



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN

TEMA:

**SISTEMA DE BAJO COSTO PARA EL MONITOREO Y RECOLECCIÓN DE
DATOS DE LA POLUCIÓN DEL AIRE.**

AUTOR:

SÁNCHEZ CASTRO, JORGE STALIN

Trabajo de integración curricular previo a la obtención del título

de

INGENIERO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

TUTOR:

Ing. FREIRE COBO LENÍN EDUARDO, MGS.

Guayaquil, Ecuador

2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Jorge Stalin Sánchez Castro**, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero en Computación.

TUTOR

f. _____
Ing. Freire Cobo, Lenin Eduardo, Mgs.

Guayaquil, a los 16 días del mes de septiembre del año 2021



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Jorge Stalin Sánchez Castro

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, “**SISTEMA DE BAJO COSTO PARA EL MONITOREO Y RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA POLUCIÓN DEL AIRE**” previo a la obtención del título de Ingeniero en Computación, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 16 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

f. _____
Sánchez Castro, Jorge Stalin



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE COMPUTACIÓN

AUTORIZACIÓN

Yo, **Jorge Stalin Sánchez Castro**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular, “**SISTEMA DE BAJO COSTO PARA EL MONITOREO Y RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA POLUCIÓN DEL AIRE**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 16 días del mes de septiembre del 2021

EL AUTOR:

f. _____
Sánchez Castro, Jorge Stalin

AGRADECIMIENTO

Innumerables son las gratitudes que debo mencionar, de modo que me permitiré deshacerme en encomios y trataré de no soslayar a ninguna pieza de este enorme rompecabezas que culmina su armado con el presente trabajo.

Agradezco profundamente el apoyo inconmensurable e incondicional de mis padres. Cada logro no podría ser posible sin la respuesta inmediata que brindaron a cada una de mis necesidades.

A mis hermanas: por la unívoca certeza de su existencia.

A mis abuelos, que desde los albores de mi memoria nunca no han estado lejos de mí. Que Firpo, que abuelo, que abuelito, que allá -como en el Pedro Páramo dicta- donde “Hay aire y sol, hay nubes. Allá arriba un cielo azul y detrás de él tal vez haya canciones; tal vez mejores voces... Hay esperanza, en suma. Hay esperanza para nosotros, contra nuestro pesar”. A *La Tita*, abuela eterna, que aun cuando reescribo esto estás y nunca dejaste de estar desde una primaria, hasta una facultad, con esa lucha sin cuartel respaldándome desde todos los frentes.

A mis dos tías y mis tres primas, que hacen de nosotros once nuestro hogar, y que, a pesar del mundo en el período en el que desarrollo esto está empeñado cada día en tornarse a gris, resignificamos la palabra familia.

Así mismo, los amigos son ese *auto* imperativo de familia:

Kathe, debería armar una carta entera y usar todos los adjetivos que describan con certeza la gran persona que eres. Pero trataré de limitar mi exigua prosa a esta etapa universitaria. Gracias por abrirme las puertas de tu hogar en los días que empezaban a las 5.00am para intentar llegar puntual a la clase de las 7.00am y que, con obstinación se

alargaban y se negaban a morir hasta cuando ya era muy difícil volver. Gracias por tener el dote de la conversación y ser apoyo emocional y una fuente inagotable de debate.

Iván y Manuel, les agradezco por ayudarme tanto-tanto y de muchísimas maneras. ¡Gracias por ser de gran inspiración dentro de este campo, son sumamente brillantes! Gracias por tantos almuerzos compartidos cuando la crueldad del hambre tocaba mi puerta.

Nath e Isaac. Tengo la certeza de que sin ustedes no podría haber soportado la existencia en mi primer año. Gracias a nuestras charlas y compañía mutua. A los proyectos que ideamos juntos y a todos los libros que nos unieron.

Gracias John, Carlos, Luis, Juan y a los demás compañeros que sin interés alguno estuvieron allí en aquellas fatalidades cotidianas que me acontecían.

Y vos Paula, que supiste ser un sol en la inclemencia de la realidad durante los meses en que desarrollé este trabajo. Gracias por hacerme el aguante desde Buenos Aires.

Gracias, porque en algún momento hice piso y todos estuvieron. Gracias, porque de acá en más, el cielo.

Talo.

DEDICATORIA

A Nataly y Solange, por supuesto.

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS.....	XI
INDICE DE TABLAS	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.....	4
1.2. Pregunta de investigación	5
1.3. Objetivos	5
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	6
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	6
1.4. Justificación e importancia.....	6
1.5. Alcance del problema.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL Y LEGAL.....	8
2.1. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1.1. <i>Exposoma</i>	8
2.1.2. <i>Polución del aire y partículas contaminantes</i>	8
2.1.3. <i>Fuentes de emisión del material particulado.</i>	14
2.1.4. <i>Impactos en la salud.</i>	16
2.1.5. <i>Impactos en el medio ambiente.</i>	17
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	18
2.2.1. <i>Raspberry Pi 3B +.</i>	18
2.2.2. <i>Raspbian OS.</i>	22
2.2.3. <i>Python.</i>	23
2.2.4. <i>Sensor PM Nova SDS 011.</i>	25
2.2.5. <i>Sensor de humedad DHT-22.</i>	26

2.2.6. <i>GPS USB</i>	28
2.3. MARCO LEGAL.....	29
2.3.1. <i>Estándares y normativas mundiales</i>	29
2.3.2. <i>Estándares y normativas nacionales</i>	29
2.4. MARCO GEOGRÁFICO	30
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y RESULTADOS	31
3.1. Metodología de la investigación	31
3.2. Metodología de desarrollo.....	31
3.3 Metodología de recolección de datos	32
3.4. Análisis de resultados.....	34
CAPÍTULO IV: PROPUESTA Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN TECNOLÓGICA.....	36
4.1. Propuesta	36
4.1.1. <i>Arquitectura del Sistema</i>	37
4.1.2. <i>Justificación del bajo costo</i>	37
4.2. Desarrollo de la solución.....	38
4.2.1 <i>Análisis de requisitos</i>	38
4.2.2. <i>Diseño del sistema</i>	38
4.2.3. <i>Codificación</i>	38
4.2.4. <i>Pruebas</i>	39
4.2.5. <i>Mantenimiento</i>	39
CONCLUSIONES	40
RECOMENDACIONES	41
REFERENCIAS.....	42

INDICE DE FIGURAS

FIGURA I: PROCESO QUÍMICO DE LA FORMACIÓN DE PARTÍCULAS SECUNDARIAS.....	10
FIGURA II: COMPARACIÓN DEL TAMAÑO DE UN CABELLO HUMANO Y DE LA ARENA FINA DE PLAYA CON PARTÍCULAS PM10 Y PM2.5.....	11
FIGURA III: VENTAS EN EL TIEMPO DE LA RASPBERRY PI	19
FIGURA IV: RASPBERRY PI MODELO 3B+	19
FIGURA V: ÁREA DE RECOLECCIÓN DE DATOS EN EL CANTÓN YAGUACHI.	30
FIGURA VI: FASES DE LA METODOLOGÍA EN CASCADA	32
FIGURA VII:DISPOSITIVO EN USO SOBRE LA BICICLETA	33
FIGURA VIII: DISPOSITIVO EN USO: CAPTURA DE DATOS EN SOFTWARE	34
FIGURA IX: ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE BAJO COSTO DE LA POLUCIÓN DEL AIRE.	37

INDICE DE TABLAS

TABLA I: COMPONENTES MAYORITARIOS Y MINORITARIOS PRESENTES EN LAS PARTÍCULAS SUSPENDIDAS.....	14
TABLA II: COMPOSICIÓN COMÚN DE LAS PM10 Y PM2.5	14
TABLA III: CARACTERÍSTICAS DE LA RASPBERRY PI 3 B+	20
TABLA IV: CARACTERÍSTICAS DE LA ASUS TINKER BOARD.....	21
TABLA V: COMPARATIVA ENTRE PYTHON Y C++	24
TABLA VI: CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DE PM NOVA SDS 011	25
TABLA VII: CARACTERÍSTICAS DEL PLANTOWER PMS7003	25
TABLA VIII: CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DE HUMEDAD DHT 22.....	27
TABLA IX: CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR DHT11	27
TABLA X: TABLA DE COSTOS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS.....	37

RESUMEN

El material particulado PM2.5, está ampliamente relacionado con la mortalidad y morbilidad según se detalla en diversas publicaciones de estudios epidemiológicos. El presente trabajo de titulación realiza el desarrollo de un sistema de bajo costo para el monitoreo y recolección de datos de la polución del aire en la zona urbana de la cabecera cantonal del cantón Yaguachi, provincia del Guayas. A la vez, se realiza una pequeña visualización de los datos recolectados durante una semana, con puntos geográficos aleatorios en horas predefinidas. Los datos fueron obtenidos a través de los sensores Nova PM SDS011 y DHT22. El equipo trabajó durante una semana realizando una recolección de datos en una bicicleta en distintos puntos aleatorios del área delimitada, registrando los datos cada 5 segundos. Los resultados de la visualización de los datos arrojaron que las concentraciones de material particulado fino fueron altas en tanto la concentración de vehículos automotores aumentaba, no había árboles o se registraban calles sin asfaltar.

Palabras claves: material particulado, partículas, raspberry, pm2.5, pm10, contaminación del aire, polución

ABSTRACT

PM2.5 particulate matter is widely related to mortality and morbidity as detailed in various publications of epidemiological studies. This degree document conducts the development of a low-cost system for the monitoring and data collection of air pollution in the urban area in the downtown of the Yaguachi, Guayas. Furthermore, a small visualization of the data collected during a week is presented with random geographical points at predefined hours. The data were obtained through the Nova PM SDS011 and DHT22 sensors. The equipment worked for a week collecting data on a bicycle at different random points in the delimited area, recording them every 5 seconds. The results of the data visualization showed that the concentrations of fine particulate matter were high as the concentration of motor vehicles increased, as well as when there were no trees or unpaved streets were registered.

Keywords: particulate matter, particles, raspberry, pm2.5, pm10, air pollution, pollution

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire en la actualidad se presenta como uno de los principales problemas ambientales de las urbes en el mundo, tanto en países desarrollados, como aquellos que están en vías de desarrollo. En los primeros, debido al alto volumen de su producción industrial, una alta cantidad de vehículos automotores, entre otras causas; mientras que, en los segundos, los principales motivos suelen ser el desarrollo no planificado de las pocas industrias que hay en estos países, la mala calidad de los sistemas sanitarios, los servicios y el transporte, además del uso de métodos y tecnologías obsoletas para la producción como los casos de la minería y la extracción petrolera.

Ubicados en el contexto mundial en que se desarrolla este proyecto se halla la necesidad de crear un prototipo de sistema de monitoreo de la polución del aire de bajo costo, ya que la ciudad de Yaguachi cuenta con un sistema de monitoreo general y que este mantenga un histórico de datos para poder tomar decisiones con respecto a diversos tópicos que están intrínsecamente relacionados a este fenómeno, sobre todo, a la salud pública, ya que muchas enfermedades respiratorias están ligadas a las exposiciones de altos niveles de contaminación del aire que respiramos.

A lo largo de este texto mencionaremos “mala calidad del aire” como referencia a que en el aire se encuentran expuestas sustancias que generan efectos nocivos sobre los seres humanos, tales como las partículas PM10 y PM2.5, conocidas como, *material particulado grueso*, y *material particulado fino*, respectivamente. Que, en el caso de las PM10, pueden penetrar partes profundas de los pulmones; y en personas con asma que se encuentren a

exposición de estas, como mencionan (Balmes et al., 1987) puede desencadenar una broncoconstricción¹. Mientras que las PM2.5 tienden a penetrar los alvéolos².

De allí radican las bondades de la tecnología, que nos permite medir la calidad del aire que respiramos, con la finalidad de persistir estos datos y así poder realizar un análisis de estos y que las autoridades pertinentes puedan tomar cartas en el asunto y precautelar de mejor manera la salud de los ciudadanos. Además, es de suma importancia el asunto masivo de los datos y que estos sean abiertos, tal como mencionan (Larkin & Hystad, 2017) ya que, la explotación de estos obliga a la búsqueda de nuevos métodos de integración y modelado [...] de manera que tener datos organizados e históricos y abiertos al público será de gran ayuda para tomar conciencia de la calidad de aire que constantemente respiramos.

¹ Estrechamiento de las vías por donde pasa el aire que respiramos, lo cual bloquea el flujo de aire y dificulta la respiración.

² Región de los pulmones donde se intercambian los gases.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

En la actualidad, nos encontramos frente a la exposición de diversos aerosoles desplegados en el aire; además de la situación que acontece al mundo, como lo es la COVID-19; ya que, como menciona (Hornyak, 2020) diversas partículas suspendidas en el aire tienen alta incidencia sobre la salud del ser humano, tales como muerte prematura, ataques cardíacos, asma, e irritación de las vías respiratorias. Lo cual, podría agravar los efectos negativos sobre una persona ante un posible contagio del virus SARS-CoV-2, causante de la enfermedad COVID-19.

Para lo cual, ciudades con un alto índice de contaminación del aire, representan un mayor peligro para sus habitantes. Y al no encontrarnos con una red de sensores que permitan conocer los índices de contaminación en la localidad de Yaguachi, provincia del Guayas, hallamos el problema de suplir la necesidad de censar los niveles de contaminación del aire, enfocándose en las partículas suspendidas en el aire, como las PM10, *material particulado grueso*, y PM2.5, *material particulado fino*, en tres puntos de esta localidad en diferentes horas del día, y crear una interfaz web para poder visualizar los datos que se han recopilado, de esta manera, permitiendo el estudio y análisis de estos datos, para prevenir enfermedades de carácter respiratorio y así las entidades competentes tomen conciencia del aire que respiramos.

1.1. Planteamiento del problema

Como se ha mencionado, el *material particulado fino y grueso* que está suspendido en el aire tiene efectos nocivos sobre la salud de los seres humanos y de allí la importancia de monitorear los mismos, para tener conciencia de estos y que se tomen medidas que permitan precautelar la salud de las y los ciudadanos. Actualmente el cantón Yaguachi no cuenta -al igual que la mayoría de los cantones y provincias del Ecuador- con un sistema de monitoreo de la calidad del aire, por lo que se requiere dejar una base para futuros proyectos que permitan garantizar la medición y socialización de estos datos.

1.2. Pregunta de investigación

Dentro del presente trabajo de titulación se plantean la siguiente pregunta de investigación:

¿Puede el uso de sensores de bajo costo e implementación de estos en sistemas más complejos otorgar respuestas acerca de la calidad del aire que respiramos, brindando una aproximación al exposoma³ al que estamos sometidos y de esta forma tomar medidas preventivas efectivas?

1.3. Objetivos

Los objetivos que se detallan a continuación están acordados para contribuir al desarrollo e implementación del SISTEMA DE BAJO COSTO PARA EL MONITOREO Y RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA POLUCIÓN DEL AIRE y para sus potenciales usuarios.

³ Exposiciones ambientales a las que el ser humano está sometido desde su concepción.

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un prototipo de sistema que monitoree y almacene datos de la polución del aire.

1.3.2. Objetivos específicos

- Comprender el comportamiento de las partículas relacionadas con la contaminación del aire
- Diseñar el sistema de monitoreo de polución del aire
- Construir un prototipo del sistema de monitoreo de polución del aire
- Realizar una interfaz web que permita la consulta geográfica de las mediciones
- Realizar las mediciones a lo largo y ancho del centro de la localidad de Yaguachi

1.4. Justificación e importancia

La solución tecnológica que se plantea es realizar mediciones con un módulo de censado de material particulado suspendido, conectado a una Raspberry Pi, la cual estará tomando los datos en distintas horas del día previamente establecidas, en las llamadas *horas pico* y en horas donde el flujo vehicular y de personas es bajo, para de esta manera se puedan a futuro contrastar estos datos. Y a partir de estos datos realizar una pequeña interfaz web que permita darnos una mejor idea de qué es lo que arrojan estos datos.

La implementación de este sistema está sujeto a las líneas de investigación y desarrollo que están constituidos en la carrera de Ingeniería en Ciencias de la Computación de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.5. Alcance del problema

El desarrollo del sistema tendrá el siguiente alcance:

- Se realizará la recolección de datos en dos semanas (14 días) en la localidad de Yaguachi, provincia del Guayas, teniendo como sector geográfico 0.25km a la redonda del centro de Yaguachi, tomando como referencia la Catedral
- El módulo tendrá además de la Raspberry Pi y el PM sensor SDS 011, un sensor de humedad DHT22 para sumar a los datos de las partículas
- El módulo web tendrá un espacio para visualizar los datos recolectados durante dos semanas
- El módulo de software permitirá el almacenamiento en archivos .csv

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL Y LEGAL

Dentro de este capítulo estará recopilada toda la investigación y sustento científico relacionado al presente trabajo, así como la información detallada de las herramientas tecnológicas usadas para el desarrollo y solución del problema que se planteó en el capítulo anterior.

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Exposoma

Es un término acuñado recientemente que, según recoge (Vicente-Herrero et al., 2016), agrupa todas las exposiciones ambientales a las que el ser humano está sometido desde la concepción en adelante. El cual, como se indica, se usa para dar evidencia de los factores de riesgos y enfermedades que están presentes, y son generadas por el medio ambiente.

Ante todo, existen varios expertos coinciden en que el concepto del exposoma es todo un desafío en diversos aspectos, sobre todo estadísticos, ya que los métodos que existen no pueden discernir de forma clara entre las exposiciones que afectan directamente a la salud y las exposiciones que están correlacionadas, así como la identificación de algún efecto sinérgico⁴ entre las diversas exposiciones. Pero plantean que, desde una visión de salud pública, una mejor comprensión de estos riesgos, sean una puerta de entrada para plantear nuevas y mejores estrategias que tengan como propósito la prevención efectiva de muchas enfermedades, y en el peor de los casos, la muerte. (Siroux et al., 2016)

2.1.2. Polución del aire y partículas contaminantes

Diversas son las razones por las que el aire está contaminado. Estudios realizados por el Ministerio del Ambiente de Ecuador en 2014, concluyen que los mayores contaminantes

⁴ Trabajo en conjunto sobre nuestra salud de las diferentes exposiciones a las que nos enfrentamos.

son los carros, buses y cualquier vehículo a motor que use para su funcionamiento gasolina o diésel. Siendo de esta manera, las más afectadas por estos contaminantes, aquellas personas que residen en centros urbanos que, a mayor número de vehículos y tráfico, mayor es la contaminación, sobre todo dentro de zonas comerciales, el centro de la ciudad o zonas aledañas a los terminales de buses (Ministerio del Ambiente, 2014)

El estudio del Ministerio del Ambiente está basado sobre los siguientes contaminantes primarios que se listan a continuación:

- monóxido de carbono (CO)
- óxidos de nitrógeno (NOx)
- compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVNM)
- dióxido de azufre (SO₂)
- material particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 micras (PM₁₀)
- material particulado con diámetro aerodinámico menor a 2.5 micras (PM_{2.5})

El presente trabajo hará énfasis en las partículas, en tanto “partícula” es un término que comúnmente usamos para hacer referencia a la mixtura entre partículas sólidas y líquidas que están presentes en el aire.

2.1.2.1. Clasificación de las partículas

A las partículas las podemos clasificar de muchas maneras siguiendo diferentes directrices; de tal modo que para el desarrollo de esta investigación se tomarán las dos clasificaciones más importantes: por origen y por su tamaño.

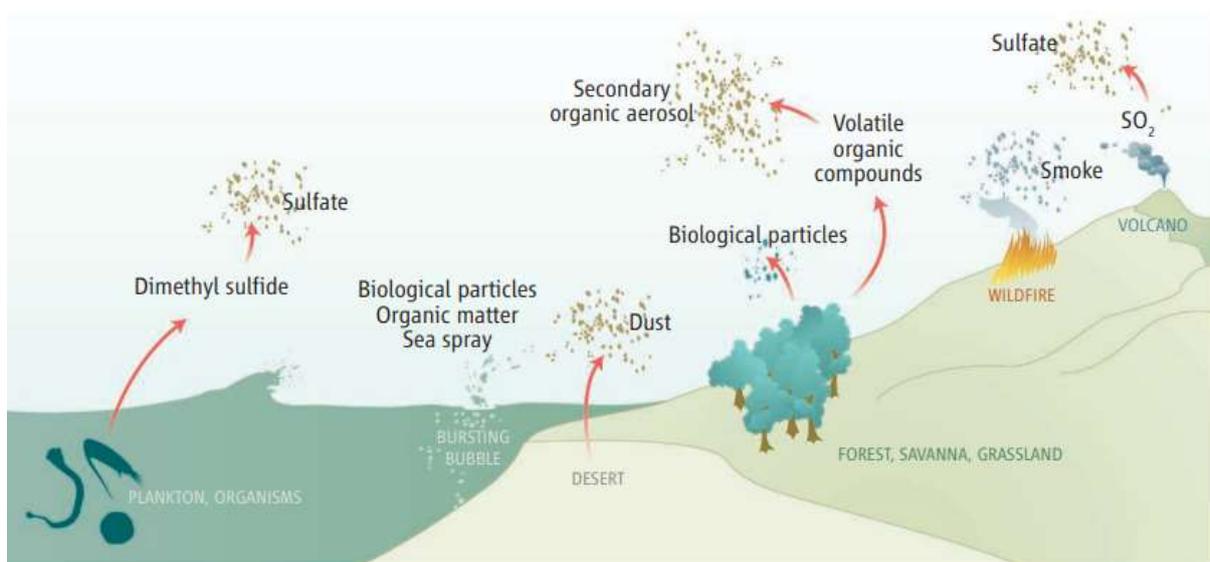
2.1.2.1.1. Partículas según su origen.

Es su clasificación más básica y distingue dos tipos, las primarias y las secundarias.

Las partículas primarias son aquellas que se están emitiendo constantemente a la atmósfera de manera directa a través de diversas fuentes, como el humo de los carros, el polvo de las calles, la quema de neumáticos, etc. Mientras que las partículas secundarias son las que se forman en la atmósfera como resultado de reacciones químicas que surgen a partir de la presencia de materiales gaseosos llamados precursores. Los principales gases precursores de las partículas son el dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos orgánicos volátiles (COV) y el amoníaco (NH₃), los cuales forman partículas de sulfatos y nitratos principalmente, así como partículas suspendidas secundarias orgánicas derivadas de la oxidación fotoquímica de los compuestos orgánicos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales & Instituto Nacional de Ecología, 2011)

Como se ilustra a continuación, se observan todos los tipos de partículas que se desprenden a la atmósfera, tanto primarias, como la formación de partículas secundarias a partir de las reacciones químicas de partículas constituidas por compuestos orgánicos.

Figura I: Proceso químico de la formación de partículas secundarias

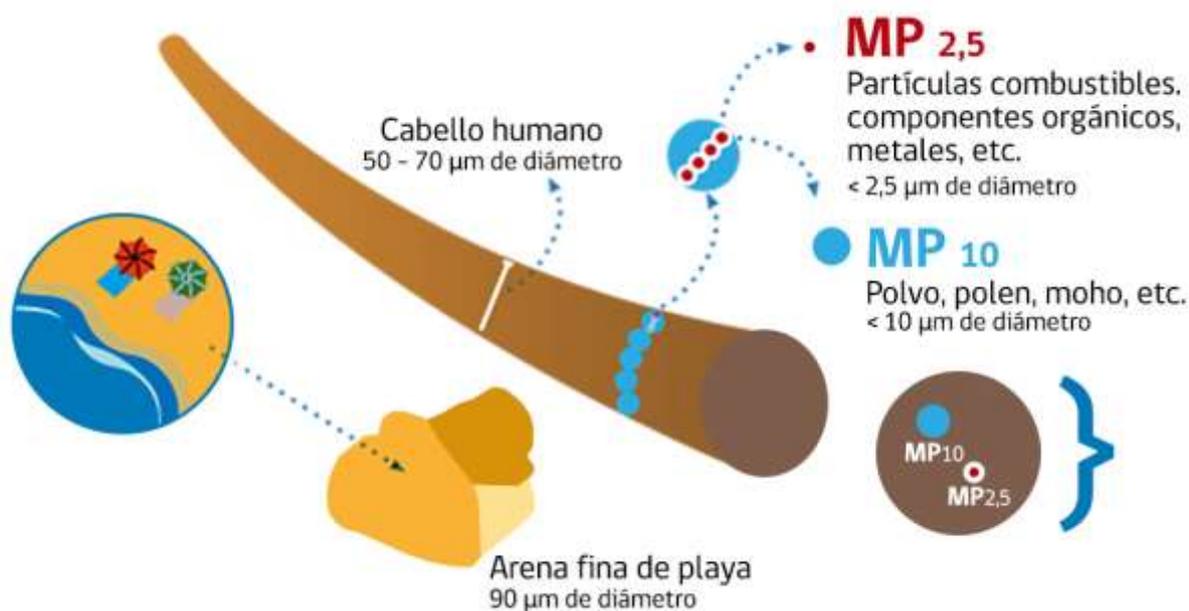


Nota. Adaptado de *Aerosols Before Pollution* (p. 51), por (Andreae, 2007), *Science*, 315 (5808).

2.1.2.1.2. Partículas según su tamaño.

Las partículas también se pueden clasificar su tamaño (ver figura 2), sin embargo, es poco factible encasillarse en una sola dimensión geométrica, para aquello, según (OMS, 2006) se usa el diámetro aerodinámico, y de esta manera este indicador es igual al diámetro de una partícula esférica de densidad unitaria que tiene la misma velocidad terminal⁵ que la partícula considerada, independiente de su forma, tamaño o densidad bajo condiciones de temperatura, presión y humedad existentes.

Figura II: Comparación del tamaño de un cabello humano y de la arena fina de playa con partículas PM10 y PM2.5



Nota. Adaptado de Aire Chile [Infografía], por (Ministerio del Medio Ambiente de Chile, s. f.), Aire Chile <http://airechile.mma.gob.cl/faq>

El concepto de tamaño de partícula se vuelve interesante entonces, porque esta característica denota que, como ya se mencionó anteriormente, a menor tamaño (menor

⁵ La velocidad constante que alcanza la partícula debido a la fuerza de arrastre ejercida por el fluido a través del cual se está moviendo.

diámetro aerodinámico), tendrá mayor capacidad de ingresar a las zonas más profundas de nuestro sistema respiratorio.

Como remarcan (Dockery et al., 1996; OMS, 2006), inicialmente el único indicador de la calidad del aire para el material particulado era el material particulado en suspensión total (en sus siglas TSP), que consistía en diámetros aerodinámicos que iban de 0,005 a 100 micrómetros (μm). Sin embargo, estudios como el de (Environment Canada & Health Canada, 1999) muestran que las partículas presentes en la atmósfera tienden a tener un tamaño menor a 40 micrómetros (μm).

Sin embargo, las múltiples investigaciones sobre los efectos de las partículas en la salud se enfocan prioritariamente en aquellas que pueden ser inhaladas por el sistema respiratorio, y en ellos se encontró evidencia que las partículas con un diámetro aerodinámico menor a 10 microgramos $< 10 \mu\text{m}$ (PM10) tienen esta característica; no obstante, en la actualidad toda la atención está enfocada en las partículas de menor grosor: las partículas finas y las ultrafinas. Siendo así, que las partículas consideradas como gruesas (ver figura 2) se encuentran en el espectro de diámetro aerodinámico entre 2.5 a 10 μm (PM2.5-10; las consideradas finas son aquellas que tienen un diámetro aerodinámico menor a 2.5 μm (PM2.5) y las consideradas ultrafinas son las que se ubican por debajo de 1 μm (PM1).

2.1.2.2. Características de las PM2.5 y PM10

El material particulado tiene características únicas entre los diversos contaminantes atmosféricos, ya que, mientras los compuestos químicos como el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO₂) y los óxidos de nitrógeno (NO_x), entre otros, están muy bien definidos, las partículas se diferencian tanto en su forma, composición química, tamaño y tiempo de permanencia en la atmósfera.

2.1.2.2.1. Forma de las partículas.

Presentan diversas formas tales como elipsoides, esferas, cubos, geometría fractales, irregulares, cubos, entre otras formas. Esto es importante según (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales & Instituto Nacional de Ecología, 2011) en tanto sirva para determinar sus propiedades ópticas que juegan un papel importante en el balance radiativo del planeta; de modo que estudios como (Chin et al., 2008) han demostrado los efectos radiativos de las partículas que se producen de dos maneras: directa, en el cual las partículas se dispersan y absorben radiación infrarroja solar y térmica, y de manera indirecta en las que las partículas modifican las propiedades de la nubosidad.

Los nitratos, sulfatos y el carbón orgánico, componentes de distintas partículas tienen la propiedad de reflejar la radiación solar y dan lugar a un efecto de enfriamiento; no obstante, otros componentes del material particulado como el hollín, absorben la radiación y contribuyen al calentamiento.

2.1.2.2.2. Composición química de las partículas.

Su composición es muy diversa y depende de muchos factores, en especial de la fuente que ha emitido la partícula. (European Commission, 2004). Porque no es lo mismo estar en una región costera, que en una industrial donde, en la primera hay partículas compuestas por cloruro de sodio, mientras en la segunda existen procesos de combustión.

De hecho, estudios afirman que las fuentes de emisión móviles que usan gasolina tienen una mezcla de carbón orgánico, carbono elemental y pequeñas trazas de metales y sulfatos. Mientras que los que usan diésel emiten partículas principalmente compuestas de carbón elemental, hidrocarburos pesados y sulfatos. De acuerdo con (U.S. EPA., 2009) el carbón elemental aporta alrededor del 70 al 80% de la masa, los hidrocarburos pesados y el aceite lubricante aportan con un 13 al 23% de la composición. Sin embargo, varían de

acuerdo con diversos parámetros de los automotores, como sus temperaturas, el tipo de combustible que consumen, etcétera.

Tabla I: Componentes mayoritarios y minoritarios presentes en las partículas suspendidas

Compuestos mayoritarios	Compuestos minoritarios
<ul style="list-style-type: none"> ● Sulfatos (SO₄) ● Nitratos (NO₃) ● Amonio (NH₄) ● Sodio y Cloro (Na y Cl) ● Carbón elemental ● Carbón orgánico ● Componentes minerales (Fe₂O₃, Ca, Si, Al) ● Agua 	<ul style="list-style-type: none"> ● Elementos traza: metales como el plomo, cadmio, mercurio, níquel, cromo, zinc y magnesio ● Compuestos orgánicos: hidrocarburos aromáticos, aldehídos, cetonas, entre otros

Nota. Adaptado de (U.S. EPA., 2009)

Tabla II: Composición común de las PM₁₀ y PM_{2.5}

Composición PM ₁₀	Composición PM _{2.5}
<ul style="list-style-type: none"> ● Hierro (Fe) ● Aluminio (Al) ● Calcio (Ca) ● Sodio (Na) ● Cloro (Cl) ● Sílice (Si) ● Polvo mineral 	<ul style="list-style-type: none"> ● Sulfatos ● Nitratos ● Amonio ● Plomo ● Cadmio ● Carbón orgánico ● Carbón negro ● Carbón elemental

Nota. Adaptado de (Al-Momani & Shatnawi, 2017; He et al., 2001; Negral et al., 2008; U.S. EPA., 2009)

2.1.3. Fuentes de emisión del material particulado.

La clasificación que generalmente se les da a las fuentes de emisión de material particulado es la siguiente: están divididas en fuentes antrópicas⁶ y fuentes naturales. A su vez las fuentes antrópicas tienen una subclasificación dividiéndolas en fuentes fijas o

⁶ Producido o modificado por la actividad humana

estacionarias, fuentes de área y fuentes móviles; mientras las naturales se dividen en biogénicas y geogénicas⁷, pero en términos de partículas únicamente contribuyen a las mismas estas últimas.

2.1.3.1. Fuentes antrópicas.

Estas fuentes engloban a las emisiones generadas por las actividades humanas. Como ejemplo tenemos a las industrias, a los automotores, las construcciones, quemas agrícolas, entre otras. Como se mencionó anteriormente, esta clasificación recoge tres subgrupos: fuentes fijas o estacionarias, fuentes de área, fuentes móviles.

2.1.3.1.1. Fuentes fijas o estacionarias.

Refieren a toda instalación que realice procesos industriales, comerciales o actividades que generen emisiones contaminantes a la atmósfera. Dentro de esto consideramos que los procesos que se efectúan son a través de actividades de combustión que se llevan a cabo dentro de estas, el uso de plantas generadoras de electricidad que usan carbón, las actividades cementeras, etcétera.

2.1.3.1.2. Fuentes de área.

En las fuentes de área consideramos aquellas que son copiosas y dispersas, pero que en conjunto producen significativamente contaminantes. En esta categoría podemos considerar a las estaciones de servicio, quemas agrícolas, suspensión de polvos de caminos, etcétera.

⁷ Que pertenece o le es relativo a la geogenia, que a su vez es una parte de la geología que trata del origen y formación de la Tierra.

2.1.3.1.3. Fuentes móviles.

En estas fuentes se incluyen todas las fuentes de emisión motorizadas que se utilicen para circular, como motocicletas, vehículos de pasajeros como buses, camiones, autos. Así como aquellas que no circulan por carretera como las locomotoras, embarcaciones marinas y maquinarias de construcción. Las emisiones de este tipo de fuentes se gestan principalmente por producto de la combustión y evaporación de los combustibles utilizados, así como del desgaste tanto de los frenos como de las llantas.

2.1.3.2. Fuentes naturales.

Las fuentes naturales están definidas como aquellas en las que se emiten contaminantes a la atmósfera sin necesidad de la participación del ser humano. Están clasificadas en biogénicas y geogénicas; sin embargo, para efectos de emisiones solo contribuyen las segundas.

Las fuentes geogénicas abarcan las emisiones de origen geológico, como los volcanes, y las que tienen que ver con el suelo. En muchas ocasiones se consideran también fuentes geogénicas los incendios forestales.

2.1.4. Impactos en la salud.

Como se ha mencionado a lo largo de este trabajo las partículas tienen impactos negativos en la salud de los seres humanos. En la actualidad hay diversos estudios epidemiológicos que determinan que hay una relación positiva entre las partículas PM2.5, la morbilidad⁸ y la mortalidad⁹ de la población expuesta a la misma. Dado lo anterior, las

⁸ Cantidad de personas que enferman en un lugar y un período de tiempo determinados en relación con el total de la población.

⁹ Cantidad de personas que mueren en un lugar y en un período de tiempo determinados en relación con el total de la población.

partículas PM2.5 entran al medio ambiente y constituyen o pueden constituir un peligro para la salud e incluso la vida humana (Environment Canada & Health Canada, 1999)

2.1.5. Impactos en el medio ambiente.

Una vez que las partículas PM2.5 se emiten a la atmósfera, son transformadas o transportadas por procesos atmosféricos y finalmente depositadas, y provocan la degradación de bosques, lagos y suelos, daños a la vida silvestre y humana, así como la corrosión de los materiales de los edificios o construcciones. Durante su permanencia en la atmósfera, las partículas provocan diversos impactos al ambiente:

- Disminución de la visibilidad
- Efectos en el cambio climático

2.2. MARCO CONCEPTUAL

En esta sección se abordará la reseña teórica de los elementos tecnológicos que intervinieron para la producción del sistema, destacando el uso de una Raspberry Pi, el lenguaje de programación python, el uso del sensor PM Nova SDS 011, entre otros.

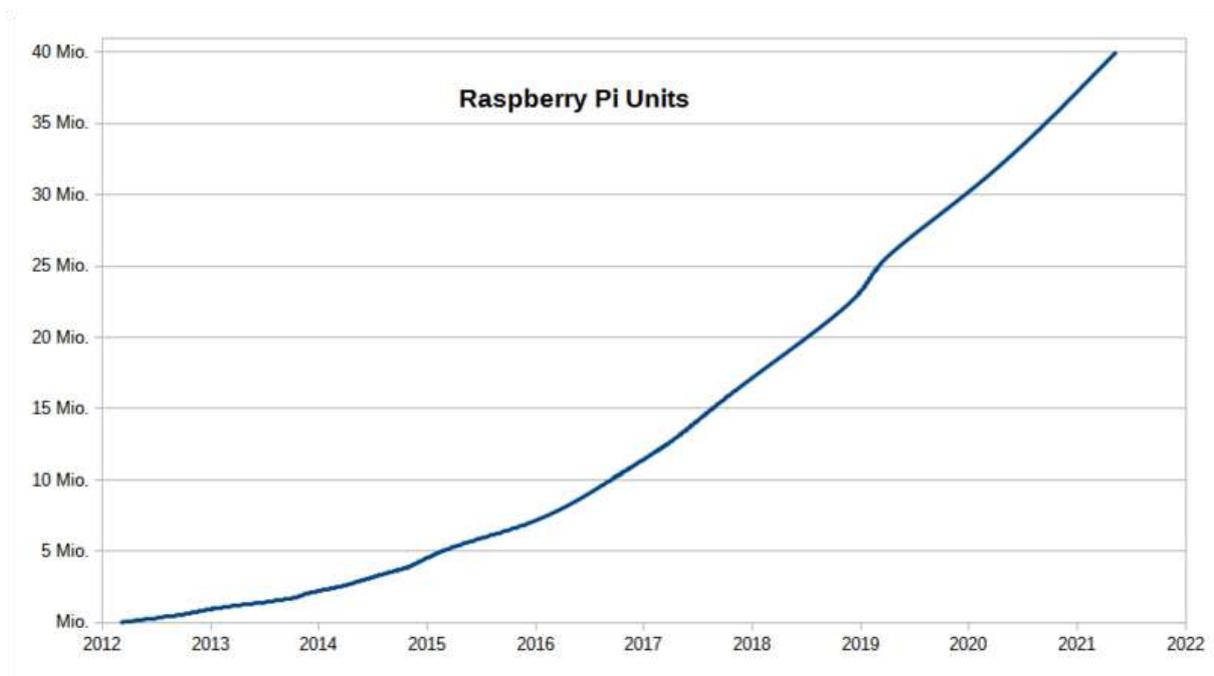
Se detallarán todos los aspectos que se utilicen en la implementación y desarrollo del sistema de monitoreo.

2.2.1. Raspberry Pi 3B +.

Es un ordenador de placa simple de bajo costo que fue desarrollado en el Reino Unido por la Raspberry Pi Foundation. Según indican en su página web ayudan a las personas a que puedan aprovechar el poder de la informática y las tecnologías digitales para trabajar, para resolver problemas que les importan y para expresarse de manera creativa (*Raspberry Pi Foundation - About Us*, s. f.).

Artículos de la BBC en 2011, como (Price, 2011) mencionan que el modelo original buscaba la promoción de la enseñanza de la computación en escuelas; sin embargo, acabó siendo más popular de lo que se esperaba, vendiendo a finales de 2016 más de 10 millones de unidades («Ten Millionth Raspberry Pi, and a New Kit», 2016)

Figura III: Ventas en el tiempo de la Raspberry Pi



Nota. Tomado de («Raspberry Pi», 2021)

El modelo usado para el desarrollo del sistema es el 3B + que fue lanzado en marzo de 2018 y que cuenta con las siguientes características.

Figura IV: Raspberry Pi Modelo 3B+



Nota. Tomado de (Foundation, s. f.)

Tabla III: Características de la Raspberry Pi 3 B+

Procesador	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1.4GHz - ARMv8
Memoria	1GB LPDDR2 SDRAM
Conectividad	<ul style="list-style-type: none"> ● 2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE ● Gigabit Ethernet over USB 2.0 (máximo soportado 300Mbps) ● 4 × USB 2.0 ports
Accesos	40 pins GPIO
Audio y Vídeo	<ul style="list-style-type: none"> ● 1 × full size HDMI ● MIPI DSI display port ● MIPI CSI camera port ● 4 pole stereo output and composite video port
Multimedia	H.264, MPEG-4 decode (1080p30); H.264 encode (1080p30); OpenGL ES 1.1, 2.0 graphics
Soporte de almacenamiento	Formato micro SD para cargar el sistema operativo y el almacenamiento de datos
Fuente de alimentación	<ul style="list-style-type: none"> ● 5V/2.5A DC via micro USB connector ● 5V DC via GPIO header ● Power over Ethernet (PoE)–enabled (requires separate PoE HAT)
Temperatura soportada	0 - 50 grados celsius
Vida útil de producción	Según el fabricante, la Raspberry Pi 3 Modelo B + permanecerá en producción hasta al menos enero de 2023.

Nota. Adaptado de (Foundation, s. f.)

2.2.1.1. Justificación del uso de RPi 3B+ en comparación a ASUS Tinker Board.

Al hacer una revisión exhaustiva de las competidoras directas de la Raspberry Pi 3B+, encontramos que existen muchas en el mercado, y entre las más parecidas para el

desarrollo de este proyecto se realizó la comparación entre precios y características con la ASUS Tinker Board.

Tabla IV: Características de la ASUS Tinker Board

Procesador	Rockchip RK3288-C (4x up to 1.8GHz)
Arquitectura del procesador	ARM v7-A
GPU	ARM Mali-T760
Conectividad	Gigabit Ethernet, On-board Wi-Fi 802.11 b/g/n
RAM	2 GB LPDDR3
Almacenamiento	64 GB
USB	4 x 2.0 USB
Puerto de visualización	HDMI
Puertos	40 pin GPIO
Tamaño	85,5 x 54 mm

Nota. Adaptado de (*Slant - HummingBoard Gate vs Raspberry Pi 3 Model B Detailed*

Comparison as of 2021, s. f.)

En tanto a los precios tenemos que:

Raspberry Pi 3B+: \$35.00

ASUS Tinker Board: \$119.99

De manera que no solo por su precio, sino también por las especificaciones mencionadas, son las que caben para realizar este proyecto, que entre otras ventajas tenemos a la comunidad y a los copiosos manuales que abundan por la web que permiten solucionar errores, entre otras cosas. También tenemos que configurar una Raspberry Pi es bastante fácil, inclusive para aquellas personas que nunca instalaron un sistema operativo Linux. La documentación oficial es muy detallada, y explica paso a paso cómo instalar Raspbian, el SO de Raspberry Pi.

2.2.2. Raspbian OS.

Raspbian es el sistema operativo creado para usarse en la Raspberry Pi, ya que está optimizado justamente para su hardware. Y está basado en la distribución Debian. Permite una comunicación muy rápida con los puertos GPIO al estar previamente configurado diversos ficheros dentro del sistema operativo.

Para realizar la instalación se disponen de dos versiones: una con entorno gráfico (Pixel) y otra más ligera (Lite) que no cuenta con un entorno gráfico, sino que el sistema operativo es manejado a través de consola, la cual se recomienda para usuarios con conocimientos avanzados en lo que respecta a Linux.

Para la realización de este proyecto se realizó todo únicamente por conexión vía ssh a la consola de comandos de Raspbian; sin embargo, se utilizó una imagen del sistema operativo con entorno gráfico para que quien no tenga conocimientos avanzados dentro del campo de administración de sistemas Linux, pueda acceder a ellos mediante un entorno más amigable.

La instalación de Raspbian en una micro SD es muy sencilla. Se realiza a través de un software llamado Raspberry Pi Imager, que está disponible para Linux, Mac y Windows en la zona de descargas de la página web de la Fundación Raspberry Pi.

Al ser una distribución basada en Debian, esta hace uso del manejador de paquetes **apt**, o en su defecto **apt-get** de modo que para tener actualizado nuestro sistema operativo e instalar software en general, se debe hacer uso del manejador de paquetes apt. Siendo importantes los siguientes comandos a ser ejecutados en consola:

- **sudo apt-get update**
- **sudo apt-get upgrade**
- **sudo apt-get install [nombre del paquete]**

Precio: descargas gratuitas.

2.2.3. Python.

Python es un lenguaje de programación interpretado, multiparadigma, y multiplataforma, que se enfoca en la legibilidad de su código, es decir, su sintaxis hace énfasis en la legibilidad del código, lo que facilita su depuración y, por ende, favorece la productividad (LUCA, s. f.). Fue creado a finales de los 80 y lanzado en 1991 por Guido Van Rossum (Rossum, 2009) y su nombre se debe a que su creador era fanático del grupo de comedia Monty Python.

Al ser un lenguaje multiparadigma, no ostenta un estilo único ya que soporta programación orientada a objetos, programación imperativa y programación funcional; además que usa tipado dinámico, de modo que no se debe especificar qué tipo de dato va a guardar una variable, en contraparte a lenguajes como Java o C/C++ en las que hay que especificar el tipo de dato.

Actualmente está administrado por la Python Software Foundation y posee una licencia de código abierto denominada Python Software Foundation License.

Python posee una biblioteca estándar que es usada para múltiples tareas. Los módulos de la biblioteca estándar pueden personalizarse o mejorarse a través de módulos personalizados escritos en C o en el mismo Python.

2.2.3.1. Justificación del uso de Python en comparación con C++.

Se eligió el lenguaje de programación Python ya que es considerado el mejor lenguaje de programación para trabajar sobre una Raspberry Pi. Y es que el sistema operativo, Raspbian, ya viene precargado con este lenguaje de programación, ya que se trata del lenguaje de programación oficial de Raspberry Pi y el IDLE 3, que es un entorno de desarrollo integrado de Python. Además de ser un lenguaje de muy fácil aprendizaje, desde la visión de la Raspberry, es muy fácil controlar los puertos GPIO con Python. Además, una de

las cosas más innegables acerca del lenguaje Python es que es muy fácil de adaptar a múltiples plataformas de escritorio, desarrollo web, trabajo de datos, entre otras posibilidades (M, s. f.).

Mientras que C++, también tiene presencia en programación para placas y microcontroladores, como el caso de Arduino, que para realizar comunicación en sus puertos se necesita usar el lenguaje Arduino, muy parecido a C++ o C.

Tabla V: Comparativa entre Python y C++

Características	Python	C++
Código	Menos líneas de código	Más líneas de código
Garbage Collection	Sí soporta	No soporta
Sintaxis	Es similar al inglés y es muy fácil de recordar	C ++ tiene una curva de aprendizaje enorme, ya que tiene muchas sintaxis y estructura predefinidas
Compilación	Interpretado	Precompilado
Velocidad	Python es más lento ya que usa un intérprete y también determina el tipo de datos en tiempo de ejecución	C ++ tiene una velocidad más rápida en comparación con Python al ser un lenguaje compilado
Rápida creación de prototipos	La creación rápida de prototipos es posible debido al pequeño tamaño del código.	La creación rápida de prototipos no es posible debido al tamaño del código más grande.
Eficiencia	Más fácil de mantener, orientado a objetos y más simple de usar	Menos limpio y manejable en comparación con Python
Naturaleza	Tipado dinámico	Tipado estático

Nota. Adaptado de («Difference between Python and C++», 2020)

Precio: el uso de ambos lenguajes es gratuito.

2.2.4. Sensor PM Nova SDS 011.

El sensor SDS 011 es un sensor de calidad del aire que fue desarrollado por Nova Fitness, una empresa derivada de la universidad de Jinan. Con su tamaño, es probablemente uno de los mejores sensores en términos de precisión: mientras que otros sensores tienden a enfocarse en reducir el tamaño del sensor, el SDS 011 ha optado por una compensación de tamaño que le permite usar un ventilador más grande. Y cuanto más grande sea el ventilador, mejor será la calidad (The World Air Quality Project, s. f.)

Tabla VI: Características del sensor de PM Nova SDS 011

Salida	PM2.5, PM10
Rango de medición	0.0 a 999.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Voltaje de entrada	5V
Corriente máxima	100mA
Sleep current	2mA
Tiempo de respuesta	1 segundo
Frecuencia de salida de datos en serie	1 vez por segundo
Error relativo	10%
Rangos de humedad	0 a 70%
Rangos de temperatura	20 a 50 grados celsius
Tamaño	71 x 70 x 23 mm

Nota. Adaptado de (*Laser PM2.5 Sensor--SDS011*, s. f.)

2.2.4.1. Justificación del uso del sensor Nova SDS 011 en comparación con Plantower PMS7003.

Tabla VII: Características del Plantower PMS7003

Salida	PM2.5, PM10
Rango de medición	0 a 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Voltaje de entrada	5V
Corriente máxima	100 mA
Sleep current	200 μ A
Tiempo de respuesta	1 segundo
Frecuencia de salida de datos en serie	10 segundos
Rangos de Humedad	0 a 99%
Rangos de temperatura	-10~+60 grados celsius
Tamaño	48 x 37 x 12 mm

Nota. Adaptado de (*PMS7003 Particulate matter sensor - Espruino*, s. f.)

Precio PMS7003: \$34.89

Precio SDS 011: \$29.99

Vemos que el sensor PMS7003 trabaja mucho mejor en casi todo el rango de humedad, pero es mucho más grande de tamaño y precio, lo cual hacía que tengamos que rediseñar la ubicación de los implementos en la bicicleta, de modo que se eligió el SDS 011, por ser más compacto, y tener un mayor rango de acción con respecto al PMS7003, ya que llega hasta los 999.99 μ g/m³, mientras el otro solo hasta los 500 μ g/m³, lo que facilita su uso si se lo integra a un lugar fijo.

2.2.5. Sensor de humedad DHT-22.

Según el sitio web del fabricante (Adafruit Industries, s. f.), el sensor DHT22 es un sensor de temperatura y humedad digital y de bajo costo. Utiliza un sensor de humedad capacitivo y un termistor para medir el aire circundante, y genera una señal digital en el pin de datos (no se necesitan pines de entrada analógica). Es bastante simple de usar, pero requiere una sincronización cuidadosa para capturar los datos. La única desventaja real de este sensor es que solo puede obtener nuevos datos una vez cada 2 segundos, por lo que

cuando usa nuestra biblioteca, las lecturas del sensor pueden tener hasta 2 segundos de antigüedad.

Tabla VIII: Características del sensor de humedad DHT 22

Rango de medición de humedad	0 - 100 % HR (humedad relativa)
Rango de medición de temperatura	-40 a 80 grados celsius
Precisión de la humedad	± 2% HR
Precisión de la temperatura	± 0.5 grados celsius

Nota. Tomado de (Slicing 3D, 2020)

2.2.5.1. Justificación del uso del sensor de humedad y temperatura DHT22 en comparación con el DHT11.

Se realizó una comparación entre dos sensores similares del mismo fabricante y al revisar las especificaciones de ambos, se eligió al DHT22 por tener mejores características que ayuden a obtener mejores conclusiones a la hora de contrastar los datos con respecto al material particulado.

Tabla IX: Características del sensor DHT11

Rango de medición de humedad	20 - 90 % HR (humedad relativa)
Rango de medición de temperatura	0 a 50 grados celsius
Precisión de la humedad	± 5% HR
Precisión de la temperatura	± 2 grados celsius

Nota. Tomado de (Slicing 3D, 2020)

Como se denota, el sensor DHT22 tiene mejor performance con respecto al DHT11, que aún sigue vigente en el mercado.

Precio: \$2.99 *DHT11*, \$6.99 *DHT22*

2.2.6. GPS USB.

Se usó un GPS genérico, de manera que no se entra en comparaciones porque todos funcionan de la misma manera. Con la Raspberry se adapta cualquier tipo de GPS que se conecte vía USB, ya que se lo maneja a través de software.

Precio: \$12.99

2.3. MARCO LEGAL

2.3.1. Estándares y normativas mundiales.

Según la norma de (OMS, 2018), concentraciones de PM_{2.5} entre 0-50µg/m³ es considerada buena, entre 51-79µg/m³ es regular, entre 80-109µg/m³ es alerta, entre 110-169µg/m³ es preemergencia, +170µg/m³ emergencia.

Para las PM₁₀, la OMS dicta que una buena calidad del aire se encuentra en 20µg/m³ de media anual 50µg/m³ de media en 24 horas.

2.3.2. Estándares y normativas nacionales.

La (*Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire*, s. f.) nos menciona para el material particulado PM₁₀, en concentraciones promedios en veinticuatro horas, los valores de 250µg/m³ están en alerta, las concentraciones de 400µg/m³ están en alarma y las de 500µg/m³ están en emergencia.

Mientras que el material particulado PM_{2.5}, tiene las siguientes condiciones de concentración en veinticuatro horas (µg/m³): 150 en alerta, 250 en alarma, y 350 en emergencia.

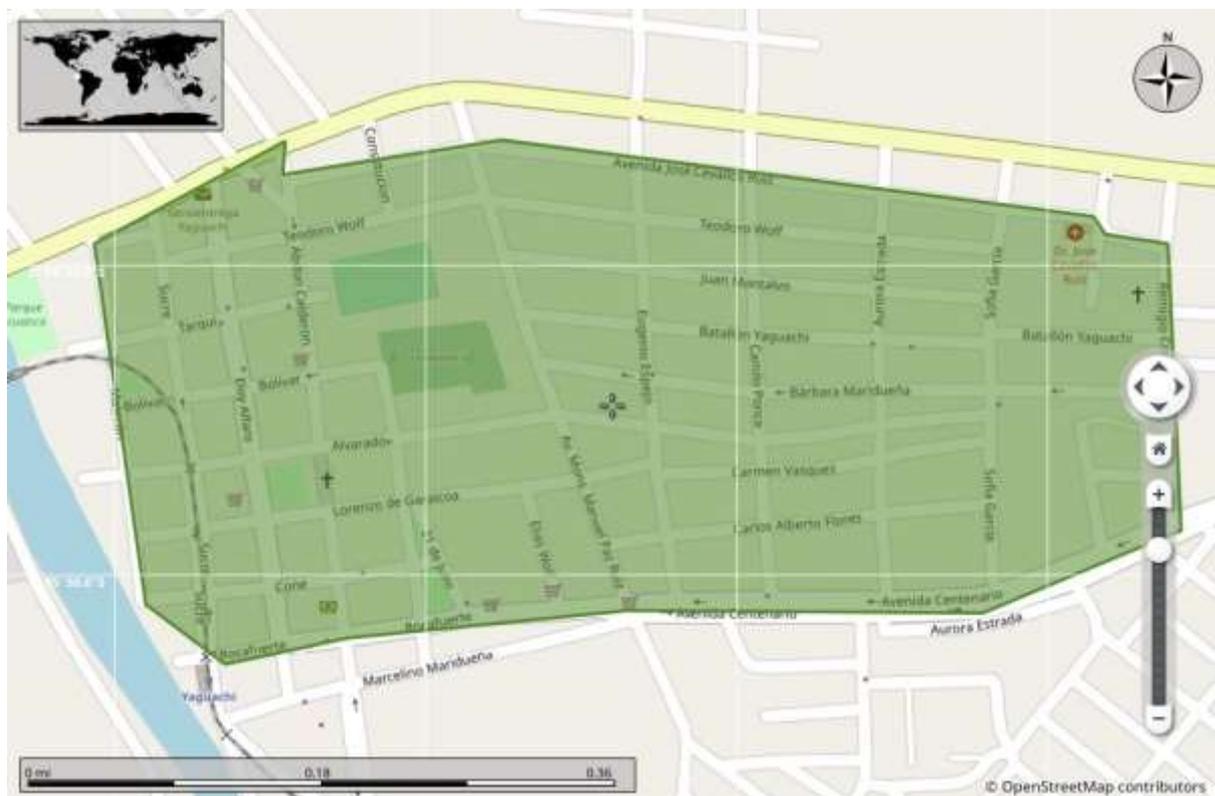
2.4. MARCO GEOGRÁFICO

La ciudad de Yaguachi se encuentra ubicada en el litoral ecuatoriano, exactamente en la provincia del Guayas a 45 minutos de la ciudad de Guayaquil. Presenta una altitud promedio de 10 msnm, y temperaturas anuales promedio de 25 grados centígrados.

El levantamiento o recolección de datos se realizó en la siguiente área geográfica, delimitada de la siguiente manera:

- **Norte:** Carretera principal del cantón Yaguachi
- **Sur:** Av. Centenario
- **Este:** Av. Remigio Crespo
- **Oeste:** Río Yaguachi

Figura V: Área de recolección de datos en el cantón Yaguachi.



Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y RESULTADOS

La presente sección abordará la metodología utilizada para la recolección de información que sirvió como base para el desarrollo de esta solución tecnológica. De manera que se detalla la forma usada para la recolección de información sobre el objeto de estudio, generando a posteriori el análisis específico de los resultados obtenidos del mismo y que se presentarán en el siguiente capítulo. Se hará también énfasis a la metodología se usó para el proceso del desarrollo del sistema propuesto.

3.1. Metodología de la investigación

El desarrollo de este trabajo de titulación tiene un enfoque cualitativo ya que tenemos como meta comprender e interpretar (*Los 12 tipos de técnicas de investigación*, 2020) los datos que obtenemos a partir de la observación y recolección de los mismos.

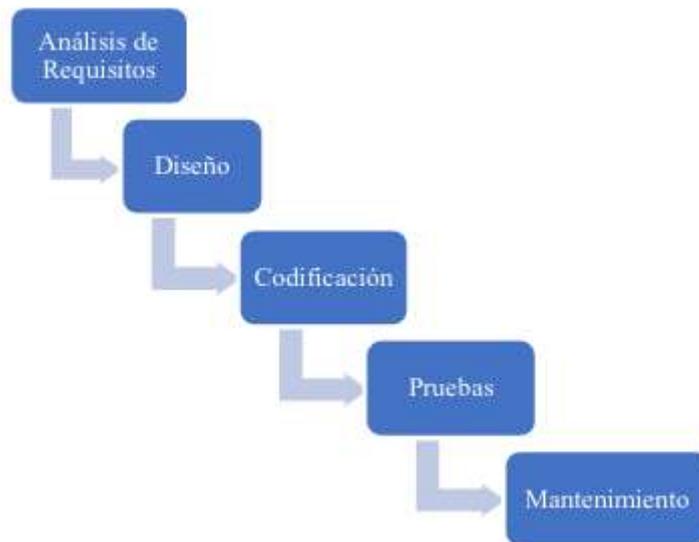
El alcance del trabajo es del tipo descriptivo ya que detallamos el contexto en el que se desenvuelve la contaminación de partículas, exponiendo su composición a través de sus propiedades y características enmarcado en la problemática que se trata de solventar; a su vez, tiene un enfoque explicativo que intenta identificar las causas y las afectaciones que pueden convertirse en un problema de salud pública, para de esta manera sugerir estrategias de prevención (Hernández Sampieri et al., 2009)

3.2. Metodología de desarrollo

El modelo de metodología que se aplicó en el presente trabajo fue la metodología tradicional o *metodología en cascada*. Se conoce que el primer modelo que se publicó sobre los procesos de desarrollos de software data entre 1965 y 1970, tanto así que este proceso fue derivado de procesos más generales del desarrollo de sistemas (Royce, 1987), dado el paso a paso de este modelo, Royce lo denomina modelo en cascada. Este modelo, según

(Sommerville, 2005) propone una enfoque secuencial y sistemático para el desarrollo de software donde la siguiente fase no debe empezar hasta que la fase previa haya finalizado.

Figura VI: Fases de la metodología en cascada



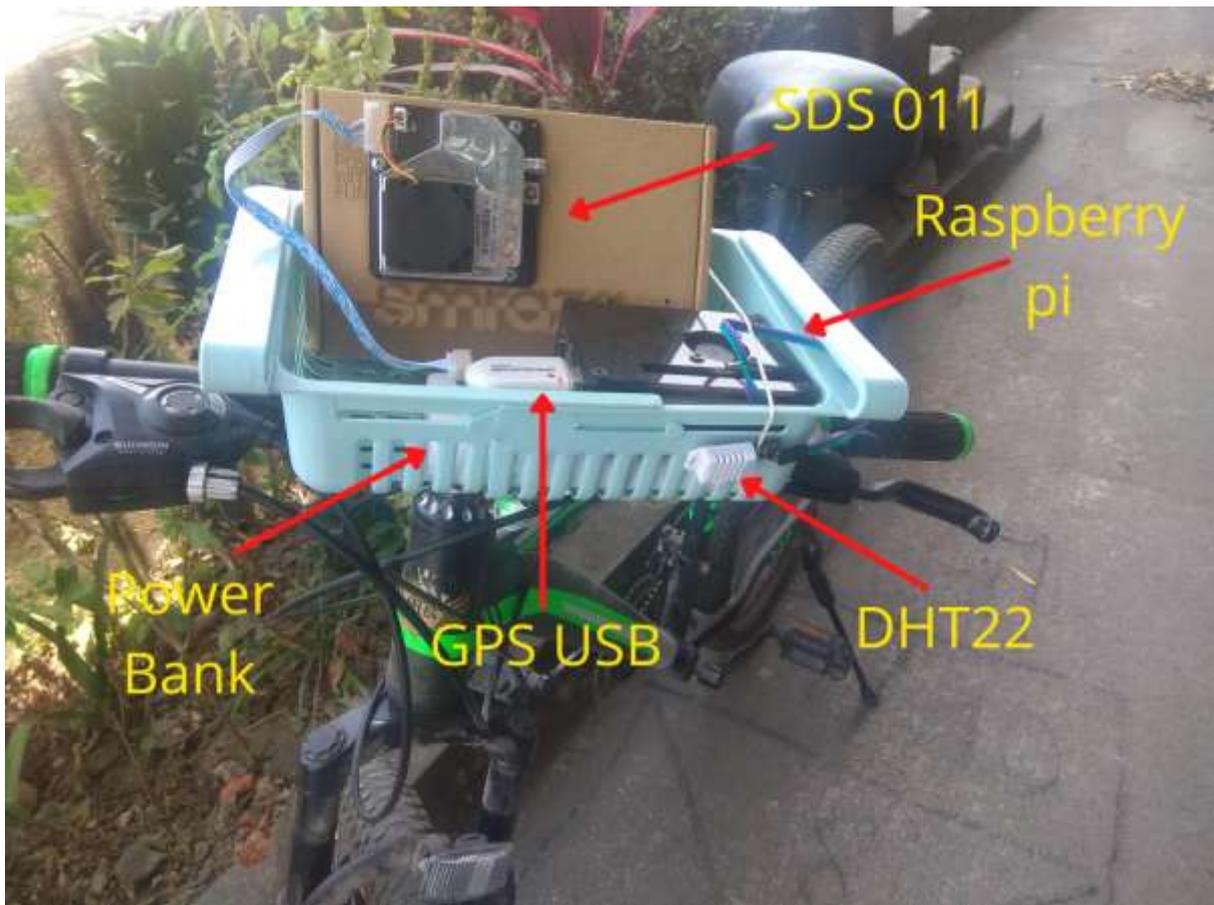
Nota. Elaboración propia, adaptado de (Sommerville, 2005)

3.3 Metodología de recolección de datos

El esquema de recolección de datos se usó para el desarrollo de este proyecto fue el de recorrer diversos puntos aleatorios en una bicicleta en la que se llevaba el dispositivo utilizando el modo GPS que se preconfiguró en el software. Se recorrieron por lo menos dos veces cada punto en el lapso de 45 a 60 minutos.

Se eligió esta manera de recolección de datos debido a que se quiere mostrar las zonas de alto impacto a través de una visualización geográfica de los lugares recorridos.

Figura VII:Dispositivo en uso sobre la bicicleta



Nota. Elaboración propia.

Figura VIII: Dispositivo en uso: captura de datos en software

```
12:34
pi@raspberrypi:~$ cd /home/pi/Python/AQ
pi@raspberrypi:~/Python/AQ$ ls
data  readme.md  Scripts
pi@raspberrypi:~/Python/AQ$ cd Scripts/
pi@raspberrypi:~/Python/AQ/Scripts$ ls
Adefind1_BMI_egg-info  DHT.py  GPS2.py  readme.md  sds_rec.pyc  status.py  variables.pyc
DHT  DHT.pyc  GPS2.pyc  sds_rec.py  start.py  variables.py
pi@raspberrypi:~/Python/AQ/Scripts$ sudo python start.py
sudo: python: command not found
pi@raspberrypi:~/Python/AQ/Scripts$ sudo python start.py
RASPBERY_U036 Starting In Mode: GPS Sensors: ['SD5011_I', 'DHT22_I'] Time: 2021-09-03 12:34
:22.638291 Location: PRUEBA
Starting AQ API, Mode: GPS
*****
Integration time (seconds) 5
*****
SD5011_I Ready
I
Looping
creat new file /home/pi/SD5-011-Python/AQ/data/PRUEBA_GPS_RASPBERRY_U036_SD5011_I-DHT22_I_20210
903123426.csv
Lat: -2.095924 Lon -79.696632167
Temp=29.6°C Humidity=69.9%
SD5011_I Time: 2021-09-03 12:34:35 PM:2.5: 15.1 PM10: 24.3
lat: -2.095924667 lon -79.69663205
Temp=29.6°C Humidity=70.1%
█
```

Nota. Se verifica que los datos que recogemos son de latitud, longitud, temperatura, humedad relativa y las concentraciones de material particulado fino y grueso. Elaboración propia.

3.4. Análisis de resultados

Con base en la metodología cualitativa que se llevó a cabo para este proyecto, la revisión bibliográfica y la observación de los diversos fenómenos que llevan a cabo la emisión de partículas dentro del área céntrica del cantón Yaguachi, provincia del Guayas, se dan a conocer la problemática que estas partículas representan para la salud de los seres

humanos. De tal modo que se pudo identificar los siguientes puntos para la recolección de los datos que alimenten el sistema:

- Las horas de mayor concentración de vehículos se dan entre las 9:00 - 13:00 y de 16:00 a 19:00 de lunes a viernes
- Las horas de mayor concentración de personas y vehículos los fines de semana se da entre las 19:00 y 22:00
- Existe muy poca vegetación o áreas verdes que ayuden a contrarrestar los efectos de las emisiones de material particulado
- Existen calles sin pavimentar, las cuales suponen una fuente de emisión natural

En consecuencia, de los puntos mostrados fue posible abordar los sectores meta para la medición de estas partículas contaminantes estando constantemente movilizándonos dentro del lugar geográfico antes demarcado.

CAPÍTULO IV: PROPUESTA Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN TECNOLÓGICA

En el capítulo anterior se presentó la metodología que se usó para el desarrollo de este sistema, de tal modo que en este capítulo se abordará cada punto de la metodología en cascada aplicada a este proyecto.

4.1. Propuesta

La solución propuesta trata de un pequeño sistema de recolección y visualización de datos de la polución del aire con los sensores de material particulado *Nova PM-SDS 011* y el de temperatura y humedad relativa *DHT22*, además de un GPS USB, que estará conectado junto al sensor de material particulado en los puertos USB de la Raspberry, mientras el sensor de humedad y temperatura se encuentra en los puertos GPIO.

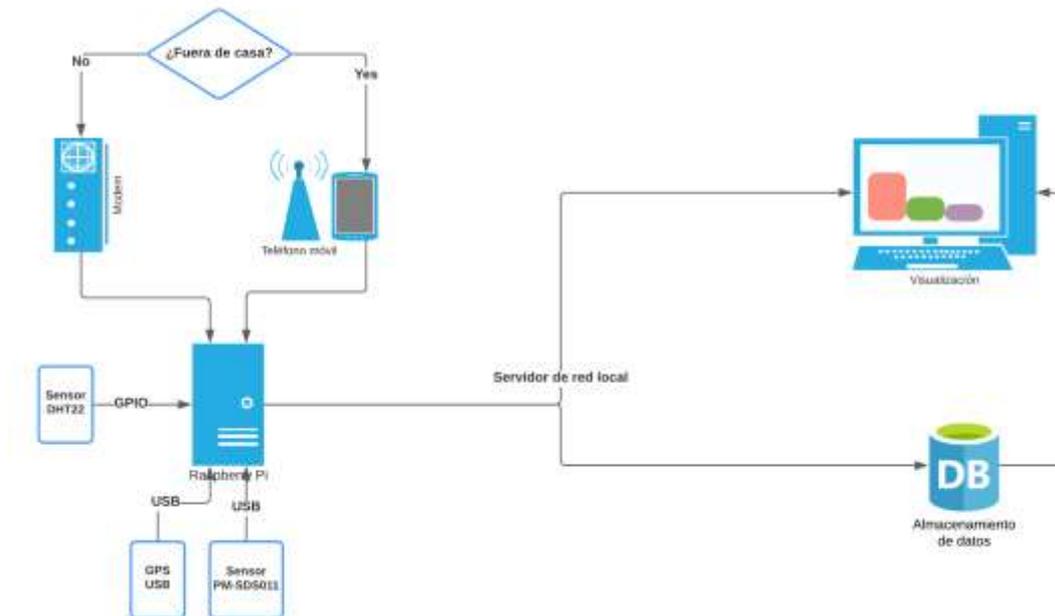
El sistema para la recolección de datos, considerando movimiento del sensor en diversos puntos considerará un GPS USB conectado a la Raspberry Pi, para que nos entregue la ubicación exacta y poder realizar un trabajo de visualización de estos datos en distintos puntos geográficos. El sistema tiene dos modos, el modo GPS agrega la latitud, longitud y altitud al archivo de formato csv, lo que permite el uso móvil del sistema, lo cual creará un nuevo archivo csv en cada ejecución. También tendrá un modo LOG para realizar la captura de datos en un sitio estático y grabarlos en un archivo formato csv, este modo creará un nuevo csv todos los días.

Para el correcto funcionamiento del sistema móvil, es decir, en modo GPS, es necesario que la Raspberry tenga conexión a internet, de modo que se usará el internet móvil de un smartphone para el uso del sistema. Si se lo requiere dejar en un sitio estático no es necesaria la conexión a internet, a menos que se requiera actualizar el sistema operativo o el software en general.

4.1.1. Arquitectura del Sistema

Como se explicó en la sección anterior la propuesta, aquí se detalla un pequeño diagrama de la arquitectura que tendrá el sistema.

Figura IX: Arquitectura del sistema de bajo costo de la polución del aire.



Nota. Elaboración propia.

4.1.2. Justificación del bajo costo

En comparación al anterior sensor presentado en la comparación con el PM SDS 011, se justifica que la construcción de este sistema tiene un bajo costo, aun no disponiendo de todos los materiales utilizados, el sensor de material particulado más la Raspberry no superan \$65 USD.

Tabla X: Tabla de costos de los materiales utilizados.

Materiales	Costo
Raspberry Pi 3B +	\$35.00
Nova PM SDS 011	\$29.99
DHT22	\$6.99

GPS USB	\$12.99
Power Bank	\$10.00
Total	\$94.97

Nota. Elaboración propia.

4.2. Desarrollo de la solución

4.2.1 Análisis de requisitos

La fase inicial del proyecto, que trata de recolectar e interpretar los hechos del sistema a construir y las necesidades de este. En esta fase establecimos los requerimientos funcionales del sistema de bajo costo para la polución del aire; se realiza además la delimitación mediante el proceso de observación de los lugares y horarios en los cuales se realizará la toma de los datos.

4.2.2. Diseño del sistema

En esta fase planificamos y desarrollamos el sistema que solucione el problema planteado inicialmente. En esta etapa establecimos los requerimientos físicos funcionales del sistema, tanto de hardware y software. El hardware del sistema consta de una Raspberry Pi 3 modelo B +, como la placa base para controlar los demás dispositivos como los sensores de material particulado y el de humedad. Como software se eligió al lenguaje de programación python por la alta compatibilidad con los puertos GPIO (General Purpose Input/Output - Entradas y Salidas de propósito general).

4.2.3. Codificación

Durante esta etapa se desarrolló el código fuente de del sistema usando el lenguaje de programación Python, tanto para el servidor local web, como para la recolección de datos.

4.2.4. Pruebas

Se integraron todas las partes como los datos, y se los probó en el servidor web para realizar las gráficas que muestre las horas y las métricas encontradas. Fue probado directamente sobre Raspbian OS.

4.2.5. Mantenimiento

Dentro de esta última fase el sistema quedó en funcionamiento; el mantenimiento presupone corregir los errores no notificados durante la fase de desarrollo de este sistema; la depuración del código o la identificación de potenciales fallas en el mismo.

CONCLUSIONES

El proceso de desarrollo del presente proyecto de titulación nos deja a priori conclusiones como que los objetivos planteados se pudieron cumplir. Tanto el diseñar, modelar y poner en marcha este pequeño sistema de monitoreo y recolección de datos de la polución del aire en el área céntrica del cantón Yaguachi. A través del levantamiento de observaciones in situ a lo largo y ancho de los límites planteados, como a su vez en las revisiones bibliográficas y teórica se comprendieron de manera eficaz los fenómenos atmosféricos, físicos y químicos que están vinculados al material particulado.

Finalmente, al observar *en crudo* los datos recolectados y sus respectivas horas y estampas geográficas, se pudo observar que en los intervalos de tiempo y en los sitios de mayor presencia de vehículos y personas, el material particulado era mucho mayor que en otras horas del día o en lugares con menor aglomeración de personas, mientras que las zonas en las que había significativa vegetación presentaban menores índices de contaminación.

De allí la importancia de tener ciudades sustentables con el medio ambiente, regulando el parque automotor que circula dentro de espacios que pueden ser utilizados por otro tipo de medios de transporte, así como también la exigencia de tener mayores áreas verdes para que estas puedan desempeñarse como un analgésico a la presencia de estas partículas, que, como se mencionó, al estar expuesto el ser humano a ella pueden generar complicaciones en la salud o agravar ciertas condiciones al verse tan inmersas en el sistema respiratorio.

RECOMENDACIONES

Se estiman las siguientes recomendaciones:

- Sírvase una entidad gubernamental de consultar este trabajo de titulación para realizar una aproximación a la contaminación por material particulado que dé paso a sistemas de mayor calibre para la toma y análisis de datos de polución del aire y que deberían levantar los datos de manera estática triangulando todos los nodos que estén ubicados en puntos estratégicos, ya que la movilización implica un costo más para estas entidades
- El presente trabajo puede dar pie a otros trabajos que requieran hacer análisis de los datos recopilados, sobre todo para revisar el performance del sensor de material particulado en tanto la correlación que tienen los datos recopilados cuando la humedad relativa es mayor al 70%
- Los escenarios en los que puede ser usado este pequeño sistema están entre los de hacer recorridos y medir la exposición personal, o dejarlo en un sitio y medir desde allí la cantidad de material particulado, por eso está hecho para dos modos: LOG y GPS
- Está diseñado *específicamente* para ser de bajo costo y tener una conciencia personal respecto al aire en el cual nos desenvolvemos a diario
- Se recomienda tener siempre actualizado el sistema operativo Raspbian, y al tener soporte solo hasta enero de 2023 según el fabricante de la Raspberry, se puede realizar sin problemas el cambio de la versión de la placa RPI 3B+ a una más actual debido a su compatibilidad

REFERENCIAS

- Adafruit Industries. (s. f.). *DHT22 temperature-humidity sensor + extras*. Recuperado 6 de agosto de 2021, de <https://www.adafruit.com/product/385>
- Al-Momani, I. F., & Shatnawi, W. M. (2017). Chemical Characterization and Source Determination of Trace Elements in PM_{2.5} and PM₁₀ from an Urban Area, Northern Jordan. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 5(4), 103. <https://doi.org/10.11648/j.ijema.20170504.12>
- Andreae, M. O. (2007). Atmosphere. Aerosols before pollution. *Science (New York, N.Y.)*, 315(5808), 50-51. <https://doi.org/10.1126/science.1136529>
- Balmes, J. R., Fine, J. M., & Sheppard, D. (1987). Symptomatic bronchoconstriction after short-term inhalation of sulfur dioxide. *The American Review of Respiratory Disease*, 136(5), 1117-1121. <https://doi.org/10.1164/ajrccm/136.5.1117>
- Chin, M., Kahn, R., Rind, D., Feingold, G., Schwartz, S., Remer, L., Yu, H., Quinn, P., Streets, D., Halthore, R., & DeCola, P. (2008). *Aerosol Properties and Their Impacts on Climate* (Synthesis and Assessment Product 2.3. U.S. Climate Change Science Program). <https://www.globalchange.gov/sites/globalchange/files/sap2-3-draft3.pdf>
- Difference between Python and C++. (2020, marzo 30). *GeeksforGeeks*. <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-python-and-c/>
- Dockery, D. W., Cunningham, J., & Damokosh, A. I. (1996). Health effects of acid aerosols on North American children: Respiratory symptoms. *Environmental Health Perspectives*, 104(5). <https://doi.org/10.1289/ehp.96104500>
- Environment Canada, & Health Canada. (1999). *Respirable particulate matter less than or equal to 10 microns*. <https://publications.gc.ca/collections/Collection/En40-215-47E.pdf>
- European Commission. (2004). *Second Position Paper on Particulate Matter (CAFE*

Working Group on Particulate Matter).

https://ec.europa.eu/environment/archives/cafe/pdf/working_groups/2nd_position_paper_pm.pdf

Foundation, T. R. P. (s. f.). *Buy a Raspberry Pi 3 Model B+*. Raspberry Pi. Recuperado 5 de agosto de 2021, de <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>

He, K., Yang, F., Ma, Y., Zhang, Q., Yao, X., Chan, C. K., Cadle, S., Chan, T., & Mulawa, P. (2001). The characteristics of PM_{2.5} in Beijing, China. *Atmospheric Environment*, 35(29), 4959-4970. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00301-6](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00301-6)

Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, M. D. P. (2009). *Fundamentos de metodología de la investigación*. McGraw Hill.

Hornyak, T. (2020, abril 28). *La Contaminación del Aire Puede Empeorar la Tasa de Mortalidad por COVID-19*. Eos. <https://eos.org/articles/la-contaminacion-del-aire-puede-empeorar-la-tasa-de-mortalidad-por-covid-19>

Larkin, A., & Hystad, P. (2017). Towards Personal Exposures: How Technology Is Changing Air Pollution and Health Research. *Current Environmental Health Reports*, 4(4), 463-471. <https://doi.org/10.1007/s40572-017-0163-y>

Laser PM_{2.5} Sensor—SDS011. (s. f.). Recuperado 6 de agosto de 2021, de <http://www.inovafitness.com/en/a/chanpinzhongxin/95.html>

Los 12 tipos de técnicas de investigación: Características y funciones. (2020, mayo 7). <https://psicologiaymente.com/cultura/tipos-tecnicas-investigacion>

LUCA. (s. f.). *¿Qué es Python? ¿Qué es Python?* Recuperado 5 de agosto de 2021, de <https://luca-d3.com/es/data-speaks/diccionario-tecnologico/python-lenguaje>

M, L. (s. f.). *Aprender Python VS. Aprender C++: ¿Cual me conviene?* BitDegree.org Online Learning Platforms. Recuperado 1 de septiembre de 2021, de

<https://es.bitdegree.org/tutoriales/aprender-python/>

Ministerio del Ambiente. (2014). *Inventario Preliminar de las Emisiones de Contaminantes del Aire, de los cantones Ambato, Riobamba, Santo Domingo de los Colorados, Latacunga, Ibarra, Manta, Portoviejo, Esmeraldas y Milagro*. 124.

Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (s. f.). *Aire Chile*. Aire Chile. Recuperado 2 de agosto de 2021, de <http://airechile.mma.gob.cl/faq>

Negral, L., Moreno-Grau, S., Moreno, J., Querol, X., Viana, M. M., & Alastuey, A. (2008). Natural and Anthropogenic Contributions to PM10 and PM2.5 in an Urban Area in the Western Mediterranean Coast. *Water Air and Soil Pollution*, 192, 227-238.
<https://doi.org/10.1007/s11270-008-9650-y>

Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire. (s. f.). Recuperado 2 de septiembre de 2021, de <http://www.quitoambiente.gob.ec/index.php/norma-ecuatoriana-de-la-calidad-del-aire>

OMS. (2006). *Air quality guidelines global update 2005* (p. 496).
<https://www.who.int/publications/i/item/WHO-SDE-PHE-OEH-06.02>

OMS. (2018, mayo 2). *Calidad del aire ambiente (exterior) y salud*.
[https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

PMS7003 Particulate matter sensor—Espruino. (s. f.). Recuperado 3 de septiembre de 2021, de <https://www.espruino.com/PMS7003>

Price, P. (2011, junio 3). *Can a £15 computer solve the programming gap?*
http://news.bbc.co.uk/2/hi/programmes/click_online/9504208.stm

Raspberry Pi. (2021). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*.
https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Raspberry_Pi&oldid=136097758

Raspberry Pi Foundation—About Us. (s. f.). Recuperado 5 de agosto de 2021, de <https://www.raspberrypi.org/about/>

- Rossum, G. V. (2009, enero 20). The History of Python: A Brief Timeline of Python. *The History of Python*. <https://python-history.blogspot.com/2009/01/brief-timeline-of-python.html>
- Royce, W. W. (1987). Managing the development of large software systems: Concepts and techniques. *Proceedings of the 9th international conference on Software Engineering*, 328-338.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, & Instituto Nacional de Ecología. (2011). *Guía metodológica para la estimación de emisiones de PM2.5* (Primera). <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/225459.pdf>
- Siroux, V., Agier, L., & Slama, R. (2016). The exposome concept: A challenge and a potential driver for environmental health research. *European Respiratory Review: An Official Journal of the European Respiratory Society*, 25(140), 124-129. <https://doi.org/10.1183/16000617.0034-2016>
- Slant—HummingBoard Gate vs Raspberry Pi 3 Model B detailed comparison as of 2021*. (s. f.). Slant. Recuperado 1 de septiembre de 2021, de https://www.slant.co/versus/5730/15521/~hummingboard-gate_vs_raspberry-pi-3-model-b
- Slicing 3D, R. (2020, diciembre 8). *Sensor de Temperatura DHT11 y DHT22*. <https://www.rslicing3d.com/programacion-arduino-complementos/sensor-de-temperatura-dht11-y-dht22/>
- Sommerville, I. (2005). *Ingeniería del software*. Pearson Educación.
- Ten millionth Raspberry Pi, and a new kit. (2016, septiembre 8). *Raspberry Pi*. <https://www.raspberrypi.org/blog/ten-millionth-raspberry-pi-new-kit/>
- The World Air Quality Project. (s. f.). *The SDS011 Air Quality Sensor*. aqicn.org. Recuperado 6 de agosto de 2021, de <https://aqicn.org/sensor/sds011/>

U.S. EPA. (2009). *Integrated Science Assessment for Particulate Matter*. U.S. Environmental Protection Agency.

Vicente-Herrero, M. ^a T., Ramírez Iñiguez de la Torre, M. ^a V., Capdevila García, L. M., Terradillos García, M. ^a J., López-González, Á. A., Aguilar Jimenez, E., & Reinoso Barbero, L. (2016). Exposoma: Un nuevo concepto en Salud Laboral y Salud Pública. *Revista de la Asociación Española de Especialistas en Medicina del Trabajo*, 25(3), 176-183.

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Jorge Stalin Sánchez Castro**, con C.C: # **0928264787** autor/a del trabajo de integración curricular: **“SISTEMA DE BAJO COSTO PARA EL MONITOREO Y RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA POLUCIÓN DEL AIRE”** previo a la obtención del título de **Ingeniero en Ciencias de la Computación** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **16 de septiembre del 2021**

f. _____

Nombre: **Jorge Stalin Sánchez Castro**

C.C: **0928264787**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	SISTEMA DE BAJO COSTO PARA EL MONITOREO Y RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA POLUCIÓN DEL AIRE		
AUTOR(ES)	Jorge Stalin Sánchez Castro		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Lenin Freire Cobo		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería en Ciencias de la Computación		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Ciencias de la Computación		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	16 de septiembre de 2021	No. DE PÁGINAS:	61
ÁREAS TEMÁTICAS:	IoT, Material Particulado, Contaminación, Polución, Tecnología, Visualización de datos		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	particulate matter, particles, raspberry, pm2.5, pm10, air pollution, pollution		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>El material particulado PM2.5, está ampliamente relacionado con la mortalidad y morbilidad según se detalla en diversas publicaciones de estudios epidemiológicos. El presente trabajo de titulación realiza el desarrollo de un sistema de bajo costo para el monitoreo y recolección de datos de la polución del aire en la zona urbana de la cabecera cantonal del cantón Yaguachi, provincia del Guayas. A la vez, se realiza una pequeña visualización de los datos recolectados durante una semana, con puntos geográficos aleatorios en horas predefinidas. Los datos fueron obtenidos a través de los sensores Nova PM SDS011 y DHT22. El equipo trabajó durante una semana realizando una recolección de datos en una bicicleta en distintos puntos aleatorios del área delimitada, registrando los datos cada 5 segundos. Los resultados de la visualización de los datos arrojaron que las concentraciones de material particulado fino fueron altas en tanto la concentración de vehículos automotores aumentaba, no había árboles o se registraban calles sin asfaltar.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-6 317 3429	E-mail: jorge.sanchez11@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: TOALA QUIMÍ, EDISON JOSÉ		
	Teléfono: +593-9-9 09 76776		
	E-mail: edison.toala@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			