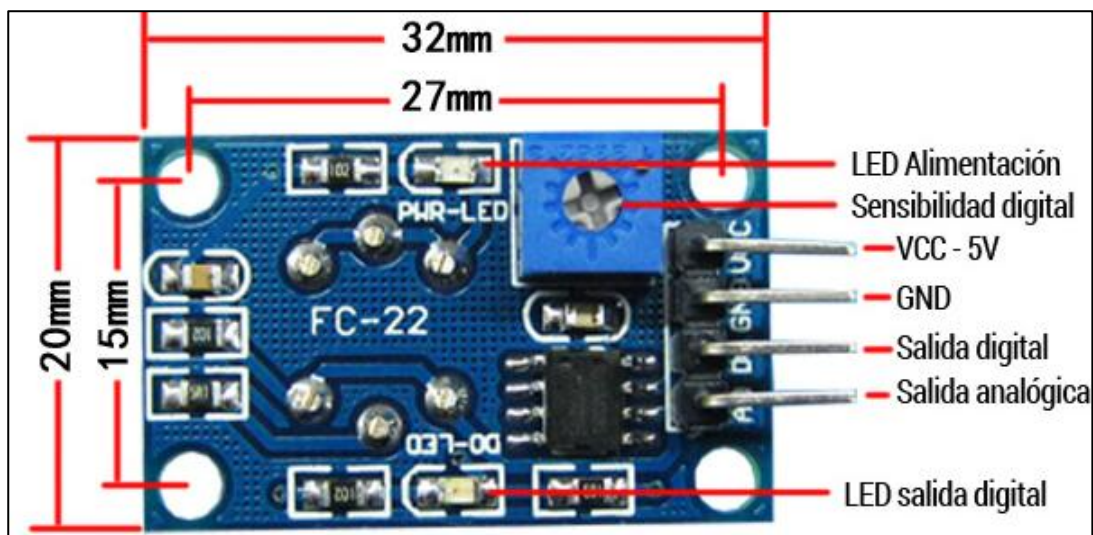
predecible, la automatización e información en función de los datos, haciéndolos soluciones importantes de IoT (Heredia, 2024).

2.3.6 Sensor MQ-7

Permite medir el gas de Monóxido de Carbono (CO), ideal para detectar concentraciones nocivas de CO en el aire y así prevenir daños en la salud. El sensor MQ-7 puede detectar concentraciones en el rango de 20 a 2000 ppm. El módulo tiene una salida analógica que proviene de un divisor de voltaje que forma un sensor y una resistencia de carga. También tiene una salida digital, esta salida tiene un indicador LED (Naylamp Mechatronics SAC, 2023).

Figura 5

Esquema del sensor MQ-7



Nota. Sensor MQ-7 montado en placa para conexión con 4 pines. Tomada de (Tiendatec, 2024).

2.3.7 Sensor MH-Z19C

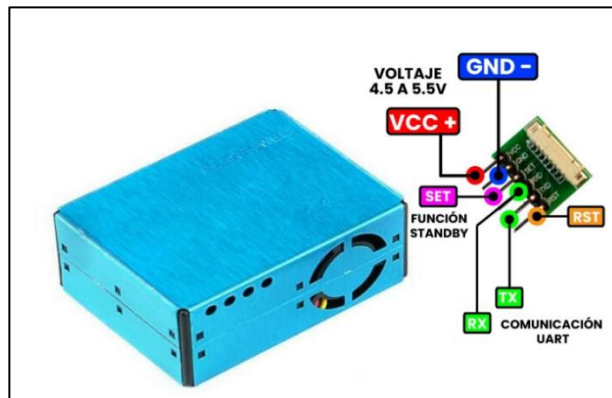
Es un sensor de gas (CO₂) dióxido de carbono utilizado para medir la concentración en el aire. Este sensor funciona mediante el principio de infrarrojos no dispersivos (NDIR), de alto rendimiento, lo que lo convierte en una opción adecuada para el monitoreo de la calidad del aire (AG Electrónica, 2021).

2.3.8 Sensor PMS5003

Utiliza un sistema de detección basado en tecnología láser para medir partículas en suspensión en el aire, específicamente partículas finas como PM2.5. Este tipo de gas contaminante es uno de los más peligrosos para la salud respiratoria, ya que las partículas finas pueden penetrar profundamente en los pulmones.

Figura 6

PMS5003 Sensor de calidad de aire PM2.5



Nota. Sensor PMS5003 mide la concentración de partículas suspendidas en el aire. Tomada de (UNIT Electronics, 2023).

2.3.9 Raspberry Pi

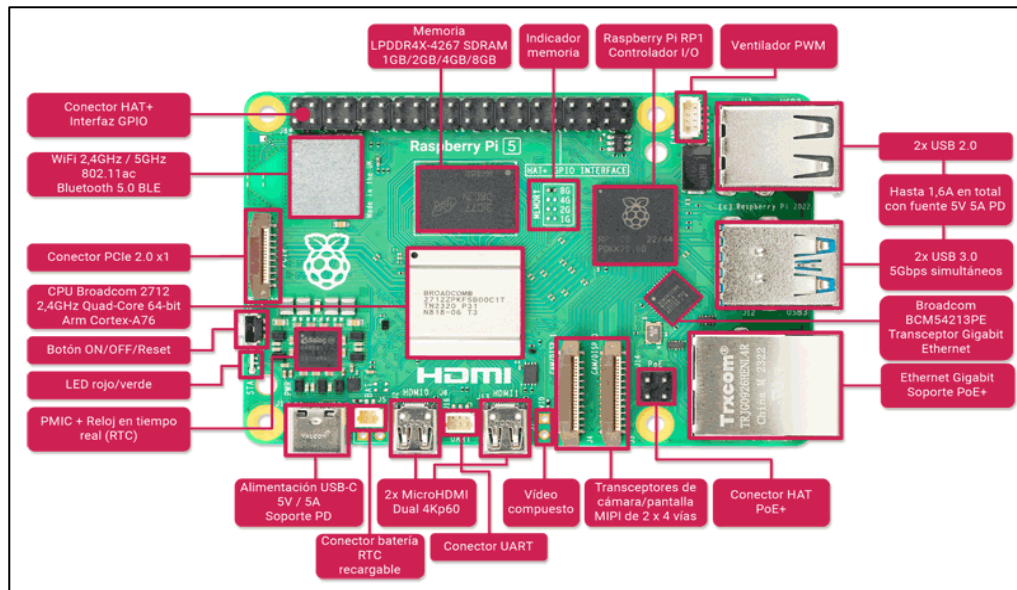
Es una computadora pequeña de bajo costo con un tamaño compacto, se puede conectar a un monitor de computadora o TV y usar con un mouse y teclado normal.

Este pequeño chip incluye componentes importantes como un procesador, una tarjeta gráfica, memoria y conexiones útiles como puertos USB, HDMI, pines GPIO y acceso a Internet, todo en un dispositivo pequeño.

Además, permite ejecutar diferentes sistemas operativos como Raspberry Pi OS, Windows IoT Core y distribuciones de Linux, lo que lo hace muy versátil para proyectos educativos, tecnológicos y de automatización (CampusComponent, 2024).

Figura 7

Esquema Raspberry Pi 5



Nota. Esquema del Raspberry Pi 5. Tomada de (Tiendatec, 2024).

2.3.10 Tecnología LoRa y LoRaWAN

La tecnología LoRa (Long Range) corresponde a la capa física de comunicación inalámbrica y está diseñada para permitir la transmisión de datos a largas distancias con un bajo consumo de energía. Esta tecnología utiliza modulación de espectro ensanchado, lo que le permite mantener comunicaciones estables incluso en entornos con interferencias, baja cobertura o infraestructura limitada, siendo especialmente adecuada para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT).

Por su parte, LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) es un protocolo de red de área extensa y bajo consumo que establece la estructura de la red, los métodos de seguridad y la administración de los dispositivos que utilizan la tecnología LoRa.

Este protocolo determina la manera en que los nodos finales envían información a los Gateway y cómo esos datos son gestionados por los servidores de red, posibilitando una comunicación eficaz, segura y escalable.

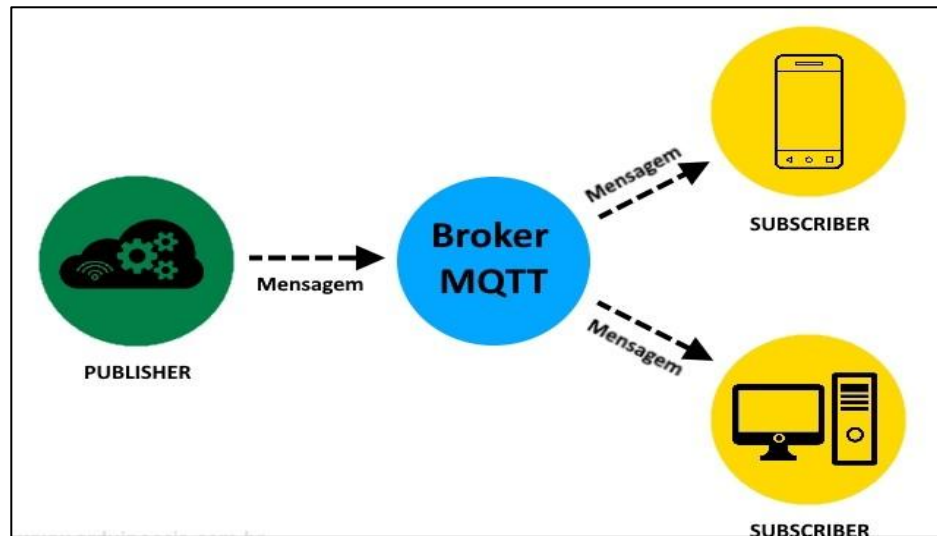
La relación entre ambas tecnologías radica en que LoRaWAN opera sobre la capa física LoRa, actuando como una pila de protocolos que regula la comunicación, el control de acceso al medio, la velocidad de transmisión de datos y la potencia de los dispositivos conectados. Los nodos transmiten información de manera asincrónica únicamente cuando existe información que enviar, lo que contribuye a optimizar el consumo energético (AlfaIoT, 2022).

2.3.11 Protocolo MQTT

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) es un protocolo desarrollado con el propósito de simplificar la comunicación entre múltiples dispositivos. Su estructura es especialmente apropiada para circunstancias en las que el ancho de banda es limitado y la latencia es alta. MQTT emplea un modelo de publicación y suscripción que posibilita que los dispositivos envíen mensajes sobre asuntos concretos, al tiempo que otros pueden inscribirse en esos mismos temas para obtener información (Prokosch, 2025).

Figura 8

Protocolo MQTT



Nota. Esquema del modelo de comunicación publicación/suscripción del protocolo MQTT.

Tomada de (FIT Instituto de Tecnologia, 2025)

2.3.12 Visualización de Datos

Una versión moderna del IoT es tan eficiente como su capacidad para convertir datos en información útil.

Los Servicios de Visualización de Dashboards de Datos IoT proporcionan una representación centralizada e interactiva de indicadores esenciales, lo que facilita decisiones más ágiles, un análisis de tendencias más evidente y una administración de recursos más eficiente (Datos IoT, s.f.).

2.4 Conclusiones relacionadas al marco teórico

De acuerdo con la investigación realizada en el presente marco teórico, se pueden llegar a las siguientes conclusiones:

En primer lugar, el Internet de las Cosas (IoT) se consolida como un paradigma tecnológico ideal para el desarrollo de sistemas de monitoreo en tiempo real debido a su capacidad para integrar

sensores, dispositivos de comunicación y plataformas de procesamiento de datos. Su uso en parqueaderos cerrados y semicerrados permite la detección temprana de gases y partículas contaminantes, ayudando a eliminar los riesgos asociados a la acumulación de contaminantes en espacios con ventilación limitada.

Por otro lado, un análisis de los beneficios de los sistemas IoT muestra que el monitoreo en tiempo real, la automatización de procesos, la generación de alertas y la toma de decisiones basada en datos son los principales beneficios para mejorar la gestión de la calidad del aire en entornos cerrados y semicerrados. Estas características refuerzan la importancia de utilizar soluciones de IoT en contextos donde el monitoreo continuo es crítico. El monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO₂) y las partículas PM_{2.5} son los contaminantes que más amenazan la salud de los usuarios. La revisión teórica respalda la importancia de implementar sistemas concretos de monitoreo que posibiliten identificar concentraciones elevadas de estos contaminantes. La revisión teórica avala la necesidad de implementar sistemas específicos de monitoreo que permitan la detección de altas concentraciones de estos contaminantes.

En definitiva, la selección de hardware de soporte, sensores y microordenadores apropiados para el IoT, además del empleo de paneles visuales y bases de datos relacionales, son componentes esenciales para asegurar la continuidad, fiabilidad y exactitud del sistema. Estos elementos tecnológicos apoyan el desarrollo de una solución integral destinada a monitorear y alertar la calidad del aire en parqueaderos cerrados y semicerrados.

CAPÍTULO III

CAPITULO III

3 MARCO DE INVESTIGACIÓN

3.1 Introducción

En este capítulo se describe el proceso de selección de los métodos para la recolección y análisis de datos, fundamentado en la revisión de diversas fuentes de información, tanto primarias como secundarias. El propósito principal de esta selección es garantizar la calidad y pertinencia de los datos obtenidos para el desarrollo del sistema IoT orientado al monitoreo de la calidad del aire en parqueaderos cerrados y semicerrados.

Para ello, se estableció un plan metodológico que emplea técnicas reconocidas en el ámbito académico y profesional, con el fin de asegurar la precisión, representatividad y relevancia de la información recopilada.

Este enfoque permitirá sustentar adecuadamente el diseño e implementación del sistema, así como la validación de su eficacia en la detección temprana de contaminantes y en la generación de alertas.

3.2 Tipos de Investigación

3.2.1 Investigación Aplicada

La investigación aplicada consiste en trabajos originales realizados con el objetivo de adquirir nuevos conocimientos y utilizarlos para resolver problemas específicos. Está esencialmente orientada hacia un propósito práctico, pues busca aplicar la teoría científica a situaciones reales. Según (Duoc U, 2023) “la investigación aplicada se lleva a cabo con el fin de identificar los resultados de la investigación fundamental o para identificar nuevos métodos o formas de lograr objetivos específicos predeterminados, incluidos los intentos de resolver problemas específicos”.

La investigación aplicada en el proyecto ayuda a poner en práctica las bases teóricas del Internet de las Cosas (IoT) para crear un sistema tecnológico orientado a la detección y alerta temprana de concentraciones de gases en parqueaderos cerrados y semicerrados.

El objetivo de llevar a cabo este tipo de investigación es crear una solución viable y económica que ayude a prevenir riesgos y a mejorar la seguridad de las personas que utilizan estos espacios, permitiendo emitir alertas oportunas cuando los niveles de gases contaminantes excedan los límites normalmente fijados.

De esta manera, la investigación aplicada constituye el eje metodológico del proyecto, al permitir que el conocimiento teórico sobre sistemas IoT se transforme en una herramienta funcional con impacto directo en la protección de los usuarios y en la gestión segura de los parqueaderos.

3.2.2 Investigación Cuantitativa

El enfoque cuantitativo se caracteriza por la medición de datos y el análisis numérico, recopilando información que puede cuantificarse y luego ser analizada mediante técnicas estadísticas.

A diferencia del enfoque cualitativo, que se basa en la interpretación de información no cuantitativa como textos, opiniones o percepciones, el enfoque cuantitativo permite la representación los fenómenos utilizando valores medibles y comparables.

Una vez obtenidos los datos, el análisis puede requerir un proceso preparatorio que implique convertir respuestas o mediciones en valores numéricos que faciliten la aplicación de métodos estadísticos. Por lo tanto, el análisis cuantitativo permite responder a las preguntas de investigación con base en evidencia empírica, objetiva y verificable (Bhandari, 2020).

El proyecto utiliza este enfoque para examinar y verificar la efectividad de un sistema IoT que ha sido creado para la detección y alerta de gases contaminantes en parqueaderos cerrados y semicerrados. Los sensores recogen datos numéricos que permiten el cálculo de variables como la cantidad de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y material particulado (PM2.5), lo que permite determinar la precisión, la eficacia del sistema y cómo responde a los cambios en los niveles de gases.

Además, para recabar datos sobre la percepción de seguridad y fiabilidad del sistema que se propone. Para respaldar de manera objetiva los hallazgos de la investigación, se organizó, se tabuló y se analizó la información adquirida.

En resumen, la investigación cuantitativa proporcionó datos que podían ser medidos y verificados, lo cual respaldó el proceso de validación del sistema, garantizando que las conclusiones obtenidas se fundamenten en pruebas empíricas y resultados específicos.

En síntesis, la investigación cuantitativa proporcionó datos comprobables y medibles que respaldaron el proceso de validación del sistema, asegurando que las conclusiones alcanzadas se basen en evidencia empírica y resultados concretos.

3.2.3 Investigación Descriptiva

El propósito de la investigación descriptiva es detallar sistemáticamente las características, comportamiento o condiciones de un determinado fenómeno (McCombes, 2019), sin modificar sus variables o influir en su desarrollo natural.

Según este tipo de investigación, permite responder preguntas relacionadas con el qué, cómo, cuándo y dónde ocurre un fenómeno, pero no con el por qué, ya que no intenta establecer correlaciones aleatorias.

En relación con este proyecto, se utiliza un estudio descriptivo para identificar y describir las condiciones existentes en los parqueaderos cerrados y semicerrados donde se prevé implementar un sistema IoT de monitoreo y alertas. A través de la observación y recolección de información cuantitativa se caracterizan variables como las concentraciones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y partículas finas (PM_{2.5}), así como las condiciones estructurales que pueden afectar en la acumulación de estos gases.

Este tipo de análisis permite comprender el comportamiento y las variaciones de los niveles de gases en entornos reales, proporcionando una base objetiva que servirá de referencia para el diseño y validación del sistema IoT. De esta manera, la investigación descriptiva contribuye a establecer los parámetros iniciales que definen la fase experimental del proyecto.

3.2.4 Investigación Experimental

La investigación experimental se fundamenta en la manipulación intencionada de una variable independiente con el fin de analizar su efecto sobre una variable dependiente, estableciendo así relaciones de causa y efecto entre los fenómenos observados. Según Galarza, (2021), “la investigación experimental se caracteriza por la manipulación deliberada de variable independiente y el análisis de sus efectos sobre la variable dependiente” (p. 1).

En cuanto a este proyecto, la investigación experimental se llevó a cabo en semicerrados en la fase de validación de un sistema IoT desarrollado para la detección y alerta de gases en parqueaderos cerrados y semicerrados. En esta fase, se simularán cambios controlados en las concentraciones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y partículas finas (PM_{2.5}), examina la capacidad de respuesta del sistema en diversos contextos.

Este procedimiento experimental permitirá comprobar empíricamente la eficacia del modelo de detección y del mecanismo de alerta y asegurarse de que las lecturas obtenidas por los sensores correspondan a las condiciones reales del monitoreo. De esta forma, la investigación experimental confirma la funcionalidad y confiabilidad del sistema IoT, complementa la fase descriptiva y cuantitativa del estudio y proporciona evidencia empírica que respalda su viabilidad tecnológica.

3.3 Métodos de Investigación

3.3.1 Métodos teóricos

Los métodos teóricos se aplicaron con el propósito de establecer las bases conceptuales que sustentan el diseño del sistema IoT, permitiendo interpretar y organizar el conocimiento relacionado con la detección de gases y el uso de tecnologías de monitoreo.

A través del análisis y la síntesis, se examinaron las causas de la contaminación en espacios confinados, los principios de funcionamiento de los sensores de gases, y la arquitectura diseñada para este proyecto. Esto permitió integrar los elementos más relevantes en una propuesta tecnológica coherente.

El método inductivo-deductivo se utilizó para partir de la observación de situaciones reales de contaminación en parqueaderos (inductivo), y posteriormente comprobar, mediante el diseño y validación del sistema, las hipótesis planteadas sobre la necesidad de un monitoreo automatizado (deductivo).

De igual manera, se empleó la modelación teórica, que facilitó el diseño lógico y funcional del sistema IoT, estableciendo la relación entre los componentes físicos (sensores y microordenador) y la plataforma digital encargada del procesamiento y visualización de datos.

En conjunto, los métodos teóricos permitieron definir el fundamento científico y tecnológico del proyecto, orientando las decisiones tomadas durante las etapas de diseño y desarrollo del sistema.

3.3.2 Métodos empíricos

Los métodos empíricos se aplicaron para recolectar información directamente del entorno y validar el funcionamiento del sistema propuesto. Su utilización permitió comprobar en la práctica la precisión, estabilidad y fiabilidad del sistema IoT.

Se realizó una observación en los parqueaderos seleccionados, en la cual se registraron aspectos estructurales, condiciones de ventilación y flujo vehicular, con el fin de identificar factores que podrían afectar en la concentración de gases contaminantes.

Durante la etapa experimental, se utilizó un método controlado para ensayos, sometiendo al sistema IoT a concentraciones variadas de partículas finas (PM_{2.5}), dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO). El propósito fue examinar su capacidad para detectar y reaccionar ante situaciones críticas.

Asimismo, se realizaron las encuestas estructuradas dirigidas a los usuarios universitarios, con el fin de obtener información sobre su percepción de seguridad y la aceptación del uso de tecnologías de monitoreo de la calidad del aire.

Estos métodos empíricos proporcionaron evidencia práctica que respalda la efectividad del sistema y permitieron correlacionar los resultados teóricos con los datos obtenidos a partir de las pruebas realizadas.

3.4 Fuentes de información de datos

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron fuentes primarias y secundarias, las cuales permitieron sustentar teóricamente la investigación y obtener datos reales del entorno.

3.4.1 Fuentes primarias

Se basaron en la observación directa de los parqueaderos universitarios, así como en el uso de encuestas dirigidas al personal administrativo, docentes y estudiantes de la Universidad Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM). Estas fuentes proporcionaron información empírica sobre las percepciones y condiciones de la población universitaria en el entorno donde se propone implementar el sistema IoT.

3.4.2 Fuentes secundarias

Estos incluyeron artículos, tesis, libros y manuales técnicos sobre Internet de las cosas (IoT), la detección y monitoreo de gases como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y material particulado fino (PM_{2.5})

La revisión de estas fuentes permitió respaldar el desarrollo técnico y metodológico del proyecto, aportando información esencial sobre la aplicación de tecnologías IoT contribuyendo a fortalecer el marco teórico y conceptual de la investigación.

3.5 Estrategia operacional para la recolección de datos

3.5.1 Población

Esta población fue elegida por su relación directa con el entorno en el que se implementará el sistema IoT, esta población seleccionada está conformada por:

- Estudiantes
- Profesional (Docentes Uleam)
- Personal administrativo

3.5.2 Segmentación

La segmentación se realizó en función del rol y la frecuencia de uso de los parqueaderos por parte de los miembros de la población universitaria.

De este modo, se establecieron tres grupos principales de investigación:

- Estudiantes, quienes representan el grupo más numeroso y constante en el uso de estos espacios.
- Personal administrativo, que utiliza los parqueaderos como parte de sus actividades laborales.
- Docentes, quienes emplean los espacios durante su jornada académica.

Esta clasificación permitió obtener información desde distintas perspectivas, reflejando la diversidad de criterios y experiencias en relación con la propuesta tecnológica.

3.5.3 Técnica de muestreo

Se hizo uso de un muestreo no probabilístico por conveniencia para esta investigación, eligiendo a los participantes según su disponibilidad y relación con el tema del estudio. Esta técnica es apropiada cuando se enfoca en una población específica de la comunidad universitaria que utiliza frecuentemente los parqueaderos institucionales. De esta forma se garantiza la adquisición de información relevante para evaluar la aceptabilidad y relevancia del sistema IoT propuesto.

3.5.4 Tamaño de la muestra

Para determinar el tamaño de la muestra se consideró una población aproximada de estudiantes, docentes y personal administrativo de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (MANTA) que utilizan los parqueaderos universitarios.

Formula general:

$$n = \frac{k^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{e^2 \cdot (N - 1) + k^2 \cdot p \cdot q}$$

Representación de valores:

N = Tamaño de la población = 27,000

p = Proporción esperada de usuarios insatisfechos = 0.5

q = Proporción de usuarios satisfechos ($1 - p$) = 0.5

K = Valor correspondiente al nivel de confianza del 95% = 1.96

e = Margen de error permitido = 0.05

Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$n = \frac{(1.96)^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5 \cdot 27000}{(0.05)^2 \cdot (27000 - 1) + (1.96)^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5}$$

$$n = \frac{3.8416 \cdot 0.25 \cdot 27000}{0.005 \cdot 26999 + 0.9604}$$

$$n = \frac{25,884}{67.4975 + 0.9604}$$

$$n = \frac{25,884}{68.4579} = 378.3$$

Por lo tanto, el tamaño mínimo recomendado de la muestra es de 379 encuestados. Sin embargo, la encuesta se amplió a 410 miembros de la población universitaria, lo que superó el tamaño mínimo requerido. Esto permite aumentar la confiabilidad de los resultados y la representatividad de la información obtenida.

3.5.5 Análisis de las herramientas de recolección de información

Para la obtención de los datos de este proyecto se utilizó una herramienta principal de recolección: una encuesta estructurada aplicada a diferentes miembros de la comunidad universitaria de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM).

3.5.5.1 Encuesta

La encuesta estructurada, compuesta por doce preguntas cerradas fue la principal herramienta de recopilación de datos. Se aplicó al personal administrativo, docentes y estudiantes

de la Universidad Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM). El objetivo del estudio fue conocer el nivel de percepción, conocimiento y nivel de aceptación sobre la implementación de un sistema IoT destinado a monitorear y alertar la calidad del aire en parqueaderos cerrados y semicerrados.

Diseño de la Encuesta

Pregunta 1: Seleccione su ocupación actual

Objetivo de la Pregunta 1: Identificar la ocupación de los encuestados dentro de la universidad.

Pregunta 2: Seleccione la facultad a la que pertenece dentro de la institución:

Objetivo de la Pregunta 2: Identificar de qué facultad provienen para analizar y comparar los grupos que presentan mayor conocimiento o preocupación por riesgos asociados.

Pregunta 3: ¿Ha notado deficiencias en la ventilación o acumulación de gases en los parqueaderos cerrados o semi-cerrados?

Objetivo de la Pregunta 3: Determinar la percepción de los encuestados sobre las condiciones de ventilación existentes y la posible acumulación de gases en los parqueaderos.

Pregunta 4: ¿Considera que la acumulación de gases en los parqueaderos cerrados o semi-cerrados puede representar un riesgo para la salud de las personas?

Objetivo de la Pregunta 4: Evaluar la comprensión de los encuestados sobre los riesgos para la salud asociados con la exposición a gases contaminantes en espacios cerrados y semicerrados.

Pregunta 5: ¿Considera necesario implementar un sistema tecnológico que permita detectar y alertar sobre la presencia de gases contaminantes en parqueaderos cerrados y semi-cerrados?

Objetivo de la Pregunta 5: Analizar el grado de acuerdo de los encuestados con la implementación de una solución tecnológica destinada al monitorear y alertar la calidad del aire.

Pregunta 6: ¿Qué tan familiarizado(a) está con el uso de tecnologías IoT (Internet de las Cosas), las cuales permiten conectar dispositivos o sensores para recopilar y transmitir información de forma automática?

Objetivo de la Pregunta 6: Conocer el nivel de conocimiento previo de los encuestados sobre las tecnologías IoT.

Pregunta 7: ¿Confía en que un sistema IoT puede monitorear la calidad del aire y emitir alertas en tiempo real ante condiciones peligrosas?

Objetivo de la Pregunta 7: Analizar el nivel de confianza de los participantes sobre la efectividad y fiabilidad de las soluciones tecnológicas basadas en IoT.

Pregunta 8: ¿Qué tan importante considera recibir alertas automáticas en tiempo real ante la presencia de gases peligrosos o niveles elevados de contaminación dentro del parqueadero?

Objetivo de la Pregunta 8: Valorar la importancia de los encuestados de generar alertas automáticas como mecanismo de prevención.

Pregunta 9: ¿Qué tan útil considera contar con una aplicación o panel digital que muestre en tiempo real los niveles de calidad del aire en los parqueaderos cerrados y semi-cerrados?

Objetivo de la Pregunta 9: Evaluar la percepción de los encuestados sobre la utilidad de una aplicación o panel digital que permita visualizar en tiempo real los niveles de calidad del aire.

Pregunta 10: ¿Cree que la instalación de sensores en puntos estratégicos podría mejorar la seguridad y reducir el riesgo de intoxicaciones en los parqueaderos cerrados o semi-cerrados?

Objetivo de la Pregunta 10: Analizar la percepción de los encuestados sobre la eficacia de la instalación de sensores como medida preventiva.

Pregunta 11: ¿Qué tan innovador considera el desarrollo de un sistema IoT para el monitoreo y alerta de calidad del aire en los parqueaderos cerrados y semi-cerrados de la universidad?

Objetivo de la Pregunta 11: Evaluar la percepción de innovación y modernización que representa el uso de sistemas IoT en el entorno universitario.

Pregunta 12: ¿Considera que la implementación de este sistema contribuiría a la seguridad y bienestar de las personas que utilizan los parqueaderos cerrados y semi-cerrados?

Objetivo de la Pregunta 12: Determinar el panorama general del impacto positivo del sistema en la seguridad, el bienestar y la protección de la comunidad universitaria.

3.7 Análisis y presentación de resultados

El análisis de los datos se realizó mediante los resultados obtenidos de la encuesta aplicada, a la población universitaria. En el análisis e interpretación de esta etapa, se presentan diversos aspectos y preguntas que surgieron, los cuales se detallan y explican en la siguiente tabla.

Tabla 2

Plan de Análisis e Interpretación de Datos.

¿Quién?	¿Cómo?	¿Dónde?
Responsables del proyecto:	Encuestas realizadas a estudiantes universitarios, docentes y personal administrativo.	(ULEAM) Manta - Manabí

Nota. La recolección de datos se realizó a la población universitaria de la ULEAM en las sedes de Manta. Elaboración propia.

1. Seleccione su ocupación actual:

Tabla 3

Encuesta - Pregunta 1 - Tabulación de datos.

Opciones	Número de Participantes	Porcentaje
Estudiante	297	72.4%
Profesional (Docente ULEAM)	57	13.9%
Personal Administrativo	56	13.7%

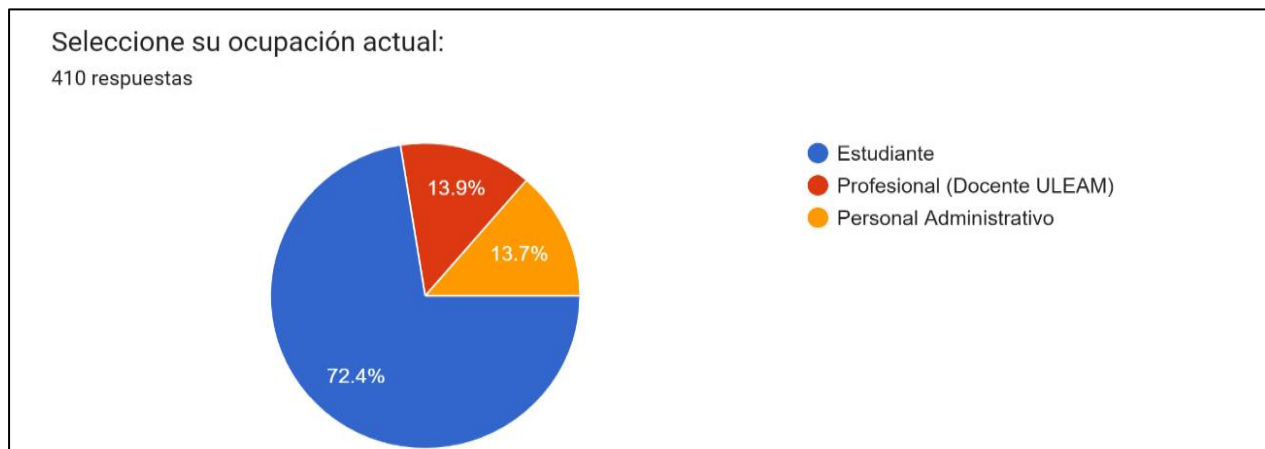
TOTAL	410	100%
--------------	------------	-------------

Nota. Elaboración propia

Representación Gráfica de Datos

Figura 9

Encuesta. Pregunta 1 – Representación Gráfica de Datos



Nota. Gráfico elaborado a partir de los resultados obtenidos dirigidos a la población universitaria. Elaboración propia

Análisis e interpretación de Datos

Tal como se recoge en la tabulación elaborada, la mayoría de los 410 participantes son estudiantes (72,4%), mientras que una proporción menor son profesores (13,9%) y personal administrativo (13,7%). Este desglose refleja la composición real de la población universitaria y permite el análisis en los usuarios, garantizando que el sistema IoT tiene en cuenta las necesidades de todas las áreas u ocupaciones.

2. Seleccione la facultad a la que pertenece dentro de la institución:

Tabla 4

Encuesta - Pregunta 2 - Tabulación de datos.

Opciones	Número de Participante	Porcentaje
----------	------------------------	------------

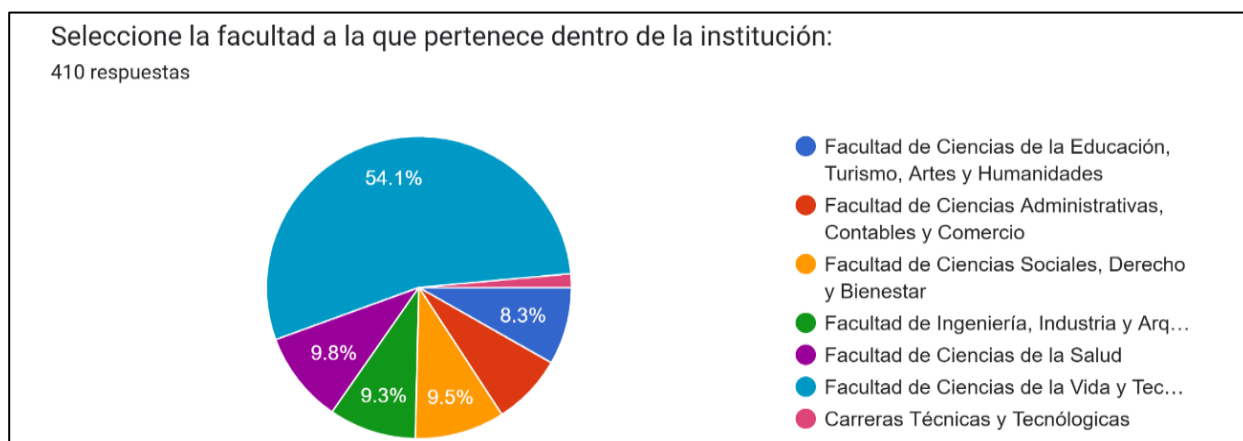
Facultad de Ciencias de la Educación, Turismo, Artes y Humanidades	34	8.3%
Facultad de Ciencias Administrativas, Contables y Comercio	31	7.6%
Facultad de Ciencias Sociales, Derecho y Bienestar	39	9.5%
Facultad de Ciencias de la Salud	40	9.8%
Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías	222	54.1%
Carreras Técnicas y Tecnológicas	6	1.5%
TOTAL	410	100%

Nota. Elaboración propia

Representación Gráfica de Datos

Figura 10

Encuesta. Pregunta 2 – Representación Gráfica de Datos



Nota. Gráfico elaborado a partir de los resultados obtenidos en la encuesta sobre sonde pertenece. Elaboración propia

Análisis e interpretación de Datos

Tal como se refleja en la tabulación elaborada, la mayoría de los 410 participantes pertenecen a la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías (54,1%), Ciencias de la Salud

(9,8%), Ciencias Sociales, Derecho y Bienestar (9,5%), Ciencias de la Educación, Turismo, Artes y Humanidades (8,3%), Ciencias Administrativas, Contables y Comercio (7,6%) y Carreras Técnicas y Tecnológicas (1,5%). Este desglose permite identificar los principales grupos de la población universitaria, lo que es útil para analizar la percepción de la calidad del aire en los parqueaderos según la facultad a la que pertenecen y planificar la implementación del sistema IoT.

3. ¿Ha notado deficiencias en la ventilación o acumulación de gases en los parqueaderos cerrados o semi-cerrados?

Tabla 5

Encuesta - Pregunta 3 - Tabulación de datos.

Opciones	Número de Participante	Porcentaje
Sí	385	93.9%
No	25	6.1%
TOTAL	410	100%

Nota. Elaboración propia

Representación Gráfica de Datos

Figura 11

Encuesta. Pregunta 3 – Representación Gráfica de Datos



Nota. Gráfico elaborado a partir de los resultados obtenidos en la encuesta sobre la deficiencia de ventilación. Elaboración propia

Análisis e interpretación de Datos

Tal como se refleja en la tabulación elaborada, la gran mayoría de los 410 participantes (93,9%) notó deficiencias en la ventilación o acumulación de gases en los parqueaderos cerrados o semi-cerrado, mientras que sólo el 6,1% no percibió estas condiciones. Este desglose permitió identificar la preocupación generalizada de poner en marcha un sistema de IoT de monitoreo y alerta de la calidad del aire en los parqueaderos.

4. ¿Considera que la acumulación de gases en los parqueaderos cerrados o semi-cerrados puede representar un riesgo para la salud de las personas?

Tabla 6

Encuesta - Pregunta 4 - Tabulación de datos.

Opciones	Número de Participante	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	285	68.5%
De acuerdo	94	22.9%

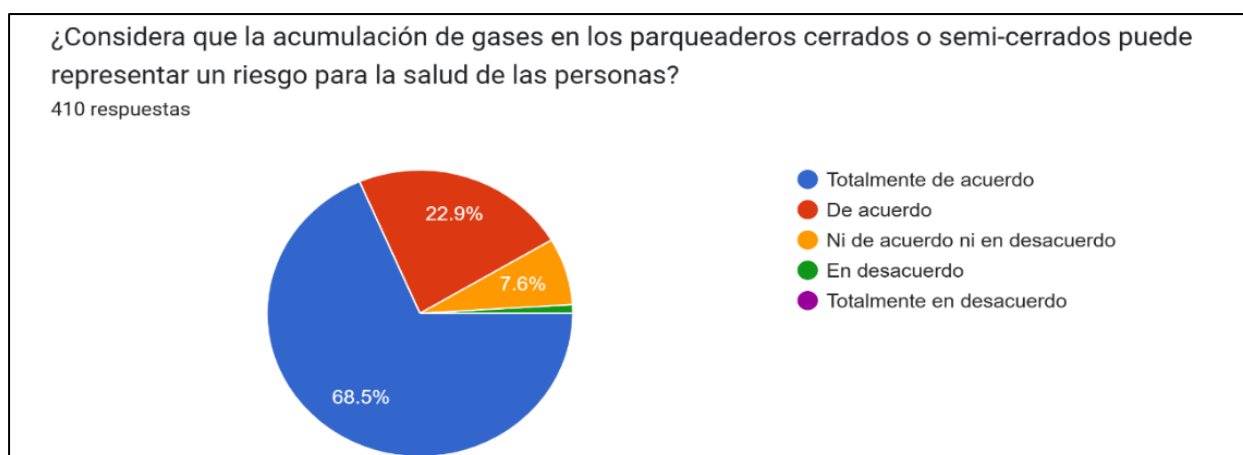
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	31	7.6%
En desacuerdo	4	1%
Totalmente en desacuerdo	0	0%
TOTAL	410	100%

Nota. Elaboración propia

Representación Gráfica de Datos

Figura 12

Encuesta. Pregunta 4 – Representación Gráfica de Datos



Nota. Gráfico elaborado a partir de los resultados obtenidos en la encuesta asociado a la acumulación de gases. Elaboración propia

Análisis e interpretación de Datos

Tal como se observa en la tabulación, la mayoría de los 410 participantes (68,5%) está totalmente de acuerdo en que la acumulación de gases en los parqueaderos cerrados o semicerrados representa un riesgo para la salud, mientras que un 22,9% está de acuerdo. Sólo el 7,6% se mantiene neutral y el 1% está en desacuerdo, y ningún participante está totalmente en desacuerdo, un alto nivel de conciencia sobre los riesgos asociados a la exposición a gases contaminantes, confirmando la necesidad de implementar un sistema de IoT.

5. **¿Considera necesario implementar un sistema tecnológico que permita detectar y alertar sobre la presencia de gases contaminantes en parqueaderos cerrados y semi-cerrados?**

Tabla 7

Encuesta - Pregunta 5 - Tabulación de datos.

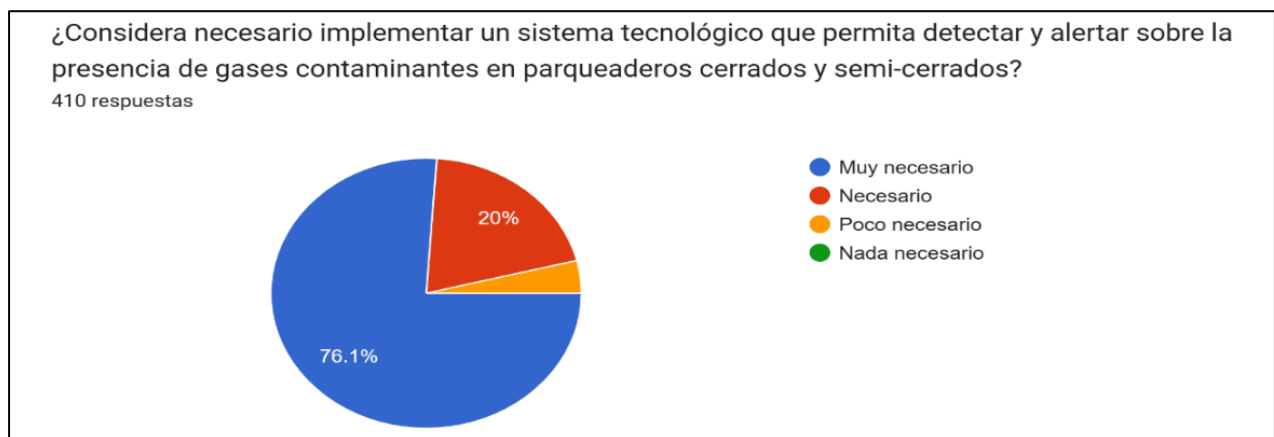
Opciones	Número de Participante	Porcentaje
Muy necesario	312	76.1%
Necesario	82	20%
Poco necesario	16	3.9%
Nada necesario	0	0%
TOTAL	410	100%

Nota. Elaboración propia

Representación Gráfica de Datos

Figura 13

Encuesta. Pregunta 5 – Representación Gráfica de Datos



Nota. Gráfico elaborado a partir de los resultados obtenidos sobre la implementación del sistema tecnológico. Elaboración propia

Análisis e interpretación de Datos

Tal como se refleja en la tabulación, la mayoría de los 410 participantes considera que la implementación de un sistema tecnológico para detectar y alertar sobre gases contaminantes en los parqueaderos es muy necesaria (76,1%), mientras que un 20% considera necesario. Sólo el 3,9% percibe como especialmente necesaria. Esto indican un alto grado de aceptación y reconocimiento de soluciones tecnológicas para poder detectar y alertar sobre la presencia de los gases contaminantes en los parqueaderos n los espacios cerrados o semicerrados.

El análisis de estas respuestas señala que la población universitaria considera importante de contar sistemas que ayuden a detectar de manera temprana los peligros relacionados con la acumulación de gases contaminantes. También refleja un deseo de optimizar las condiciones de seguridad y confort en los parqueaderos y prevenir posibles riesgos para la salud que puedan derivarse de la exposición prolongada a estos contaminantes.

6. ¿Qué tan familiarizado(a) está con el uso de tecnologías IoT (Internet de las Cosas), las cuales permiten conectar dispositivos o sensores para recopilar y transmitir información de forma automática?

Tabla 8

Encuesta - Pregunta 6 - Tabulación de datos.

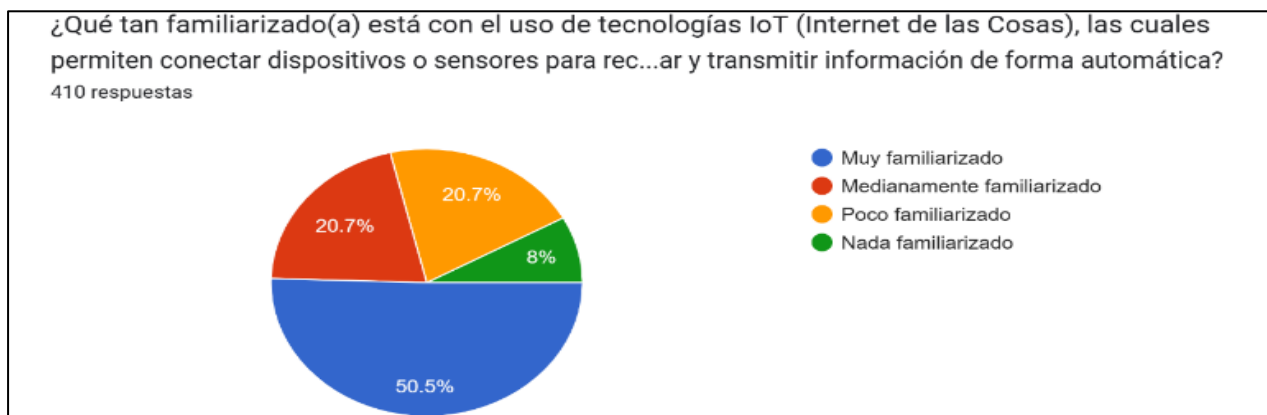
Opciones	Número de Participante	Porcentaje
Muy familiarizado	207	50.5%
Medianamente familiarizado	85	20.7%
Poco familiarizado	85	20.7%
Nada familiarizado	33	8%
TOTAL	410	100%

Nota. Elaboración propia

Representación Gráfica de Datos

Figura 14

Encuesta. Pregunta 6 – Representación Gráfica de Datos



Nota. Gráfico elaborado a partir de los resultados obtenidos en la encuesta sobre el conocimiento que tiene de IoT. Elaboración propia

Análisis e interpretación de Datos

Tal como se observa en la tabulación, la mitad de los 410 participantes (50,5%) se considera muy familiarizada con el uso de las tecnologías IoT, mientras que un 20,7% indica que está medianamente familiarizado, y otro 20,7% indica que está poco familiarizado. Sólo el 8% de los encuestados tiene conocimiento de estas tecnologías. Estos resultados reflejan un nivel general de conocimiento moderado a alto sobre IoT en la comunidad universitaria, lo que facilita la aceptación y comprensión del sistema propuesto.

7. ¿Confía en que un sistema IoT puede monitorear la calidad del aire y emitir alertas en tiempo real ante condiciones peligrosas?

Tabla 9

Encuesta - Pregunta 7 - Tabulación de datos.

Opciones	Número de Participante	Porcentaje
Mucha confianza	245	59.8%
Confianza moderada	123	30%

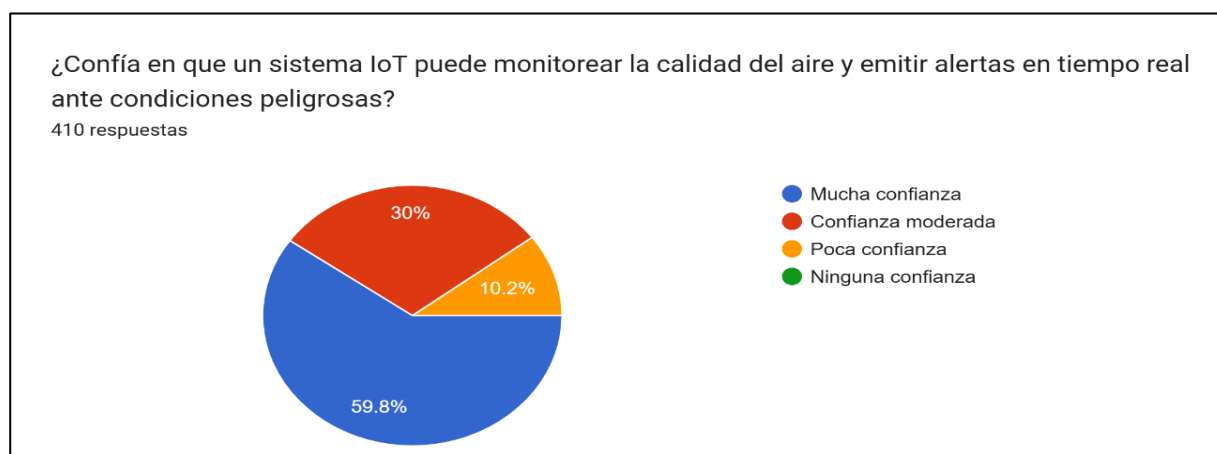
Poca confianza	42	10.2%
Ninguna confianza	0	0%
TOTAL	410	100%

Nota. Elaboración propia

Representación Gráfica de Datos

Figura 15

Encuesta. Pregunta 7 – Representación Gráfica de Datos



Nota. Gráfico elaborado a partir de los resultados obtenidos en la encuesta sobre la confianza de implementar el sistema. Elaboración propia

Análisis e interpretación de Datos

Tal como se refleja en la tabulación, la mayoría de los 410 participantes (59,8%) indican que tienen mucha confianza en que el sistema IoT puede monitorear la calidad del aire y emitir alertas en tiempo real en caso de condiciones peligrosas. El 30% de los encuestados indica que confía moderadamente, mientras que el 10,2% señala que no confía. Ninguno de los participantes expresó falta de confianza en la tecnología. Estos resultados indican un nivel positivo de aceptación y confiabilidad de los sistemas basados en IoT, lo que favorece la implementación en los parqueaderos cerrados y semicerrados.

8. ¿Qué tan importante considera recibir alertas automáticas en tiempo real ante la presencia de gases peligrosos o niveles elevados de contaminación dentro del parqueadero?

Tabla 10

Encuesta - Pregunta 8 - Tabulación de datos.

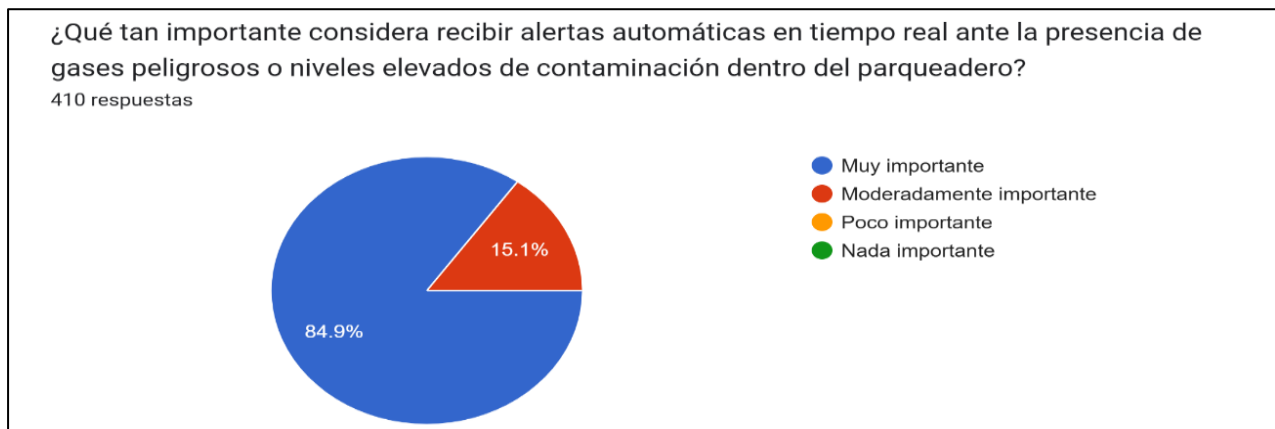
Opciones	Número de Participante	Porcentaje
Muy importante	348	84.9%
Moderadamente importante	62	15.1
Poco importante	0	0%
Nada importante	0	0%
TOTAL	410	100%

Nota. Elaboración propia

Representación Gráfica de Datos

Figura 16

Encuesta. Pregunta 8 – Representación Gráfica de Datos



Nota. Gráfico elaborado a partir de los resultados obtenidos en la encuesta sobre la importancia de recibir alertas ante contaminaciones elevadas con el sistema propuesto. Elaboración propia

Análisis e interpretación de Datos

Tal como se observa en la tabulación, la gran mayoría de los 410 participantes (84,9%) considera muy importante recibir alertas automáticas en tiempo real cuando hay un alto nivel de contaminación en los parqueaderos. El 15,1% de los encuestados considera que esta medida tiene una importancia media. Lo anterior indica un alto nivel de conciencia en implementar un sistema de monitoreo permitan alertar de manera inmediata, reforzando la necesidad de la solución tecnológica propuesta.

9. ¿Qué tan útil considera contar con una aplicación o panel digital que muestre en tiempo real los niveles de calidad del aire en los parqueaderos cerrados y semi-cerrados?

Tabla 11

Encuesta - Pregunta 9 - Tabulación de datos.

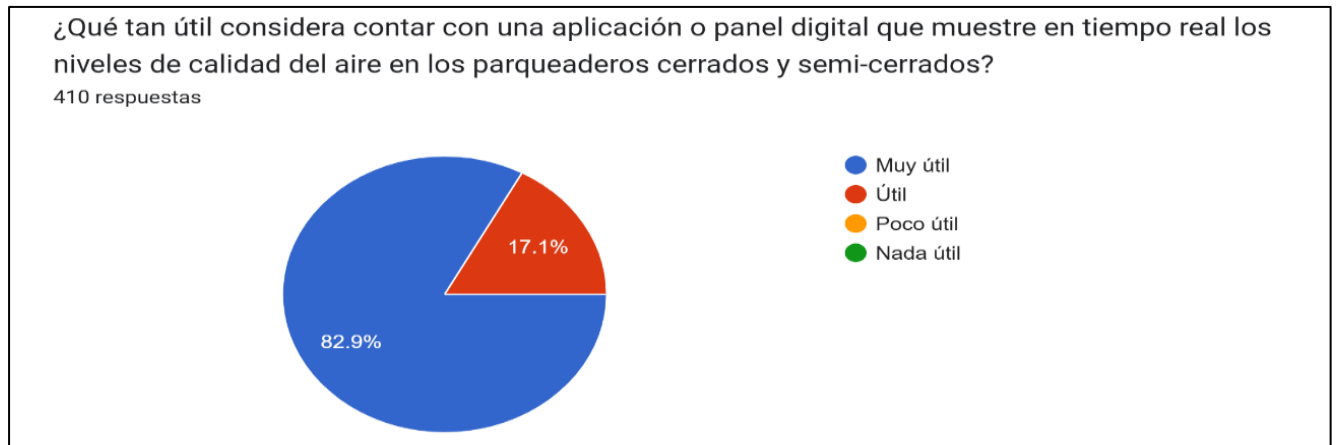
Opciones	Número de Participante	Porcentaje
Muy útil	340	82.9%
Útil	70	17.1%
Poco útil	0	0%
Nada útil	0	0%
TOTAL	410	100%

Nota. Elaboración propia

Representación Gráfica de Datos

Figura 17

Encuesta. Pregunta 9 – Representación Gráfica de Datos



Nota. Gráfico elaborado a partir de los resultados obtenidos en la encuesta sobre un panel para visualizar los datos en tiempo real. Elaboración propia

Análisis e interpretación de Datos

Tal como se evidencia en la tabulación, la mayoría de los 410 participantes (82,9%) consideran gran utilidad una aplicación o un panel digital que muestra en tiempo real los niveles de calidad del aire en los parqueaderos cerrados y semicerrados, mientras que un 17,1% considera muy útil esta herramienta. Ninguno de los encuestados lo percibe como poco o nada útil. Esto demuestra que la población universitaria valora mucho la disponibilidad de información en tiempo real, justificando la implementación de un sistema IoT con paneles de monitoreo o aplicaciones que faciliten la visualización inmediata de la calidad del aire.

10. ¿Cree que la instalación de sensores en puntos estratégicos podría mejorar la seguridad y reducir el riesgo de intoxicaciones en los parqueaderos cerrados o semi-cerrados?

Tabla 12

Encuesta - Pregunta 10 - Tabulación de datos.

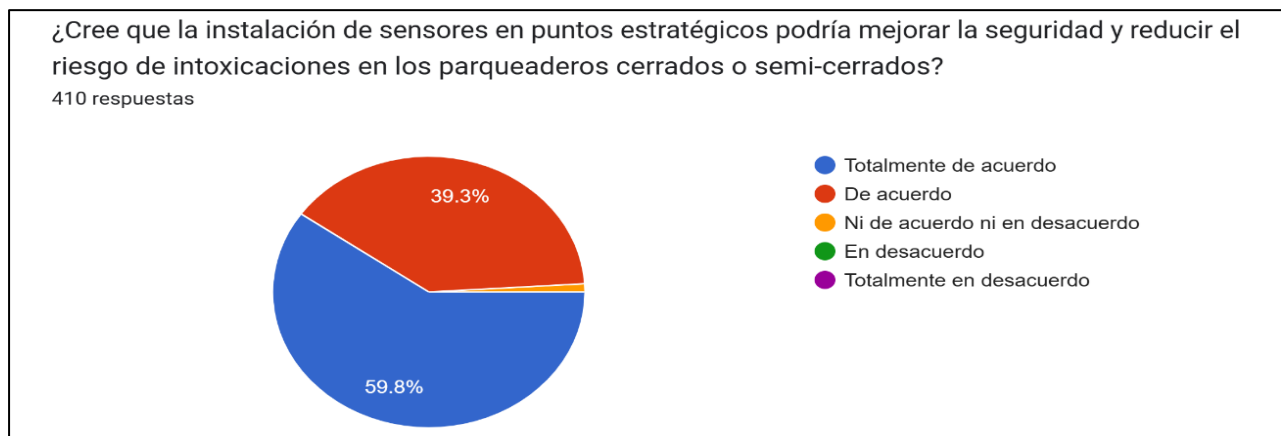
Opciones	Número de Participante	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	245	59.8%
De acuerdo	161	39.3%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	4	1%
En desacuerdo	0	0%
Totalmente en desacuerdo	0	0%
TOTAL	410	100%

Nota. Elaboración propia

Presentación Gráfica de Datos

Figura 18

Encuesta. Pregunta 1 – Representación Gráfica de Datos



Nota. Gráfico elaborado a partir de los resultados obtenidos en la encuesta sobre la seguridad de reducir riesgo al instalar ciertos sensores clasificados para monitorear. Elaboración propia

Análisis e interpretación de Datos

Tal como se observa en la tabulación, la mayoría de los 410 participantes (59,8%) está totalmente de acuerdo en que instalar sensores en puntos estratégicos podría favorecer la seguridad

en los parqueaderos cerrados o semicerrados. Adicionalmente, un 39,3% está de acuerdo con esta afirmación. Sólo el 1% se mantiene neutral y ninguno de los encuestados está en desacuerdo. Estos resultados muestran que la población universitaria reconoce la eficacia de los sensores como medida preventiva para garantizar la seguridad en estos espacios.

11. ¿Qué tan innovador considera el desarrollo de un sistema IoT para el monitoreo y alerta de calidad del aire en los parqueaderos cerrados y semi-cerrados de la universidad?

Tabla 13

Encuesta - Pregunta 11 - Tabulación de datos.

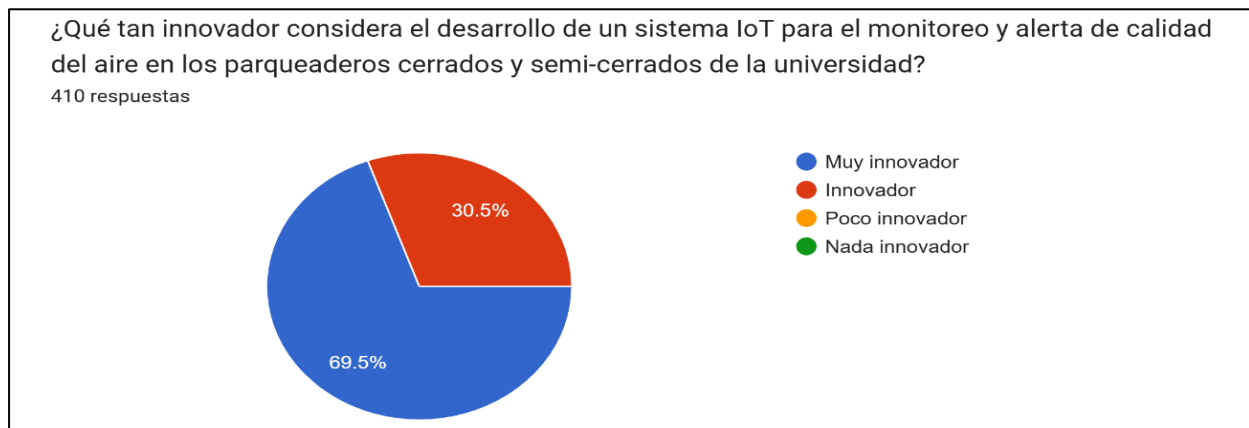
Opciones	Número de Participante	Porcentaje
Muy innovador	285	69.5%
Innovador	125	30.5%
Poco innovador	0	0%
Nada innovador	0	0%
TOTAL	410	100%

Nota. Elaboración propia

Representación Gráfica de Datos

Figura 19

Encuesta. Pregunta 11 – Representación Gráfica de Datos



Nota. Gráfico elaborado a partir de los resultados obtenidos si el sistema es innovador para los encuestadores Elaboración propia

Análisis e interpretación de Datos

Tal como se observa en la tabulación, la mayoría de los 410 participantes (69,5%) considera que el desarrollo de un sistema IoT para el monitoreo y alerta de la calidad del aire en los parqueaderos cerrados y semicerrados representa un alto nivel de innovación, mientras que un 30,5% lo percibe como innovador. Ninguno de los participantes ve como poco o nada innovador. Estos resultados reflejan la percepción positiva de la población universitaria sobre la implementación de tecnologías inteligentes en este ámbito.

12. ¿Considera que la implementación de este sistema contribuiría a la seguridad y bienestar de las personas que utilizan los parqueaderos cerrados y semi-cerrados?

Tabla 14

Encuesta - Pregunta 12 - Tabulación de datos.

Opciones	Número de Participante	Porcentaje
Totalmente de acuerdo	340	82.9%

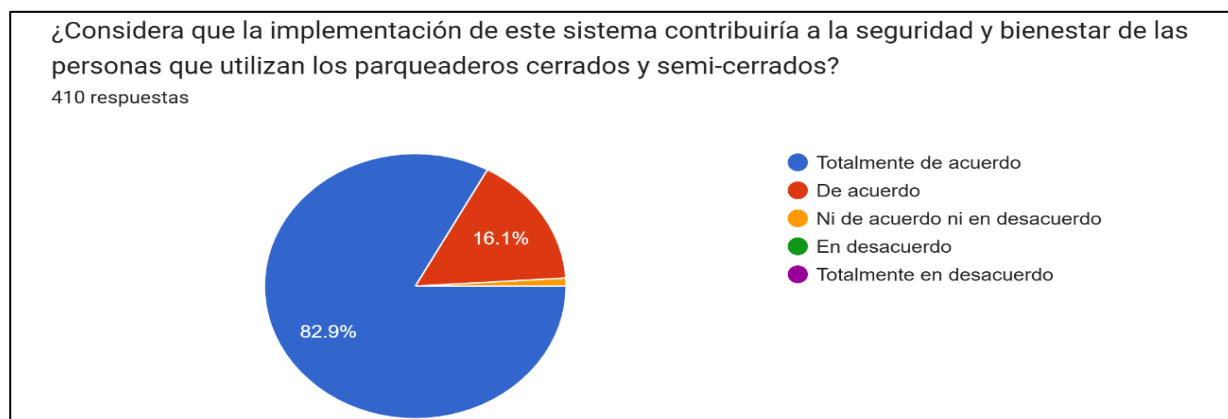
De acuerdo	66	16.1%
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	4	1%
En desacuerdo	0	0%
Totalmente en desacuerdo	0	0%
TOTAL	410	100%

Nota. Elaboración propia

Representación Gráfica de Datos

Figura 20

Encuesta. Pregunta 12 – Representación Gráfica de Datos



Nota. Gráfico elaborado a partir de los resultados obtenidos sobre la seguridad y bienestar de quienes utilizan estos espacios al implementar el sistema IoT. Elaboración propia

Análisis e interpretación de Datos

Tal como se observa en los resultados, la mayoría de los 410 participantes (82,9%) indican estar muy de acuerdo en que la implantación del sistema aportará en la seguridad y el bienestar de los usuarios que utilizan los parqueaderos cerrados y semicerrados, mientras que un 16,1% está de acuerdo. Sólo el 1% se mantiene neutral y ninguno de los encuestados está en desacuerdo. Estos resultados muestran que el número de usuarios refleja el impacto positivo del sistema en el entorno de los parqueaderos.

CAPÍTULO IV

CAPITULO IV

4 MARCO PROPOSITIVO

4.1 Introducción

En este capítulo se presenta la propuesta tecnológica desarrollada como resultado del proceso de investigación, cuyo objetivo brindar una solución al problema identificado en los parqueaderos cerrados y semicerrados de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), donde no se cuenta con un monitoreo continuo de la calidad del aire. La propuesta consiste en un sistema IoT para el monitoreo de contaminantes como CO, CO₂ y PM2.5, capaz de generar alertas automáticas en tiempo real y de mostrar la información a través de un panel web existente y una aplicación móvil.

4.2 Descripción de la propuesta

El sistema IoT propuesto se basa en la integración de diversos componentes tecnológicos interconectados que permiten el monitoreo continuo de la calidad del aire en los parqueaderos cerrados y semicerrados de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. La solución tiene como objetivo detectar contaminantes como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y partículas PM2.5 para generar alertas automáticas de oportuna a través de una aplicación móvil.

El sistema cuenta con sensores particulares que tienen la función de calcular el nivel de los contaminantes mencionados previamente. Los datos recolectados se transmiten al servidor central de forma inalámbrica, lo que le permite clasificar la información y prepararla para su envío a la plataforma central. Este procedimiento garantiza la recolección constante de información y su disponibilidad para su posterior análisis. Igualmente, el sistema puede emitir alertas automáticas cuando los valores capturados sobrepasan los límites fijados, permitiendo actuar de manera oportuna frente a posibles amenazas

Los datos analizados se muestran a través de un panel en la web y una aplicación móvil creada para el proyecto. Esto facilita el acceso a la información desde cualquier dispositivo que tenga conexión a Internet y apoya la supervisión en tiempo real de la calidad del aire en los parqueaderos que han sido intervenidos.

4.3 Determinación de Recursos

La implementación del sistema propuesto requiere de una amplia planificación integral de recursos humanos, tecnológicos necesarios para garantizar el correcto diseño, desarrollo, validación y funcionamiento del sistema IoT destinado al monitoreo y alerta de la calidad del aire en parqueaderos cerrados y semicerrados.

4.3.1 Recursos Humanos

Los recursos humanos incluyen el equipo responsable de la planificación, ejecución, seguimiento e implementación del proyecto, formado por los autores, el Tutor del proyecto y un profesor colaborador que participó en la fase práctica del desarrollo del sistema IoT.

A continuación, se detallan los actores, sus roles y acciones específicas tomadas:

Tabla 15

Recursos Humanos y funciones

Recursos Humanos	Función	Descripción
Ivania Zambrano Josselyne Basurto	Autores del Proyecto	Responsables del diseño, desarrollo e implementación del sistema IoT.
Ing. Oscar González	Tutor del Proyecto	Responsable de la orientación y supervisión académica durante el desarrollo del proyecto.
Ing. Mike Machuca	Asesor Técnico	Apoyo en la implementación práctica del sistema.

Nota. Esta tabla presenta los recursos humanos involucrados en el desarrollo e implementación del proyecto IoT. Elaboración propia.

4.3.2 Recursos Tecnológicos

Los recursos tecnológicos incluyen el conjunto de dispositivos, equipos y herramientas utilizados en el diseño, desarrollo e implementación del sistema IoT propuesto. Estos recursos permitieron la captura, transmisión y visualización de datos de calidad del aire en tiempo real, garantizando un funcionamiento estable, preciso y eficiente.

Tabla 16

Recursos Tecnológicos del Sistema IoT y sus Funciones

Recursos Utilizados	Funciones de los Recursos
Raspberry Pi 5 - Kit PRO	Microordenador principal (Se utilizó como servidor central).
Sensor MQ-7	Permite monitorear el monóxido de carbono.
Sensor MH-Z19C	Monitorea el Dióxido de Carbono.
Sensor PMS5003	Detecta las partículas finas (PM2.5)
SX1262 868/915 LoRa HAT	Módulo de comunicación inalámbrica.
Antena RAIGEN LoRa	Esta antena facilita la comunicación de largo alcance.
RAK2287 Gateway Concentrator	Receptor central de datos provenientes de los nodos sensores.
RAK2287/RA5146 Pi HAT	Interfaz de conexión entre el Gateway y la Raspberry Pi.

Nota. Esta tabla presenta la descripción de los componentes tecnológicos empleados en la implementación del sistema IoT propuesto. Elaboración propia.

4.3.3 Recursos Económicos

En la siguiente tabla se pueden observar descripción, detalles de los costos y materiales utilizados para la ejecución este proyecto:

Tabla 17*Presupuestos de Recursos Materiales*

#	Recurso	Cantidad	Costo Unid.	Subtotal
1	Raspberry Pi 5 - Kit PRO	1.000	159.99	159.99
2	Sensor MQ-7	1.000	2.85	2.85
3	Sensor MH-Z19C	1.000	21.59	21.59
4	Sensor PMS5003	1.000	20.47	20.47
5	SX1262 868/915 LoRa HAT	1.000	34.55	34.55
6	Antena RAIGEN LoRa	1.000	54.95	54.95
7	Adaptador RAK7246	1.000	5.00	5.00
8	RAK2287 Gateway Concentrator	1.000	89.00	89.00
9	RAK2287/RA5146 Pi HAT	1.000	19.00	19.00
10	Caja Hermética 30x20x16 PVC	2.000	45,00	90.00
11	Toma Polarizado S/P 110V	2.000	2.15	4.30
12	Cable Concéntrico 2x14 600V	20.00	1.68	33.60
13	Prensa Estopa	6.000	0.37	2.13
14	Amarra Plástica 20cm Blanca	100.0	100	2.75
15	Breaker P/Riel	1.000	3.05	3.05
16	Riel Din Acero Perforado	1.000	1.80	1.80
17	Luz Piloto Verde 220V Led	2.000	0.80	1.60
18	Enchufe Polarizado 110V	2.000	2.00	4.00
TOTAL				\$550.63

Nota. Esta tabla representa los costos económicos de cada material. Elaboración propia.

Tabla 18*Presupuestos de Recursos Indirectos*

Recurso	Costo Total
Envío y logística internacional	32.35

Impuestos	115.59
TOTAL	147.94

Nota. Esta tabla representa los costos indirectos con la implementación del sistema IoT.

Elaboración propia.

4.4 Etapas de acción para el desarrollo de la propuesta

Modelo de desarrollo adoptado: Modelo Cascada

Para el desarrollo del sistema se decidió emplear un modelo tradicional, específicamente el Modelo Cascada.

El modelo en cascada está organizado en una secuencia lógica de fases, desde la identificación inicial del problema hasta la prueba final del sistema. En cada fase se entregan productos específicos que forman la base para la siguiente, garantizando un desarrollo controlado y estructurado. Las fases de este proyecto se planificaron de la siguiente manera:

4.4.1 Fase I: Recolección y Análisis de requisitos

En esta fase se identificaron y analizaron las necesidades técnicas y operativas del sistema IoT para el monitoreo de la calidad del aire en parqueaderos cerrados y semicerrados. El objetivo principal fue definir de manera clara y estructurada los requisitos funcionales y no funcionales que guiarán el diseño y desarrollo del sistema.

- Requisitos funcionales

Los requisitos funcionales describen las acciones que el sistema debe realizar para lograr los objetivos del proyecto. Estos requisitos definen las principales funciones relacionadas con la medición, transmisión, visualización y alerta de los parámetros de calidad del aire.

Tabla 19*Requisitos funcionales*

Código	Requisito Funcional	Caso de Uso
RF-01	Medir en tiempo real las concentraciones de CO, CO ₂ y PM2.5 mediante sensores instalados.	Obtener mediciones de calidad del aire
RF-02	Mostrar en la página web existente los datos en tiempo real del monitoreo de CO, CO ₂ y PM2.5.	Visualizar datos en la plataforma web.
RF-03	Generar alertas automáticas en el aplicativo móvil cuando los valores superen los umbrales definidos	Activar notificaciones ante niveles críticos
RF-04	Permitir la consulta historial desde el aplicativo móvil.	Revisar información desde la aplicación móvil.

Nota. Esta tabla muestra los requisitos funcionales para el desarrollo del proyecto IoT. Fuente propia.

- **Requisitos no funcionales**

Los requisitos no funcionales definen las características de calidad que debe cumplir un sistema para garantizar su correcto funcionamiento. No detallan acciones concretas, sino la forma en que el sistema debe funcionar de manera eficaz, segura y accesible.

Tabla 20*Requisitos no funcionales*

Código	Requisito No Funcional	Caso de Uso
RNF-01	El sistema debe ser escalable para permitir la incorporación de nuevos sensores o nodos IoT en un futuro.	La infraestructura posibilita que se añadan más puntos de monitoreo sin comprometer el rendimiento general,

		lo que permite ampliar la cobertura del sistema.
RNF-02	Confiabilidad en la transmisión de datos	La comunicación LoRa debe garantizar un envío ininterrumpido y constante de los datos.
RNF-03	Disponibilidad	El sistema debe funcionar sin interrupciones, 24/7 en el parqueadero seleccionado, garantizando monitoreo en tiempo real.
RNF-04	Usabilidad	El panel de control debe ser entendible para aquellos que no tienen una formación técnica.

Nota. Esta tabla muestra los requisitos no funcionales para el desarrollo del proyecto IoT. Fuente propia.

4.4.2 Fase II: Diseño del Sistema

En esta fase se estableció una estructura básica del sistema IoT, delimitando el esquema de la arquitectura, la base de datos y la aplicación móvil. El propósito fue crear un diseño funcional que garantice la correcta captura, transmisión, procesamiento y visualización de los datos de calidad del aire, garantizando eficacia y facilidad de uso.

4.4.2.1 Diseño de la Base de Datos

Se diseñó una base de datos destinada al almacenamiento histórico de las mediciones de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y material particulado fino (PM2.5).

Figura 21

Diseño de la base de datos

mediciones	
id	integer NOT NULL PRIMARY KEY
sensor	character varying(20)
valor	numeric
estado	character varying(20)
fecha	timestamp without time
ubicacion	'PARQUEADERO 1', 'PARQUEADERO 2'

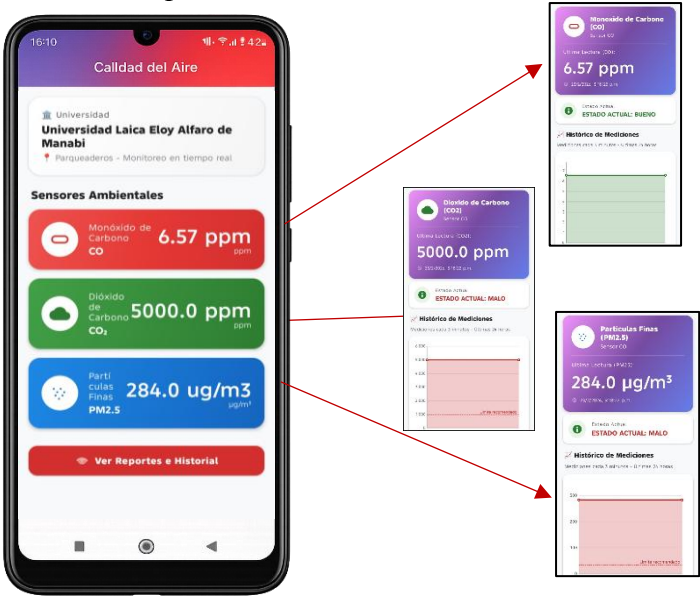
Nota. Diseño de la base de datos utilizada para nuestro sistema IoT. Elaboración propia (2026).

4.4.2.2 Diseño de Interfaz Móvil

En esta etapa se diseñó la interfaz de la aplicación móvil, priorizando la usabilidad y la claridad en la presentación de la información.

Figura 22

Interfaz de la aplicación móvil para el monitoreo de la calidad del aire



Nota. Evidencia de aplicación para prueba de datos localmente. Elaboración propia (2026).

Figura 23

Notificaciones



Nota. Notificaciones de la aplicación móvil probada localmente al lleva a un nivel moderado o al exceder el contaminante. Elaboración propia (2026).

4.4.3 Fase III: Implementación

En esta fase se llevó a cabo la implementación del sistema IoT conforme al diseño establecido.

- **Paso 1: Acceso y configuración de servidor central del sistema IoT:** Para la administración del servidor central del sistema IoT propuesto se realizó una conexión remota. Esta conexión permite el acceso al servidor implementado Raspberry Pi. Este dispositivo se incorporó y se configuró para recibir, procesar y almacenar los datos que los sensores de calidad del aire envían.

Figura 24

Acceso remoto al servidor central del sistema IoT

The screenshot shows a web interface titled "EDIT CREDENTIALS DETAILS". It contains several input fields and buttons:

- Credentials name:** A text input field containing the value "tesis".
- Username:** A text input field containing the value "lora".
- Password:** A password input field with masked characters (dots).
- Private key:** A text input field and a "Browse" button.
- Assigned sessions:** A section showing a list of sessions. One session is listed with the IP address "172.29.x.x:x". Below the list is a dropdown menu labeled "- Choose sessions -" and an "Assign" button.
- Buttons:** At the bottom, there are "Save" and "Cancel" buttons.

On the right side of the interface, there is a preview window showing a terminal-like view with the IP address "172.29.x.x:x", the protocol "SSHv2", and the credential name "tesis".

Nota. Dirección IP asociada a la dirección MAC del Raspberry. Elaboración propia (2026).

- **Paso 2: Configuración y prueba de los sensores seleccionados para monitorear la calidad del aire:** Ya configurado el servidor central, se realizó la configuración de los sensores MQ-7, MH-Z19C y PMS5003 que fueron seleccionados para este sistema propuesto a continuación se muestro el correcto funcionamiento enviando datos.

Figura 25

Prueba de envío de datos

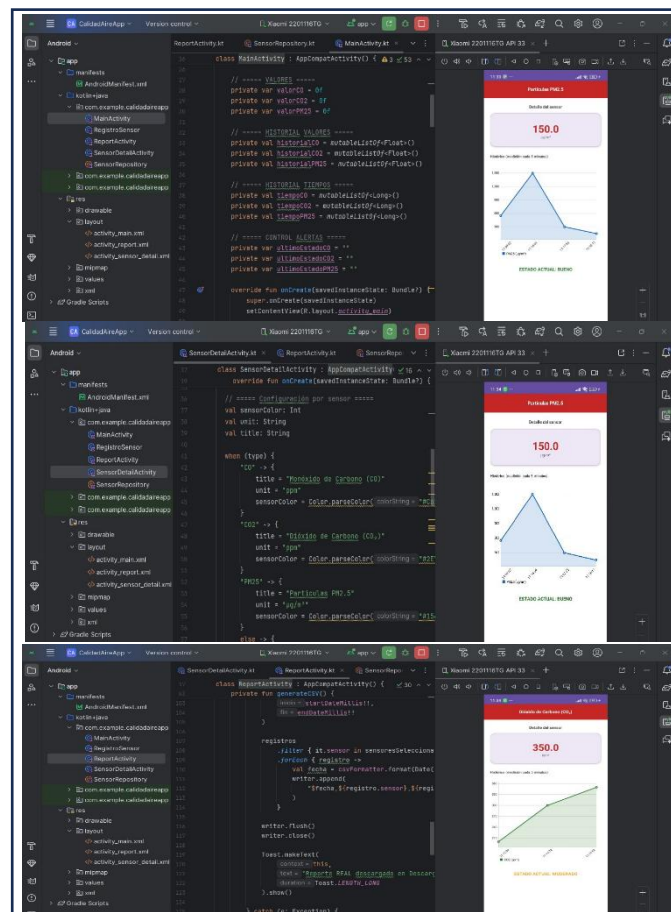
```
lora@usuario:~$ python3 produ.py
/home/lora/produ.py:42: DeprecationWarning: Callback API version 1 is deprecated, update to latest version
  self.client = MQTTClient(client_id=CLIENT_ID)
2026-02-05 13:08:02,775 - INFO - Datos Generados (Hora 13:00):
2026-02-05 13:08:02,775 - INFO - CO: 8.22 ppm | CO2: 739.0 ppm | PM2.5: 18.33 µg/m³
2026-02-05 13:08:02,789 - INFO - Conectado al broker MQTT: 10.150.253.2
2026-02-05 13:11:02,775 - INFO - Datos Generados (Hora 13:00):
2026-02-05 13:11:02,775 - INFO - CO: 7.5 ppm | CO2: 660.0 ppm | PM2.5: 20.84 µg/m³
2026-02-05 13:11:02,775 - INFO - Publicado en iot_ulearn/uleam
```

Nota. Evidencia el funcionamiento, mostrando la generación de datos. Elaboración propia).

- **Paso 3: Funcionalidad de la aplicación móvil:** Para esta aplicación se utilizó Android Studio la cual se evidencia en las siguientes figuras.

Figura 26

Verificación de la aplicación móvil mediante la revisión del código fuente



Nota. Aquí se muestra los códigos fuentes y pantallas de monitoreo. Elaboración propia (2026).

4.4.4 Fase IV: Prueba, Validación y Retroalimentación

En esta fase se realizaron pruebas funcionales del sistema IoT en un contexto real, en particular en los parqueaderos cerrados y semicerrados de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Los sensores, la transmisión de datos, el almacenamiento de información y la creación de alertas automáticas funcionaron correctamente según las evaluaciones.

Finalmente, se realizó un análisis general del sistema para detectar potenciales mejoras y confirmar que el sistema satisface los requerimientos establecidos.

CAPÍTULO V

CAPITULO V

5 EVALUACIÓN Y RESULTADOS

5.1 Introducción

Es En este capítulo se presenta la evaluación del sistema IoT desarrollado para el monitoreo en tiempo real de la calidad del aire en los parqueaderos cerrados y semicerrados de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Se analizan los resultados obtenidos a partir del funcionamiento del sistema, considerando el comportamiento de las variables monitoreadas (CO, CO₂ y PM_{2.5}), el desempeño del sistema de comunicación y la visualización de la información a través del panel web y la aplicación móvil.

Asimismo, se realiza una valoración objetiva de los datos recolectados con el propósito de verificar el cumplimiento de los objetivos específicos planteados en la investigación. Los resultados presentados permiten evidenciar la efectividad del sistema implementado y sirven como base para la elaboración de las conclusiones y recomendaciones expuestas en el capítulo siguiente, además de aportar insumos para futuras mejoras o ampliaciones del sistema.

5.2 Presentación y monitoreo de resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos durante la implementación y funcionamiento del sistema IoT para el monitoreo de la calidad del aire en los parqueaderos cerrados y semicerrados. Los resultados se organizan de acuerdo con los objetivos específicos planteados en la investigación, con el propósito de evaluar el nivel de cumplimiento de cada uno y analizar el desempeño general del sistema.

5.2.1 Resultados según los objetivos planteados

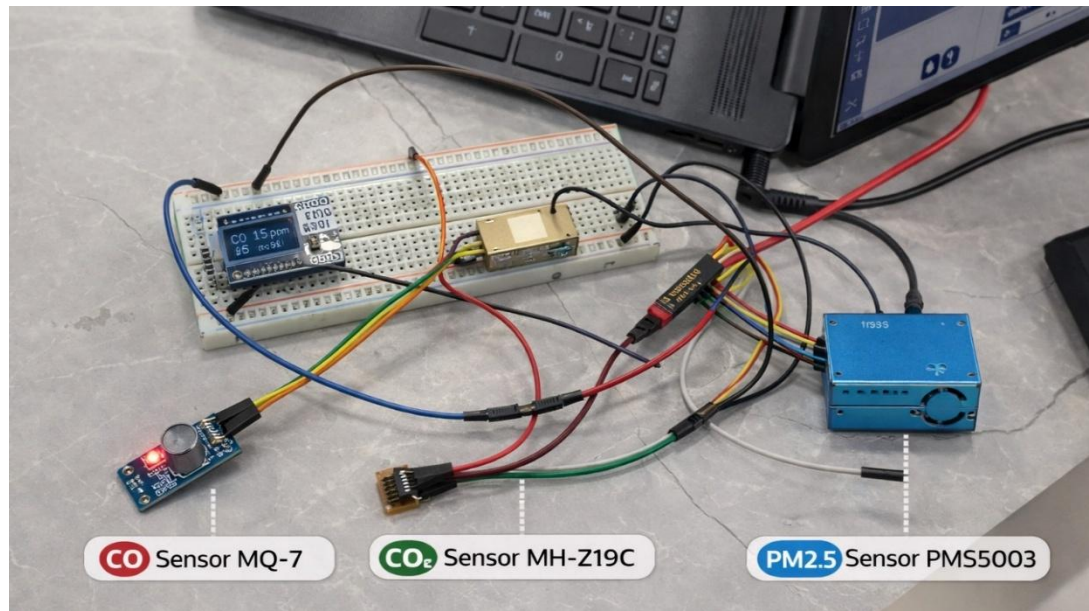
A continuación, se presentan los resultados obtenidos en función de los objetivos específicos planteados para esta investigación, en el contexto del desarrollo de un sistema Iot para el monitoreo y alerta de calidad del aire en parqueaderos cerrados y semi-cerrados.

Objetivo Específico 1: Diagnosticar los requerimientos técnicos y normativos para el monitoreo de calidad del aire en los parqueaderos, seleccionando los sensores específicos y hardware de soporte adecuado con la mejor relación costo - beneficio.

- **Resultado:** Se identificaron los contaminantes más importantes que se encuentran en los estacionamientos seleccionados gracias al análisis técnico realizado; así, se optó por utilizar sensores específicos para medir CO₂, CO y PM2.5. Del mismo modo, se seleccionaron dispositivos de comunicación y procesamiento apropiados para la integración del sistema IoT, considerando aspectos como el costo reducido, la disponibilidad y la sencillez para implementar.
- **Evaluación:** Los análisis efectuados la elección de sensores y equipos adecuados para el monitoreo de la calidad del aire que cumplan con el objetivo planteado. La selección de dispositivos económicos y fácil integración favorece la escalabilidad del sistema en contexto similares.

Figura 27

Sensores conectados para el sistema IoT.



Nota. Sensores conectados (MQ-7, MH-Z19C, PMS5003) en sesión de prueba del sistema IoT.
Elaboración propia (2026).

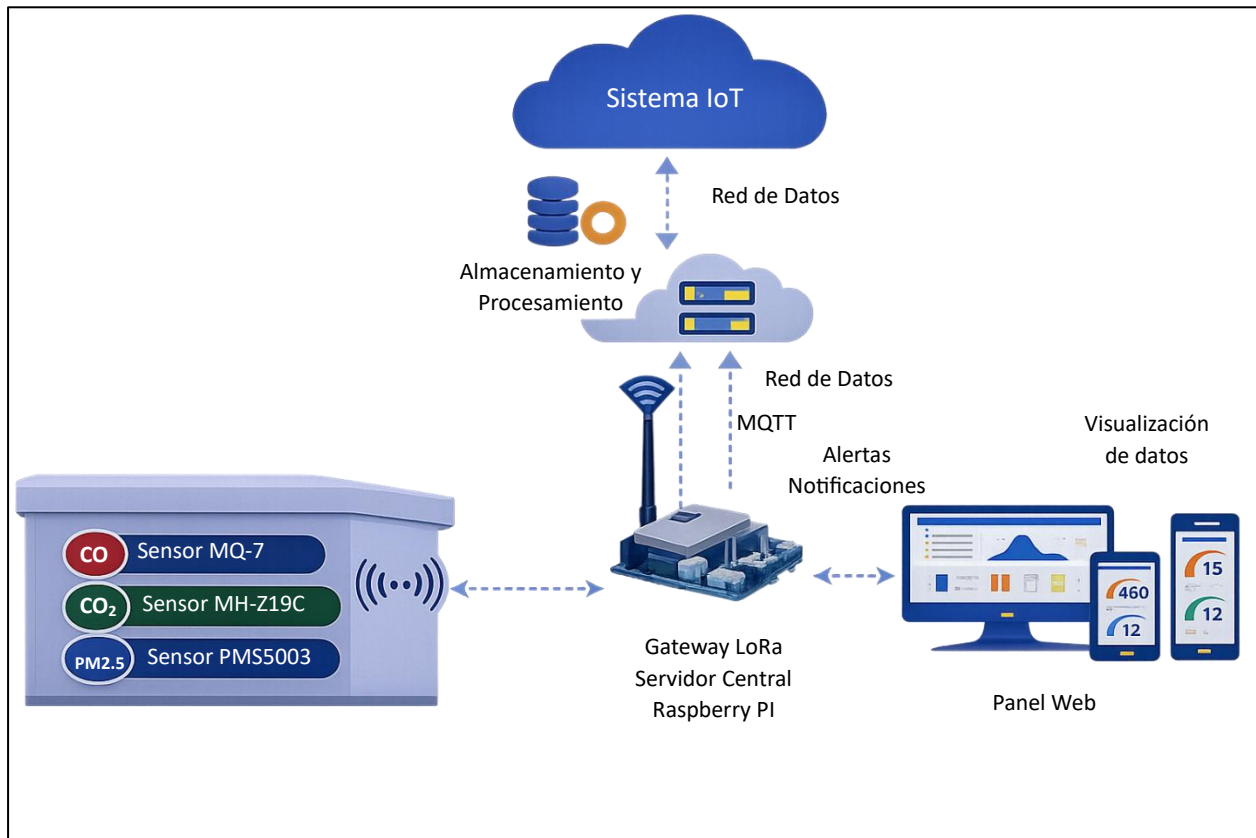
Objetivo Específico 2: Diseñar la arquitectura del sistema, integrando el hardware para la captura, procesamiento y transmisión de datos.

- **Resultado:** Se diseñó una arquitectura IoT organizada en cuatro niveles de capas: capa de sensórica, capa de conectividad, capa de análisis/procesado y capa de aplicación. Este diseño de la arquitectura facilitó integrar los dispositivos de medición con los mecanismos de transmisión de datos mediante tecnología LoRa y el protocolo MQTT, asegurando una comunicación eficaz entre los elementos del sistema.
- **Evaluación:** La arquitectura propuesta mostró ser operativa y alineada con los objetivos del sistema, facilitando la comunicación entre los dispositivos y la gestión eficiente de la información recolectada. Su diseño modular permite futuras ampliaciones del sistema.

Arquitectura del sistema IoT para monitoreo de la calidad del aire

Figura 28

Diseño de la arquitectura del sistema



Nota. Diagrama de arquitectura IoT propuesto. Elaboración propia (2026).

Objetivo Específico 3: Implementar una base de datos para el almacenamiento histórico de las mediciones y un panel de control para visualización de los datos en tiempo real y la configuración de alertas.

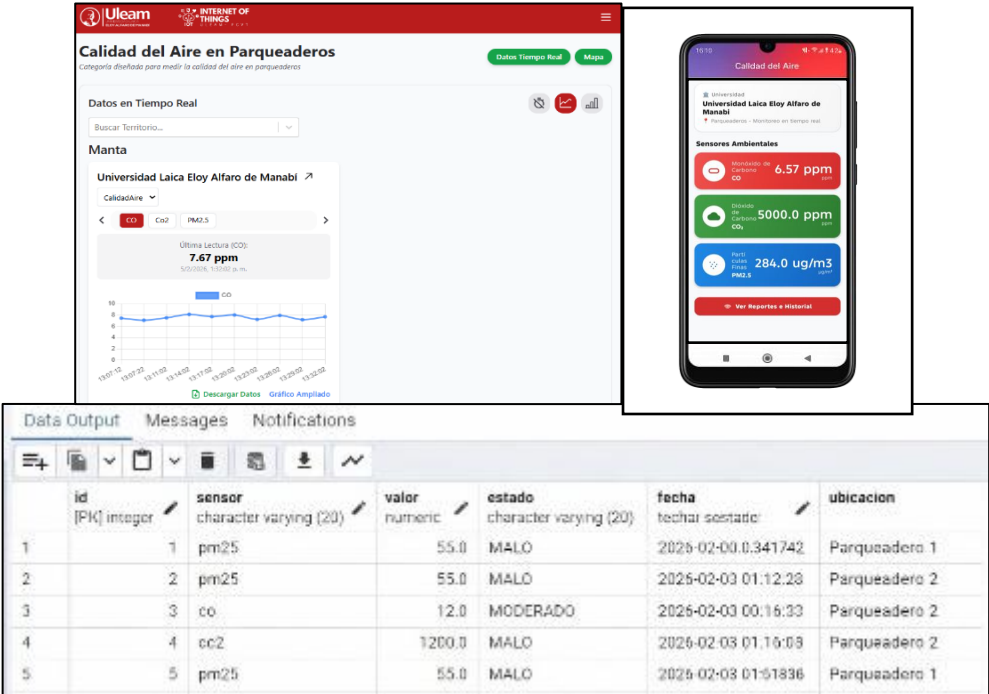
- **Resultado:** Se creó una base de datos para almacenar las lecturas del sistema IoT a largo plazo, incluyendo información sobre dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y partículas finas (PM2.5). La representación de los datos se lleva a cabo a través de un panel web ya existente, se ha determinado como parte del espacio laboral del proyecto, el cual ofrece la posibilidad de verificar las concentraciones de los contaminantes en tiempo real a través de gráficos interactivos. Además, se creó una aplicación móvil exclusiva, que

posibilita la consulta de datos y la recepción de notificaciones automáticas cuando los valores sobrepasan los límites fijados.

- Evaluación:** La base de datos y del panel de visualización alcanzaron el objetivo propuesto de manera efectiva, dado que el sistema pudo recopilar y organizar las mediciones de CO, CO₂ y PM2. 5, asegurando que la información estuviera disponible para futuras consultas. De igual manera, el panel web y la aplicación móvil facilitaron el acceso a los datos en tiempo real, lo que permitió un monitoreo constante de la calidad del aire. La combinación de estas herramientas resultó ser eficaz y práctica, mejorando la comprensión de la información y ayudando en la toma de decisiones preventivas ante posibles riesgos para la salud.

Figura 29

Plataforma de visualización y almacenamiento del sistema IoT



Nota. Panel web y aplicación móvil para la visualización de datos en tiempo real. Elaboración propia (2026).

Objetivo Específico 4: Evaluar el sistema implementado en un entorno real (un parqueadero cerrado o semi-cerrado), analizando su precisión y efectividad del sistema de alertas.

- **Resultado:** El sistema IoT fue evaluado en un entorno real, correspondiente a un parqueadero cerrado y uno semicerrado, donde se registraron variaciones en los niveles de calidad del aire según las condiciones de ventilación y el flujo vehicular. Durante la evaluación se identificaron incrementos en las concentraciones de contaminantes, lo que permitió activar el sistema de alertas de manera automática.
- **Evaluación:** Los resultados obtenidos evidencian que el sistema es capaz de monitorear la calidad del aire de manera precisa y confiable. La generación de alertas automáticas demuestra la efectividad del sistema como herramienta preventiva para la protección de la salud de los usuarios.

Figura 30

Prueba de la implementación



Nota. Evidencia del funcionamiento en parqueadero seleccionado. Elaboración propia (2026).

5.3 Interpretación objetiva

La interpretación de los resultados alcanzados permite que el sistema IoT creado logra los objetivos establecidos en la investigación, ya que permite el seguimiento continuo y en tiempo real de la calidad del aire en los parqueaderos. Las mediciones realizadas evidencian los niveles de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y material particulado fino (PM_{2.5}), afectadas por la ventilación y el tráfico de vehículos en cada lugar examinado.

Los datos que se han recolectado señalan que los espacios cerrados tienden a tener más niveles altos de contaminantes en comparación con los espacios semicerrados, lo cual apoya la necesidad de establecer sistemas de vigilancia continua en estas zonas. El enfoque preventivo del sistema se vio fortalecido gracias a la transmisión, almacenaje y visualización adecuadas de los datos, lo que posibilitó que situaciones con potencial peligro fueran identificadas rápidamente.

CAPÍTULO VI

CAPITULO VI

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Se establecieron de los requerimientos técnicos y normativos permitió identificar las condiciones necesarias para el monitoreo de la calidad del aire en parqueaderos, así como seleccionar sensores y componentes de hardware adecuados que garanticen la correcta relación costo–beneficio y viabilidad técnica del sistema.
- Se analizó la arquitectura del sistema IoT integró de manera efectiva los elementos de captura, procesamiento y transmisión de datos, asegurando la comunicación confiable entre los sensores y el sistema central para un monitoreo continuo en tiempo real.
- Se determinó la estructura de la base de datos para el almacenamiento de historial y de un panel de control facilitó la visualización de las mediciones, la gestión de la información y la configuración de alertas cuando se superaban determinados umbrales.
- Se examinó del prototipo en un entorno real mostró que el sistema proporciona un rendimiento suficiente con mediciones consistentes y una respuesta oportuna del sistema de alertas, demostrando su efectividad en el monitoreo de la calidad del aire en parqueaderos cerrados y semicerrados.

6.2 Recomendaciones

A continuación, se ofrecen varias sugerencias fundamentadas en los descubrimientos de la investigación y en los resultados conseguidos mientras se ponía a prueba el sistema IoT.

Creado para monitorear la calidad del aire en parqueaderos cerrados y semicerrados.

Optimización del Uso Energético:

- Aunque el sistema IoT demostró ser confiable en las evaluaciones, se aconseja considerar opciones de eficiencia energética para el futuro, como la utilización de fuentes de energías renovables (como los paneles solares) o sistemas que consumen poca energía. Esto contribuiría a disminuir los gastos operativos y a mejorar la autonomía del sistema, en particular en instalaciones de monitoreo constante.

Ampliación del Sistema de Sensores:

- Para conseguir una valoración más completa de la calidad del aire, se recomienda añadir sensores adicionales que midan contaminantes del aire. Esta expansión facilitaría obtener un diagnóstico más completo de la calidad de aire presentes en los parqueaderos.

Mejoras en la Interfaz de Usuario:

- Se propone, que el sistema de alertas se mejore en implementaciones posteriores, añadiendo notificaciones automáticas a teléfonos móviles, correos electrónicos o SMS.
- para garantizar una respuesta más rápida ante niveles de contaminación críticos.

Mantenimiento y Calibración de Sensores:

- Se recomienda crear un plan para mantenimiento y calibración de los sensores, con el propósito de asegurar la precisión de las mediciones y extender la vida útil de la durabilidad de los dispositivos instalados.

BIBLIOGRAFÍA

- AG Electrónica. (10 de Agosto de 2021). *MH-Z19C: SENSOR DE CO2 DC 5V*. Obtenido de AG Electrónica: <https://agelectronica.lat/pdfs/textos/M/MH-Z19C.PDF>
- AlfaIoT. (17 de Noviembre de 2022). *LoRaWAN, el protocolo de red ideal para el Internet de las Cosas*. Obtenido de AlfaIoT: <https://alfaiot.com/iot/lorawan-el-protocolo-de-red-ideal-para-el-internet-de-las-cosas/>
- Alvear-Puertas, V. E., Burbano-Prado, Y. A., Rosero-Montalvo, P. D., Tözün, P., Marcillo, F., & Hernandez, W. (16 de Septiembre de 2022). Smart and portable Air-Quality Monitoring IoT Low-Cost devices in Ibarra City, Ecuador. *Sensors*, 7015. doi:<https://doi.org/10.3390/s22187015>
- Barros, N., Sobral, P., Moreira, R. S., Vargas, J., Fonseca, A., Abreu, I., & Guerreiro, M. S. (2023). SchoolAIR: A Citizen Science IoT Framework Using Low-Cost Sensing for Indoor Air Quality Management. *Sensors*, 148. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/s24010148>
- Bhandari, P. (12 de Junio de 2020). *Quantitative research: Definition, methods, types and examples*. Obtenido de Scribbr: <https://www.scribbr.com/methodology/quantitative-research/>
- CampusComponent. (27 de Diciembre de 2024). *What is Raspberry Pi – models, benefits and common uses*. Obtenido de CampusComponent: <https://www.campuscomponent.com/blogs/post/what-is-raspberry-pi-and-for-what-it-is-used-for>
- Datos IoT. (s.f.). *Dashboard visualization*. Obtenido de Datos IoT: <https://datosiot.com/dashboard-visualization/>
- Duoc U. (23 de Septiembre de 2023). *Definición y propósito de la investigación aplicada*. Obtenido de Duoc UC: <https://bibliotecas.duoc.cl/investigacion-aplicada/definicion-proposito-investigacion-aplicada>
- FIT Instituto de Tecnologia. (13 de Febrero de 2025). *Protocolo MQTT: Um Pilar da Comunicação em IoT*. Obtenido de FIT Instituto de Tecnologia:

<https://medium.com/somosfit/protocolo-mqtt-um-pilar-da-comunica%C3%A7%C3%A3o-em-iot-0d81faa81c36>

FLIX. (14 de Mayo de 2025). *Sistemas de monitoreo en tiempo real*. Obtenido de FLIX: <https://sensorvital.com/monitoreo-en-tiempo-real-con-sensores-iot-la-innovacion-de-sensor-vital-en-instrumentacion-ambiental/>

Heredia, R. (1 de Noviembre de 2024). *¿Qué son los sensores IoT? Tipos, usos y ejemplos*. Obtenido de Zipit: <https://www.zipitwireless.com/blog/what-are-iot-sensors-types-uses-and-examples>

McCombes, S. (15 de 05 de 2019). *Descriptive Research | Definition, Types, Methods & Examples*. Obtenido de Scribbr: <https://www.scribbr.com/methodology/descriptive-research/>

Naylamp Mechatronics SAC. (2023). *Sensor MQ-7 gas CO Monóxido de carbono*. Obtenido de Naylamp Mechatronics: <https://naylampmechatronics.com/sensores-gas/74-sensor-mq-7-gas-monoxido-de-carbono-co.html>

Pérez García, W. M. (20 de Julio de 2024). *Sistema de monitoreo de polución de aire en los predios de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo*. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Obtenido de arXiv: <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/e7fb7faa-4f91-486f-bfa4-0bfce0485e17>

Plua Torres, M. A., & Rodríguez Cruz, N. N. (Septiembre de 2022). *Desarrollo de un prototipo IoT móvil para la monitorización de la calidad del aire con temperatura ambiental y humedad relativa*. Obtenido de Repositorio Universidad de Guayaquil: <https://repositorio.ug.edu.ec/items/0f694b70-833e-47e9-86f9-3ec7b39f648a>

Prana Air. (5 de Julio de 2025). *¿Cómo nos afecta la calidad del aire en los estacionamientos y cómo puede ayudar Prana Air?* Obtenido de Prana Air: https://www.pranaair.com/blog/es/parking-lot-air-quality/#%C2%BFPor_que_es_importante_monitorear_la_calidad_del_aire_en_los_estacionamientos

- Prokosch, T. (17 de Junio de 2025). *Guía del protocolo MQTT: Todo lo que necesitas saber*.
Obtenido de Cedalo: <https://cedalo.com/blog/complete-mqtt-protocol-guide/>
- Red Hat. (20 de Enero de 2023). *¿Qué es el Internet de las Cosas (IoT)?* Obtenido de Red Hat:
<https://www.redhat.com/es/topics/internet-of-things/what-is-iot>
- Santoso, D. H., Santosa, S. J., & Sekaranom, A. B. (2025). Low-Cost sensor based on internet of things for PM2,5 air quality monitoring. *Indonesian Journal of Geography*. Obtenido de <https://doi.org/10.22146/ijg.104159>
- Tipán Alcívar, J. C., Párraga Álava, J., & Herrera Tapia, J. (2022). Monitoreo de Niveles de Polución del Aire con Tecnología de transmisión de Largo Alcance. *RISTI*.
- Toscano Aguirre, J. A. (Febrero de 2024). *Implementación de prototipos de monitoreo remoto basados en ESP32 y página web : implementación de un prototipo de un sistema de monitoreo ambiental de temperatura, humedad, presión y calidad del aire, basado en ESP32 y página web*. Obtenido de Repositorio Digital Institucional de la Escuela Politécnica Nacional: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25599>
- Vardomatski, S. (9 de Septiembre de 2025). *La historia del IoT: una cronología completa de los principales acontecimientos (infografía)*. Obtenido de HQ Software : <https://hqsoftwarelab.com/blog/the-history-of-iot-a-comprehensive-timeline-of-major-events-infographic/>

ANEXOS

Figura 31

Formulario de encuesta aplicada a la población universitaria - Parte I

Preguntas Respuestas 410 Configuración



DESARROLLO DE UN SISTEMA IOT PARA EL MONITOREO Y ALERTA DE CALIDAD DEL AIRE EN PARQUEADEROS CERRADOS Y SEMI-CERRADOS.

Descripción del formulario

Reciba un cordial saludo.

Esta encuesta busca conocer la percepción y aceptación del uso de tecnologías IoT (Internet de las Cosas) aplicadas al monitoreo y alerta de gases contaminantes en parqueaderos cerrados y semi-cerrados.

Los datos recolectados serán confidenciales y se emplearán únicamente con fines académicos.

Por favor, responda con sinceridad según su experiencia personal. Sus aportes serán de gran valor para el cumplimiento de los objetivos de mi proceso de titulación en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Seleccione su ocupación actual: *

☐ Estudiante

☐ Profesional (Docente ULEAM)

☐ Personal Administrativo

Seleccione la facultad a la que pertenece dentro de la institución: *

☐ Facultad de Ciencias de la Educación, Turismo, Artes y Humanidades

☐ Facultad de Ciencias Administrativas, Contables y Comercio

☐ Facultad de Ciencias Sociales, Derecho y Bienestar

☐ Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura

☐ Facultad de Ciencias de la Salud

☐ Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías

☐ Carreras Técnicas y Tecnológicas

¿Ha notado deficiencias en la ventilación o acumulación de gases en los parqueaderos cerrados o semi-cerrados? *

☐ Sí

☐ No

¿Considera que la acumulación de gases en los parqueaderos cerrados o semi-cerrados puede representar un riesgo para la salud de las personas? *

☐ Totalmente de acuerdo

☐ De acuerdo

☐ Ni de acuerdo ni en desacuerdo

☐ En desacuerdo

☐ Totalmente en desacuerdo

¿Considera necesario implementar un sistema tecnológico que permita detectar y alertar sobre la presencia de gases contaminantes en parqueaderos cerrados y semi-cerrados? *

☐ Muy necesario

☐ Necesario

☐ Poco necesario

☐ Nada necesario

¿Qué tan familiarizado(a) está con el uso de tecnologías IoT (Internet de las Cosas), las cuales permiten conectar dispositivos o sensores para recopilar y transmitir información de forma automática? *

☐ Muy familiarizado

☐ Medianamente familiarizado

☐ Poco familiarizado

☐ Nada familiarizado

Nota. Formulario de encuesta sobre el sistema IoT de monitoreo de la calidad del aire, Anexo 1.

Elaboración propia (2026).

Figura 32

Formulario de encuesta aplicada a la población universitaria - Parte 2

¿Confía en que un sistema IoT puede monitorear la calidad del aire y emitir alertas en tiempo real ante condiciones peligrosas? *

- ☐ Mucha confianza
- ☐ Confianza moderada
- ☐ Poca confianza
- ☐ Ninguna confianza

¿Qué tan importante considera recibir alertas automáticas en tiempo real ante la presencia de gases peligrosos o niveles elevados de contaminación dentro del parqueadero? *

- ☐ Muy importante
- ☐ Moderadamente importante
- ☐ Poco importante
- ☐ Nada importante

¿Qué tan útil considera contar con una aplicación o panel digital que muestre en tiempo real los niveles de calidad del aire en los parqueaderos cerrados y semi-cerrados? *

- ☐ Muy útil
- ☐ Útil
- ☐ Poco útil
- ☐ Nada útil

¿Cree que la instalación de sensores en puntos estratégicos podría mejorar la seguridad y reducir el riesgo de intoxicaciones en los parqueaderos cerrados o semi-cerrados? *

- ☐ Totalmente de acuerdo
- ☐ De acuerdo
- ☐ Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- ☐ En desacuerdo
- ☐ Totalmente en desacuerdo

¿Qué tan innovador considera el desarrollo de un sistema IoT para el monitoreo y alerta de calidad del aire en los parqueaderos cerrados y semi-cerrados de la universidad? *

- ☐ Muy innovador
- ☐ Innovador
- ☐ Poco innovador
- ☐ Nada innovador

¿Considera que la implementación de este sistema contribuiría a la seguridad y bienestar de las personas que utilizan los parqueaderos cerrados y semi-cerrados? *

- ☐ Totalmente de acuerdo
- ☐ De acuerdo
- ☐ Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- ☐ En desacuerdo
- ☐ Totalmente en desacuerdo

Nota. Formulario de encuesta sobre el sistema IoT de monitoreo de la calidad del aire, Anexo 2.

Elaboración propia (2026).

Figura 33

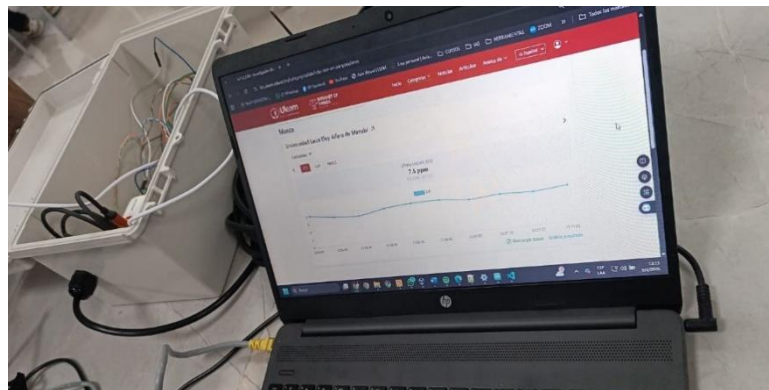
Proceso de instalación de la antena y Gateway LoRa.



Nota. Ubicación del sistema de comunicación inalámbrica LoRa instalado en la terraza de la Facultad, para mejorar la difusión y cobertura de datos que vienen de los sensores situados en el parqueo. Elaboración propia (2026).

Figura 34

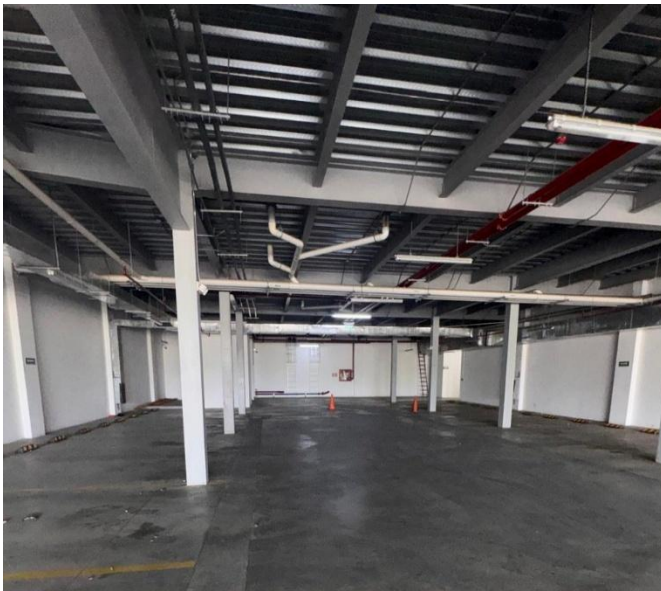
Prueba de visualización de datos en la plataforma web IoT



Nota. Se observa la prueba de visualización de los datos obtenidos en configuración de pruebas. Elaboración propia (2026).

Figura 35

Lugares seleccionados para prueba del sistema

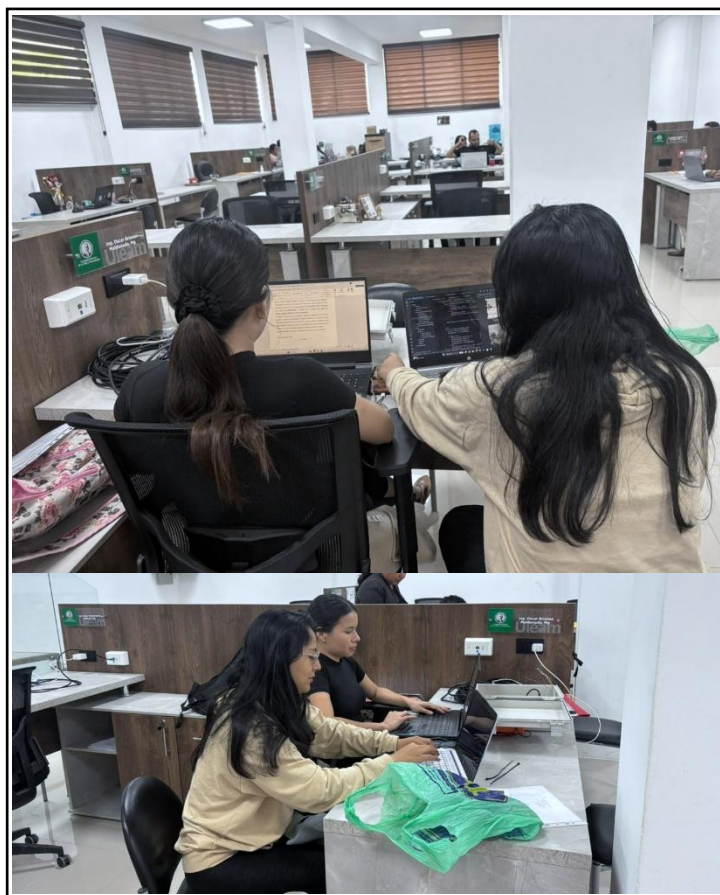


Nota. Ubicaciones seleccionadas dentro de la universidad para hacer pruebas del sistema IoT.

Elaboración propia (2026).

Figura 36

Trabajo colaborativo de autoras de Tesis



Nota. Pruebas del trabajo colaborativo de autoras en documentación y desarrollo de la aplicación móvil.

Elaboración propia (2026).

GLOSARIO

Internet de las Cosas (IoT): Se trata de una red de elementos físicos que incluyen sensores, software y tecnologías para enlazarse y compartir información mediante internet.

Calidad del aire: La calidad del aire hace referencia la condición o pureza del aire que inhalamos y está influenciada por la cantidad de sustancias contaminantes que hay.

Parqueaderos cerrados y semicerrados:

CO (Monóxido de carbono): Gas contaminante producido por la combustión incompleta de combustible.

CO₂ (Dióxido de carbono): Gas generado por proceso de combustión y respiración humana.

PM_{2.5} (Material particulado fino): Partículas suspendidas en el aire capaz de penetrar en los pulmones.

LoRa (Long Range): Es una tecnología inalámbrica que consume poca energía y tiene un extenso alcance diseñada para la Internet de las Cosas (IoT), permitiendo transmitir pequeños paquetes de datos a kilómetros de distancia

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport): Es un protocolo de mensajería que se fundamenta en estándares, o un conjunto de reglas, que facilita la conexión entre diferentes dispositivos.

Base de datos SQL: Una base de datos SQL consiste en un conjunto de información organizada en forma de tablas que incluyen filas y columnas.

Dashboard: Es una interfaz de usuario que organiza y muestra datos de manera accesible, frecuentemente en tiempo real.

Alerta temprana: Es un recurso para organizar la alerta a la población y para la intervención, ante la amenaza ciclónica

Umbrales: Cada umbral se representa como un porcentaje del rango del indicador (valor máximo menos valor mínimo).