

**SOLUCIÓN TECNOLÓGICA BASADA EN TECNOLOGÍAS IOT PARA EL
MONITOREO DEL CLIMA EN BUCARAMANGA.**

**OMAR FELIPE SILVA PINZÓN
CÉSAR ALONSO RINCÓN MUÑOZ
NODIER ALEXANDER VÁSQUEZ PAVAS**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA - UNAB
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS
BUCARAMANGA
2020**

**SOLUCIÓN TECNOLÓGICA BASADA EN TECNOLOGÍAS IOT PARA EL
MONITOREO DEL CLIMA EN BUCARAMANGA.**

**OMAR FELIPE SILVA PINZÓN
CÉSAR ALONSO RINCÓN MUÑOZ
NODIER ALEXANDER VÁSQUEZ PAVAS**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Sistemas.

**Director
José David Ortiz Cuadros**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA - UNAB
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS
BUCARAMANGA
2020**

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseamos expresar nuestro agradecimiento al director de este proyecto de grado, Ing. José David Ortiz Cuadros, por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por el respeto a nuestras sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas. Gracias por la confianza ofrecida desde que llegamos a esta facultad.

Gracias a nuestra familia, a nuestros padres y allegados, porque con ellos compartimos, y guardamos en el recuerdo, es un aliento para seguir en proceso de crecimiento personal. Asimismo, agradecemos a nuestros compañeros de la facultad de ingenierías por su apoyo personal y humano, por ser parte de este recorrido de vida y por cada experiencia compartida con ellos.

Gracias a nuestros amigos, que siempre nos han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2. JUSTIFICACIÓN	17
2. OBJETIVOS.....	19
2.1. OBJETIVO GENERAL	19
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3. MARCO REFERENCIAL.....	20
3.1. MARCO CONCEPTUAL	20
3.1.1. Estación meteorológica.....	20
3.1.2. Temperatura.....	21
3.1.3. Presión atmosférica.....	21
3.1.4. Humedad relativa	22
3.1.5. Velocidad del viento	22
3.1.6. Dirección del viento	22
3.1.7. Sensación térmica.....	23
3.1.8. Radiación.....	24
3.1.9. Punto de Rocío.....	24
3.1.10. Índice UV.....	24
3.1.11. Precipitación.....	26
3.1.12. Microcontrolador	26
3.1.13. Raspberry Pi	27
3.1.14. Arduino.....	28
3.2. MARCO TEÓRICO	31
3.2.1. Internet of Things (IoT).....	31
3.2.2. Smart Cities (Ciudades Inteligentes)	32
3.2.3. Meteorología	33

3.3. MARCO LEGAL	36
3.3.1. UIT-T Y.4000 Para IoT	36
3.3.2. ANEXO GENERAL REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE)	37
3.3.3. GUÍA DE INSTRUMENTOS Y MÉTODOS DE OBSERVACIÓN METEOROLÓGICOS OMM - N° 8	37
3.4. ESTADO DEL ARTE.....	38
3.4.1. Revisión Sistemática De La Literatura.....	38
3.4.2. Trabajos Relacionados.....	41
3.4.3. ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA ACTUALIDAD.	55
4. DISEÑO METODOLÓGICO	57
5. RESULTADOS	59
5.1. Diagnóstico sobre el uso y estado actual de las estaciones meteorológicas desplegadas en Bucaramanga.	59
5.2. Requerimientos funcionales y no funcionales de una solución tecnológica para el monitoreo del clima en Bucaramanga, basada en IoT.	67
5.2.1. Alcance de la solución.....	67
5.2.2. Especificación de Requerimientos	67
5.3. Diseño a nivel de hardware y software de una solución tecnológica para el monitoreo del clima basada en IoT.....	75
5.3.1. Situación actual	75
5.3.2. Diseño de hardware	77
5.3.3. Diseño del software.....	86
5.3.4. Diseño de red. Un adecuado funcionamiento en la comunicación garantiza la calidad de la solución tecnológica, de tal modo que se hace necesario diseñar un esquema de red y así garantizar total disponibilidad del sistema.....	89
5.3.5. Diseño físico del prototipo	93
5.3.6. Construcción del prototipo funcional.....	94
5.4. IMPLEMENTACIÓN A NIVEL DE HARDWARE Y SOFTWARE, DE UNA SOLUCIÓN TECNOLÓGICA BASADA EN TECNOLOGÍAS IOT PARA EL MONITOREO DEL CLIMA.....	99
5.4.1. Sitio de instalación	99
5.4.2. Comunicación a internet	102

5.4.3. Plataforma Web General.....	102
5.5. Pruebas Piloto del prototipo.....	104
6. CONCLUSIONES.....	106
7. TRABAJO FUTURO.....	107
8. REFERENCIAS.....	108
ANEXO A - Preparación para instalación del sistema embebido.....	115
ANEXO B – Desarrollo de página web.....	122

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de estaciones meteorológicas. Fuente: OMM.....	33
Tabla 2. Síntesis de documentos relacionados con AWS. Fuente: Elaboración propia.	41
Tabla 3. Sensores utilizados por tecnología ATmega. Fuente: Elaboración propia.....	46
Tabla 4. Sensores utilizados por tecnología PIC. Fuente: Elaboración propia.	49
Tabla 5. Sensores utilizados por plataforma Arduino. Fuente: Elaboración propia.	50
Tabla 6. Sensores utilizados por tecnología Raspberry PI. Fuente: Elaboración propia.	52
Tabla 7 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-04	69
Tabla 8 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-05	69
Tabla 9 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-06	69
Tabla 10 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-07	69
Tabla 11 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-08	69
Tabla 12 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-09	70
Tabla 13 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-10	70
Tabla 14 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-11	70
Tabla 15 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-12	70
Tabla 16 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-13	70
Tabla 17 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-14	70
Tabla 18 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-15	71
Tabla 19 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-16	71
Tabla 20 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-17	71
Tabla 21 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-18	71
Tabla 22 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-19	72
Tabla 23 Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-03	72
Tabla 24 Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-04	73
Tabla 25 Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-05	73

Tabla 26 Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-06	73
Tabla 27 Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-07	73
Tabla 28 Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-08	73
Tabla 29 Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-09	74
Tabla 30 Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-10	74
Tabla 31 Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-11	74
Tabla 32 Especificaciones Raspberry Pi. Fuente: Elaboración propia a partir de la información de raspberrypi.org.	78
Tabla 33 Especificaciones Arduino Uno_R3. Fuente: Elaboración propia a partir de información de descubreaduion.com	79
Tabla 34 Especificaciones DHT11. Fuente: Elaboración propia a partir de nayslampmechatronics.com.	81
Tabla 35 Especificaciones YL-83. Fuente: Elaboración propia a partir de información de mactronica.com.co.	82
Tabla 36 Especificaciones BMP280. Fuente: Elaboración propia a partir de información de nayslampmechatronics.com.	83
Tabla 37 Especificaciones UVM30A. Fuente: Elaboración propia a partir de información de mactronica.com.co.	84
Tabla 38 Especificaciones LM393. Fuente: Elaboración propia a partir de información de leantec.es.	85
Tabla 39 Características del servidor. Fuente Elaboración propia.....	85
Tabla 40 Actores del sistema. Fuente: Elaboración propia.	88
Tabla 41 Criterios de selección. Fuente: Elaboración propia.	89
Tabla 42 Direccionamiento de red clase B. Fuente: Elaboración Propia.	91
Tabla 43 Subred de la solución. Fuente: Elaboración Propia.	91

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Imagen de escala de temperatura. Fuente: AEMET.....	21
Ilustración 2. Gráfica de humedad relativa. Fuente: AEMET.	22
Ilustración 3. Rosa de los vientos, ocho rumbos. Fuente: AEMET.	23
Ilustración 4. Tabla de valores de sensación térmica por frío. Fuente: AEMET.	23
Ilustración 5. Categorías de exposición a la Radiación UV. Fuente: (OMS, 2003).....	25
Ilustración 6. Sistema de protección recomendado. Fuente: (OMS, 20 03)	25
Ilustración 7. Microcontrolador versus Microprocesador. Fuente: (Verle,2008).....	27
Ilustración 8. Raspberry Pi 3 Modelo B+, vista superior. Fuente: raspberrypi.org	27
Ilustración 9. Raspberry Pi 3 Modelo B+, vista lateral. Fuente: raspberrypi.org	28
Ilustración 10. Placa Arduino UNO Rev. 3. Fuente: arduino.cc.....	29
Ilustración 11. Placa Arduino LEONARDO. Fuente: arduino.cc.....	29
Ilustración 12. Características de una Smart City.....	32
Ilustración 13. Cantidad de documentos por año. Fuente: Elaboración propia.....	39
Ilustración 14. Tipo de documento. Fuente: Elaboración propia.	39
Ilustración 15. Cantidad de documentos por país. Fuente: Elaboración propia.....	40
Ilustración 16. Cantidad de documentos por país. Fuente: Elaboración propia.....	40
Ilustración 17. Fases de la metodología de investigación. Fuente: Elaboración propia.	57
Ilustración 18. Mapa de las CAR de Colombia. Fuente: MINAMBIENTE.....	60
Ilustración 19. Estructura de SNGRD. Fuente: portal.gestiondelriesgo.gov.co.....	61
Ilustración 20. Tabla de estaciones instaladas en B/manga y su área metropolitana. Fuente: CDMB.....	65
Ilustración 21. Catálogo Nacional de Estaciones del IDEAM. Fuente: IDEAM.	66
Ilustración 22. Catálogo Nacional de Estaciones de Otras Entidades. Fuente: IDEAM.	66

Ilustración 23 Estaciones Hidrometereológicas propias del IDEAM por tipo y tecnología. Fuente: Elaboración Propia a partir de la base de datos del IDEAM.	75
Ilustración 24 Estaciones Hidrometereológicas De otras Entidades por tipo y tecnología. Fuente: Elaboración Propia a partir de la base de datos del IDEAM.	76
Ilustración 25 Estado de Estaciones Hidrometereológicas en Bucaramanga. Fuente: Elaboración Propia a partir de la base de datos del IDEAM.	76
Ilustración 26 Diagrama de bloques del hardware del sistema. Fuente: Elaboración propia.....	77
Ilustración 27 Arduino Uno-R3. Fuente: Elaboración propia.	79
Ilustración 28 DHT11 Sensor de temperatura y humedad. Fuente: elaboración propia.	80
Ilustración 29 Sensor de lluvia YL-83. Fuente: Elaboración propia.....	81
Ilustración 30 Sensor de Presión Barométrica BMP280. Fuente: Elaboración propia...	82
Ilustración 31 Sensor Ultravioleta UVM30A. Fuente: Elaboración propia.	83
Ilustración 32 Sensor Intensidad de Luz LM393. Fuente: Elaboración propia.	84
Ilustración 33 Diagrama de flujo toma de mediciones. Fuente: Elaboración propia.	86
Ilustración 34 Ciclo de vida de AUP. Fuente: Ambyssoft.com	87
Ilustración 35 Modelo Relacional de la Base de Datos. Fuente: Elaboración propia.....	89
Ilustración 36 Esquema de red. Fuente: Elaboración propia.....	92
Ilustración 37 Esquema Cliente/Servidor. Fuente: Elaboración propia.	92
Ilustración 38 Diseño del prototipo. Fuente: Elaboración Propia.....	93
Ilustración 39 Distribución puertos Arduino Uno. Fuente: Elaboración propia.	94
Ilustración 40 Conexión del sensor DTH11 al Arduino. Fuente: Elaboración Propia.	95
Ilustración 41 Conexión de DTH11 y YL-83 al Arduino. Fuente: Elaboración propia. ...	96
Ilustración 42 Montaje de Raspberry Pi y Arduino. Fuente: Elaboración propia.....	96
Ilustración 43 Montaje y conexión de los microcontroladores y los sensores. Fuente: Elaboración propia.	97
Ilustración 44 Prototipo construido. Fuente: Elaboración propia.....	98

Ilustración 45 prototipo funcional de la página web. Fuente: Elaboración propia.	99
Ilustración 46 Calle 21 con Cra 20 - Portal Campestre F3. Fuente: Elaboración propia.	100
Ilustración 47 Calle 21 con Cra 20 - Portal Campestre F3. Fuente: Elaboración propia.	101
Ilustración 48 Router TP-Link Dsl-124. Fuente: Elaboración propia.	102
Ilustración 49 Visualización de la variable Humedad en la página web. Fuente: Elaboración propia.	103
Ilustración 50 Visualización de la variable presión en la página web. Fuente: Elaboración propia.....	103
Ilustración 51 Visualización de la variable Precipitación en la página web. Fuente: Elaboración propia.	104
Ilustración 52. Visualización de datos prueba piloto en consola. Fuente: Elaboración propia.....	105
Ilustración 53. Visualización de datos prueba piloto en Base de Datos. Fuente: Elaboración propia.	105

SOLUCIÓN TECNOLÓGICA BASADA EN TECNOLOGÍAS IOT PARA EL MONITOREO DEL CLIMA EN BUCARAMANGA.

Omar Felipe Silva Pinzón, Autor
César Alonso Rincón Muñoz, Autor
Nodier Alexander Vásquez Pavas, Autor
José David Ortiz Cuadros, Director de Tesis

RESUMEN

El proyecto “*Solución tecnológica basada en tecnologías IoT para el monitoreo del clima en Bucaramanga*”, es un prototipo funcional de un sistema cuya finalidad es monitorear el comportamiento climático según las principales variables ambientales, esencialmente temperatura, humedad y presión atmosférica, tomando como base análisis y revisión de artículos sobre diseños e implementaciones de estaciones meteorológicas, aprovechando las ventajas inmersas en la teoría de software y hardware libre.

El objetivo de este proyecto es el análisis, diseño y elaboración de una solución IoT para la medición y registro de las variables ambientales, puesto que en Bucaramanga y su área metropolitana se encuentran 9 estaciones de servicio, de las cuales 3 son meteorológicas y de estas últimas solo una está en servicio ¹. En Colombia, el campo de la meteorología e hidrología es de gran importancia debido a la riqueza natural que existe en todo el territorio nacional, por ello la razón de este proyecto.

Palabras clave: Weather station, IoT, Design, WSN.

¹ <http://mamon.cdmb.gov.co/web/gestion-institucional/gestion-territorio/gestion-riesgo/item/4248-monitoreo>

SOLUCIÓN TECNOLÓGICA BASADA EN TECNOLOGÍAS IOT PARA EL MONITOREO DEL CLIMA EN BUCARAMANGA.

Omar Felipe Silva Pinzón, Student
César Alonso Rincón Muñoz, Student
Nodier Alexander Vásquez Pavas, Student
José David Ortiz Cuadros, Thesis Director

ABSTRACT

The Technological Solution based on IoT technologies for weather monitoring in Bucaramanga, is a functional prototype of a system whose purpose is to monitoring the weather values according to the main environmental variables, essentially temperature, humidity and atmospheric pressure, based on analysis and reviews of articles about designs and implementations of weather stations, taking advantage of the immersed benefits in free software and hardware theory.

The objective of this project is the analysis, design and development of an IoT solution for the measurement and recording of environmental variables, since in Bucaramanga there are 9 service stations, of which 3 are meteorological and now days just one is operating ². In Colombia, the meteorological and hydrological field is very important due to the natural wealth that exists throughout the national territory, this is the reason for this project.

Keywords: Weather station, IoT, Design, WSN.

² <http://mamon.cdmb.gov.co/web/gestion-institucional/gestion-territorio/gestion-riesgo/item/4248-monitoreo>

INTRODUCCIÓN

La meteorología es una ciencia interdisciplinaria, la cual estudia el comportamiento de la atmósfera, algunos de los parámetros meteorológicos más conocidos son temperatura del aire, humedad, lluvia, presión atmosférica y velocidad y dirección del viento (Kashyap & Pati, 2015). Los cambios climáticos pueden influir en las actividades humanas como agricultura, ganadería, operaciones militares, entre otras. En los últimos años estos cambios se han vuelto más frecuentes y con mayor intensidad tales como inundaciones, tormentas, huracanes, entre otros, causados en parte por la explosión demográfica, el calentamiento global, la deforestación y otras actividades (Devaraju et al., 2015).

Recientemente se han publicado documentos que plantean diseños de soluciones para el monitoreo del clima.

Joseph plantea una solución que mide la temperatura, humedad relativa y detección de material particulado PM 10 y PM 2.5 utilizando un sensor SDS 011 conectado a un microcontrolador Raspberry PI utilizando como sistema operativo Raspbian Jesse OS. Se utiliza el lenguaje de programación Python, a través de la cual se muestran las interfaces y las gráficas de los datos arrojados por los sensores, también permitiendo la obtención de los datos a través de un documento JSON o CSV (Joseph, 2019).

Babu et al. Proponen una solución que utiliza la red Wi-Fi que permitirá la transmisión de los datos de forma efectiva y a mayor velocidad, permitiendo una conexión estable entre el dispositivo y el servidor de almacenamiento de datos alojado en internet. De igual forma emplean como mejor opción el microcontrolador Raspberry PI. La utilización de los sensores más económicos del mercado obliga a los desarrolladores del sistema a calibrarlos y compararlos con otro método de medición para garantizar la fiabilidad de los datos obtenidos. y lograr un sistema de máxima precisión, que pudiera monitorear el clima en tiempo real, también, utilizó un servidor que puede mostrar y almacenar los datos recopilados (Babu et al., 2017).

Según Ruano et al. Dicen que al tener múltiples servicios activados el consumo de energía es bastante alto. Para este problema programan dos estados de la estación depuración y ahorro (Ruano et al., 2015).

El presente documento está organizado de la siguiente forma: sección 1 Planteamiento del problema y justificación. Sección 2 Objetivos. Sección 3 Marco referencial. Sección 4 Diseño metodológico. Sección 5 Avance. Sección 6 Cronograma de actividades. Sección 7 Presupuesto.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Esta sección se centra en plasmar el problema identificado, citando fuentes de información relevantes que sustentan dicha problemática, también cuenta con la justificación de la importancia del desarrollo y propuesta de este trabajo de grado.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

“La CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) define en su artículo 1 el cambio climático como ‘un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables’ (Leach & Shapiro, 1986)

El cambio climático en Colombia amenaza con una inundación del 4.9% de las áreas de cultivos y pastos de la zona costera del caribe, se verían afectados por intrusión salina los acuíferos que abastecen el 82% el agua para consumo humano en San Andrés, avalanchas en las quebradas vecinas a los páramos debido a la erosión de las tierras por cultivos y ganadería intensa, afectación de una tercera parte de las zonas que actualmente son agro ecosistemas y un incremento de áreas vulnerables para el desarrollo de malaria y dengue, por nombrar algunas de las amenazas³.

Según Vanguardia en Santander la temperatura aumenta en promedio un 0,04°C por año, las lluvias serán más escasas y las sequías más intensas. Este aumento de la temperatura trae como consecuencia la reducción del área de suelos fértiles por la desertificación perdiendo su productividad, en 2016 17 municipios santandereanos se declararon en calamidad pública por la escasez del agua, pérdidas de las cosechas como en 2015 donde se perdió casi el 80% del cultivo de frijol motivo de falta de lluvia en las épocas esperadas ⁴.

Julia Bedoya & Melva Salazar en el 2014 publicaron un documento donde se planteaba las siguientes preguntas ¿cuál es la capacidad de adaptación de las diversas regiones para afrontar las situaciones derivadas del cambio climático? Y ¿cuáles son las posibilidades de adaptación de las regiones al cambio climático? Muestra la necesidad de que las entidades gubernamentales tengan en cuenta en sus agendas y planes de desarrollo el tema del cambio climático, para que así pueda haber recursos destinados al planteamiento de estrategias para la adaptación de las regiones al cambio climático (Bedoya-Mashuth & Salazar de Cardona, 2014).

³ <https://www.minambiente.gov.co/index.php/cambio-climatico/que-es-cambio-climatico/impacto-del-cambio-climatico-en-colombia>

⁴ <https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/como-le-afecta-el-cambio-climatico-si-vive-en-bucaramanga-o-santander-HQVL396155#:~:text=En%20Santander%20y%20Bucaramanga%20ya,migran%2C%20pues%20ecosistemas%20est%C3%A1n%20desapareciendo.>

Según el Plan de Desarrollo Nacional de Colombia, no se cuenta con dispositivos interconectados que brinden información sobre el clima y sus respectivos cambios. (Desarrollo et al., 2018). El Área Metropolitana de Bucaramanga cuenta con 9 estaciones meteorológicas según la CDMB, de las cuales, según datos públicos emitidos en el portal web de la Corporación, solo se puede obtener información de 3 de ellas y de las cuales, generalmente solo 1 está activa; el no contar con una red de estaciones meteorológicas idóneas, hace difícil la obtención de los datos y más aún cuando estas no se encuentran en operación.

Para poder plantear estrategias de prevención, mitigación y adaptación se necesita tener datos que permitan conocer la evolución del cambio climático, las zonas más afectadas y zonas donde se puede presentar. Pero actualmente no existe un sistema de tecnologías, en el área metropolitana de Bucaramanga, que monitoree y recolecte datos del comportamiento del clima.

Por tal razón es importante la implementación de un plan de choque contra estos fenómenos climáticos, que a su vez garantice una constante monitorización de las variables ambientales de la ciudad, mediante sistemas que permitan su manipulación y sus costos de producción no sean excesivamente altos.

En este punto intervienen el presente proyecto, ya que se plantea una solución IOT, que sea de bajo coste, modular, escalable y abierta en lo que concierne a su estudio y ejecución; permitiendo de esta manera ser acoplable en un futuro con diversos sistemas de comunicación para la transmisión y recepción de datos en lo referente a la medición de variables climáticas.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La facultad de estudiar y pronosticar eventos climáticos es una necesidad de gran importancia por parte de todos los organismos involucrados. De forma oficial se presentó su importancia en la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de 1992, así como en la Declaración de Río, como en el Plan de Acción denominado agenda 21 (Organización Meteorológica Mundial, 1999)

La definición de servicio hidrometeorológico, climático y medioambiental urbano integrado fue propuesto por la OMM para suplir las necesidades futuras de sus Miembros, puntualmente para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. (Organización Meteorológica Mundial, 2018)

En relación con el principio 10 de la Declaración de Río donde se dispuso que: “(...) toda persona deberá tener acceso adecuado a la información sobre el medio ambiente de que dispongan las autoridades, incluida la información sobre los materiales y las actividades que encierran peligro en sus comunidades, así como la oportunidad de participar en los procesos de adopción de decisiones. Los Estados deberán facilitar y fomentar la sensibilización y la participación de la población poniendo la información a disposición de todos.” (MINAMBIENTE, 2012)

El principio anteriormente mencionado permite que toda persona tenga acceso a la información, con el derecho de la sociedad a participar en la toma de decisiones, permitiendo de este modo obtener información oportuna y precisa.

Cabe señalar que en el Capítulo 40 de la Agenda 21, hace alusión al tema de la información para la adopción de decisiones:

“El mejoramiento del acceso a la información, puesto que, aunque en ocasiones existen varios datos que podrían emplearse para una gestión sostenible, seguido de una toma de decisiones, es difícil encontrar información adecuada. Dicha información no se encuentra ordenada y sistematizada, ya sea por obstáculos financieros, baja capacitación del personal encargado, desconocimiento del valor y utilidad, entre otros”

Siguiendo en la Agenda 21, el Capítulo 34 menciona claramente la transferencia de tecnología, dando a conocer que todos los países necesitan tener acceso a tecnologías eficaces y modernas para alcanzar el desarrollo sostenible.

Por todo lo anterior, se ratifica la necesidad imprescindible de un plan de acción sobre el manejo de la información ambiental, siendo integrada por medio de la ley 99 de 1993 como legislación nacional de carácter obligatorio.

Es por esta razón y gracias al gran avance tecnológico de los últimos años, puntualmente el de la microelectrónica y la construcción de sensores que este proyecto propone una solución IoT que complementa los objetivos anteriormente descritos, brindando un

manejo adecuado a la recolección y análisis de datos ambientales. Dicha solución IoT estará respaldada por el desarrollo de sistemas embebidos que integran múltiples funcionalidades, facilitando la administración de la información y permitiendo el uso de múltiples sensores para el control de todo tipo de variables que se requieran supervisar, aumentando la información sobre sucesos climáticos.

Estos avances hacen que sistemas de este tipo sean una alternativa importante para el manejo de una estación meteorológica, ya que permite ser adaptada a las diferentes variables ambientales y posteriormente usar estos datos para la elaboración de predicciones del clima a partir de modelos numéricos como parte de estudios climáticos y ambientales, mejorando gradualmente el manejo de alertas tempranas, en base a su precisión y fiabilidad en la administración de los datos, como resultados a estudios previos de las mediciones realizadas, que permitan confirmar la veracidad de la información generada por el diseño de la solución. (Pérez & Vargas, 2018) (Ibrahim et al., 2015)

Ahora bien, conforme a la situación de Bucaramanga y su Área metropolitana donde se lleva a cabo el presente proyecto, se evidencia notables necesidades del estudio de las variables ambientales, teniendo en cuenta el impacto del cambio climático que ha afectado diferentes sectores de la región que podrían ser alertados con el fin de minimizar el impacto negativo, implementando este tipo de tecnologías para la medición de variables, predicción de eventos atmosféricos y climáticos.

En definitiva, todo lo anterior hace que sea necesario realizar este tipo de investigaciones, con el fin de proponer soluciones tecnológicas que beneficien a la comunidad en general, generando beneficios tales como obtener la veracidad de los datos obtenidos en diferentes intervalos de tiempo y de esta manera, brindar información accesible y oportuna a los ciudadanos.

1.3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo construir una estación meteorológica autónoma y funcional que se adecue a las necesidades de la ciudad de Bucaramanga haciendo uso de tecnologías IoT?

1.4. HIPÓTESIS

Utilizando IoT, se puede realizar mediciones en tiempo real y a su vez, obtener toda la información necesaria para la visualización de variables medio ambientales.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una solución tecnológica basada en tecnologías IoT para el monitoreo del clima en Bucaramanga en tiempo real.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Elaborar un diagnóstico sobre el uso y estado actual de las estaciones meteorológicas desplegadas en Bucaramanga.
2. Diseñar una solución tecnológica basada en tecnologías IoT para el monitoreo del clima en Bucaramanga empleando estaciones meteorológicas.
3. Desarrollar un prototipo funcional de una estación meteorológica basada en tecnologías IoT para el monitoreo del clima en Bucaramanga.

3. MARCO REFERENCIAL

En esta sección se expondrán los conceptos, teorías y leyes que fundamentan el proyecto presentado.

3.1. MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se presentarán algunos conceptos tratados en el documento y que son importante con el fin de que cuando se mencione alguno de estos, haya un fundamento básico que permita entender apropiadamente qué es.

3.1.1. Estación meteorológica

Una estación meteorológica es un dispositivo que recolecta datos relacionados con el clima y el medio ambiente a través de sensores. (Acurite, 2012)

Hay varios tipos de estaciones meteorológicas, pero el presente documento se centra en estaciones meteorológicas automáticas “Automatic Weather Station (AWS)”, la cual está definida como “Estación meteorológica en la que las observaciones se realizan y transmiten automáticamente” (OMM, 2017a)

En una AWS, la información de las mediciones es leída y recibida por una unidad central de adquisición de datos, y a su vez, esta información puede ser procesada tanto local como remotamente. (OMM, 2017a)

De acuerdo con la OMM, las variables que se pueden medir al momento de instalar una AWS son las siguientes:

- Temperatura
- Presión atmosférica
- Humedad relativa
- Velocidad del viento
- Dirección del viento
- Sensación térmica
- Radiación
- Punto de rocío
- Precipitación

3.1.2. Temperatura

“Magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio media de las moléculas de un cuerpo físico” (IDEAM, 2019b)

“Su definición procede del principio cero de la termodinámica que establece que dos cuerpos en equilibrio térmico con un tercero están en equilibrio térmico entre sí. Así, la temperatura aparece como una propiedad termodinámica y no en función de las propiedades de una sustancia.” (AEMET, 2017)

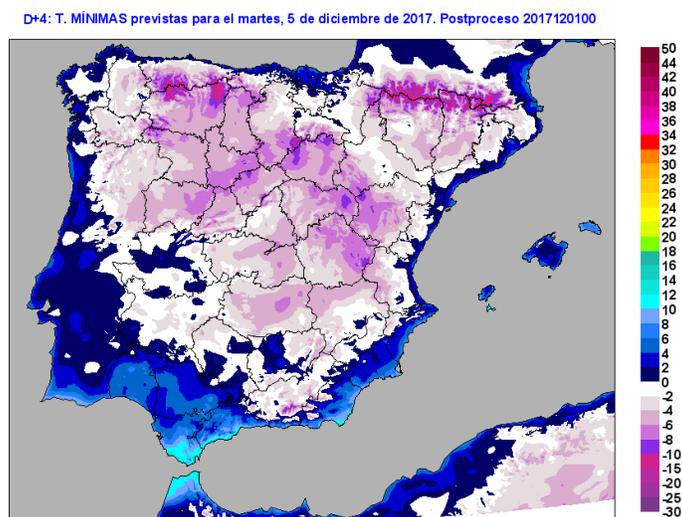


Ilustración 1. Imagen de escala de temperatura. Fuente: AEMET.

Se usan varias escalas de referencia para poder indicar la temperatura de un cuerpo, Celsius (Grados Centígrados o Grados Celsius), Kelvin (Kelvin) y Fahrenheit (Grados Fahrenheit). (AEMET, 2017)

3.1.3. Presión atmosférica

“Presión (Fuerza por unidad de área o Barométrica) ejercida por la atmósfera sobre cualquier superficie en virtud de su peso. Equivale al peso de la columna de aire de sección transversal unitaria que se extiende desde un nivel dado hasta el límite superior de la atmósfera.” (IDEAM, 2019b)

“Para medir la presión atmosférica existen diferentes tipos de barómetros. La unidad medida es el milibar o hectopascal.” (AEMET, 2017)

3.1.4. Humedad relativa

“Es el vapor de agua que existe en una masa de aire, expresado como un porcentaje de la cantidad máxima que podría contener para la misma temperatura. Se expresa en unidades enteras que van de cero (0) hasta el 100%.” (IDEAM, 2019b)(AEMET, 2017)

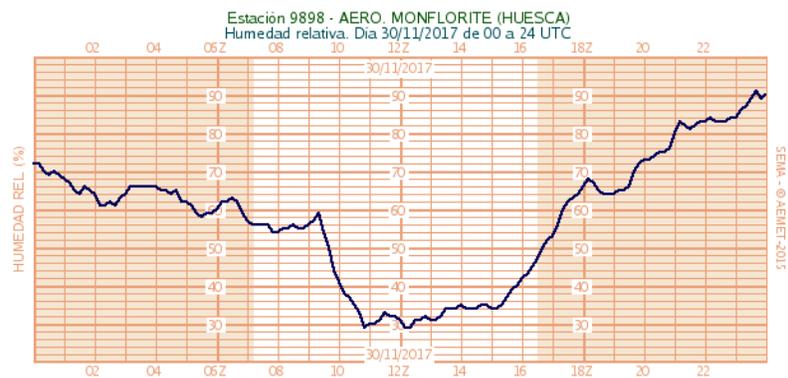


Ilustración 2. Gráfica de humedad relativa. Fuente: AEMET.

3.1.5. Velocidad del viento

“Velocidad máxima del viento observada en un intervalo de tiempo determinado. Se expresa en Km/h o en m/s.”(AEMET, 2017)

3.1.6. Dirección del viento

“Dirección en la que sopla el viento. Puede ser expresada en grados a partir del norte geográfico o también a través de las ocho (8) o dieciséis (16) rumbos de la rosa de los vientos.”(AEMET, 2017)

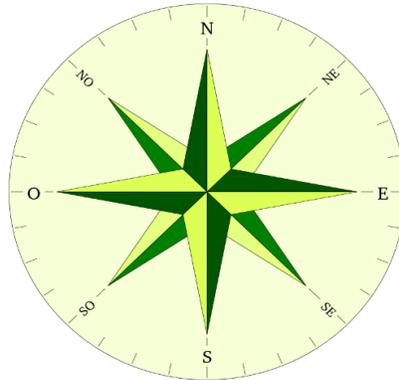


Ilustración 3. Rosa de los vientos, ocho rumbos. Fuente: AEMET.

3.1.7. Sensación térmica

“Sensación de frío o de calor que siente una persona a través de la piel según una combinación de parámetros meteorológicos, generalmente la temperatura, el viento y la humedad relativa. Existen una serie de índices que pretenden cuantificar este efecto y que, aunque no son una temperatura, se expresan en sus mismas unidades, grados centígrados. Entre estos índices se encuentran el wind chill para la sensación térmica por frío, y el índice de calor (heat index) para la sensación térmica por calor.”(AEMET, 2017)



TABLA DE VALORES DE SENSACIÓN TÉRMICA POR FRÍO (WIND CHILL)

		TEMPERATURA DEL AIRE EN GRADOS CELSIUS (C)										
		0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
VIENTO A 10 m (km/h)	5	-2	-7	-13	-19	-24	-30	-36	-41	-47	-53	-58
	10	-3	-9	-15	-21	-27	-33	-39	-45	-51	-57	-63
	15	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41	-47	-54	-60	-66
	20	-5	-11	-18	-24	-30	-37	-43	-49	-56	-62	-68
	25	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-44	-51	-57	-64	-70
	30	-6	-13	-19	-26	-32	-39	-46	-52	-59	-65	-72
	35	-7	-13	-20	-27	-33	-40	-47	-53	-60	-66	-73
	40	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-47	-54	-61	-67	-74
	45	-8	-14	-21	-28	-35	-41	-48	-55	-62	-68	-75
	50	-8	-15	-22	-29	-35	-42	-49	-56	-63	-69	-76
	55	-8	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-56	-63	-70	-77
	60	-9	-16	-23	-29	-36	-43	-50	-57	-64	-71	-78
	65	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79
	70	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79
	75	-9	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-66	-73	-80
	80	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-67	-74	-81

Umbral aproximados:

Riesgo bajo:	-10 a -27	Riesgo de hipotermia por permanencia prolongada a la intemperie.	Con la piel expuesta al aire ambiente inicialmente caliente. Si la piel está inicialmente fría, menor tiempo.
Riesgo moderado:	-28 a -39	Riesgo de congelaciones por exposición prolongada, 10 a 30 minutos*.	
Riesgo alto:	-40 a -54	Riesgo de congelaciones en 10 minutos*.	
Riesgo muy alto:	-55 ó menos	Riesgo de congelaciones en menos de 2 minutos*.	

* Con vientos sostenidos de más de 50 km/h, las congelaciones pueden producirse más rápidamente.

Ilustración 4. Tabla de valores de sensación térmica por frío. Fuente: AEMET.

3.1.8. Radiación

“Emisión o transferencia de energía en forma de ondas o partículas electromagnéticas.

Se representa gráficamente con el diagrama de radiación, el cual es utilizado para calcular el flujo de radiación de onda larga en la atmósfera a partir de la distribución de la temperatura y los componentes principales de la atmósfera, tanto absorbentes como emisores (vapor de agua y anhídrido carbónico).” (IDEAM, 2019b)

“Se llama radiación ionizante si transporta suficiente energía como para provocar ionización (rayos X, rayos gamma, partículas alfa y parte del espectro de radiación ultravioleta).” (AEMET, 2017)

3.1.9. Punto de Rocío

“Temperatura a la que debe enfriarse un volumen de aire, a presión y humedad constantes, para alcanzar la saturación. Al alcanzar el punto de rocío la humedad relativa es del 100% y cualquier enfriamiento posterior conlleva condensación de humedad del aire.”(IDEAM, 2019b)(AEMET, 2017)

3.1.10. Índice UV

Es la forma de medir la cantidad de radiación ultravioleta que llega a la superficie de la tierra. Está sujeto a factores como; la cantidad de ozono que hay en la columna atmosférica de la elevación del sol, de la altitud del mar y de la nubosidad.

*En la actualidad existe un índice ultravioleta estándar de la **Organización Mundial de la Salud** en colaboración con la **Organización Meteorológica Mundial**, el programa **Naciones Unidas para el Medio Ambiente** y la **Comisión Internacional para la Protección Frente a Radiaciones No-Ionizantes**.”(AEMET, 2017)*

Con el estándar se crea un código de colores en el que se categoriza 11 categorías de exposición. (OMS, 2003)

CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN

INTERVALO DE VALORES DEL IUUV

BAJA	< 2
MODERADA	3 A 5
ALTA	6 A 7
MUY ALTA	8 A 10
EXTREMADAMENTE ALTA	11+

Ilustración 5. Categorías de exposición a la Radiación UV. Fuente: (OMS, 2003)

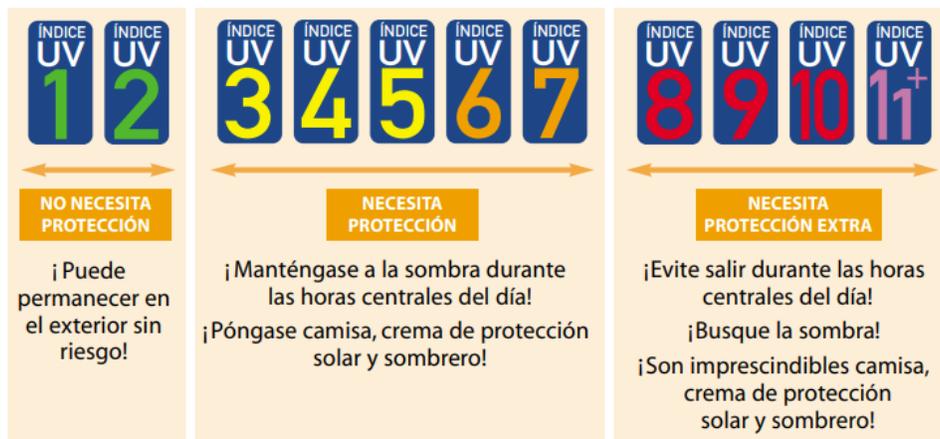


Ilustración 6. Sistema de protección recomendado. Fuente: (OMS, 2003)

Existen e tipos de radiación UV:

- Rayos UV-A: Penetran más profundamente la piel que los rayos UV-B alteran las fibras de colágeno y elastina. Producen envejecimiento y algunos cánceres de piel. (AEMET, 2017)
- Rayos UV-B: Provocan la mayoría de los tipos de cáncer de piel, lesiones oculares y tienen efectos en el sistema inmunitario. La mayor parte de la radiación la absorbe la capa de ozono.(AEMET, 2017)
- Rayos UV-C: Son extremadamente nocivos, pero ya que su longitud de onda es corta, no llegan a la superficie de la tierra.(AEMET, 2017)

3.1.11. Precipitación

“Hidrometeoro consistente en la caída de un conjunto de partículas. Las formas de precipitación son: lluvia, llovizna, nieve, cinarra, nieve granulada, polvo diamante, granizo y gránulos de hielo.” (AEMET, 2017)

“Es la caída de partículas de agua líquida o sólida que se originan en una nube, atraviesan la atmósfera y llegan al suelo. La cantidad de precipitación es el volumen de agua lluvia que pasa a través de una superficie en un tiempo determinado.”(IDEAM, 2019b)

3.1.12. Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado que se encarga de integrar periféricos para soportar un control rápido, es decir, contiene los elementos necesarios de un sistema informático completo: CPU, memoria, oscilador de reloj, entre otros. (Bannatyne & Viot, 1998)

Se puede dar un ejemplo con la diferencia que hay entre un microprocesador y un microcontrolador para entender mejor el concepto. La primera es que para poder utilizar un microprocesador se le deben agregar otros componentes como la memoria o la transmisión de datos, y aunque son máquinas potentes, su debilidad es que no están ajustados a la comunicación con los periféricos, esto se traduce en que deben usar circuitos especializados, agregados como chips externos, para poder conectarse a su entorno periférico. Por otro lado, el microcontrolador está diseñado para contener todo eso en uno solo, no se necesita componentes externos ni circuitos especializados para su aplicación porque todos los circuitos necesarios que pertenecen a periféricos ya están integrados en él; esto genera ahorro en el tiempo y espacio necesarios para diseñar un dispositivo. (Verle, 2008)

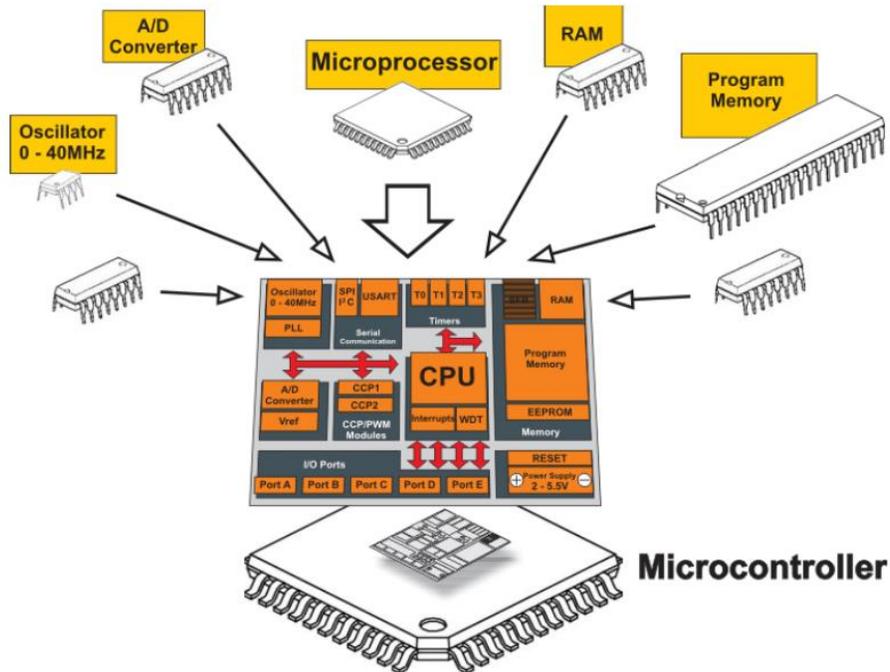


Ilustración 7. Microcontrolador versus Microprocesador. Fuente: (Verle,2008)

3.1.13. Raspberry Pi

Raspberry Pi es una placa de computadora pequeña, potente y económica. Funciona de la misma forma que un PC estándar, es portable, ya que, aunque necesita de teclado, unidad de visualización y fuente de alimentación su tamaño es igual al de una tarjeta de crédito. (Maksimović et al., 2014)



Ilustración 8. Raspberry Pi 3 Modelo B+, vista superior. Fuente: raspberrypi.org

El Raspberry Pi 3 Modelo B+ es un sistema basado en Arm Cortex A53 de cuatro núcleos y 64 bits que funciona a 1.4GHz. Tiene 1 GB (GigaByte) de memoria RAM que se ejecuta a 900MHz, con 1000BASE-T 802.3 Ethernet (a 300Mbps), LAN inalámbrica de banda dual 2.4GHz y 5GHz 802.11b /g /n /ac y Bluetooth 4.2. (Raspberry Pi Foundation, 2016)



Ilustración 9. Raspberry Pi 3 Modelo B+, vista lateral. Fuente: raspberrypi.org

Almacena sus datos en una tarjeta microSD. Tiene un puerto HDMI, un conector de audio y video analógico de 3,5 mm, cuatro puertos USB 2.0, un conector Ethernet 1000BASE-T, un encabezado GPIO de 40 pines (integrados) y la cámara y mostrar interfaces seriales.(Strickland, 2018)

Raspberry Pi, como cualquier otra computadora usa un sistema operativo; para este caso, la opción oficial de la plataforma es Raspbian (Raspberry Pi Foundation, 2016) sin embargo está abierta la posibilidad de instalar otro SO que se ajuste a las necesidades del proyecto como la versión IoT de windows 10 (Donat, 2018) o incluso otras distribuciones de Linux que aparecen en la página web de la plataforma, tales como Ubuntu MATE, Ubuntu Core, Libre Elec, PiNet, entre otras. (Raspberry Pi Foundation, 2016)

3.1.14. Arduino

Arduino es una plataforma de código abierto utilizada para la construcción y programación de productos electrónicos. (Badamasi, 2014) Las placas de Arduino pueden leer entradas (luz en un sensor, pulsación de un botón, entre otros) y convertirlas en salidas (accionar un motor, encender una luz, etc). Es decir, se le puede decir que

hacer al microcontrolador de la placa. Para dar las instrucciones se utiliza el lenguaje de programación Arduino y el software Arduino (IDE).⁵



Ilustración 10. Placa Arduino UNO Rev. 3. Fuente: arduino.cc

Arduino Uno es una placa de microcontrolador basada en el microcontrolador ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada / salida digital (de los cuales 6 se pueden usar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio.⁶



Ilustración 11. Placa Arduino LEONARDO. Fuente: arduino.cc

El Arduino Leonardo es una placa de microcontrolador basada en el ATmega32u4. Tiene 20 pines de entrada / salida digital (de los cuales 7 se pueden usar como salidas PWM y

⁵ <https://www.arduino.cc/>

⁶ <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>

12 como entradas analógicas), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión micro USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio.⁷

Hay una cantidad bastante amplia de placas Arduino por ejemplo Arduino UNO, Arduino LEONADO, Arduino 101, Arduino ZERO, Arduino Wi-Fi, LILYPAD Arduino, entre otros muchos. Y entre sus ventajas están: lo baratas que son sus placas (en comparación a similares en el mercado), es multiplataforma (permite trabajar en Windows, Macintosh OS X y Linux), entorno de programación sencillo, software y hardware de código abierto y extensible.⁸

⁷ <https://store.arduino.cc/usa/leonardo>

⁸ <https://www.arduino.cc/>

3.2. MARCO TEÓRICO

A continuación, se mostrarán los fundamentos conceptuales que respaldan la elaboración de este proyecto.

3.2.1. Internet of Things (IoT)

El término Internet of Things (también conocido como Internet de las Cosas o Internet de los Objetos) fue empleado por primera vez en 1999 durante una presentación de Kevin Ashton (Elder, 2019) para describir un sistema por medio del cual los objetos del mundo físico se podían conectar a través de internet por medio de sensores, fue propuesta para funcionar a través de una red de identificación por radiofrecuencia (RFID) como núcleo y conecta los objetos o cosas a través de los dispositivos de detección e internet (Guo et al., 2011). Es decir, es concebido como una red global de máquinas y dispositivos capaces de interactuar entre sí (Lee & Lee, 2015).

IoT se ha vuelto más relevante para el mundo debido en gran parte al aumento del uso de dispositivos móviles, comunicación integrada, computación en la nube y analítica de datos (Patel et al., 2016), así como también, es una de las áreas más importantes de la tecnología futura y está recibiendo una gran atención de una amplia gama de industrias (Lee & Lee, 2015).

De igual forma, organizaciones como la *International Telecommunication Union – ITU*, nos brinda un concepto más aterrizado: *“Infraestructura mundial para la sociedad de la información que propicia la prestación de servicios avanzados mediante la interconexión de objetos (físicos y virtuales) gracias a la interoperabilidad de tecnologías de la información y la comunicación presentes y futuras.”*(UIT-T, 2012)

Cinco tecnologías son ampliamente utilizadas para la implementación de productos y servicios exitosos basados en IoT (Lee & Lee, 2015):

- Radio Frequency Identification – RFID (Identificación por radiofrecuencia).
- Wireless Sensor Network – WSN (Redes de sensores inalámbricos).}
- Middleware.
- Cloud Computing (Computación en la nube).
- IoT Application Software.

3.2.2. Smart Cities (Ciudades Inteligentes)

La definición de *ciudad ideal* se concibió en proyectos posteriores a la segunda guerra mundial en los que se abordaba la idea de ciudades industrializadas que se crearan como “máquinas para vivir”. Esta idea fue contextualizada como un fenómeno social, tecnológico y urbano (Mardacany, 2014); aunque en la actualidad no se ha podido consensuar la definición de este término ya que se abarca desde diferentes puntos de vista por su gran alcance, pero, todas las definiciones son aceptadas (Ismagilova et al., 2019).

En el documento de Silva se muestra que una Smart City está compuesta por cuatro atributos fundamentales: sostenibilidad, calidad de vida, urbanización e inteligencia, cada uno con ciertos sub atributos secundarios que permiten dar paso a la obtención de ese resultado, como se muestra en la ilustración 12:



Ilustración 12. Características de una Smart City.

Se debe tener en cuenta que una ciudad inteligente surge para brindar solución a problemas en diferentes aspectos de la sociedad a través de la tecnología, ya que involucra tanto aspectos tecnológicos como aspectos holísticos (Silva et al., 2018).

Seis tecnologías son esenciales para ayudar a que una ciudad inteligente funcione, Smart Energy, Smart Transportation, Smart Data, Smart Infrastructure, Smart Mobility y Smart IoT Devices, las cuales trabajan en conjunto para poder obtener los datos suficientes para catalogar a una ciudad inteligente como tal. (Maddox, 2016)

Los dispositivos IoT para ciudades inteligentes incluyen servicios como iluminación inteligente, estacionamiento inteligente, sistemas inteligentes de gestión del tráfico, gestión inteligente de residuos, videovigilancia con análisis y monitoreo en tiempo real de la contaminación, clima y calidad del aire. Esto puede ayudar a que las ciudades sea más accesibles, más seguras, más ecológicas y más habitables (Cisco, 2019).

3.2.3. Meteorología

La Meteorología es la ciencia encargada del estudio de la atmósfera, de sus propiedades y de los fenómenos que en ella tienen lugar, los llamados meteoros. El estudio de la atmósfera se basa en el conocimiento de una serie de magnitudes, o variables meteorológicas, como la temperatura, la presión atmosférica o la humedad, las cuales varían tanto en el espacio como en el tiempo (Jiménez et al., 2004).

Las observaciones meteorológicas se deben realizar en lugares establecidos, donde es necesario contar con datos meteorológicos para una o varias finalidades, ya sea en tiempo real, en tiempo diferidos o ambos. Estos lugares deben reunir ciertas condiciones técnicas normalizadas y se los denomina "estaciones meteorológicas" (Basualdo, 2015).

Clasificación de las Estaciones Meteorológicas

De acuerdo con lo establecido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), las estaciones meteorológicas se clasifican de la siguiente manera:

Tabla 1. Clasificación de estaciones meteorológicas. Fuente: OMM

Según su finalidad	Clasificación
Sinóptica	Climatológica, Agrícola, Especiales, Aeronáuticas, Satélites.
De acuerdo con la magnitud de las observaciones	Principales, Orinales, Auxiliares o adicionales.
Por el nivel de observación	Superficie, Altitud.
Según el lugar de observación	Terrestre, Aéreas, Marítimas.

Como se observa en la tabla anterior una estación meteorológica puede tener diferentes finalidades, dependiendo de los propósitos para los cuales fue instalada. La información se utiliza en varias aplicaciones u observaciones adicionales que le dan sus características. Por lo tanto, en una estación meteorológica pueden combinarse dos o más categorías simultáneamente (IDEAM, 2019a).

Equipos e Instrumentos Meteorológicos

Cada ciencia tiene su propio equipamiento e instrumentos. Sin, embargo la meteorología es una disciplina corta en equipos de laboratorio y amplia en los quipos de observación de campo. En diversos escenarios esto puede parecer aceptable, sin embargo, puede hacer que simples observaciones se desvíen hacia una afirmación errónea.

Una Estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables climáticas. Los datos recolectados se emplean para la elaboración de predicciones climáticas a partir de modelos numéricos. Dichas estaciones están equipadas con los principales instrumentos de medición según sea su clasificación seleccionada, dentro de esos encontramos:

- Anemómetro (Mide la Velocidad del viento)
- Velea (Señala la dirección del viento)
- Barómetro (Mide la presión atmosférica)
- Heliógrafo (Mide la insolación recibida en la superficie terrestre)
- Higrómetro (Mide la Humedad)
- Piranómetro (Mide la Radiación Solar)
- Pluviómetro (Mide el agua caída)
- Termómetro (Mide la temperatura)

Estos instrumentos se encuentran protegidos en un cubículo o casilla ventilada, la cual se denomina abrigo meteorológico o Pantalla de Stevenson, la cual mantiene la luz solar directa lejos del termómetro y al viento lejos del higrómetro, de modo que no se alteren las mediciones de éstos (INEC, 1960).

Observaciones Meteorológicas

La observación meteorológica consiste en la medición y determinación de todos los elementos que en su conjunto representan las condiciones del estado de la atmósfera en un momento dado y en un determinado lugar utilizando instrumental adecuado.

Dichas observaciones se realizan con métodos y de forma sistemática, uniforme, ininterrumpida y a rangos de horas establecidas, permiten conocer las características y variaciones de los elementos climáticos, los cuales forman los datos básicos que utilizan los servicios meteorológicos, tanto en tiempo real como parcial. Las observaciones deben hacerse, invariablemente, a las horas preestablecidas y su ejecución tiene que efectuarse empleando el menor tiempo posible.

La veracidad y exactitud de las observaciones es de vital importancia, ya que de no darse esas condiciones óptimas se lesionan los intereses, no solo de la meteorología, sino de

todas las actividades humanas que se obtienen de ella. En este sentido, la responsabilidad del observador es mayor de lo que generalmente él mismo supone (Nuñez & Gentile, 2015).

Observaciones Sinópticas

Son observaciones que se realizan de forma horaria (horas fijas del día) remitiéndolas inmediatamente a un centro recolector de datos, mediante mensajes codificados, por la vía de comunicación más rápida disponible. Estas observaciones se utilizan para una multitud de fines meteorológicos, en general en tiempo real, es decir, de uso inmediato, y especialmente para la elaboración de mapas meteorológicos para realizar el correspondiente diagnóstico y formular los pronósticos del tiempo para las diferentes actividades (Nuñez & Gentile, 2015).

Observaciones Aeronáuticas

Son observaciones especiales que se efectúan en las estaciones meteorológicas instaladas en los aeródromos, esencialmente para satisfacer las necesidades de la aeronáutica, aunque comúnmente se hacen también observaciones sinópticas. Estas observaciones se comunican a otros aeródromos y, frecuentemente, a los aviones en el vuelo, pero en los momentos de despegue y aterrizaje, el piloto necesita algunos elementos esenciales de la atmósfera, como el tiempo presente, dirección y velocidad del viento, visibilidad, altura de las nubes bajas, reglaje altimétrico, etc., para la seguridad de la nave, tripulación y pasajeros (Nuñez & Gentile, 2015).

Observaciones Climatológicas

Son observaciones que se efectúan para estudiar el clima, es decir, el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizados por los estados y las evaluaciones del tiempo en una porción determinada del espacio. Estas observaciones difieren muy poco de las sinópticas en su contenido y se realizan también a horas fijas, tres o cuatro veces al día (por lo menos) y se complementan con registros continuos diarios o semanales, mediante instrumentos registradores (Nuñez & Gentile, 2015).

Observaciones Agrícolas

Son observaciones que se hacen de los elementos físicos y biológicos del medio ambiente, para determinar la relación entre el tiempo y la vida de plantas y animales. Con estas observaciones, se trata de investigar la acción mutua que se ejerce entre los factores meteorológicos e hidrológicos, por una parte, y la agricultura en su más amplio sentido, por otra. Su objeto es detectar y definir dichos efectos para aplicar después los conocimientos que se tienen de la atmósfera a los aspectos prácticos de la agricultura.

Al mismo tiempo se trata de disponer de datos cuantitativos, para las actividades de planificación, predicción e investigación agrometeorológicas y para satisfacer, plenamente, la función de ayuda a los agricultores, para hacer frente a la creciente demanda mundial de alimentos y de productos secundarios de agrícola (Nuñez & Gentile, 2015).

Observaciones De La Precipitación

Son observaciones relativas a la frecuencia, intensidad y cantidad de precipitación, ya sea en forma de lluvia, llovizna, aguanieve, nieve o granizo y constituyen elementos esenciales de diferentes tipos de observaciones. Dada la gran variabilidad de las precipitaciones tanto desde el punto de vista espacial como temporal se debe contar con un gran número de estaciones suplementarias de observación de la precipitación (Nuñez & Gentile, 2015).

3.3. MARCO LEGAL

A continuación, se mostrarán las leyes, nacionales o internacionales, que aplican en la elaboración de este proyecto.

3.3.1. UIT-T Y.4000 Para IoT

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones y de las tecnologías de la información y la comunicación. El Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de

Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas. En este caso se toman las recomendaciones de la UIT-T Y.4000 (UIT-T, 2012).

3.3.2. ANEXO GENERAL REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS (RETIE)

Establece requisitos que garanticen los objetivos legítimos de protección contra los riesgos de origen eléctrico, para esto se han recopilado los preceptos esenciales que definen el ámbito de aplicación y las características básicas de las instalaciones eléctricas y algunos requisitos que pueden incidir en las relaciones entre las personas que interactúan con las instalaciones eléctricas o el servicio y los usuarios de la electricidad.

Teniendo en cuenta los siguientes artículos: 9. Análisis de riesgos de origen eléctrico, 16. Protección contra rayos, 20.22. Paneles solares fotovoltaicos, 27. Requisitos generales para las instalaciones de uso final y 31. Prohibiciones (Ministerio de Minas y Energía, 2004).

3.3.3. GUÍA DE INSTRUMENTOS Y MÉTODOS DE OBSERVACIÓN METEOROLÓGICOS OMM - N° 8

Uno de los objetivos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) consiste en coordinar las actividades de sus Miembros en lo relativo a la producción de datos e información sobre el tiempo, el clima y el agua, de conformidad con las normas acordadas internacionalmente. La primera edición de la Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos (OMM-N° 8) se publicó en 1954 y constaba de 12 capítulos. Desde entonces, la normalización ha sido uno de los principales objetivos de las actividades de la Comisión de Instrumentos y Métodos de Observación (CIMO).

Las definiciones y normas establecidas en la presente guía siempre serán conformes a las normas adoptadas a nivel internacional. Los documentos fundamentales de referencia son el Vocabulario Meteorológico Internacional (OMM, 1992) y el Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (OMM, 2017b).

3.4. ESTADO DEL ARTE

En esta sección evidencia el resultado de la búsqueda y revisión de la literatura que hace parte de la fase 2 de la metodología del proyecto. Consta de 3 partes, en la primera, se plasma de forma general la información de la documentación seleccionada para el análisis, así como la base de datos utilizada, parámetros de inclusión y exclusión, entre otros. En la segunda parte, se muestran los documentos de alta relevancia para el presente proyecto y en la tercera parte se habla acerca de las estaciones meteorológicas en la actualidad.

3.4.1. Revisión Sistemática De La Literatura

La búsqueda se realizó en la base de datos bibliográfica Scopus, usando las siguientes palabras clave: Weather Station, Design, WSN e IoT y un rango de búsqueda delimitado entre los años 2014 y 2019. Arrojó 2.087 resultados y se realizó por última vez el 28 de agosto del 2019.

Los resultados fueron seleccionados de acuerdo con parámetros de inclusión como: documentos con información sobre la importancia de datos meteorológicos, protocolos de comunicación entre AWS, sensores disponibles para la recolección de datos meteorológicos, microcontroladores que permiten integrar los sensores, casos de uso para las AWS. Al aplicar los parámetros de inclusión el número de resultados bajó a 178, estos contienen información general sobre meteorología la cual es útil para trabajos futuros mas no para el alcance de este documento.

Por tanto, se aplicaron los parámetros de exclusión como los siguientes: documentos que no utilizan microcontroladores y documentos que no utilizan sensores para diseñar y crear una estación meteorológica. Al aplicar los parámetros de exclusión el número bajó a 23 resultados afines con el propósito de este documento

En la ilustración 13 se muestran las cantidades de documentos publicados por cada año de los 178 obtenidos después de aplicar los parámetros de inclusión. Se observa un crecimiento lineal entre 2013 y 2015, luego entre 2015 y 2016 se estabiliza el número de publicaciones, luego en 2017 se tiene el punto más alto con 45 publicaciones, entre 2017 y 2019 las publicaciones han ido decreciendo hasta llegar a 22 publicaciones en 2019. Cabe resaltar que 9 documentos, de los 178 no fueron encontrados en ninguna base de datos.



Ilustración 13. Cantidad de documentos por año. Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 14, se clasifican los documentos según su tipo. Se encontró que el 48% son artículos, el 39% son artículos de conferencias, el 5% no se encontró información del tipo de documento, finalmente revistas y libros cada uno tienen un porcentaje igual a 4%.

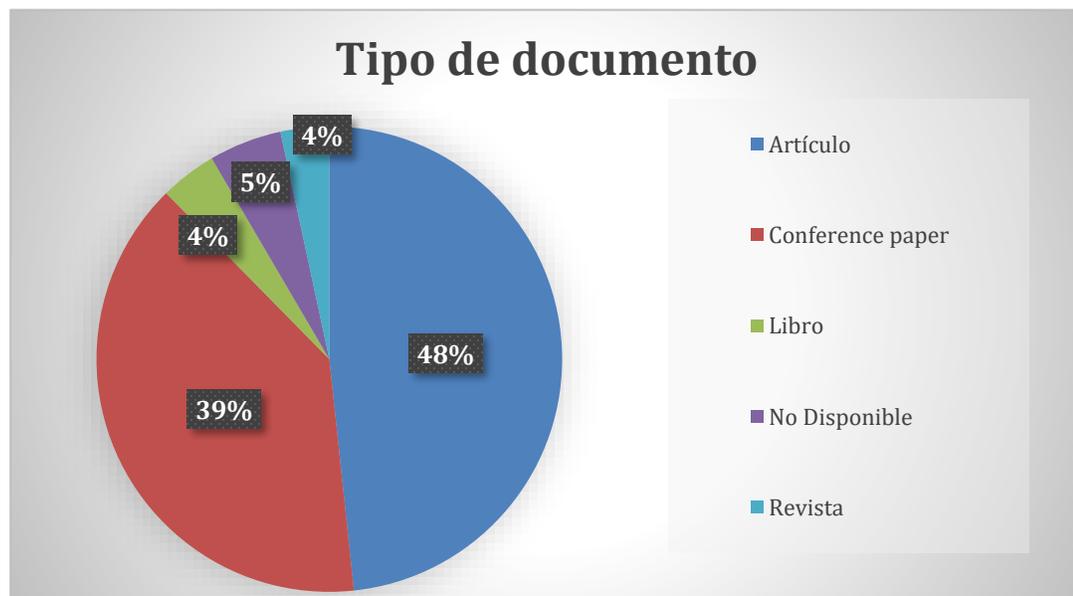


Ilustración 14. Tipo de documento. Fuente: Elaboración propia.

La ilustración 15 e ilustración 16 se muestra la cantidad de documentos por país donde fue publicado. Los países que más han publicado documentos, en los años delimitados, fueron China con 23, luego la India con 22 y Italia con 8.



Ilustración 15. Cantidad de documentos por país. Fuente: Elaboración propia.

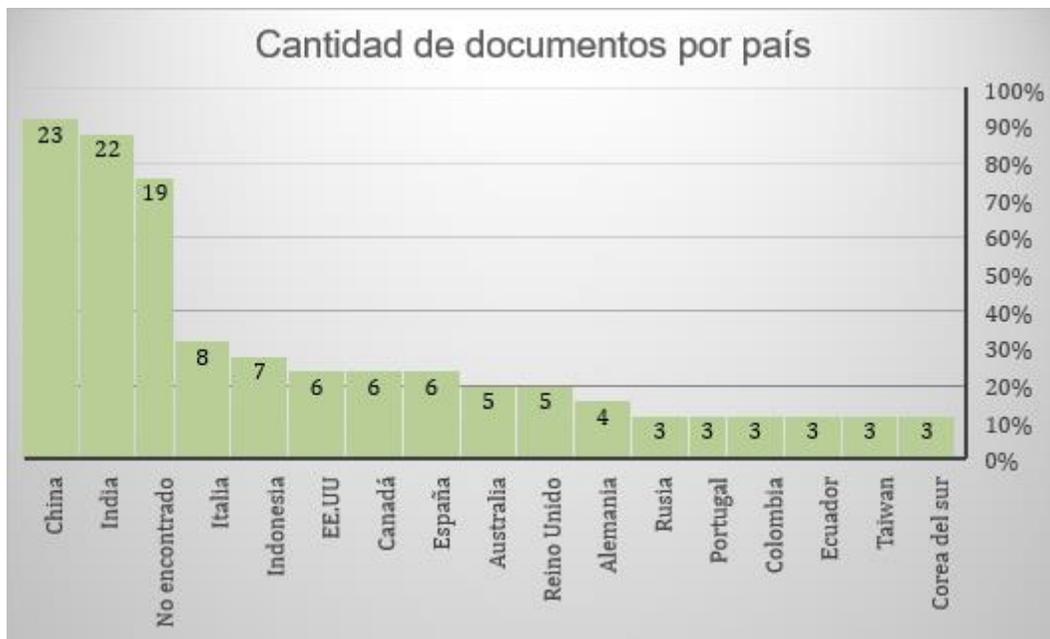


Ilustración 16. Cantidad de documentos por país. Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Trabajos Relacionados

En esta sección se mostrarán los diferentes documentos encontrados que por la forma en la que abordaron el problema y la propuesta planteada para solucionarlo, permiten integrarlos a nuestro proyecto. Se dividirá en tres partes:

- Aportes de los diferentes documentos encontrados.
- Tecnologías utilizadas por los diferentes documentos encontrados.
- Comparación de las soluciones planteadas.

3.4.2.1. Aportes

En la tabla 2, se mostrarán los documentos que están directamente relacionados con el diseño e implementación de AWS y se mostrarán los aportes más significativos de cada uno al proyecto, esto permitirá tener una visión general de las soluciones y a partir de ello, poder determinar una solución a la problemática evidenciada en este proyecto.

Muestra los documentos que permiten tener una visión general de las tecnologías y metodologías utilizadas en la actualidad y a partir de esta información, se podrá seleccionar las que más se ajustan a la solución tecnológica que se planteará.

Tabla 2. Síntesis de documentos relacionados con AWS. Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Autor	Aportes
Wi-Fi-Based Portable Weather Station for Monitoring Temperature, Relative Humidity, Pressure, Precipitation, Wind Speed, and Direction	Sarkar, I., et al.	La estación meteorológica automática propuesta, transmite los datos de forma inalámbrica a la estación remota para registrar y mostrar la información a diferentes aparatos inteligentes. Esta conectividad inalámbrica se ha previsto el uso de conexiones Wi-Fi que establece la red de malla para la comunicación de datos fiable.
Mobile weather station based on ATmega2560 microprocessor	E. S. Semenov, et al.	Propone una estación meteorológica portable que permite enviar los datos obtenidos de los sensores a través de mensajes SMS en tiempo real de la condición del clima.
IoT based weather monitoring system for effective analytics	Ferdin Joe John Joseph	Estación de monitoreo meteorológico, que nos muestra la temperatura, humedad relativa y detección de material particulado PM 10 y PM 2.5 utilizando un sensor SDS 011 conectado a un microcontrolador Raspberry Pi utilizando como sistema operativo Raspbian Jesse OS.

Nombre	Autor	Aportes
Weather station for educational purposes based on Atmega8L	Solano G., et al.	Presenta el diseño y Desarrollo de una estación meteorológica con fines educativos, que puede ser monitoreada bajo diferentes tipos de cambios climatológicos y funciona de manera autónoma para la red de energía.
Weather forecasting using Raspberry Pi with Internet of Things (IOT)	Babu, et al.	Sistema de pronóstico del tiempo a través de la red Wi-Fi, usando los componentes más económicos y lograr un sistema de máxima precisión, que pudiera monitorear el clima en tiempo real, también, utilizó un servidor que puede mostrar y almacenar los datos recopilados. El servidor fue proporcionado por data.sparkfun.com .
IoT based weather station	Kodali, R. K., & Mandal, S.	La placa carga los datos obtenidos por los sensores a la nube a través de IBM Bluemix y desde allí se analizan y permite enviar SMS, Email o incluso publicaciones en Twitter, notificando el estado actual del clima.
Low Cost Weather Station for Climate-Smart Agriculture	Tenzin, S., et al.	En este artículo, una estación meteorológica fue diseñada y desplegada en una granja, y los datos meteorológicos fueron comparados con una estación conocida comercialmente como Davis Vantage Pro2, instalada en la misma granja. Los resultados muestran que el sistema de monitoreo del clima hecho en laboratorio es eficientemente equivalente para medir varios parámetros climáticos.
Design and implementation of a prototype of an automatic weather station for the measurement of eolic and solar energy resource	Guzman , B. Y. G., et al.	Se crea una estación meteorológica, basándose en las recomendaciones dadas por la OMM/WMS, en relación a las características que deben tener los sensores de una estación. Y además, se utilizan componentes de bajo costo. Los elementos de medición fueron calibrados a través del laboratorio y posteriormente se hizo la comprobación de los datos obtenidos.
Internet of Things (IoT) Based Weather Monitoring system	Rao, B. S., et al.	Se propone un sistema para monitorear y controlar las condiciones climáticas mediante la utilización de ARDUINO UNO y mostrar mediante gráficas los resultados del monitoreo en una página web

Nombre	Autor	Aportes
A wireless framework for environmental monitoring and instant response alert	Gangopadhyay, S., & Mondal, M. K.	Prototipo inalámbrico de una estación de monitoreo del clima en tiempo real, que carga los datos obtenidos de los sensores a una base de datos en la nube. Se utiliza una aplicación de Android para los usuarios, por medio de la cual se enviarán mensajes de alerta instantáneos, ya sea correo o vía twitter.
Wireless Portable Microcontroller based Weather Monitoring Station	Devaraju, J. T., et al.	Proponen un intervalo de 30 segundos para realizar las mediciones. Los datos generados por los sensores se registran en Microsoft Excel y cargadas en el servidor en línea de MySQL.
An intelligent weather station	Mestre, Gonçalo, et al.	Una estación meteorológica que, además de medir las variables atmosféricas, proporcione sus pronósticos de forma autónoma y los ponga a disposición de forma inalámbrica para la aplicación en cuestión. También usa un botón para seleccionar el modo de operación y un botón para reiniciar el RPI. Se utiliza la clasificación internacional IP 65 para proteger los componentes de la estación.
Multi-channel data acquisition and data logging system for meteorology application	Kashyap, N.	Como base de este sistema usaron el microcontrolador ATmega328p y el sistema operativo LabVIEW, para comunicar el ATM y LabVIEW se utiliza el protocolo VISA.
Low cost embedded weather station with intelligent system	Shaout, A., et al.	Muestra las dificultades que hay con los diferentes dispositivos para medir la dirección y velocidad del viento. También muestran cómo realizaron el cálculo para estas.
Development of a web-based weather station for irrigation scheduling	Fourati, M. A., et al.	Plantea los aspectos positivos de usar WSN para el monitoreo del clima. Para la transmisión de los datos plantean que los dos mejores protocolos son IEEE802.15.4 y Zigbee stack.
A neural network based intelligent weather station	Ruano, A. E., et al.	La estación meteorológica consume gran cantidad de energía en función de los servicios que estén activados, por tal motivo se emplearon dos modos de operación, depuración y ahorro de energía, serán seleccionados dependiendo del nivel de energía que tenga la estación. Se utilizan dos botones, el primero es para seleccionar el modo de operación de la estación meteorológica y el otro para reiniciar la Raspberry PI. Cuando se reinicia se revisa el modo de operación y dependiendo del mismo activa o desactiva servicios de la estación meteorológica.

Nombre	Autor	Aportes
Design of intelligent meteorological system based on MEMS	Wang, Hao, Meng Nie., et al.	Realizan pruebas para cada una de las variables meteorológicas, presentan las fórmulas con las cuales se realizaron dichas pruebas.
Design, Development and Implementation of a Weather Station Prototype for Renewable Energy Systems	Carlos Morón	Este artículo expone que a través de los años la producción de energía a base de fósiles ha generado una gran emisión de gases de CO2 y CH4 que han sido factores importantes en el cambio del clima. En base a esta gran problemática, proponen un prototipo bastante confiable de gran relevancia con Arduino como controlador principal. Que, al analizar los datos recolectados con una estación Meteorológica comercial, los datos difieren por muy poco, dando un prototipo bastante funcional. Otro aspecto relevante del prototipo es la competitividad económica en comparación con las estaciones meteorológicas comerciales o los sistemas de recopilación de datos.
Development of a Low Cost Weather Station Using Free Hardware and Software	Robison Cris Brito & Fabio Favarim	Este artículo muestra un desarrollo de modelado de una estación meteorológica de bajo costo, utilizando sólo hardware libre y software conectado a Internet, dando datos en tiempo real tomados de la estación, así como el historial de los datos almacenados. Esta estación, aunque utilice sensores artesanales o de bajo costo, como los que miden la velocidad del viento, la dirección del viento y las precipitaciones costó sólo el 10% del precio, en comparación con algunas estaciones meteorológicas profesionales.
Efficient Design of a Low Cost Portable WeatherStation	Asif Imtiaz	Este artículo es de relevancia significativa ya que su foco fue crear una estación de bajo costo que se centró en medir las siguientes variables: Temperatura, Humedad, Presión, y Velocidad del viento. Dentro del propósito esta que la estación sea portátil y se pueda dar uso de ella inclusive en una habitación. Lo cual nos abre un panorama de opciones frente a los anteriormente citamos ya que el controlador utilizado es una placa de Arduino.

Nombre	Autor	Aportes
Evaluation of a Low-Cost, Solar-Powered Weather Station for Small-Scale Wind Farm Site Selection	Diego A. Aponte-Roa, MSc	Este artículo da un aporte significativo ya que expone la adopción de una estación meteorológica de bajo costo usando como controlados una Raspberry Pi, usando protocolos de conectividad Wi-Fi para recolectar y procesar la información de las variables recolectadas por los sensores, Expone el uso de una Bateria LiPo e implementación de paneles solares para su alimentación lo que hace un aporte también el sistema de alimentación de energía mediante el aprovechamiento de energía renovable.
Generic IoT Framework for Environmental Sensing Researches: Portable IoT Enabled Weather Station	Kolitha Warnakulasooriya	Este artículo nos da a conocer un sistema que fue diseñado con módulos de baja potencia y bajo costo que pueden comprar en el mercado ordinario. El controlador principal es ATmega2560 que es operado por el programa C++. Principalmente, el sistema funciona a 11,1 V fuente de alimentación y comunicación se realiza utilizando la tecnología GPRS. El sistema consta de una fuente de alimentación recargable y proporciona una instalación de carga incorporada de la fuente de alimentación externa
Power Management In IoT Weather Station	László-Zsolt Turos	El principal motivo por el cual se referencia este artículo como relevante en el proyecto se da en que aporta a la correcta administración de energía para alimentar una estación meteorológica con eficiencia y utilizando convertidores de energía de bajo coste para obtener un aprovechamiento energético considerable.

3.4.2.2. Tecnologías

En esta sección, se presentarán las tecnologías utilizadas en los documentos que están relacionados con el presente proyecto, en algunas, dependiendo de la cantidad de documentos con el mismo microcontrolador y diferentes sensores, se crearon tablas en las que se relacionan los tipos de sensores utilizados por cada uno de los proyectos. Los diferentes proyectos (que están en la parte superior de la tabla con la referencia) tienen una notación entre paréntesis, *por ejemplo* “(1)”, “(2)”, *etc.*, que permite identificar en las secciones de pros, contras y observaciones a qué documento se está refiriendo con cada una de las anotaciones, que igualmente, tienen la notación “(1)”, “(2)”, *etc.*, después de la cita, para identificarlos más fácilmente.

ATMega (8L, 328, 2560)

Este microcontrolador fue utilizado en 5 documentos, y en cada uno de ellos se utilizó una referencia de microcontrolador diferencia.

Tabla 3. Sensores utilizados por tecnología ATmega. Fuente: Elaboración propia.

	Referencia	8L (1)	328 (2)	2560 (3)	2560 (4)	2560 (5)
Rainfall	FC37	X				
Wind Speed	H21A1	X				
	SEN0170					X
	QS-Fs01			X		
	6710-WINd02				X	
Wind Direction	PCE-FWS20					X
	QS-FX			X		
Temperature	DTH11	X	X			
	LM35		X			
	DS18B20			X		X
UV Radiation	ML8511	X				
Barometric Pressure	BMP085		X		X	
	LSP331AP					X
Light Intensity	TEMT6000		X			
	SI1145			X		
Real Time Clock	DS1307		X			
	DS3231					X
Relative Humidity	BME280			X		
	SHT10					X
	DHT-22				X	
Soil Humidity	741			X		
Rain Gauge	6465M			X		
Hail detection	PZT LDT0-028				X	
Air quality	MQ135				X	

Pros

De acuerdo con el documento, los microcontroladores 8L y 328 tienen las mismas características, sin embargo, el 8L es mucho menos costoso que su comparación (Solano et al., 2017) (1).

La ventaja del dispositivo creado es que además de ser portable, permite llegar a zonas remotas y, aun así, seguir enviando datos (Semenov et al., 2019) (5).

El tamaño de los sensores es muy pequeño, lo que permite una estructura de menores dimensiones y el costo es moderado para la precisión que ofrecen (Kashyap & Pati, 2015) (2).

Dentro de las principales ventajas de Atmega2560 es que tiene la capacidad de acomodar diferentes tipos de sensores con la mayoría de los protocolos de interconexión (Warnakulasooriya et al., 2018) (3).

Es uno de los prototipos funcionales de estación meteorológica a base de Arduino Atmega2560 que comparado con una estación de validación con sensores comerciales sus resultados son semejantes y validos después de su recolección (Morón et al., 2018) (4).

Contras

Es difícil conectar ATmega con LabVIEW, lo cual genera que los datos no estén disponibles en el GUI de LabVIEW (Kashyap & Pati, 2015)(2).

El prototipo funcional no fue probado en condiciones externas por mucho tiempo, ya que la elaboración no hizo realizable ese tipo de pruebas, ya que no tienen un recubrimiento idóneo para proteger los diversos sensores. (Morón et al., 2018) (4)

Observaciones

Al ser un diseño enfocado en bajos costos, no diseñan la estructura para encapsular todos los elementos, esto significa que el diseño no fue probado en un ambiente real (Kashyap & Pati, 2015) (2).

El documento realiza una comparación con un archivo meteorológico que permite evidenciar la fiabilidad de los datos obtenidos por los sensores utilizados con el microcontrolador. (Semenov et al., 2019) (5)

En el artículo realizan una comparación con una estación de comercio creada en EE. UU y sus porcentajes de diferencia están dentro de un margen tolerable de error (Warnakulasooriya et al., 2018) (2).

STM32

Este microcontrolador fue utilizado en un documento y utilizó los sensores de MEMS.

Sensores:

- Temperature (LM335)
- Humidity (HTS221)
- Pressure (LPS22HD)
- Wind Speed and Direction
- Real Time Clock

Pros

Esta placa consume poca energía debido a su baja potencia, tiene múltiples entradas periféricas y un potente rendimiento (Wang et al., 2014).

Observaciones

Está principalmente dirigido a realizar pruebas con los resultados obtenidos de los sensores, esto para comprobar la precisión que tuvieron. Esto porque están probando que los sensores MEMS funcionan de forma óptima para una estación meteorológica. Pero todo se queda en ambientes controlados y no en uno real (Wang et al., 2014)

MC9S12DG256

Este microcontrolador fue encontrado en un documento.

Sensores:

- Wind Speed (CNY70, Encoder, Rotor, Plastic, Steel base).
- Wind Direction (Bourns 6657S-1-103)

Observaciones

El proyecto es una base para diseñar una estación más potente. Porque los elementos usados estuvieron condicionados por el precio de estos. Es interesante el utilizar una red neuronal para predecir el clima en tiempo real (Shaout et al., 2015).

PIC

Este microcontrolador, PIC18LF2620 y PIC16F887, aparece en dos artículos.

Sensores:

Tabla 4. Sensores utilizados por tecnología PIC. Fuente: Elaboración propia.

	Referencia	PIC18LF2620 (1)	PIC16F887 (2)
Temperature	PT100		X
Temperature and Humidity	SHT15	X	
	SHT11		X
Barometric Pressure	BMP 180		X
Rain Fall	(Davis Instruments-7852)	X	X
UV Radiation	Analog	X	X
Wind Speed and Wind Direction	Analog	X	
	Davis Instruments-6410		X

Contras

Los motivos por los cuales fueron seleccionadas las tecnologías que usaron no se exponen, tampoco realizan un análisis del rendimiento de las mismas. Los sensores encargados de recolectar los datos para las variables velocidad y dirección del viento, necesitan un adaptador, TLV2543 ADC, para poderlos integrar al microcontrolador (Devaraju et al., 2015)(2).

Observaciones

A pesar de haber construido una estación meteorológica, este no es el foco principal, esto se evidencia porque no especifican la mayoría de los sensores utilizados, los datos recolectados no fueron comparados con una estación comercial cercana (Fourati et al., 2015)(1).

Compararon las mediciones de la estación meteorológica con mediciones manuales, los resultados fueron consistentes. Es necesario comparar las mediciones de la estación con las mediciones de una estación comercial que esté cerca y en funcionamiento (Devaraju et al., 2015)(2).

NodeMCU ESP8266

Este microcontrolador aparece en un artículo

Sensores:

- Temperature and Humidity (DHT11)
- Barometric Pressure (BMP180)
- Light Dependent Resistor (LDR)
- Raindrop Module

Observaciones

El documento muestra de forma básica una implementación de una estación meteorológica, utilizando cuatro sensores, sin embargo, las mediciones que realizan no están soportadas o comparadas con otro tipo de instrumento de medición para verificar la calidad de los valores obtenidos (Kodali & Mandal, 2017).

ARDUINO (UNO, MEGA, LEONARDO)

Plataforma identificada en 5 documentos.

Tabla 5. Sensores utilizados por plataforma Arduino. Fuente: Elaboración propia.

	Referencia	UNO (1)	UNO (2)	UNO (3)	UNO (4)	LEONARDO (5)
Temperature	MLX90615SSG					X
	LM35			X		
Temperature and Humidity	DHT11		X		X	
	DHT22					X
Light Intensity	LDR			X	X	
Barometric Pressure	MPXM2102AS-SOIC 20, MP3115A2	X				X
	BMP180		X		X	
Rain Fall	Rain Collector 260-7852					X
UV Radiation	Klpp & Zonen CMP3					X
Wind Speed	Novalynx 200-WS					X
Wind Direction	Novalynx 200- WS-04					X
Temperature and Humidity	HTU21D	X				
Carbon Monoxide	MQ-7			X		

Sound Sensor	LM393			X		
---------------------	-------	--	--	---	--	--

Pros

El documento del proyecto explica uno a uno, el funcionamiento de los sensores, basándose en todo momento en las recomendaciones de la WMO (Figuroa-García et al., 2017)(5).

Hacen la comparación entre tres plataformas en la nube para el almacenamiento de los datos, teniendo en cuenta los tiempos de respuesta y los servicios ofrecidos por cada una (Gangopadhyay & Mondal, 2016) (4).

Se muestran algunos métodos analíticos básicos para calcular los parámetros de contaminación, como los niveles de ruido y los niveles de CO en el ambiente, además, los datos obtenidos en de la estación se cargan en tiempo real a la nube en Google, guardando los mismos en hojas de cálculo para su posterior revisión (Rao et al., 2016) (3).

El artículo dentro de sus ventajas tiene que el prototipo de estación meteorológica sea portable y de bajo costo, para la implementación en diferentes áreas, como la educación, la investigación y hasta el hogar (Imtiaz et al., 2018) (2).

Contras

El dispositivo presenta interrupciones en algunas ocasiones al momento de transmitir los registros de los sensores (Gangopadhyay & Mondal, 2016) (4).

Uno de los problemas más comunes de este prototipo es que presenta inconsistencias al registrar los datos de la lluvia ya que se caen los registros de un momento a otro (Imtiaz et al., 2018) (2).

Observaciones

Es de gran importancia para el presente proyecto ya que utiliza sensores poco convencionales para estas plataformas y como valor agregado, se realiza la calibración de cada uno de ellos a través de un laboratorio permitiendo así, obtener datos más acertados (Figuroa-García et al., 2017) (5).

Del documento puede sustraer fundamentalmente la conexión realizada inalámbricamente y la plataforma utilizada para conectar a través de web y móvil los datos obtenidos de la estación (Gangopadhyay & Mondal, 2016) (4).

Las mediciones realizadas no son comparadas con alguna otra estación, lo que podría generar una mala práctica al momento del despliegue del sistema (Rao et al., 2016) (3).

Arduino tiene una gran limitación y es que no puede utilizar dos líneas al tiempo (2 sensores), por lo que para la implementación tuvieron que usar 2 Arduino (Cada uno con un sensor en especial) para de este modo tener el valor en tiempo simultaneo de los dos sensores. Problema que se soluciona con Raspberry (Brito et al., 2017) (2).

El artículo tiene dos temas principales: crear una estación meteorológica y hacer que los datos estén disponibles en la nube. Esto hace que el apartado para el desarrollo de la estación meteorológica sea muy limitado, los datos recolectados no son comparados para probar su consistencia (Sarkar et al., 2020)(1).

RASPBERRY PI

Este microcontrolador se encontró en 7 artículos.

Tabla 6. Sensores utilizados por tecnología Raspberry Pi. Fuente: Elaboración propia.

	Referencia	R PI (1)	R PI (2)	R PI (3)	R PI (4)	R PI (5)	R PI (6)
Temperatura	LM35					X	
Temperatura y humedad	SHT75	X					
	DHT22			X			
	DHT11				X	X	
	AM2315 I2C		X				
Radiación Solar	SP110	X					
Presión Atmosférica	BMP280		X				
	BMP180			X			
Velocidad del viento	ANEMOMETRO		X	X			X
Dirección del Viento	PALETAS		X	X			X
Calidad de aire	SDS 011				X		
Intensidad de Luz	LDR					X	
Humedad del Suelo	ANALOG					X	
Lluvia	PLUVIOMETRO			X		X	X

Pros

El sensor SHT75 tiene una resolución de 0.05% para humedad relativa y 0.01 °C para la temperatura y por la estabilidad que mantiene en las diferentes condiciones climáticas (Mestre et al., 2015) (1).

Este controlador tiene múltiples ventajas, entre las más destacadas el procesamiento de los datos, la diversidad de sensores a implementar y su bajo costo. El prototipo expuesto genera datos eficaces comparados con una estación profesional, además se divide en 2 módulos, uno es el que almacena y procesa la información y por aparte la estación que recolecta las variables atmosféricas (Aponte-Roa et al., 2018) (2).

En el documento se presenta una combinación entre Arduino y Raspberry Pi para hacer la recolección, almacenamiento y procesamiento de los datos para ser proyectados en un website creado por ellos mismos lo que aumenta las posibilidades a la hora de afianzar la veracidad de los datos recolectados, como también los protocolos de comunicación posibles a utilizar (Brito et al., 2017) (3).

En este artículo se presenta la utilización del lenguaje de programación Python, a través de la cual se muestran las interfaces y las gráficas de los datos arrojados por los sensores, también permitiendo la obtención de los datos a través de un documento JSON o CSV (Joseph, 2019) (4).

Se precisa la integración de una tarjeta de red inalámbrica Wi-Fi que permitirá la transmisión de los datos de forma efectiva y a mayor velocidad, permitiendo una conexión estable entre el dispositivo y el servidor de almacenamiento de datos alojado en internet (Babu et al., 2017) (5).

El documento realiza la comparación de los datos obtenidos por los sensores con los datos obtenidos por una estación meteorológica comercialmente conocida (Tenzin et al., 2017) (6).

Contras

El consumo de energía en la estación meteorológica, cuando están activados todos los servicios de la misma es bastante alto, esto hace que el tiempo de actividad se reduzca considerablemente (Ruano et al., 2015)(1).

La Raspberry PI B+ no tiene puertos analógicos, esto hace necesario un convertidor de analógico - digital (ADC). No tiene un botón de reinicio. Se encontró que la estación para funcionar normalmente consumía mucha energía eléctrica (Mestre et al., 2015) (1).

Se presenta una poca fiabilidad en la recolección de una variable por breves periodos de tiempo, debido al sistema de alimentación que utilizaron. (Aponte-Roa et al., 2018) (2)

El documento carece de información relacionada a los sensores que está utilizando para la medición de las variables (Tenzin et al., 2017) (6).

Observaciones

Es bastante completo este artículo porque brindan información de instrumentos tecnológicos que usaron, además compararon los resultados con un modelo predictivo, aunque sesgado por no tener muchos datos, dio excelentes resultados. También muestran cómo se puede ampliar la capacidad de las AWS para que también predigan el clima, con uno o varios pasos por delante (Mestre et al., 2015) (1).

Este documento expone uno de los prototipos funcionales más completos y sólidos expuestos, donde la fiabilidad de los datos está dentro de un rango muy aceptable. Su costo total ronda los \$300 y su funcionamiento fue comparado con una estación meteorológica HOBO (costo alrededor de \$2,400) (Aponte-Roa et al., 2018) (2).

La Implementación de supercapacitores o Celdas de las baterías para almacenar la energía que alimentara el controlador principal y los diferentes sensores anexados a este controlador son efectivos en su mayoría. Resalta que el consumo de energía en comunicación Wi-Fi es un poco mayor en comparación con comunicación GPRS, pero aun así no es excesivamente consumidor. Lo que da una excelente oportunidad para implementar este Controlador. (Turos et al., 2018) (3)

La integración de los sensores de calidad de aire, y aunque los datos no son contrastados con otro equipo de medición, brinda un aporte esencial a tomar en cuenta ya que es posible integrarlo con los diferentes sensores compatibles a través de esta plataforma y de esta manera, generar una estación meteorológica más robusta. (Joseph, 2019) (4)

La utilización de los sensores más económicos del mercado obliga a los desarrolladores del sistema a calibrarlos y compararlos con otro método de medición para garantizar la fiabilidad de los datos obtenidos. (Babu et al., 2017) (5)

Este artículo evidencia la necesidad de obtener información de variables climáticas en entornos agrícolas. Además, muestra la necesidad de los agricultores a obtener AWS eficientes y de bajo costo. (Tenzin et al., 2017) (6)

3.4.3. ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA ACTUALIDAD.

Actualmente existen otros controladores que se utilizan para el diseño y elaboración de AWS de bajo costo, que compiten con Raspberry PI tales como: (i) Arduino y, (ii) ATmega.

En el diseño de AWS se hace necesario el uso de múltiples sensores de forma simultánea que identifican el comportamiento climático en tiempo real, dentro de las variables para tener en cuenta en una estación climática están:

- Anemómetro (Mide la Velocidad del viento)
- Velea (Señala la dirección del viento)
- Barómetro (Mide la presión atmosférica)
- Heliógrafo (Mide la insolación recibida en la superficie terrestre)
- Higrómetro (Mide la Humedad)
- Piranómetro (Mide la Radiación Solar)
- Pluviómetro (Mide el agua caída)
- Termómetro (Mide la temperatura)

Arduino es una de las plataformas de prototipado de electrónica abierta más populares, Arduino permite su programación a través del lenguaje C++ y tiene características equivalentes de la mayoría de los microcontroladores. Sus principales ventajas son la facilidad de programación y la integración de nuevos recursos, a través del uso de módulos de escudo. Tiene muchas entradas y salidas analógicas y digitales, convirtiéndose en una buena opción como núcleo o para la lectura de datos de los sensores. Debido a su limitación de acceso a Internet, se utiliza más comúnmente para la actuación y lectura de datos, que se pueden transmitir a un ordenador para el posterior procesamiento e intercambio de datos con Internet. (Brito et al., 2017)

ATmega es un controlador ampliamente usado como alternativa de procesamiento de datos en el diseño de AWS de bajo costo, sin embargo, presenta algunas dificultades en el uso de dos sensores con lecturas dependientes del tiempo, como el anemómetro y el pluviómetro, debido a no poder utilizar eficientemente dos hilos al mismo tiempo. Puesto que el sistema operativo de tiempo se ocupa de muchas tareas, aparte de las rutinas de servicio de interrupción. Estas tareas pueden o no ser independientes entre sí, y el sistema las adelanta de acuerdo con las reglas establecidas (como el límite de tiempo) para lograr la simultaneidad. (Brito et al., 2017)

Las AWS de bajo costo diseñadas con Raspberry PI están destinadas a sectores como: la Agricultura (90) (24), La educación (), La investigación científica (24), hogares y oficinas (83), entre otros, Debido a su gran fiabilidad y bajo costo, que hace de fácil

acceso este tipo de tecnologías. Gracias a su fácil acceso y amplias configuraciones posibles con diversos sensores, Raspberry PI es una Excelente alternativa para tener un registro y control de las diferentes variables Meteorológicas, comparando sus índices de eficiencia con AWS comerciales.

La agricultura es un sector clave para la implementación de este tipo de alternativas para la medición de Variables atmosféricas que les permita tomar decisiones importantes a la hora de tratar el terreno deseado, como es el caso en Tanzania, Ecuador. Donde la propuesta utiliza sensores que tienen la capacidad de reportar cualquier problema o cambio brusco en el clima. Tener datos atmosféricos antes de tomar decisiones finales es un factor crítico en estos sectores. (Tenzin et al., 2017)

En Colombia se desarrolló una estación a base de Raspberry PI en la que incorporaron una cámara para la captura fotográfica del clima. El resultado fue una estación Climática bastante completa que recolecta información de manera automática y sus datos van almacenados a una base de datos. Dicha estación cuenta con un resultado bastante cercano a los arrojados por la Hydras3 (Pérez & Vargas, 2018).

4. DISEÑO METODOLÓGICO

Este proyecto está dividido en 5 fases relacionadas entre sí, las cuales permiten dar realización a los objetivos específicos, permitiendo así cumplir con el objetivo general planteado en este trabajo de investigación. Para la realización de este proyecto, se toma como base la investigación aplicada, que dentro de sus características está el generar un nuevo conocimiento o por el contrario usar el ya existente para dar solución a un problema o una necesidad ya previamente identificada (Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (MINCIENCIAS), 2016)

Esta investigación aplicada esta soportada también con un enfoque Mixto, lo que significa que combina los métodos cuantitativo y cualitativo en un mismo estudio, porque al utilizar ambos métodos se refuerza la credibilidad general de los resultados y procedimientos (Hernández-Sampieri, Roberto, Fernández-Collado & Baptista-Lucio, 316 C.E.)

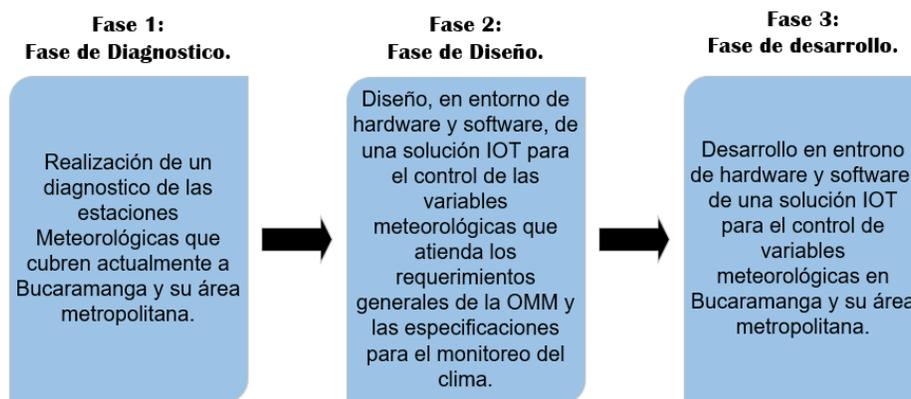


Ilustración 17. Fases de la metodología de investigación. Fuente: Elaboración propia.

Fase 1: Fase de diagnóstico

Realización de un diagnóstico de las estaciones Meteorológicas que cubren actualmente a Bucaramanga. Siendo este el primer resultado de este proyecto para conocer el estado en el que se encuentra la ciudad en cuanto a cubrimiento meteorológico. Para la realizar esta fase es necesario las siguientes actividades:

- Búsqueda de los organismos e instituciones encargadas del control meteorológico de la ciudad de Bucaramanga.
- Revisión del estado actual de la red de estaciones meteorológicas para la ciudad de Bucaramanga publicado por la CDMB y el IDEAM.
- Elaboración de un documento en el que se evidencie el estado actual de la red de estaciones meteorológicas en Bucaramanga.

Fase 2: Fase de diseño

Diseño de una solución IoT para el control de las variables meteorológicas que atienda los requerimientos generales de la OMM y las especificaciones para el monitoreo del clima en entorno de hardware y software. En esta fase se elaborará el estado del arte sobre AWS desarrolladas con sistemas embebidos o microcontroladores, aplicadas al entorno investigativo, educativo o experimental. Siendo este, el resultado de la revisión de la literatura sobre el diseño e implementación de AWS con microcontroladores. Para esta fase se deben realizar las siguientes actividades:

- Búsqueda y revisión de la literatura sobre el uso de sistemas IoT para la medición de variables meteorológicas.
- Lectura, clasificación y análisis de la información hallada.
- Selección de un protocolo de comunicación entre los sensores y el microcontrolador.
- Diseño de arquitectura cliente-servidor para el sistema de gestión y monitoreo.
- Diseño de un prototipo funcional de hardware para la recolección y procesamiento de los datos capturados por los diferentes sensores.

Fase 3: Fase de desarrollo

Desarrollo de una solución IoT para el control de variables meteorológicas en Bucaramanga y su área metropolitana en entorno de hardware y software. Como resultado se obtiene un prototipo al cual se le practicarán unas determinadas pruebas para comprobar su funcionamiento y los datos recolectados se prevé compararlos con una estación comercial instalada en la Ciudad donde se lleva a cabo este trabajo, para obtener este resultado es necesario realizar las siguientes actividades:

- Elaboración e implementación de la solución IoT para el control de variables Atmosféricas.
- Diseño de un protocolo de procedimiento para la realización de pruebas y verificación del prototipo desarrollado.
- Configuración general de las aplicaciones.
- Pruebas de hardware para comprobar el adecuado funcionamiento y sincronización de los elementos y las variables involucradas.
- Pruebas en entornos para estabilizar las mediciones de las variables involucradas.
- Comparación de datos obtenidos con una de las estaciones en funcionamiento de la ciudad.

5. RESULTADOS

En este capítulo se mostrarán los resultados obtenidos de acuerdo con los objetivos específicos planteados al inicio del documento.

5.1. Diagnóstico sobre el uso y estado actual de las estaciones meteorológicas desplegadas en Bucaramanga.

En esta sección se presenta un recuento de las organizaciones y/o dependencias encargadas de la gestión ambiental en lo referente al control meteorológico del País. Por otro lado, también se presenta el estado actual (cantidad y disposición de estaciones de medición climática) expuestas en Bucaramanga y su área metropolitana.

Organismos de control que forman parte del cuidado y manejo del medio ambiente.

Los siguientes organismos expuestos a continuación son tomados del plan de desarrollo nacional 2018-2022 para Colombia, como órganos competentes en la sección de ambiente del país.

Corporaciones Autónomas Regionales (CAR): Las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible, son entes corporativos de carácter público, creados por la ley, integrados por las entidades territoriales que por sus características constituyen geográficamente un mismo ecosistema o conforman una unidad geopolítica, biogeográfica o hidro geográfica, dotados de autonomía administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica, encargados por la ley de administrar, dentro del área de su jurisdicción el medio ambiente y los recursos naturales renovables y propender por su desarrollo sostenible, de conformidad con las disposiciones legales y las políticas del MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE⁹.

⁹ <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2067>



Ilustración 18. Mapa de las CAR de Colombia. Fuente: MINAMBIENTE

Sistema Nacional Ambiental (SINA): La ley 99 de 1993 creó el Sistema Nacional Ambiental (SINA), que se define como el conjunto de orientaciones, normas, actividades, recursos, programas e instituciones que permiten la puesta en marcha de los principios generales ambientales contenidos en la Constitución Política de Colombia de 1991 y la ley 99 de 1993. El SINA está integrado por el Ministerio del Medio Ambiente, las Corporaciones Autónomas Regionales, las Entidades Territoriales y los Institutos de Investigación adscritos y vinculados al Ministerio. El Consejo Nacional Ambiental tiene el propósito de asegurar la coordinación intersectorial en el ámbito público de las políticas, planes y programas en materia ambiental y de recursos naturales renovables¹⁰.

Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres: Creado a partir de la Ley 1523 de 2012 por sanción presidencial, es el conjunto de entidades nacionales del orden público, privado y comunitario que, articuladas con las políticas, normas y recursos, tiene como objetivo llevar a cabo el proceso social de la gestión del riesgo con el propósito de ofrecer protección a la población en todo el territorio nacional en busca de mejorar la calidad de vida, la seguridad y el bienestar de todas las comunidades colombianas¹¹.

¹⁰ <http://corpouraba.gov.co/que-es-el-sistema-nacional-ambiental-sina/>

¹¹ <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Estructura.aspx>

Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres



Ilustración 19. Estructura de SNGRD. Fuente: portal.gestiondelriesgo.gov.co

Es de conocerse que la responsabilidad en la Gestión del Riesgo recae sobre todos y cada uno de los habitantes del territorio colombiano, y, en cumplimiento de esta responsabilidad, las entidades pertenecientes al sistema ejecutarán los procesos de Gestión del Riesgo, entendidos como: Conocimiento del Riesgo, Reducción del Riesgo y Manejo de Desastres. Por su parte, los demás habitantes actuarán con precaución y autoprotección bajo lo dispuesto por las autoridades correspondientes.

Actualmente el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres está compuesto por 6 instancias de orientación y coordinación, quienes optimizan el desempeño y la gestión de las distintas entidades en la ejecución de acciones. Estas son:

Consejo Nacional para la Gestión del Riesgo

Es la instancia superior encargada de orientar a todo el Sistema Nacional encabezado por el presidente de la República, y a su seguir, los ministros, el Departamento Nacional de Planeación y el director de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD)

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres

Es la entidad que se encarga de la coordinación de todo el Sistema Nacional y que dirige la implementación de la Gestión del Riesgo, atendiendo las políticas y el cumplimiento de la normatividad interna, además de las funciones establecidas en el Decreto – Ley 4147 de 2011.

Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo

Son los encargados de asesorar y planificar la implementación permanente del proceso de conocimiento del riesgo y está encabezado por el Director de la UNGRD, seguido por los directores del Departamento Nacional de Planeación, Departamento Nacional de Estadística, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto Colombiano de Geología y Minería, el Ideam, la Dirección General Marítima, la Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales, la Federación Nacional de Departamentos y la Federación Colombiana de Municipios.

Comité Nacional para la Reducción del Riesgo

Esta asesora y planifica la implementación del proceso de reducción del riesgo de desastres. Se encuentra integrado por el director de la UNGRD, quien lo preside; y los directores del Departamento Nacional de Planeación, el Consejo Colombiano de Seguridad, la Asociación de Corporaciones Autónomas, el presidente de la Federación Colombiana de Municipios, la Federación de Aseguradores Colombianos y los representantes de universidades públicas y privadas que en sus programas tengan manejo, administración y gestión del riesgo.

Comité Nacional para el Manejo de Desastres

Encargado de asesorar y planificar la implementación del proceso de manejo de desastres. Este comité está encabezado por el director de la UNGRD, el director del Departamento Nacional de Planeación y los comandantes o directores del Ejército Nacional, la Armada Nacional, la Fuerza Aérea Colombiana, la Policía Nacional, la Defensa Civil, la Cruz Roja Colombiana y la Junta Nacional de Bomberos¹².

¹² <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Estructura.aspx>

Consejos Departamentales, distritales y municipales para la Gestión del Riesgo

Son las instancias de coordinación, asesoría, planeación y seguimiento quienes deben garantizar la efectividad y articulación de los procesos de la Gestión del Riesgo en la entidad territorial que a cada uno le corresponde.

Es de resaltar que el trabajo de cooperación de todas las entidades que hacen parte del sistema no se hace de manera independiente, sino que apunta a la integralidad de las comunidades y sus habitantes, haciéndolos responsables de acciones que permitan la seguridad de todos y cada uno, por tal motivo no olvide que usted también es responsable de esta tarea¹³.

¿Qué es la OCDE?: Fundada en 1961, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) agrupa a 36 países miembros y su misión es promover políticas que mejoren el bienestar económico y social de las personas alrededor del mundo.

La OCDE ofrece un foro donde los gobiernos puedan trabajar conjuntamente para compartir experiencias y buscar soluciones a los problemas comunes. Trabajamos para entender qué es lo que conduce al cambio económico, social y ambiental. Medimos la productividad y los flujos globales del comercio e inversión. Analizamos y comparamos datos para realizar pronósticos de tendencias. Fijamos estándares internacionales dentro de un amplio rango de temas de políticas públicas¹⁴.

SIAC: Sistema de Información Ambiental para Colombia, SIAC

El Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) “Es el conjunto integrado de actores, políticas, procesos, y tecnologías involucrados en la gestión de información ambiental del país, para facilitar la generación de conocimiento, la toma de decisiones, la educación y la participación social para el desarrollo sostenible”.

El SIAC se sustenta en un proceso de concertación interinstitucional, intersectorial e interdisciplinario, liderado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y los Institutos de Investigación Ambiental¹⁵:

¹³ <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Estructura.aspx>

¹⁴ <https://www.oecd.org/centrodemexico/laocde/>

¹⁵ http://www.siac.gov.co/siac_general

- El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM),
- El Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH),
- El Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR),
- El Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI) y
- El Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP),
- Unidades Administrativas Especiales, el Sistema de Parques Nacionales y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA.

Diagnóstico de las estaciones Climáticas de la ciudad de Bucaramanga

En Cuanto a la ciudad de Bucaramanga se refiere, el estado en el que se encuentran las estaciones que captan las diferentes variables ambientales no es muy favorable, los reportes que a continuación se relacionan son de búsquedas en sus portales Webs, información de libre acceso.

Según el reporte de la CDMB las estaciones, según el tipo de medición que realizan, el estado de funcionamiento y las variables que captan para la ciudad de Bucaramanga se expresan en la ilustración 20¹⁶:

¹⁶<http://mamon.cdmb.gov.co/web/gestion-institucional/gestion-territorio/gestion-riesgo/item/4248-monitoreo>

ESTACIÓN	TIPO	UBICACIÓN	MEDICIÓN	ACTIVA
CENTRO	Automática	Carrera 15 con Calle 34 Terraza Nor Occidental.	NOX,SO2,CO, O3,PM10, Meteorología	NO
	Semiautomática	Estación Centro	PM2.5	NO
CIUDADELA	Automática	Calle de los estudiantes, Terraza Colegio Aurelio Martínez Mutis.	NOX, CO, O3, PM10, Meteorología	SI
FLORIDA	Automática	Terraza edificio Telebucaramanga Sede Sur de Cañaveral.	PM10 y O3	SI
CABECERA	Automática	Carrera 33 con calle 52.	NOX, SO2, CO, O3, PM10	SI
NORTE	Automática	Terraza del Hospital Local del Norte.	PM10, O3, Meteorología	NO
LA CONCORDIA	Manual	Carrera 21 No. 51-20.	PM10	NO
DIRECCIÓN DE TRÁNSITO	Manual	Oficinas de la DTB: Diagonal 15 con Carrera 17.	PM10	NO
LA JOYA	Manual	Carrera 11 OCC No 36-04.	PM10	NO

Ilustración 20. Tabla de estaciones instaladas en B/manga y su área metropolitana. Fuente: CDMB

Por otro lado, El IDEAM en su página principal expide un catálogo en el cual plasman todas las estaciones climáticas que se han desplegado en todo Colombia, agregando fechas de instalación, estado actual de funcionamiento y tanto municipio como departamento de su localización, entre otros datos relevantes. Son 2 los catálogos que expide el IDEAM, por un lado, esta las estaciones propias de la institución (IDEAM) y por otro lado esta las estaciones de que son de otras entidades.

A continuación, se muestra un filtrado de los catálogos anteriormente mencionados por Municipio Santander y ciudad Bucaramanga:

nombre	CATEGORIA	TECNOLOGIA	ESTADO	FECHA_INSTALACION
NEOMUNDO	Climática Principal	Automática con Telemetría	Suspendida	2005-08-17
COLOMBIA [23197680]	Limnimétrica	Convencional	Suspendida	1992-12-15
FLORESTA LA [23190590]	Pluviográfica	Convencional	Activa	1978-06-14 19:00
BUCARAMANGA IDEAM [23190830]	Pluviográfica	Convencional	Activa	1996-10-15
VIVERO CHIMITA [23195050]	Climática Principal	Convencional	Suspendida	1968-08-15
HIMAT R-11 [23190800]	Pluviométrica	Convencional	Suspendida	1984-06-15
AEROPUERTO GOMEZ NINO [23195030]	Sinóptica Secundaria	Convencional	Suspendida	1940-06-15
MAJADAS - AUT [23197700]	Limnigráfica	Automática con Telemetría	Activa	2001-10-14 19:00
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL SANTANDER [23197700]	Climática Principal	Convencional	Suspendida	1957-01-14 19:00
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Climática Principal	Automática con Telemetría	Activa	1957-01-15

Ilustración 21. Catálogo Nacional de Estaciones del IDEAM. Fuente: IDEAM¹⁷.

nombre	CATEGORIA	TECNOLOGIA	ESTADO	FECHA_INSTALACION
BUCARAMANGA [23190040]	Pluviométrica	Convencional	Activa	1953-01-15
FLORA LA [23190730]	Pluviográfica	Convencional	Activa	1979-01-15
LADRILLERA [23197150]	Limnimétrica	Convencional	Suspendida	1967-11-15
LADRILLERA [23197510]	Limnimétrica	Convencional	Activa	1981-09-15
TELECOM [23190720]	Pluviográfica	Convencional	Activa	1979-01-15
CEYLAN [23190650]	Pluviométrica	Convencional	Activa	1968-01-15
PTE TONA [23197620]	Limnimétrica	Convencional	Activa	1984-10-15
PTE NARINO [23197480]	Limnimétrica	Convencional	Activa	1981-05-15
FORJAS [23197490]	Limnimétrica	Convencional	Activa	1981-05-15
FORJAS [23197500]	Limnimétrica	Convencional	Activa	1981-05-15
SAN PEDRO CLAVER [23195010]	Climática Ordinaria	Convencional	Suspendida	1922-09-15
BAVARIA [23197310]	Limnigráfica	Convencional	Activa	1984-01-15
DEP VIDRIO [23197470]	Limnigráfica	Convencional	Suspendida	1981-05-15

Ilustración 22. Catálogo Nacional de Estaciones de Otras Entidades. Fuente: IDEAM¹⁸.

Estos resultados nos dejan ver que de las 5 estaciones climáticas principales (4 propias del IDEAM y 1 de otra organización) solo 1 esta Activa, y que las demás están suspendidas. Esto sumado a las constantes caídas en los reportes de las mediciones expuestas en sus portales web, que soportan como desconexión de luz, nos da pie a fortalecer este trabajo. Ya que se evidencia una problemática y un estado desfavorable en cuanto al cubrimiento de estaciones climáticas que capten el comportamiento del cambio climático.

¹⁷ <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>

¹⁸ <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>

5.2. Requerimientos funcionales y no funcionales de una solución tecnológica para el monitoreo del clima en Bucaramanga, basada en IoT.

En esta sección se establecen los requisitos que debe tener una solución tecnológica para el monitoreo del clima llevado a cabo en este proyecto de grado: en relación a la fase número 2, evidenciando los requerimientos funcionales y no funcionales para la ciudad de Bucaramanga específicamente.

Los requerimientos funcionales son la interacción entre el sistema y ambiente incluyendo al usuario y aplicaciones externas. Los requerimientos no funcionales hacen referencia a los aspectos no visibles del sistema por el usuario y que no tienen relación directa con el comportamiento funcional del sistema, incluyendo desempeño, precisión, recursos consumidos, seguridad, entre otros.

5.2.1. Alcance de la solución

Esta solución está enmarcada en dos agentes, (I) hardware, el cual deberá cumplir con las recomendaciones mínimas de la OMM para una estación de monitoreo climático y (II) software, el cual está encargado de validar, almacenar, procesar y mostrar los datos.

La solución tecnológica para el monitoreo del clima, capturará las siguientes variables climáticas: temperatura ambiente, precipitación, humedad, radiación solar, presión atmosférica y rayos UV. Hace la respectiva validación de las diferentes variables, para posteriormente ser almacenadas en una base de datos y así ser visualizados en una página web.

5.2.2. Especificación de Requerimientos

En esta sección se mostrarán los requerimientos funcionales y no funcionales de la solución tecnológica para el monitoreo del clima.

5.2.3. Requerimientos generales

A continuación, se describirán los requerimientos generales para Bucaramanga que debe cumplir el sistema para el monitoreo del clima, definiendo un estándar para el ID de los requerimientos: Los funcionales como RQ-F-EM-Número_Requerimiento y los no funcionales como RQ-NF-PW-Número _Requerimiento. Donde RQ hace referencia a que es un requerimiento, F que es funcional, NF no funcional, EM estación meteorológica o PW página web.

5.2.3.1. Requerimientos funcionales La solución tecnológica deberá cumplir con diferentes aspectos que permitan su funcionamiento óptimo; a continuación, se agrupan los diferentes requerimientos funcionales tomando en cuenta módulos de funcionalidad como:

Tabla 7. Requerimiento Funcional RQ-F-PW-01

RQ-F-PW-01	
Requerimiento	El sistema debe mostrar a través de gráficas los datos de las variables climáticas.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	Deben estar almacenados los datos de las variables climáticas en la base de datos
Pos-Requisito	

Tabla 8. Requerimiento Funcional RQ-F-EM-01.

RQ-F-EM-01	
Requerimiento	Los sensores deben empezar a capturar los datos de las variables climáticas.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	Se deben tener los sensores de temperatura, velocidad y dirección del viento, radiación y precipitación previamente conectados y testeados.
Pos-Requisito	Enviar los datos desde los sensores hacia el sistema

Tabla 9. Requerimiento funcional RQ-F-EM-02

RQ-F-EM-02	
Requerimiento	El sistema debe recibir los datos obtenidos por los sensores en periodos de tiempo determinados.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	Las mediciones de las variables climáticas fueron capturadas y haberse cumplido el lapso.
Pos-Requisito	El sistema filtrará los datos recolectados y eliminará el ruido.

Tabla 10. Requerimiento Funcional RQ-F-EM-03

RQ-F-EM-03	
Requerimiento	El sistema debe almacenar los datos de las variables climáticas en la base de datos.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	Debe haberse cumplido el RQ-NF-02 eliminar el ruido
Pos-Requisito	Recibir la respuesta del servidor sobre el estado de la petición.

Tabla 7 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-04

RQ-F-EM-04	
Requerimiento	Consumo de corriente en modo activo con 5 sensores y sin sistemas de comunicación menor a 120 mA.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	Tener un sistema de alimentación continuo.
Pos-Requisito	Sistema en Funcionamiento

Tabla 8 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-05

RQ-F-EM-05	
Requerimiento	El Suministro de energía para el sistema debe ser tomado de sistema de alimentación convencional 120 V, un regulador electrónico 12V/mínimos 2 mAh; el voltaje de alimentación de la plataforma no debe ser superior a los 12V.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	N/A
Pos-Requisito	Alimentación de energía del sistema.

Tabla 9 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-06

RQ-F-EM-06	
Requerimiento	El Sistema debe tener protecciones contra descargas eléctricas y otras corrientes inducidas, además debe tener un sistema de descarga a tierra.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	N/A
Pos-Requisito	Prevención de daños por descarga de corriente.

Tabla 10 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-07

RQ-F-EM-07	
Requerimiento	El Sistema debe tener un modem GSM/GPSR interno con tecnología 3G que opere en las bandas QBAND 900, 1800,1900, 850.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	Acceso a internet mediante el modem.
Pos-Requisito	Comunicación del sistema.

Tabla 11 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-08

RQ-F-EM-08	
Requerimiento	El Sistema debe permitir la configuración independiente de cada sensor considerando sus parámetros de medición y las constantes de calibración.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	N/A
Pos-Requisito	Calibración de los sensores del sistema

Tabla 12 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-09

RQ-F-EM-09	
Requerimiento	El sistema de estar en temperatura de Operación entre -25°C a +60°C.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	El sistema debe estar activo
Pos-Requisito	Funcionamiento ideal

Tabla 13 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-10

RQ-F-EM-10	
Requerimiento	El sistema deberá soportar la humedad relativa del aire de 5 a 95% o mejor.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	N/A
Pos-Requisito	N/A

Tabla 14 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-11

RQ-F-EM-11	
Requerimiento	El sistema debe contar con protección contra EMI y ESD standard.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	N/A
Pos-Requisito	Durabilidad del sistema.

Tabla 15 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-12

RQ-F-EM-12	
Requerimiento	El sistema debe cumplir con la norma IEC 61000-4-3 Inmunidad a Campos RF
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	N/A
Pos-Requisito	N/A

Tabla 16 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-13

RQ-F-EM-13	
Requerimiento	El Sistema debe contar con el protocolo de protección IP45 o superior.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	N/A
Pos-Requisito	Durabilidad del sistema

Tabla 17 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-14

RQ-F-EM-14	
Requerimiento	El sistema debe contar con una interfaz de usuario para configuración de sensores y diversos periféricos compatibles.
Prioridad	Media
Pre-Requisito	N/A

Pos-Requisito	N/A
---------------	-----

Tabla 18 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-15

RQ-F-EM-15	
Requerimiento	El sistema debe soportar como mínimo los protocolos TCP/IP, SSH, FTP y HTTP para el envío de datos y/o administración de la plataforma de forma remota.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	N/A
Pos-Requisito	Control a distancia del sistema

Tabla 19 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-16

RQ-F-EM-16	
Requerimiento	Gabinete: El sistema deberá contar con un gabinete que permita alojar, proteger y garantizar las condiciones adecuadas para el funcionamiento.
Prioridad	alta
Pre-Requisito	El gabinete debe ser hermético, resistente a la corrosión, oxido, polvo, agua y radiación ultravioleta, no metálico
Pos-Requisito	Protección del Sistema

Tabla 20 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-17

RQ-F-EM-17	
Requerimiento	El sensor de temperatura deberá garantizar estabilidad a largo plazo. Su rango de temperatura debe estar entre -30°C hasta 60°C y una exactitud de humedad: $\pm 3\%$ en todo el rango de temperatura. Exactitud en temperatura: $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ para $T \leq -40^{\circ}\text{C}$ o mejor $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ para $-40^{\circ}\text{C} < T \leq +40^{\circ}\text{C}$ o mejor $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ para $T > +40^{\circ}\text{C}$ o mejor
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	RQ-F-EM-09
Pos-Requisito	N/A

Tabla 21 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-18

RQ-F-EM-18	
Requerimiento	El sensor de dirección y velocidad del viento deberán contar con: Rango de velocidad: desde 0 hasta 60 m/so mejor. Rango de dirección: 0° hasta 359°. Exactitud de dirección: $\pm 3\%$. Tiempo de respuesta: 250 ms o menor Exactitud de velocidad: ± 0.25 m/s para velocidades ≤ 5 m/s 5% para velocidades > 5 m/s.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	RQ-F-EM-09
Pos-Requisito	N/A

Tabla 22 Requerimiento Funcional RQ-F-EM-19

RQ-F-EM-19	
Requerimiento	El sensor de presión atmosférica deberá cumplir con: Rango (mb): 600 a 1100 o mejor. Tiempo calentamiento: 1 s o menor. Tiempo de respuesta: 300 ms. Estabilidad largo plazo (mb/año): ± 0.1 .
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	RQ-F-EM-09
Pos-Requisito	N/A

5.2.3.2. Requerimientos no funcionales. El sistema deberá cumplir con los siguientes aspectos de funcionalidad, confiabilidad, usabilidad, disponibilidad, usabilidad, seguridad y escalabilidad.

Tabla 27. Requerimiento No Funcional RQ-NF-PW-01

RQ-NF-PW-01	
Requerimiento	El sistema debe pedir a la base de datos los datos de las variables climáticas.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	El sistema debe estar conectado a la base de datos.
Pos-Requisito	El sistema debe mostrar los datos de las variables climáticas.

Tabla 28. Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-01

RQ-NF-EM-01	
Requerimiento	El sistema debe iniciar el algoritmo que testeará cada uno de los sensores, verificando que estén en línea.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	La solución tecnológica debe estar conectada a la fuente de energía.
Pos-Requisito	Los sensores iniciarán la captura de sus respectivas variables climáticas.

Tabla 29. Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-02

RQ-NF-EM-02	
Requerimiento	El sistema debe eliminar el ruido de los datos y calcular la media para cada variable climática en un periodo de tiempo determinado.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	Las mediciones de las variables climáticas fueron capturadas.
Pos-Requisito	Enviar los datos desde el sistema hacia el servidor.

Tabla 23 Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-03

RQ-NF-EM-03	
Requerimiento	Los periodos de muestreo de los sensores deben ser programables de forma independiente para cada canal.

Prioridad	Media
Pre-Requisito	Los sensores deben estar conectados en canales independientes
Pos-Requisito	Muestreo de datos

Tabla 24 Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-04

RQ-NF-EM-04	
Requerimiento	El sistema debe tener Incertidumbre para medidas en sensores analógicos de humedad de 0,5% o mejor
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	Tener sensores de humedad analógicos
Pos-Requisito	Precisión en los datos

Tabla 25 Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-05

RQ-NF-EM-05	
Requerimiento	El sistema debe tener incertidumbre para medidas de velocidad en frecuencia de 0,4 m/s o mejor.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	Tener sensor de velocidad de viento
Pos-Requisito	Precisión en los datos

Tabla 26 Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-06

RQ-NF-EM-06	
Requerimiento	El sistema debe tener incertidumbre para medidas en sensores analógicos de presión de 0,1 hPa o mejor.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	Tener sensor de precisión
Pos-Requisito	Precisión en los datos

Tabla 27 Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-07

RQ-NF-EM-07	
Requerimiento	El sistema debe tener Incertidumbre para medidas en sensores analógicos de temperatura $\pm 0,1$ °C o mejor
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	Tener sensor de temperatura
Pos-Requisito	Precisión en los datos

Tabla 28 Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-08

RQ-NF-EM-08	
Requerimiento	El sistema debe contar con: procesamiento, transmisión y archivo de datos las 24h, sin necesidad de intervención de un operador; además de la capacidad de autodiagnóstico.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	N/A
Pos-Requisito	Completa Disposición

Tabla 29 Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-09

RQ-NF-EM-09	
Requerimiento	El sistema debe permitir la configuración de alarmas que se activen cuando cualquier parámetro medido o calculado supere valores de umbrales y/o razón de cambio.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	Medición y cálculo de variables
Pos-Requisito	Alertas de picos en los datos

Tabla 30 Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-10

RQ-NF-EM-10	
Requerimiento	El sistema debe realizar cálculos estadísticos como promedio, máximos y mínimos, desviación estándar y valores acumulativos para periodos definidos por el usuario.
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	N/A
Pos-Requisito	Operaciones estadísticas de los parámetros medidos

Tabla 31 Requerimiento No Funcional RQ-NF-EM-11

RQ-NF-EM-11	
Requerimiento	El sistema debe garantizar el almacenamiento de datos sin sobrescribir información por un mínimo de 12 meses. Debe almacenar los datos de forma circular en su memoria interna, la cual debe tener una capacidad mínima de 4MB
Prioridad	Alta
Pre-Requisito	Captura de variables
Pos-Requisito	Almacenamiento de la Información

5.3. Diseño a nivel de hardware y software de una solución tecnológica para el monitoreo del clima basada en IoT.

Este capítulo presentará el desarrollo a nivel de hardware y software para el sistema, considerando los requisitos en el numeral 6.2. Por otro lado, la información está dividida en 3 tópicos: (i) Situación actual; (ii) Diseño de hardware y; (iii) Diseño de Software.

5.3.1. Situación actual

Como se aprecia en el numeral 5 de resultados, Bucaramanga cuenta con un determinado número de estaciones meteorológicas ubicadas en puntos estratégicos, estas estaciones son monitoreadas y están bajo la supervisión del IDEAM, junto con el AMB y demás organismos de control que velan por el funcionamiento de estas estaciones para la prevención de riesgos y mediciones climáticas de la ciudad.

Bucaramanga cuenta con 10 Estaciones meteorológicas propias del IDEAM y 13 estaciones de meteorología de otras entidades. En la Ilustración 23 se muestran las estaciones propias del IDEAM por tipo y tecnología y en la ilustración 24 se muestran las estaciones de otras entidades con los mismos parámetros.

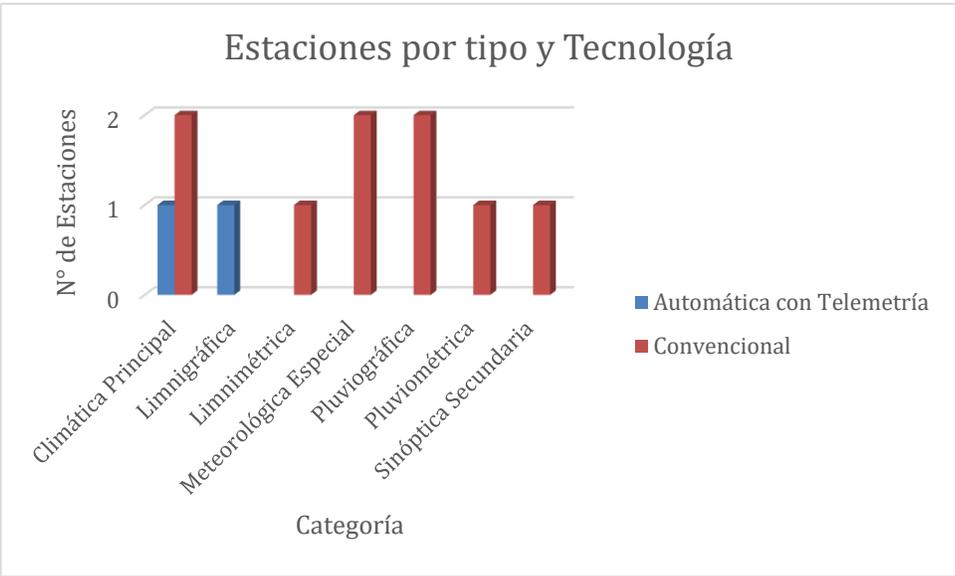


Ilustración 23 Estaciones Hidrometeorológicas propias del IDEAM por tipo y tecnología. Fuente: Elaboración Propia a partir de la base de datos del IDEAM.

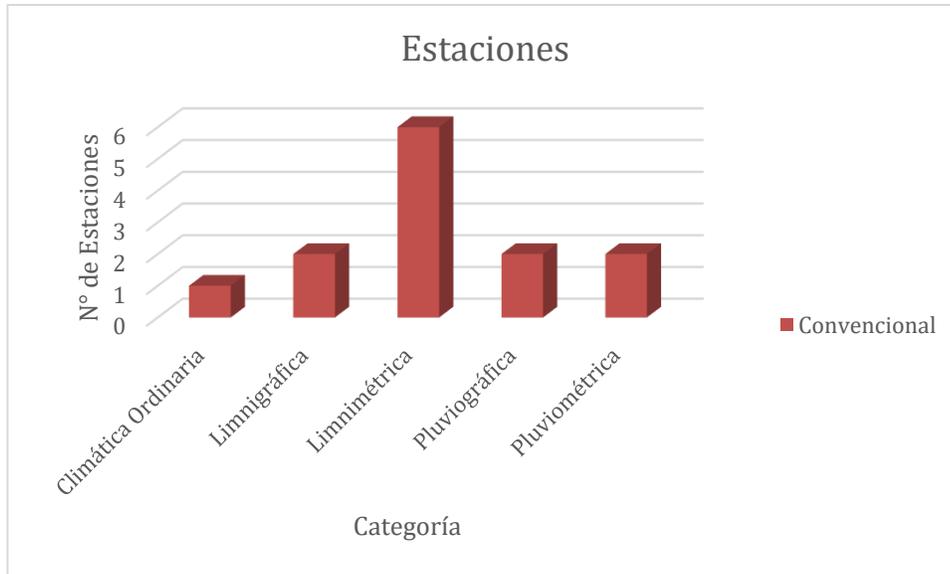


Ilustración 24 Estaciones Hidrometeorológicas De otras Entidades por tipo y tecnología.
Fuente: Elaboración Propia a partir de la base de datos del IDEAM.

En la Ilustración 25 se muestra el estado actual de las 23 Estaciones actualmente instaladas en Bucaramanga (10 del IDEAM y 13 de otras entidades), en donde se aprecia si están activas o suspendidas y su categoría.

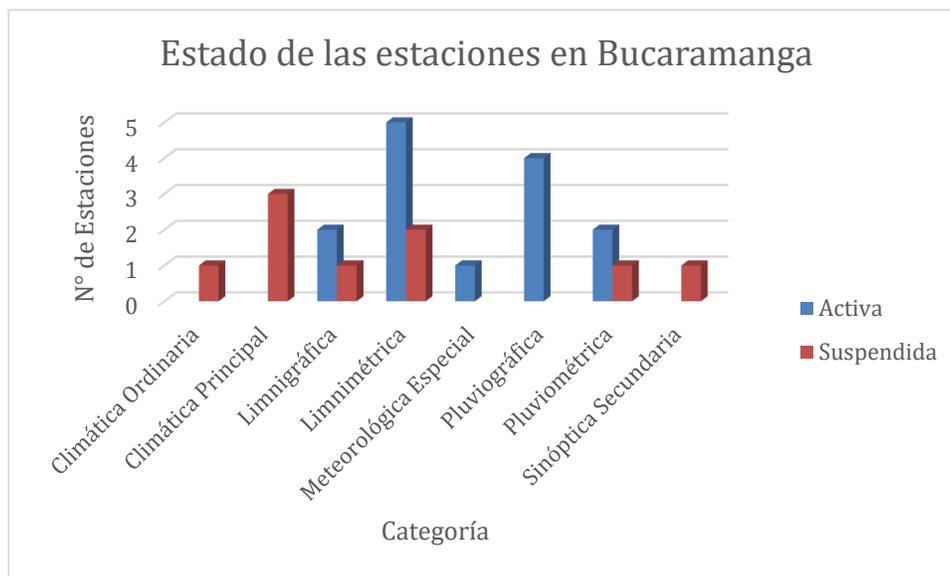


Ilustración 25 Estado de Estaciones Hidrometeorológicas en Bucaramanga. Fuente: Elaboración Propia a partir de la base de datos del IDEAM.

Teniendo en cuenta la información anterior se nota un gran déficit en las estaciones Meteorológicas que miden las variables climáticas de Bucaramanga, pues actualmente solo 1 esta activa, esto hace necesario y objetivo el desarrollo de este proyecto, para hacer cumplimiento con uno de los puntos de la agenda del plan de desarrollo nacional del presidente Iván Duque.

5.3.2. Diseño de hardware

Para el diseño a nivel de hardware de la solución tecnológica, se presenta una visión global del diseño de la arquitectura, teniendo en cuenta aspectos como la conexión de los módulos ya definidos y de los diferentes dispositivos que conforman la solución. Un Arduino, sensores climáticos, una interfaz de usuarios y una base de datos son elementos necesarios a considerar en el sistema.

Teniendo en cuenta lo anterior, en la ilustración 26 se puede observar el diagrama de bloques, presentando así una arquitectura genérica que permite ser adaptado en las diferentes áreas de la ciudad y que a su vez permite la escalabilidad del proyecto en sí.

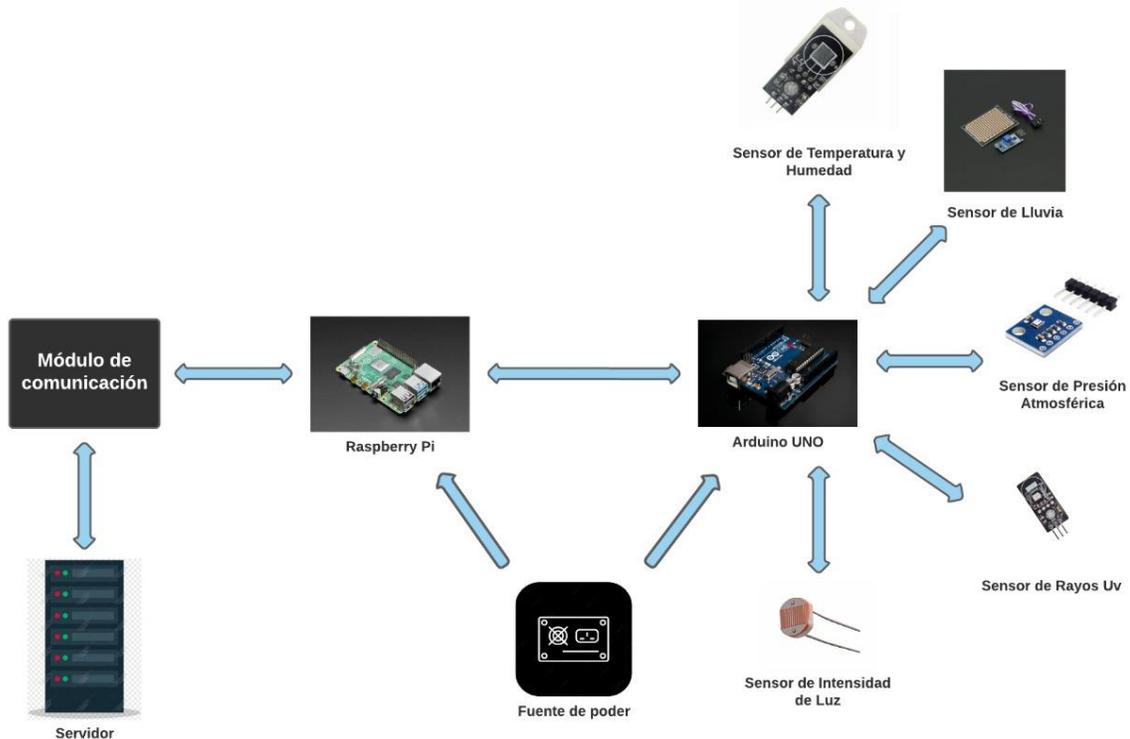


Ilustración 26 Diagrama de bloques del hardware del sistema. Fuente: Elaboración propia.

El uso de un Arduino y una Raspberry en la solución Tecnológica nos abre las posibilidades de programación y solidifica la arquitectura. El Arduino es el encargado de activar los sensores y este sistema de embebido se encargara de validar los diferentes sensores y recolectar los datos de los mismos, para luego enviarlos a la Raspberry la cual se encargara de realizar todos los cálculos algebraicos y conversiones necesarias para posteriormente enviar los datos capturados a nuestra base de datos, La cual será consultada desde un portal web en el cual se apreciaran cada una de las variables junto con los datos capturados día a día, con sus respectivas graficas de interés.

Las selecciones de los componentes de la solución deben cumplir con los requerimientos establecidos, para asegurar la calidad del producto; para la experiencia del usuario, surge el tema de velocidad tanto de comunicación, como de procesamiento de los datos, teniendo como factor clave la ejecución en tiempo real de las variables climáticas.

5.3.2.1. Sistema embebido.

La elección de la placa base del sistema embebido debe permitir la integración con sensores climáticos de bajo coste, conexión a través de red alámbrica o inalámbrica, escalabilidad y la integración con otros dispositivos. Por otro lado, un factor clave es la capacidad de procesamiento, permitiendo ejecutar una serie de instrucciones en cortos lapsos de tiempo, para que así los usuarios puedan percibir unos resultados en tiempo real.

La Raspberry Pi (Ver Ilustración) ofrece las exigencias requeridas para el sistema. En la tabla 32 se pueden observar las especificaciones de esta placa de desarrollo. La compatibilidad de esta con otras placas de desarrollo y para con los demás dispositivos fue la clave para ser el cerebro de la solución.

Tabla 32 Especificaciones Raspberry Pi. Fuente: Elaboración propia a partir de la información de raspberrypi.org.

Sistema embebido	
Producto	Raspberry Pi3
Especificaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU • 1GB RAM • BCM43438 wireless LAN and Bluetooth Low Energy (BLE) on board • 40-pin extended GPIO • 4 USB 2 ports • 4 Pole stereo output and composite video port

- Full size HDMI
- CSI camera port for connecting a Raspberry Pi camera
- DSI display port for connecting a Raspberry Pi touchscreen display
- Micro SD port for loading your operating system and storing data
- Upgraded switched Micro USB power source up to 2.5A

Las limitaciones de la Raspberry se centran en no poder ser utilizada como parte de un producto comercializable, porque inflige las normas y políticas de uso. Aunque una alternativa es que se puede reemplazar por otro sistema de embebido que permita su comercialización si fuese necesario.

5.3.2.2. Arduino UNO R3. Esta placa tiene todo lo necesario para apoyar a la Raspberry en cuanto a la recolección de los datos. Gracias a su fácil programación el Arduino es un facilitador en la conexión de los sensores y es la placa encargada de capturar los datos para posteriormente enviarlos a la Raspberry para proseguir con el proceso de la solución tecnológica.

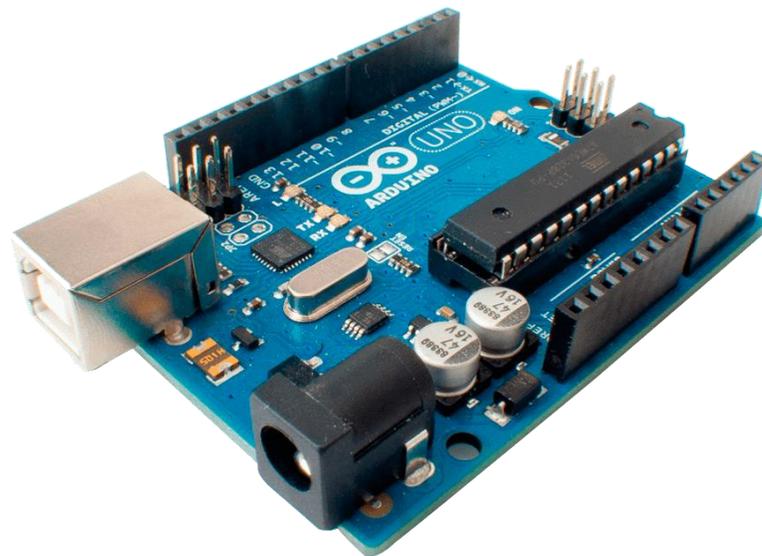


Ilustración 27 Arduino Uno-R3. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33 Especificaciones Arduino Uno_R3. Fuente: Elaboración propia a partir de información de descubrearduino.com

Sistema embebido	
Producto	Arduino UNO_R3
Especificaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Microcontrolador: ATmega328 • Voltaje de operación: 5V • Voltaje de entrada (recomendado): 7-12V

- Voltaje de entrada (límites): 6-20V
- Pines de E/S digitales: 14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
- Pines de entrada analógica: 6
- Corriente DC por pin de E/S: 40 mA
- Corriente DC para 3.3V Pin: 50 mA
- Memoria Flash: 32 KB de los cuales 0,5 KB utilizados por el bootloader
- SRAM: 2 KB (ATmega328)
- EEPROM: 1 KB (ATmega328)
- Velocidad de reloj: 16 MHz

5.3.2.3. DHT11 - Sensor de temperatura y humedad. Es un sensor de humedad relativa y temperatura de bajo costo y de media precisión a un bajo precio. La salida suministrada es de tipo digital utilizando solamente 1 pin de datos, lo cual cumple los criterios de selección por su fácil acceso y empalme con los sistemas de embebido ya definidos.

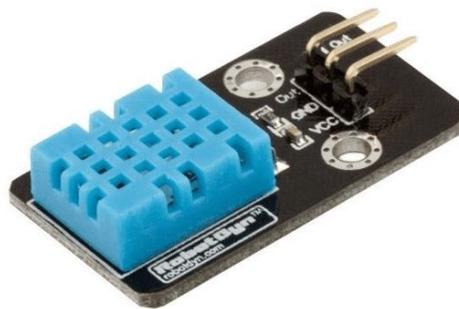


Ilustración 28 DHT11 Sensor de temperatura y humedad. Fuente: elaboración propia.

Tabla 34 Especificaciones DHT11. Fuente: Elaboración propia a partir de naylampmechatronics.com.

Sistema embebido	
Producto	DHT11
Especificaciones	<ul style="list-style-type: none">• Microcontrolador: ATmega328• Voltaje de operación: 5V• Voltaje de entrada (recomendado): 7-12V• Voltaje de entrada (límites): 6-20V• Pines de E/S digitales: 14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)• Pines de entrada analógica: 6• Corriente DC por pin de E/S: 40 mA• Corriente DC para 3.3V Pin: 50 mA• Memoria Flash: 32 KB de los cuales 0,5 KB utilizados por el bootloader• SRAM: 2 KB (ATmega328)• EEPROM: 1 KB (ATmega328)• Velocidad de reloj: 16 MHz

5.3.2.4. Sensor de lluvia YL-83. Este Sensor permite detectar gotas de lluvia, como un sensor de lluvia, y seguimiento de humedad y se puede utilizar para una variedad de condiciones climáticas. Convierte en números la señal de referencia de salida output AO. La salida analógica puede ser conectada al puerto AD de un microcontrolador para detectar la intensidad de la humedad y la precipitación.



Ilustración 29 Sensor de lluvia YL-83. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35 Especificaciones YL-83. Fuente: Elaboración propia a partir de información de mactronica.com.co.

Sistema embebido	
Producto	YL-83
Especificaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje de Operación: 3.3V-5V • Tamaño de PCB: 3.2cm x 1.4cm • Tamaño de celda :5cm x 4cm • Chip Comparador: LM393 • CONEXIONES: • VCC : 3V- 5V • GND : Negativo • DO: interfaz de salida conmutación TTL • AO: interfaz de salida analógica.

Dentro de los criterios de selección para el sensor de lluvia el YL-83 se hace idóneo a diferencia del Rain Collector 260-7852 presentado en la tabla 5 del estado del arte, por su fácil acceso, compatibilidad con Arduino y empalme con nuestros sistemas de embebido ya definidos.

5.3.2.5. Sensor de presión Atmosférica BMP280. El sensor de presión barométrica BMP280 permite medir la altura respecto al nivel del mar, su funcionamiento está basado en la relación entre presión del aire y la altitud. El BMP280 es la evolución del BMP180, posee alta precisión y un bajo consumo de energía. El BMP280 ofrece un rango de medición de 300 a 1100 hPa (Hecto Pascal). Basado en tecnología BOSCH piezo-resistiva con gran robustez EMC, alta precisión y linealidad, así como con estabilidad a largo plazo. Se ha diseñado para ser conectado directamente a un microcontrolador a través de I2C o SPI.



Ilustración 30 Sensor de Presión Barométrica BMP280. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36 Especificaciones BMP280. Fuente: Elaboración propia a partir de información de naylampmechatronics.com.

Sistema embebido	
Producto	BMP280
Especificaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje de Operación: 1.8V - 3.3V DC • Interfaz de comunicación: I2C o SPI (3.3V) • Rango de Presión: 300 a 1100 hPa (0.3-1.1bar) • Resolución: 0.16 Pa • Precisión absoluta: 1 hPa • Medición de temperatura incluida • Resolución de temperatura: 0.01°C • Precisión Temperatura: 1°C • Frecuencia de Muestreo: 157 Hz (máx.) • Rango de altura medible: 0-9100 metros • Ultra - bajo consumo de energía • Completamente calibrado

El sensor BMP280 presenta diversas mejoras respecto al sensor BMP180 como: Mejor resolución de presión y temperatura, mejor precisión, mejores filtros digitales y un menor consumo de energía, por estas razones cumple los criterios de selección para esta solución tecnológica, añadiendo la perfecta compatibilidad con Arduino, uno de nuestros sistemas embebidos a utilizar.

5.3.2.6. Sensor de rayos Ultravioleta UVM-30A. Este sensor de rayos ultravioleta es capaz de detectar la radiación solar UV usando un simple chip UVM-30A. El sensor puede detectar rayos UV con tamaño de onda entre 200-370nm con rápida respuesta y control analógico. Su tensión de funcionamiento entre 3-5V permite que sea fácilmente conectado a otros controladores como Raspberry Pi.



Ilustración 31 Sensor Ultravioleta UVM30A. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37 Especificaciones UVM30A. Fuente: Elaboración propia a partir de información de mactronica.com.co.

Sistema embebido	
Producto	UVM-30A
Especificaciones	<ul style="list-style-type: none">• Chip: UVM-30A• Tensión de funcionamiento: 3-5V• Voltaje de salida: 0-1V (correspondiente a 0-10 INDICE)• Precisión: \pm ÍNDICE 1UV• Corriente estándar: 0,06mA• longitud de onda UV: 200 -370nm• tiempo de respuesta -: <0,5 s• temperatura de trabajo: de -20 a + 85 ° C• Dimensiones: 27 x 22 mm

En la selección del sensor de rayos UV se considera que con el diagrama índice UV se puede montar fácilmente el proyecto con Arduino para controlar los niveles de rayos ultravioleta. De tal forma que este sensor se hace de bajo coste y fácil acceso para implementarlo en la solución tecnológica para cubrir dicha variable ambiental.

- 5.3.2.7. Sensor de intensidad de luz LM393.** El módulo del sensor de luz se basa en una resistencia fotográfica y, por lo tanto, mide los datos de la intensidad de la luz ambiental. La salida de AO estará en un nivel alto hasta que la intensidad de la luz exceda el umbral establecido utilizando el valor predeterminado para que el módulo pueda distinguir entre un entorno iluminado y uno oscuro. También tiene dos indicadores LED de estado, uno que indica que el módulo está recibiendo energía y otro que indica que la señal fotorresistente, el OPAMP LM393, ofrece un excelente rendimiento y confiabilidad.



Ilustración 32 Sensor Intensidad de Luz LM393. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38 Especificaciones LM393. Fuente: Elaboración propia a partir de información de leantec.es.

Sistema embebido	
Producto	LM393
Especificaciones	<ul style="list-style-type: none"> • sensibilidad Ajustable mediante potenciómetro. • voltaje de funcionamiento: 3,3 V a 5 V. • salida de voltaje: digital (DO). • Chip: LM393 • Conexión: 3 hilos • Vcc externo 3.3 V a 5 V. • GND: GND externo • DO Salida digital (0, 1). • Dimensiones: 32 mm x 14 mm x 7 mm.

Dentro de los requerimientos se hace necesario de un dispositivo que mida la intensidad de luz, dándonos como criterio de selección el LM393, un sensor bastante completo y que a diferencia de los presentados en la tabla 5, este ofrece compatibilidad con la placa seleccionada y es de bajo coste, cumpliendo con el foco del proyecto.

5.3.2.8. Servidor. La plataforma web y los datos estarán alojados en un servidor, este debe contar con suficiente espacio de almacenamiento de modo que permita archivar la información que se ira almacenando al paso del tiempo; las múltiples peticiones de consultas van a requerir almacenamiento en memoria RAM, por lo que se debe requerir un mínimo disponible para el correcto funcionamiento y; capacidad de procesamiento, para poder procesar las múltiples peticiones realizadas al servidor, asegurándonos la ejecución en tiempo real.

Tabla 39 Características del servidor. Fuente Elaboración propia.

Componente hardware	
Característica	Parámetro
Procesador	2 Intel Xeon Silver 4214 – 24c/48t
Velocidad de procesamiento	2.2Ghz / 3.2Ghz
Memoria RAM	64 GB DDR4 ECC 2400 Mhz
Disco Duro	3 NVMe Soft RAID 3840 GB
Interface de red	NIC 1Gbps

5.3.3. Diseño del software.

En esta sección se presenta el diseño del software, donde se detallan las funciones del software teniendo en cuenta los requerimientos determinados en la sección 6.2, para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema.

5.3.3.1. Programación del sistema de embebido.

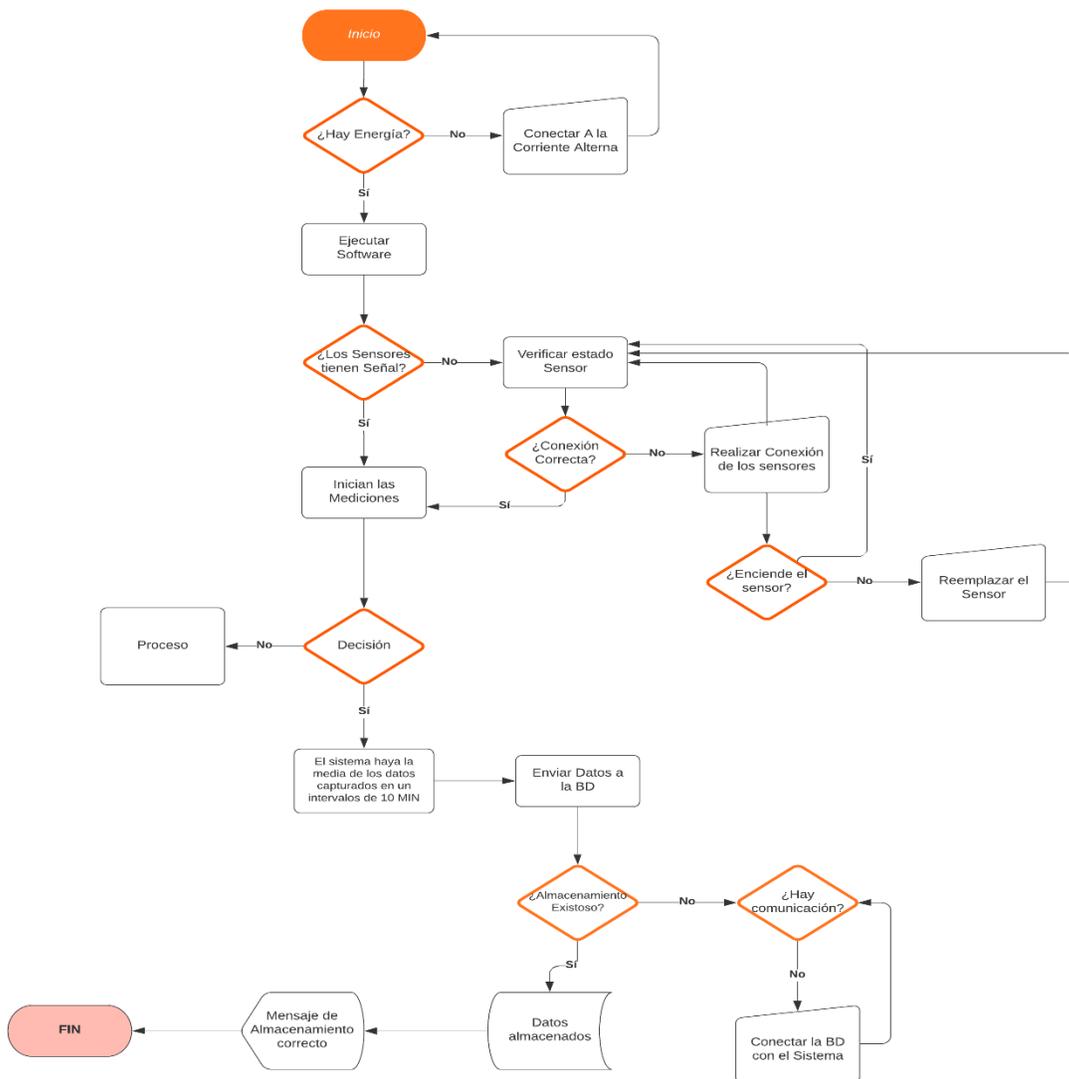
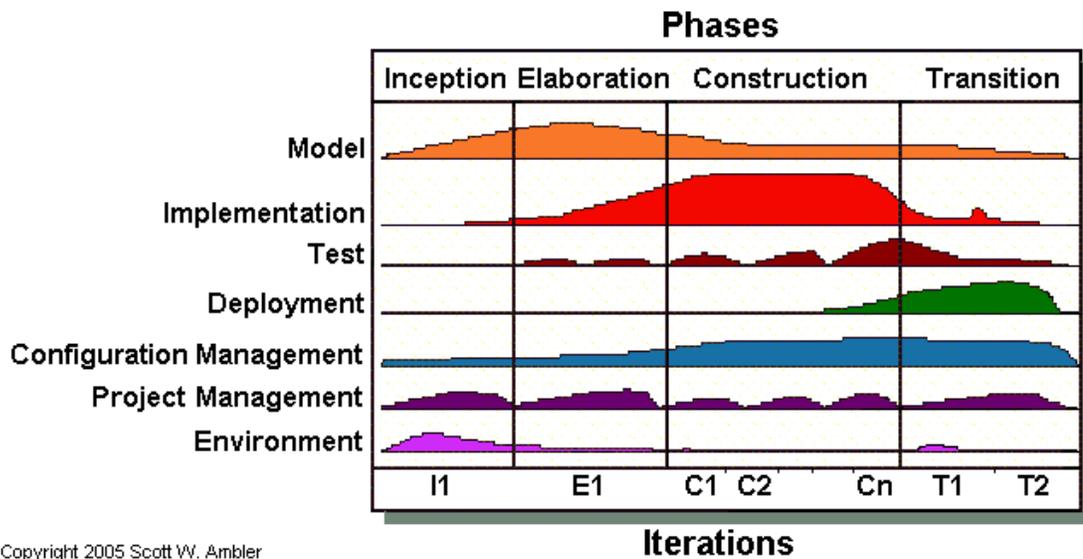


Ilustración 33 Diagrama de flujo toma de mediciones. Fuente: Elaboración propia.

5.3.3.2. Metodología para el desarrollo de la solución AUP. El proceso unificado ágil (AUP) es una versión simplificada de RUP. Para el desarrollo de esta metodología, se propone realizar de manera simultánea la codificación del código fuente y las pruebas del sistema. Esta metodología es recomendada para equipos de proyectos con pocas personas.

La selección del enfoque UAP, es porque permite la integración de buenas prácticas, a través de la ejecución de pruebas mientras se realiza la programación y se permite la fácil adición de nuevas características, dando como resultado una metodología clave para el desarrollo.

5.3.3.3. Fases de la metodología AUP. Esta metodología consta de 4 fases (Ver ilustración 34); Inicio, donde el objetivo es identificar el alcance inicial del proyecto, una arquitectura potencial para el sistema; Elaboración, la meta aquí es probar la arquitectura del sistema; Construcción, se construye software operativo de forma incremental que cumpla con las necesidades según prioridad; Transición, se valida y despliega el sistema en el entorno de producción.



Copyright 2005 Scott W. Ambler

Ilustración 34 Ciclo de vida de AUP. Fuente: Ambyssoft.com

5.3.3.4. Actores del sistema. La solución tecnológica cuenta con dos actores, Administrador y Publico interesado, descritos a más detalle en la Tabla 40. Cada uno tiene diferentes niveles de acceso a la información de los sistemas y no todos pueden realizar las acciones que posee el sistema.

Tabla 40 Actores del sistema. Fuente: Elaboración propia.

Actor	Descripción
ACT1 - Administrador	La persona que tiene acceso a toda la solución tecnológica, con permisos para modificar, configurar y consultar información.
ACT2 – Publico	La persona con acceso a la página web con permisos únicamente de visualización de la información presentada.

5.3.3.5. Diseño de la Base de Datos. El diseño de la base de datos, permite la consulta de forma amigable de los datos medioambientales, para que las consultas a la misma, se hagan de manera eficiente. Para que lo anterior se cumpla, se debe tener presente la escalabilidad, para ofrecer expansión a futuro.

En el diseño de la estructura un factor clave es que no existan datos redundantes, que el acceso sea fácil a los datos y que sean íntegros. Los requerimientos de la solución tecnológica permitieron la elaboración de las tablas presentadas en la ilustración # haciendo usos de llaves primarias y una estandarización en los datos.

El sistema de gestión de la base de datos a implementar es MySQL, ya que es Open Source, cuenta con un gran rendimiento y al mismo tiempo un bajo consumo de recursos. Es primordial mantener los recursos del sistema disponibles en todo momento, debido a que estará sometido a múltiples peticiones que deben ser solucionadas a la mayor brevedad.

En la ilustración 35 se muestra el modelo de entidad relación definido para la solución tecnológica. Aplicando todo lo referente con buenas prácticas para el desarrollo del software.

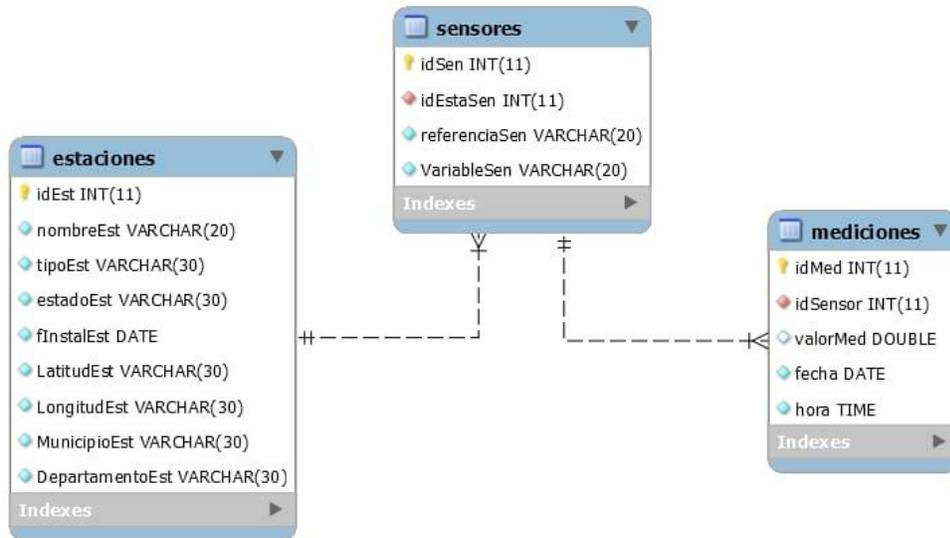


Ilustración 35 Modelo Relacional de la Base de Datos. Fuente: Elaboración propia.

5.3.4. Diseño de red. Un adecuado funcionamiento en la comunicación garantiza la calidad de la solución tecnológica, de tal modo que se hace necesario diseñar un esquema de red y así garantizar total disponibilidad del sistema.

5.3.4.1. Selección de la topología. En la tabla 41 se plasman criterios fundamentales para la selección de la topología a utilizar para la comunicación de los sistemas de embebido al servidor.

Tabla 41 Criterios de selección. Fuente: Elaboración propia.

Criterio	Razón
Distancia promedio desde un punto de red cercano a la Estación climática.	15 metros
Protocolo de comunicación	* 802.3 IEEE * 802.11 IEEE
Velocidades de comunicación	10/100/1000 Mbps

Los sistemas de embebido incorporan tarjetas Ethernet en su mayoría que operan hasta 100 Mbps, como es el caso de los microcontroladores seleccionados, también cabe resaltar que hay otros sistemas embebidos que alcanzan velocidades de operación de 1Gbps, los cuales se podrían implementar para una solución comercializable. Ambos microcontroladores cuentan con tecnología WLAN.

Para la selección del medio de transmisión se debe optar por el uso de Ethernet y/o WiFi ya que, para edificaciones antiguas, o puntos clave de instalación, la modificación de la estructura de red generaría costos adicionales para desplegar la solución IoT.

Para la red alámbrica se propone una velocidad de transmisión 10 Mbps como mínimo, para el cableado se dispone de Cable UTP categoría 5e o superior. Si se requiere uso de red Inalámbrica esta debe operar bajo el estándar 802.11g, permitiendo velocidades hasta de 54 Mbps.

5.3.4.2. Entorno actual en la ciudad de Bucaramanga. Bucaramanga como se presenta en la ilustración 23, 24 y 25 cuenta con determinadas estaciones medioambientales, en ubicaciones estratégicas donde fueron instaladas inicialmente. Estas ubicaciones cubren ciertas áreas de la ciudad para captar dichas variables para su posterior almacenamiento.

Para un despliegue de la solución IoT en los puntos actualmente ocupados por las estaciones comerciales, haciendo uso de cable ethernet, no se tiene que realizar modificaciones a las instalaciones puesto que, al haber equipos en operación simultánea, se puede hacer uso de los equipos de comunicación para la transferencia de datos.

Si se requiere despliegue con WiFi se debería analizar la interferencia que el medio pudiese llegar a ocasionar, como muros, vidrios, laminas metálicas, entre otros, objetos que pudiesen ocasionar interferencia y baja calidad en la potencia de la señal que afectaría directamente el funcionamiento del sistema.

Por temas de la situación actual que atraviesa el país de la contingencia sanitaria (Covid-19), se nos es complicado obtener permisos de instalación de la solución IoT diseñada en este proyecto para posteriormente ser instalada en paralelo con una estación activa. Por lo tanto y para el alcance del proyecto, se opta por instalar la estación climática en el municipio de Girón.

5.3.4.3. Esquema de Solución. Se desplegará una solución IoT por lo que se hará uso los protocolos de comunicación ya en funcionamiento. Más

sin embargo se considera la posibilidad de escalamiento de la solución y adición de nuevos puntos de captación de datos climáticos.

Para que esto sea posible se decide utilizar direcciones clase B, siendo estas usadas en las redes internas de la localidad de Girón. Teniendo en cuenta que solo se implementara 1 estación se opta por hacer uso de 1 solo segmento de red y de este usar su subred.

Se optará por la red privadas 172.16.1.0 definida mas adelante en la tabla 42. En la tabla 43 se ve la distribución de la subred y la disponibilidad para un escalamiento a futuro.

Tabla 42 Direccionamiento de red clase B. Fuente: Elaboración Propia.

Municipio	Subred	Puerta de enlace	Broadcast	Direcciones IP disponibles para los sistemas embebidos
Girón	172.16.1.0/27	172.16.1.1	172.16.1.31/27	30
Localidad B	172.16.1.32/27	172.16.1.33	172.16.1.63/27	30
Localidad C	172.16.1.64/27	172.16.1.65	172.16.1.95/27	30
Localidad D	172.16.1.96/27	172.16.1.97	172.16.1.127/27	30
Localidad E	172.16.1.128/27	172.16.1.129	172.16.1.159/27	30
Localidad F	172.16.1.160/27	172.16.1.161	172.16.1.191/27	30
Localidad G	172.16.1.192/27	172.16.1.193	172.16.1.223/27	30
Localidad H	172.16.1.224/27	172.16.1.225	172.16.1.255/27	30

Tabla 43 Subred de la solución. Fuente: Elaboración Propia.

ID Red	Puerta de enlace	Broadcast
172.16.1.0/24	172.16.1.1	172.16.1.255/24

En la ilustración 36 se puede apreciar el esquema lógico de conexión que se implementará en la solución.

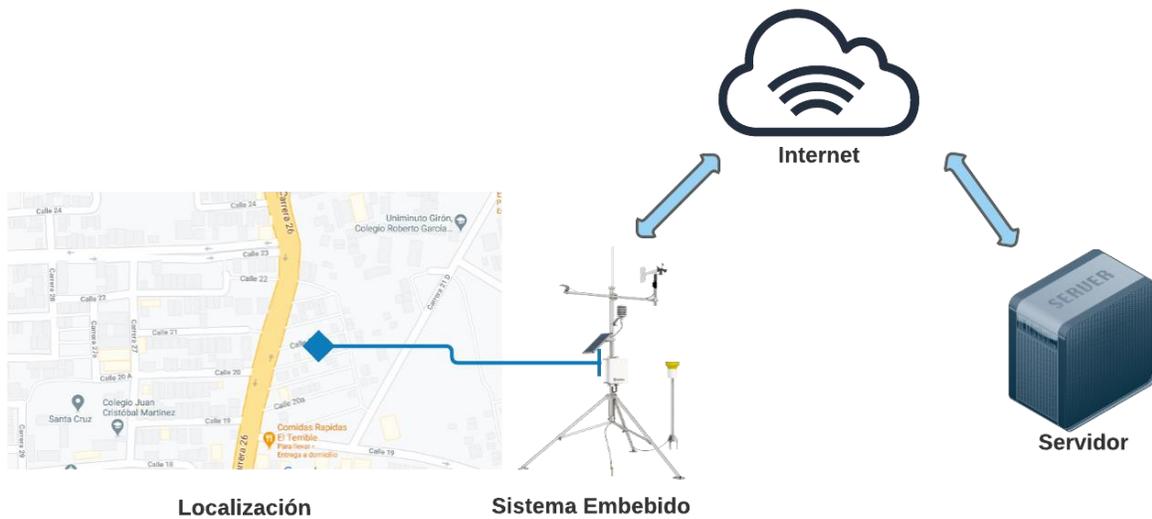


Ilustración 36 Esquema de red. Fuente: Elaboración propia.

La arquitectura cliente servidor es definida en la ilustración 37, mostrando una arquitectura distribuida, para permitir que los usuarios puedan tener acceso a la información; esta arquitectura es definida para permitir la fácil integración con nuevas tecnologías y que, a su vez, permite el crecimiento de infraestructura.

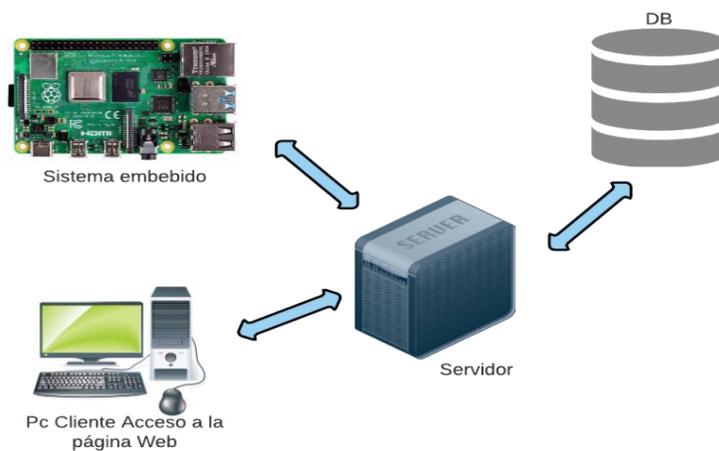


Ilustración 37 Esquema Cliente/Servidor. Fuente: Elaboración propia.

El cliente accederá a la página web la cual está almacenada en el servidor que se conecta con la base de datos y le permitirá visualizar los datos capturados por el sistema embebido. De esta manera mediante las consultas SQL ya establecidas en la Página web y la previa configuración del sistema, los usuarios podrán por medio de la página web visualizar a detalle cada una de las variables climáticas medidas.

5.3.5. Diseño físico del prototipo

Tomando en cuenta los materiales requeridos para la construcción del prototipo se define un diseño de la solución (Ver ilustración 38); este diseño base se compone de: una Raspberry Pi, un Arduino UNO, un sensor de temperatura y humedad, un sensor de lluvia, un sensor de presión atmosférica, un sensor de rayos UV, un sensor de intensidad de luz y una estructura de tubo PCV de 1" resistente a intemperie.

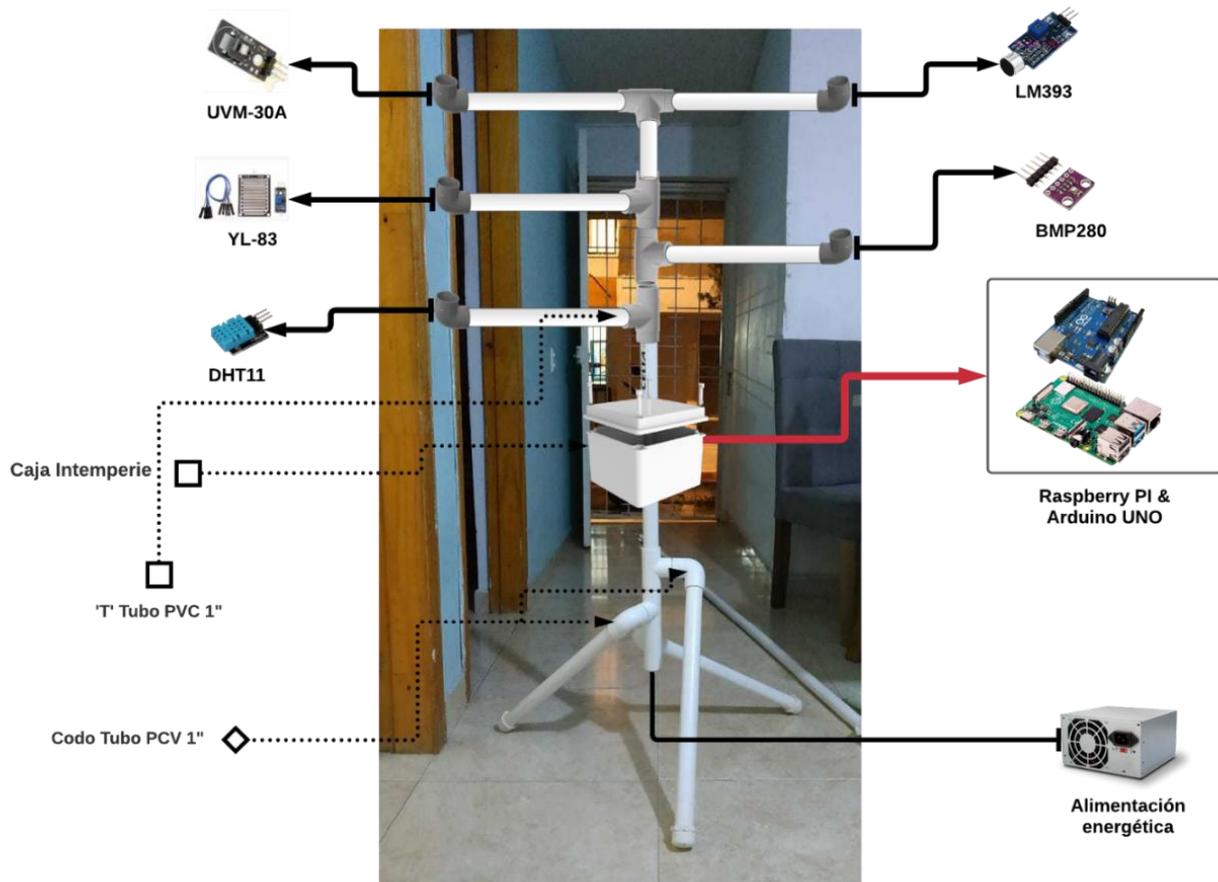


Ilustración 38 Diseño del prototipo. Fuente: Elaboración Propia.

La conexión de los sensores se hace por medio del Arduino, quien es el encargado de recibir los datos de los diferentes sensores. Se emplea una protoboard (ver ilustración 40 y 41) en la que se hace la múltiple conexión de los sensores empleados, facilitando la conexión de estos con Arduino.

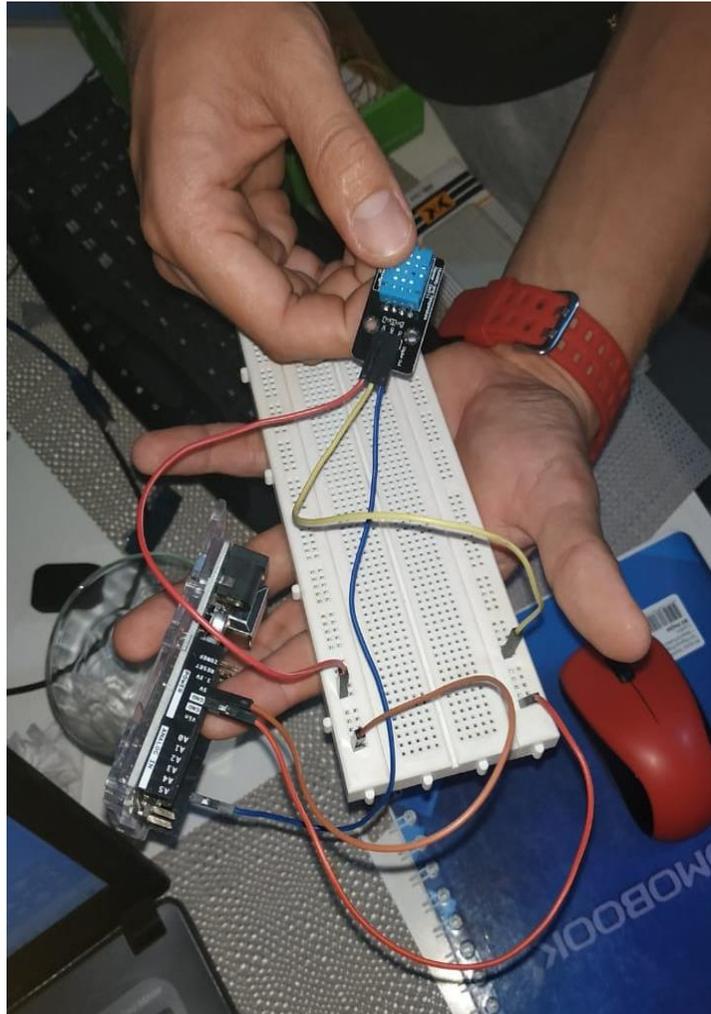


Ilustración 40 Conexión del sensor DTH11 al Arduino. Fuente: Elaboración Propia.

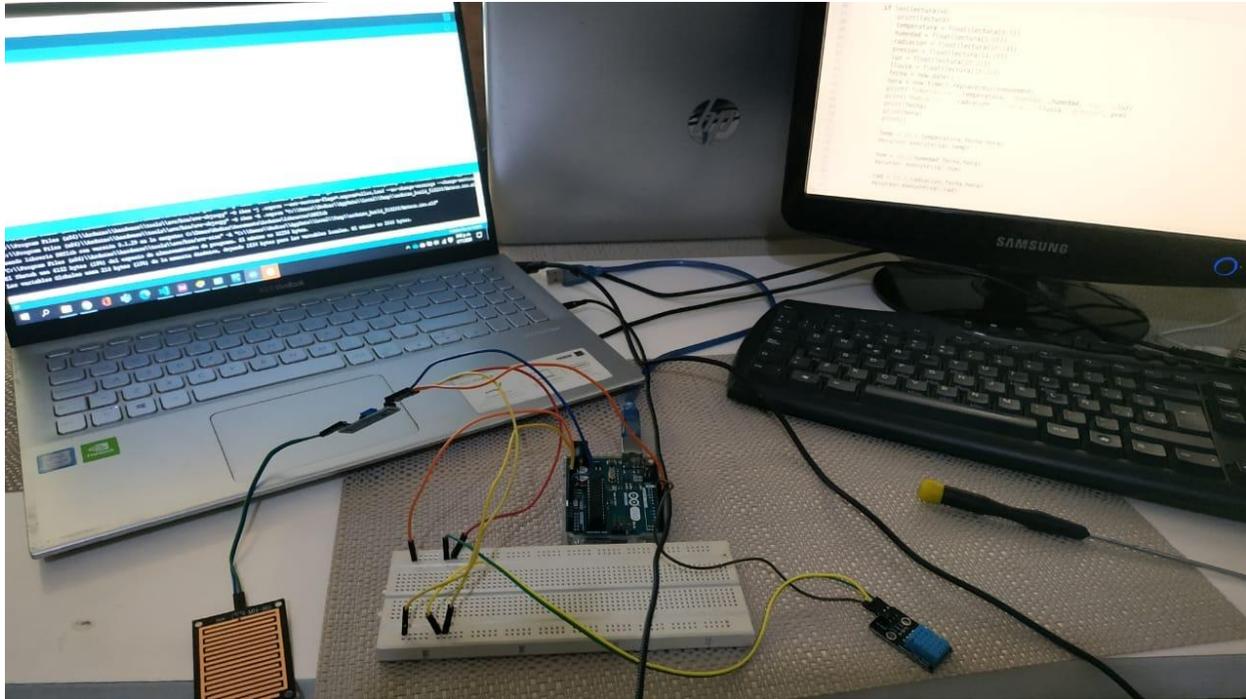


Ilustración 41 Conexión de DTH11 y YL-83 al Arduino. Fuente: Elaboración propia.

Una vez conectados los diferentes sensores y configurados al Arduino (Ver Anexo A) se procede a realizar la conexión con la Raspberry Pi quien es el microcontrolador encargado de realizar el procesamiento de los datos capturados por el Arduino, para de este modo ser enviados a la base de datos.

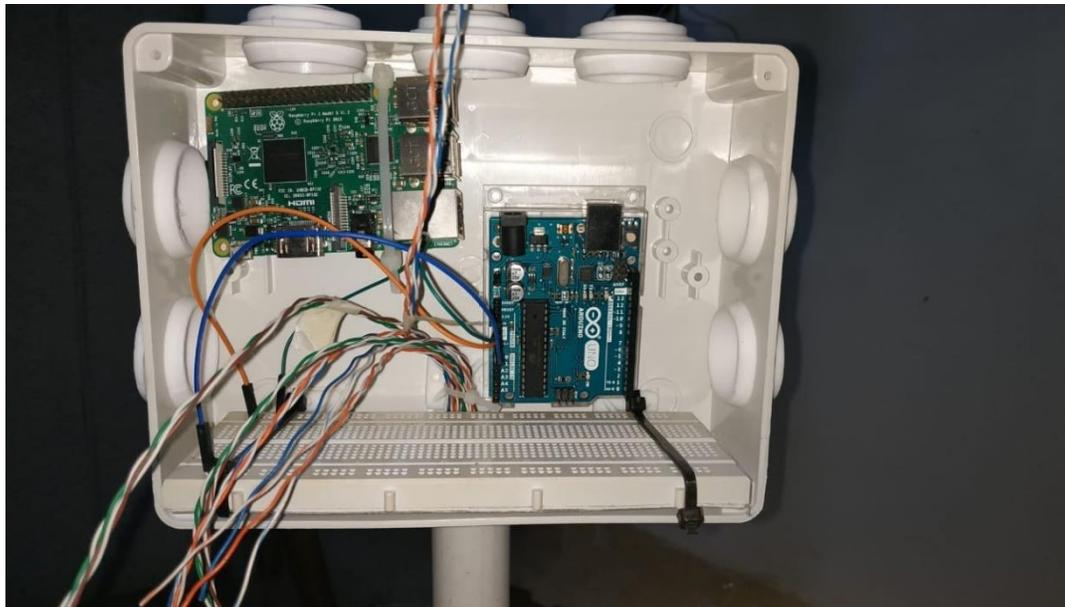


Ilustración 42 Montaje de Raspberry Pi y Arduino. Fuente: Elaboración propia.

En las ilustraciones 42 y 43 se ve la conexión de los microcontroladores entre sí y también de los sensores.

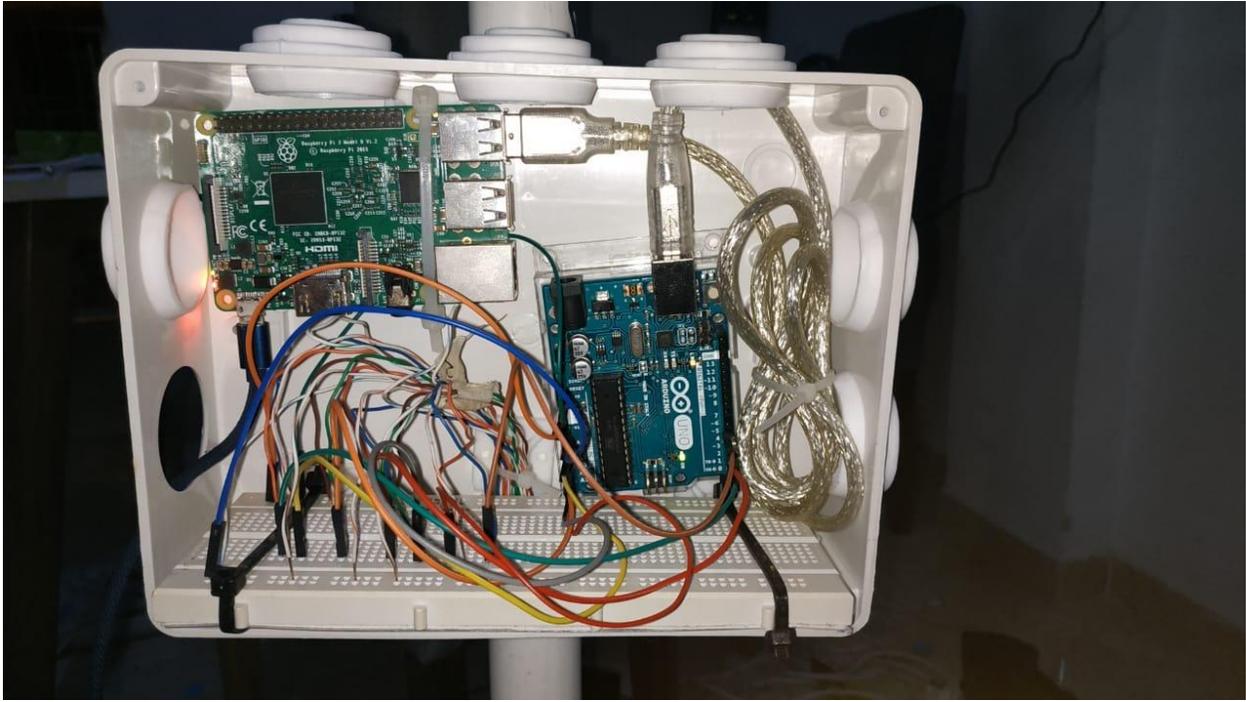


Ilustración 43 Montaje y conexión de los microcontroladores y los sensores. Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado el montaje (Ver ilustración 44), se realizó la instalación y configuración del sistema embebido (Anexo A), como también la del servidor donde se aloja la página web y DB. Inicialmente se configuró un sistema web de menores funcionalidades que cumpliera con lo requerido, para realizar una primera etapa de pruebas del funcionamiento del prototipo.

Para la visualización de los datos de las variables climáticas, se ha desarrollado una plataforma web, la cual ofrece de manera fácil y a detalle un breve esquema de los valores captados por la solución IoT. Este desarrollo, aunque no está contemplado en los objetivos, solidifica la estructura del proyecto, brindando una plataforma abierta al público interesado para que haga uso de este proyecto para fines educativos o de investigación. (ver ilustración 45).

En el proceso de subir la página web en línea para ser consultada por cualquier persona en cualquier lugar con acceso a internet, se hace uso de un servidor privado el cual nos provee un hosting y nos permite el almacenamiento de las variables en la base de datos almacenada allí mismo.



Ilustración 44 Prototipo construido. Fuente: Elaboración propia.

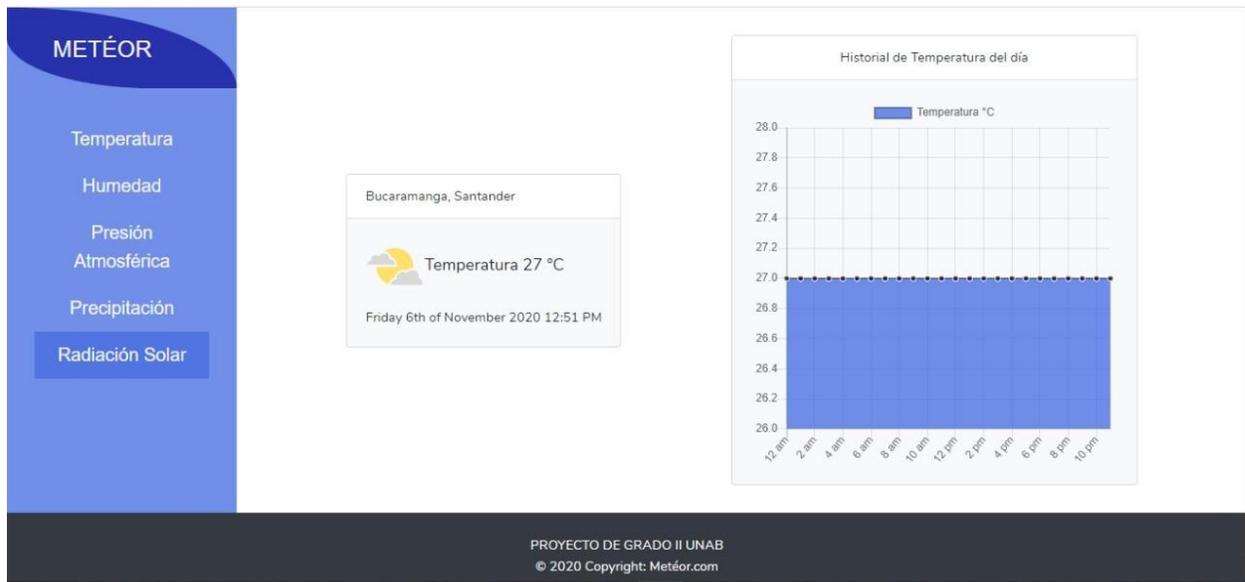


Ilustración 45 prototipo funcional de la página web. Fuente: Elaboración propia.

5.4. IMPLEMENTACIÓN A NIVEL DE HARDWARE Y SOFTWARE, DE UNA SOLUCIÓN TECNOLÓGICA BASADA EN TECNOLOGÍAS IOT PARA EL MONITOREO DEL CLIMA

Para la implementación, se realizaron previamente pruebas sobre el prototipo funcional descrito en la sección 5.3.5 para verificar la funcionalidad del sistema y comunicación del mismo.

5.4.1. Sitio de instalación

El montaje e instalación del sistema demanda unos mínimos requisitos previos para un adecuado funcionamiento. Reiterando la situación actual del País por la contingencia sanitaria, y al no poder hacer la instalación del sistema en paralelo con una estación comercial actual, se opta por instalarla en el municipio de girón, para realizar las respectivas pruebas y verificar el funcionamiento idóneo del sistema.



Ilustración 46 Calle 21 con Cra 20 - Portal Campestre F3. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 47 Calle 21 con Cra 20 - Portal Campestre F3. Fuente: Elaboración propia.

5.4.2. Comunicación a internet

Para la conexión a Internet, se estableció comunicación a través de WiFi, haciendo uso de una red privada de uso doméstico que opera bajo el estándar IEEE 802.11n y de esta manera, asegurando la comunicación la Raspberry Pi hacia Internet (Ver Figura 40).



Ilustración 48 Router TP-Link Dsl-124. Fuente: Elaboración propia.

La Raspberry Pi se comunica al servidor web, por medio de consultas SQL que se realizan a la base datos usando el protocolo TCP, de esta manera se asegura la integridad de la información. Para acceder a la página Web, se puede realizar por medio de cualquier navegador web (Compatibilidad con Chrome, Mozilla, Internet Explorer, Safari, Microsoft Edge y Opera), el cual, para garantizar la seguridad en el uso de contraseñas, utiliza protocolo HTTPS. La experiencia de usuario en navegación móvil queda en observaciones como trabajo futuro.

5.4.3. Plataforma Web General

La página web para este proyecto está enfocada para una experiencia de usuario sencilla y rápida, sin tantos componentes o menús. Su principal funcionalidad es visualizar los datos para que puedan ser consultados por agentes externos al proyecto.

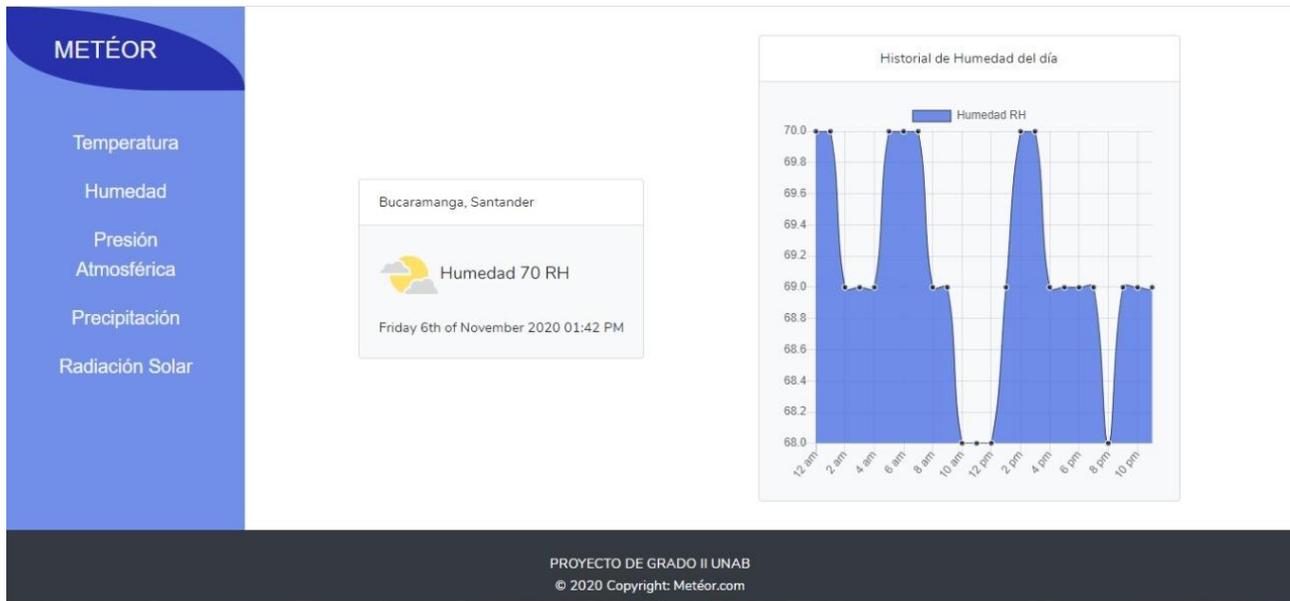


Ilustración 49 Visualización de la variable Humedad en la página web. Fuente: Elaboración propia.

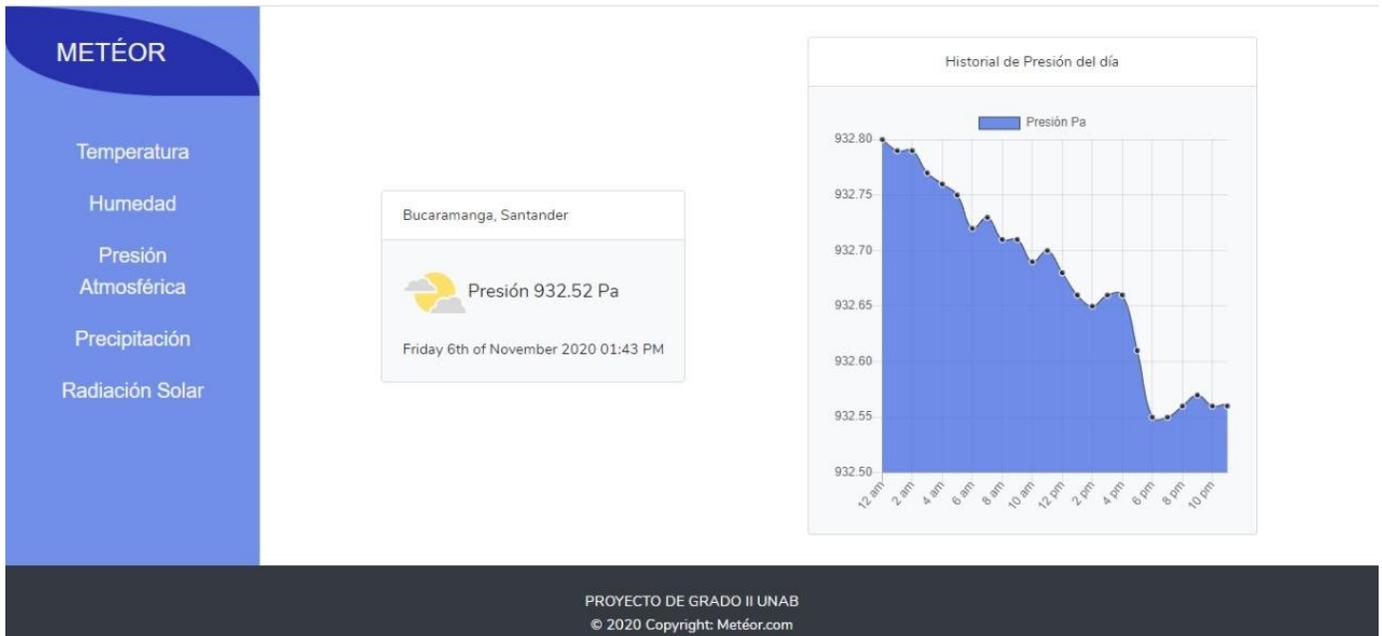


Ilustración 50 Visualización de la variable presión en la página web. Fuente: Elaboración propia.

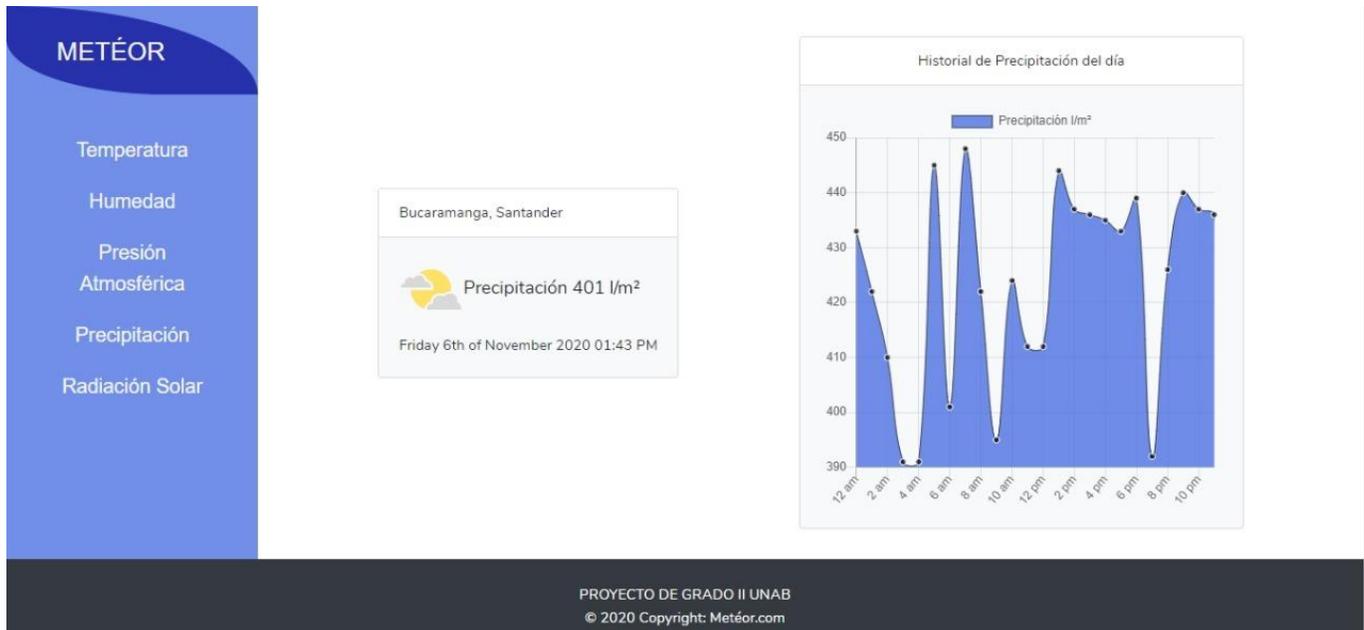


Ilustración 51 Visualización de la variable Precipitación en la página web. Fuente: Elaboración propia.

5.5. Pruebas Piloto del prototipo

En la ilustración 52 se aprecian los datos capturados por el arduino y se muestran a través de la consola de Raspberry PI. En la ilustración 53 se aprecia las variables capturadas en la base de datos. A la cual se hacen las consultas necesarias para la pagina web. Para las pruebas pilotos se puso a capturar datos cada 5 min en los cuales se generan los datos medioambientales, dandonos como evidencia de la veracidad de los datos arrojados, ya que sus valores con respecto a los rangos establecidos dieorn de forma correcta.

```

pi@raspberrypi:~/Desktop $ python3 Meteor.py
Leyendo datos a través de Raspberry Pi
Temperatura: 24.0 °C, Humedad: 87.0 %, Radiación: 0.0 UV
presión: 930.19 hPa, Precipitación: 1.1 mm
2020-11-06
17:21:50

Temperatura: 24.0 °C, Humedad: 87.0 %, Radiación: 0.0 UV
presión: 930.28 hPa, Precipitación: 1.1 mm
2020-11-06
17:26:50

Temperatura: 24.0 °C, Humedad: 87.0 %, Radiación: 0.0 UV
presión: 930.44 hPa, Precipitación: 1.1 mm
2020-11-06
17:31:50

```

Ilustración 52. Visualización de datos prueba piloto en consola. Fuente: Elaboración propia.

	idMed	idSensor	valorMed	fecha	hora
<input type="checkbox"/>	1342	6	1.1	2020-11-06	17:13:02
<input type="checkbox"/>	1343	1	24	2020-11-06	17:21:50
<input type="checkbox"/>	1344	2	87	2020-11-06	17:21:50
<input type="checkbox"/>	1345	3	0	2020-11-06	17:21:50
<input type="checkbox"/>	1346	4	0	2020-11-06	17:21:50
<input type="checkbox"/>	1347	5	930.19	2020-11-06	17:21:50
<input type="checkbox"/>	1348	6	1.1	2020-11-06	17:21:50
<input type="checkbox"/>	1349	1	24	2020-11-06	17:26:50
<input type="checkbox"/>	1350	2	87	2020-11-06	17:26:50
<input type="checkbox"/>	1351	3	0	2020-11-06	17:26:50
<input type="checkbox"/>	1352	4	0	2020-11-06	17:26:50
<input type="checkbox"/>	1353	5	930.28	2020-11-06	17:26:50
<input type="checkbox"/>	1354	6	1.1	2020-11-06	17:26:50
<input type="checkbox"/>	1355	1	24	2020-11-06	17:31:50
<input type="checkbox"/>	1356	2	87	2020-11-06	17:31:50
<input type="checkbox"/>	1357	3	0	2020-11-06	17:31:50
<input type="checkbox"/>	1358	4	0	2020-11-06	17:31:50
<input type="checkbox"/>	1359	5	930.44	2020-11-06	17:31:50
<input type="checkbox"/>	1360	6	1.1	2020-11-06	17:31:50

Ilustración 53. Visualización de datos prueba piloto en Base de Datos. Fuente: Elaboración propia.

6. CONCLUSIONES

En la actualidad existen diversos estudios de investigación y aplicaciones realizadas por la academia, pero que no presentan una solución definitiva e integral, punto que fue fuertemente atacado en la elaboración de este trabajo de grado. La eficiencia del procesamiento de los datos y la accesibilidad a la información medio ambiental, no solo permite la implementación para fines académicos, también se podrían implementar en soluciones comerciales.

Con este trabajo de grado se concluye que los organismos de control encargados de velar por la supervisión, mantenimiento y distribución de las estaciones climáticas actualmente instaladas en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana, no están cumpliendo con sus objetivos, ya que evidencia un déficit en el funcionamiento de dichas estaciones distribuidas a lo largo de la ciudad.

Por otro lado, se puede apreciar que no se hace necesario de un monto económico elevado para la realización de una estación medio ambiental que, en comparación con una estación comercial, hablándolo en cifras económicas limita la posibilidad de adquisición para uso personal o regional. La selección de los implementos adecuados para la construcción del prototipo hace parte clave para lograr una solución IoT eficiente. Una mala elección afectaría en el desempeño y fiabilidad de los datos presentados.

El construir un software que permita la integración con otras plataformas, juega un papel importante ya que la ciudad cuenta con sistemas implantados de diferentes compañías. Emplear las buenas prácticas de programación implica en la compatibilidad con diferentes plataformas y la adición de nuevas funcionalidades.

7. TRABAJO FUTURO

Como continuación de este trabajo de grado y para dar orientación a una posible escalabilidad, existen diversas líneas e investigaciones que quedan abiertas en las que es posible continuar trabajando. Durante el desarrollo de este trabajo de grado han quedado al descubierto algunas líneas que se esperan atacar en un futuro; algunas están relacionadas con este trabajo que surgieron a lo largo del desarrollo del proyecto. Otras, son líneas más generales que, sin embargo, no son objeto de esta tesis: estas observaciones pueden servir para ser retomadas posteriormente o como opción a trabajos futuros para otros investigadores.

A continuación, se presentan algunos trabajos futuros que se pueden desarrollar como resultado de este proyecto o que, por exceder el alcance, no han podido ser tratados con la suficiente profundidad, adicional se sugieren ciertas modificaciones que, por tema de Contingencia Sanitaria del País, no pudieron ser tratadas a detalle en este proyecto. Dentro de los posibles trabajos futuros se destacan:

- Mejorar el portal web, con una interfaz más agradable para el usuario, donde con los datos capturados en tiempo real y los datos historicos se pueda implementar un algoritmo que realice predicciones climáticas más acertadas. Con tal de reducir el porcentaje de sesgo en estas proyecciones que varían por el cambio climático abrupto que se vive actualmente.
- Modificar la página web para que sea *Responsive*, es decir lograr que se adecue a cualquier tamaño de pantalla para una experiencia variada desde cualquier dispositivo como, tabletas, smartphones, SmartTV entre otros.
- Perfeccionar el diseño físico de la estructura, asegurando total estabilidad ante tormentas y/o clima agresivo y altamente cambiante, garantizando una amplia durabilidad del sistema.
- Implementar en el diseño un panel solar para hacer de la solución IoT un sistema amigable con el medio ambiente. Como también una batería de respaldo ante fallas en el sistema eléctrico que no afecten el correcto funcionamiento de la solución IoT.
- Realizar un censo poblacional en el cual se puedan identificar áreas claves en las que esta solución sirviese de apoyo extra en labores cotidianas, como por ejemplo la agricultura, riegos automatizados y demás zonas de relevancia.

8. REFERENCIAS

Acurite. (2012). *What is a Weather Station?* <https://www.acurite.com/learn/weather-stations/what-is-a-weather-station>

AEMET. (2017). *Meteoglosario visual*. <https://meteoglosario.aemet.es/index.php>

Aponte-Roa, D. A., Montalvan, L. B., Velazquez, C., Espinoza, A. A., Velazquez, L. F., & Serrano, R. (2018). Evaluation of a low-cost, solar-powered weather station for small-scale wind farm site selection. *I2MTC 2018 - 2018 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference: Discovering New Horizons in Instrumentation and Measurement, Proceedings*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/I2MTC.2018.8409853>

Babu, K. V., Reddy, K. A., Vidhyapathi, C. M., & Karthikeyan, B. (2017). Weather forecasting using Raspberry Pi with Internet of Things (IOT). *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(17), 5129–5134.

Badamasi, Y. A. (2014). The working principle of an Arduino. *Proceedings of the 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation, ICECCO 2014*, 3–6. <https://doi.org/10.1109/ICECCO.2014.6997578>

Bannatyne, R., & Viot, G. (1998). Introduction to microcontrollers - Part 2. *Wescon Conference Record*, 362–366. <https://doi.org/10.1109/northc.1998.731543>

Basualdo, A. B. (2015). Manual de buenas prácticas para la generación, el almacenamiento y la difusión de informática climática en instituciones y organismos del MERCOSUR. In *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)*.

Brito, R. C., Favarim, F., Calin, G., & Todt, E. (2017). Development of a low cost weather station using free hardware and software. *Proceedings - 2017 LARS 14th Latin American Robotics Symposium and 2017 5th SBR Brazilian Symposium on Robotics, LARS-SBR 2017 - Part of the Robotics Conference 2017, 2017-Decem*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/SBR-LARS-R.2017.8215292>

- Cisco. (2019). *Smart Cities: Accelerating the Path to Digital Transformation - Cisco Blogs*.
<https://blogs.cisco.com/internet-of-things/smart-cities-accelerating-the-path-to-digital-transformation>
- Desarrollo, P. N. D. E., Másmela, G. A., Salazar, R. A., Estévez-bretón, J. B., & Castro, D. U. (2018). *Bases del plan nacional de desarrollo 2018-2022*.
- Devaraju, J. T., Suhas, K. R., Mohana, H. K., & Patil, V. A. (2015). Wireless Portable Microcontroller based Weather Monitoring Station. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 76, 189–200.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.08.027>
- Donat, W. (2018). Learn Raspberry Pi Programming with Python. In *Learn Raspberry Pi Programming with Python*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3769-4>
- Elder, J. (2019, August 20). *Kevin Ashton Named The Internet Of Things | Avast*.
<https://blog.avast.com/kevin-ashton-named-the-internet-of-things>
- Figuroa-García, J. C., López-Santana, E. R., Villa-Ramírez, J. L., & Ferro-Escobar, R. (2017). Applied computer sciences in engineering: 4th workshop on engineering applications. *Communications in Computer and Information Science*, 742(August 2017), III–IV. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-66963-2>
- Fourati, M. A., Chebbi, W., & Kamoun, A. (2015). Development of a web-based weather station for irrigation scheduling. *Colloquium in Information Science and Technology, CIST, 2015-Janua*(January), 37–42. <https://doi.org/10.1109/CIST.2014.7016591>
- Gangopadhyay, S., & Mondal, M. K. (2016). A wireless framework for environmental monitoring and instant response alert. *International Conference on Microelectronics, Computing and Communication, MicroCom 2016*, 1, 1–6.
<https://doi.org/10.1109/MicroCom.2016.7522535>
- Guo, L. G., Huang, Y. R., Cai, J., & Qu, L. G. (2011). Investigation of architecture, key technology and application strategy for the internet of things. *Proceedings of 2011 Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference, CSQRWC 2011*, 2, 1196–1199. <https://doi.org/10.1109/CSQRWC.2011.6037175>

Hernández-Sampieri, Roberto, Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, M. del P. (316 C.E.). *Metodología de la investigación* (sexta). <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

Ibrahim, M., Elgamri, A., Babiker, S., & Mohamed, A. (2015). Internet of things based smart environmental monitoring using the Raspberry-Pi computer. *2015 5th International Conference on Digital Information Processing and Communications, ICDIPC 2015, March 2019*, 159–164. <https://doi.org/10.1109/ICDIPC.2015.7323023>

IDEAM. (2019a). *Definiciones Del Catálogo Nacional De Estaciones*. 1–2.

IDEAM. (2019b). Instituto De Hidrologia Meteorologia Y Estudios Ambientales –Ideam. *Subdirección de Meteorología*. <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Anexo+10.+Glosario+meteorológico.pdf/6a90e554-6607-43cf-8845-9eb34eb0af8e>

Imtiaz, A., Omar, S. G., & Ali, T. A. (2018). Efficient Design of a Low Cost Portable Weather Station. *2018 International Conference on Computer Communication and Informatics, ICCCI 2018*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICCCI.2018.8441207>

INEC. (1960). *Generalidades*. 1, 5. <https://www.inec.gob.pa/archivos/P3761generalidades.pdf>

Ismagilova, E., Hughes, L., Dwivedi, Y. K., & Raman, K. R. (2019). Smart cities: Advances in research—An information systems perspective. *International Journal of Information Management*, 47(December 2018), 88–100. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.004>

Jiménez, R. M. R., Capa, Á. B., & Lozano, A. P. (2004). *Meteorología Y Climatología*. <https://cab.inta-csic.es/uploads/culturacientifica/adjuntos/20130121115236.pdf>

Joseph, F. J. J. (2019). IoT based weather monitoring system for effective analytics. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(4), 311–315.

- Kashyap, N., & Pati, U. C. (2015). Multi channel data acquisition and data logging system for meteorology application. *2015 International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials, ICSTM 2015 - Proceedings*, 220–225. <https://doi.org/10.1109/ICSTM.2015.7225418>
- Kodali, R. K., & Mandal, S. (2017). IoT based weather station. *2016 International Conference on Control Instrumentation Communication and Computational Technologies, ICCICCT 2016*, 680–683. <https://doi.org/10.1109/ICCICCT.2016.7988038>
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431–440. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2015.03.008>
- Maddox, T. (2016). *Smart cities: 6 essential technologies - TechRepublic*.
- Maksimović, M., Vujović, V., Davidović, N., Milošević, V., & Perišić, B. (2014). Raspberry Pi as Internet of Things hardware : Performances and Constraints. *Design Issues*, 3(JUNE), 8.
- Mardacany, E. (2014). SMART CITIES CHARACTERISTICS: Importance of built environment components. *IET Seminar Digest*, 2014(15564). <https://doi.org/10.1049/ic.2014.0045>
- Mestre, G., Ruano, A., Duarte, H., Silva, S., Khosravani, H., Pesteh, S., Ferreira, P. M., & Horta, R. (2015). An intelligent weather station. *Sensors (Switzerland)*, 15(12), 31005–31022. <https://doi.org/10.3390/s151229841>
- MINAMBIENTE. (2012). *Todo lo concerniente a este proceso liderado por la CEPAL en torno al Principio 10 en América Latina y el Caribe, está disponible en línea: <http://www.cepal.org/es/temas/principio-10> 1 1. 1–14. http://www.minambiente.gov.co/images/asuntos-internacionales/pdf/principio_10/20150812_Mecanismo_consulta_al_público_Principio_10.pdf*
- Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación (Minciencias). (2016). Tipología De Proyectos Calificados Como De Caracter Científico, Tecnológico E Innovación. *Colciencias*, 4, TODAS.

- https://aulasciencias.udistrital.edu.co/pluginfile.php/21771/mod_resource/content/1/Anexo3-tipologia-proyectos-version4_1.pdf
- Ministerio de Minas y Energía. (2004). *Resolución 180398 de Abril 07 de 2004 RETIE. 2004*, 122. <http://camacolvalle.org.co/wp-content/uploads/2016/07/5.-Resolución-180398-del-07042004.pdf>
- Morón, C., Diaz, J. P., Ferrández, D., & Saiz, P. (2018). Design, development and implementation of a weather station prototype for renewable energy systems. *Energies*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/en11092234>
- Nuñez, S., & Gentile, E. (2015). *Trabajo Práctico N°:1 LA OBSERVACIÓN METEOROLÓGICA*. 35.
- OMM, O. M. M. (2017a). *Chapter 1 . Measurements At Automatic Weather Stations. c*, 1–33. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3179
- OMM, O. M. M. (2017b). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos OMM N°8_actualizado 2010*.
- OMS. (2003). Índice Solar. *Índice UV Solar Mundial*, 28. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42633/9243590073.pdf;jsessionid=341BD5D011C4501C98B362788817D087?sequence=1>
- Organización Meteorológica Mundial. (2018). *Boletín OMM: Cambio climático: ciencia y soluciones*. 67 (2)(2).
- Organización Meteorológica Mundial, O. (1999). *Boletín Vol. 48 No. 4*. 48 (4)(4).
- Patel, K. K., Patel, S. M., & Scholar, P. G. (2016). Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 6(5), 1–10. <https://doi.org/10.4010/2016.1482>
- Pérez, M. F. R., & Vargas, J. S. (2018). Prototype of a system for acquisition, transmission and visualization of hydrometeorological data based on raspberry Pi. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*, 2018-July(January 2018).

<https://doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.458>

Rao, B. S., Rao, K. S., & Ome, N. (2016). Internet of Things (IOT) Based Weather Monitoring system. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 5(9), 312–319. <https://doi.org/10.17148/IJARCCCE.2016.5966>

Raspberry Pi Foundation. (2016). Raspberry Pi 3 Model B. *Raspberry Pi Website*, 2837. <https://www.raspberrypi.org/products/raspberrypi-3-model-b/>

Ruano, A. E., Mestre, G., Duarte, H., Silva, S., Pesteh, S., Khosravani, H., Ferreira, P. M., & Horta, R. (2015). A neural-network based intelligent weather station. *WISP 2015 - IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, Proceedings*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/WISP.2015.7139169>

Sarkar, I., Pal, B., Datta, A., & Roy, S. (2020). Wi-Fi-Based Portable Weather Station for Monitoring Temperature, Relative Humidity, Pressure, Precipitation, Wind Speed, and Direction. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 933(August), 399–404. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7166-0_39

Semenov, E. S., Ivanchenko, G. S., Kharchenko, A. V., & Kolobanov, R. V. (2019). Mobile weather station based on ATmega2560 microprocessor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 537(3). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/537/3/032086>

Shaout, A., Li, Y., Zhou, M., & Awad, S. (2015). Low cost embedded weather station with intelligent system. *2014 10th International Computer Engineering Conference: Today Information Society What's Next?, ICENCO 2014*, 100–106. <https://doi.org/10.1109/ICENCO.2014.7050439>

Silva, B. N., Khan, M., & Han, K. (2018). Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 38(January), 697–713. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.053>

Solano, G., Lama, F., Terrazos, J., & Tarrillo, J. (2017). Weather station for educational purposes based on Atmega8L. *Proceedings of the 2017 IEEE 24th International Congress on Electronics, Electrical Engineering and Computing, INTERCON 2017*. <https://doi.org/10.1109/INTERCON.2017.8079728>

Strickland, J. R. (2018). Raspberry Pi for Arduino Users. In *Raspberry Pi for Arduino Users*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3414-3>

Tenzin, S., Siyang, S., Pobkrut, T., & Kerdcharoen, T. (2017). Low cost weather station for climate-smart agriculture. *2017 9th International Conference on Knowledge and Smart Technology: Crunching Information of Everything, KST 2017*, 172–177. <https://doi.org/10.1109/KST.2017.7886085>

Turos, L. Z., Csernath, G., & Csenteri, B. (2018). Power Management in IoT Weather Station. *EPE 2018 - Proceedings of the 2018 10th International Conference and Expositions on Electrical And Power Engineering*, 133–138. <https://doi.org/10.1109/ICEPE.2018.8559865>

UIT-T. (2012). UIT-T Rec. Y.2060 Descripción general de Internet de los objetos. *Sector de Normalización de Las Telecomunicaciones de La UIT, 2012-06–15*, 20.

Verle, M. (2008). *Introduction : World of Microcontrollers*.

Wang, H., Nie, M., & Huang, Q. (2014). Design of intelligent meteorological system based on MEMS. *Key Engineering Materials*, 609–610, 801–806. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.609-610.801>

Warnakulasooriya, K., Jayasuriya, Y. P., & Sudantha, B. H. (2018). Generic IoT Framework for Environmental Sensing Researches: Portable IoT Enabled Weather Station. *2018 International Conference on System Science and Engineering, ICSSE 2018*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICSSE.2018.8520238>

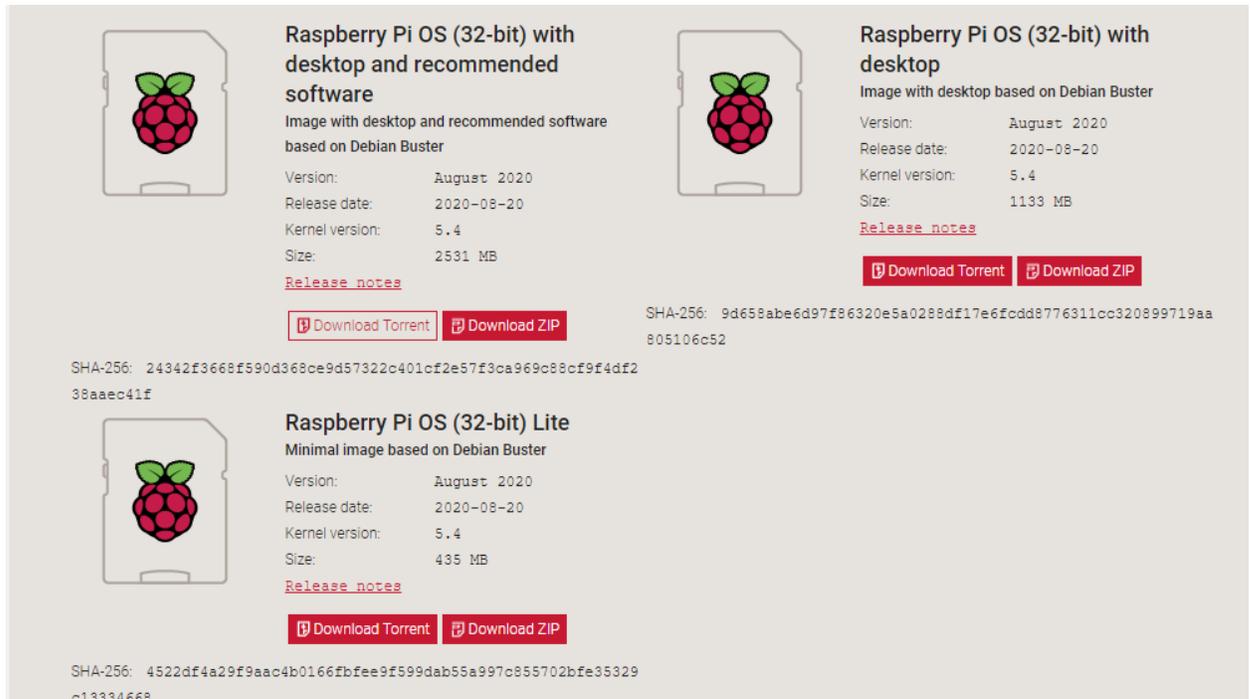
Leach, W. R., & Shapiro, L. (1986). Perfection Salad: Women and Cooking at the Turn of the Century. *The Journal of American History*, 73(3), 784. <https://doi.org/10.2307/1903063>

Bedoya-Mashuth, J., & Salazar de Cardona, M. (2014). Cambio climático y adaptación para la región de los Santanderes: percepciones y consideraciones desde el marco legal. *Dixi*, 16(19), 71–82. <https://doi.org/10.16925/di.v16i19.733>

ANEXO A - Preparación para instalación del sistema embebido

Sección 1 – Requerimientos para la instalación

- ✓ Descargar última versión de Raspbian desde el sitio oficial de Raspberry Pi <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspberry-pi-os/>



The screenshot displays the official Raspberry Pi OS download page. It features three main sections, each with a Raspberry Pi logo icon and a list of technical specifications. The first section is for the full desktop version with recommended software, the second is for the desktop version without recommended software, and the third is for the minimal 'Lite' version. Each section includes a 'Release notes' link and buttons for 'Download Torrent' and 'Download ZIP'. A SHA-256 hash is provided for each version.

Version	Release date	Kernel version	Size
August 2020	2020-08-20	5.4	2531 MB
August 2020	2020-08-20	5.4	1133 MB
August 2020	2020-08-20	5.4	435 MB

- ✓ Una memoria Micro SD superior a 8GB

Sección 2 – Código fuente Arduino

```
#include <dht.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>

Adafruit_BMP280 bmp;

dht DHT;

void setup() {
```

```

bmp.begin();
Serial.begin(9600);
pinMode(6, INPUT); //Definir el sensor(pin2) como entrada

if (!bmp.begin()) {
  Serial.println(F("Could not find a valid BMP280 sensor, check wiring!"));
  while (1);
}

bmp.setSampling(Adafruit_BMP280::MODE_NORMAL, /* Modo de operación */
                Adafruit_BMP280::SAMPLING_X2, /* Temp. oversampling */
                Adafruit_BMP280::SAMPLING_X16, /* Presion oversampling */
                Adafruit_BMP280::FILTER_X16, /* Filtrado. */
                Adafruit_BMP280::STANDBY_MS_500); /* Tiempo Standby. */
}

void loop() {

  // SENSOR TEMPE Y HUMEDAD
  float temp = DHT.temperature-3;
  float hum = DHT.humidity+10;
  int chk = DHT.read11(4);

  // SENSOR LLUVIA
  //float lluv = digitalRead(2);
  float lluvia = analogRead(A0);
  float llu = 0.0;

  if (lluvia>950 && lluvia<1020)llu = 0.1;
  else if (lluvia>900 && lluvia<951)llu = 0.2;
  else if (lluvia>800 && lluvia<901)llu = 0.3;
  else if (lluvia>700 && lluvia<801)llu = 0.4;
  else if (lluvia>600 && lluvia<701)llu = 0.5;
  else if (lluvia>500 && lluvia<601)llu = 0.6;
  else if (lluvia>400 && lluvia<501)llu = 0.7;
  else if (lluvia>300 && lluvia<201)llu = 0.8;
  else if (lluvia>200 && lluvia<301)llu = 0.9;
  else if (lluvia>100 && lluvia<201)llu = 1.0;
  else{
    llu = 1.1;
  }

  if (llu <100){
    llu = random(100,102);
  } else if(llu>999){

```

```

    llu = random(995,999);
}

// SENSOR PRESION
float tempe = bmp.readTemperature();
float pre = bmp.readPressure()/100;
float alt = bmp.readAltitude(1013.25);

//LUMINOSIDAD

float luz = digitalRead(6);//Leer y almacenar el valor del sensor
if(luz==0)//si el valor es cero
{
//Serial.print("Linea negra\n");//Imprimir en el monitor serial "linea negra"
//digitalWrite(Led, HIGH);//Encender el Led
}
else//Si el valor del sensro es 1
{
//Serial.print("Linea blanca\n");//Imprimir en el monitor serial "linea blanca"
//digitalWrite(Led, LOW);//Apagar el led
}

//SENSOR UV
float UVIndex;
int sensorValue = 0;

sensorValue = analogRead(2); //UV sensor to Analog 2
int voltage = (sensorValue * (5.0 / 1023.0))*1000; //Voltage in miliVolts UV S
ensor

if(voltage<50)
{
    UVIndex = 0;
}else if (voltage>50 && voltage<=227)
{
    UVIndex = 1;
}else if (voltage>227 && voltage<=318)
{
    UVIndex = 1;
}
else if (voltage>318 && voltage<=408)
{
    UVIndex = 2;
}else if (voltage>408 && voltage<=503)

```

```

{
  UVIndex = 3;
}
else if (voltage>503 && voltage<=606)
{
  UVIndex = 4;
}else if (voltage>606 && voltage<=696)
{
  UVIndex = 5;
}else if (voltage>696 && voltage<=795)
{
  UVIndex = 6;
}else if (voltage>795 && voltage<=881)
{
  UVIndex = 7;
}
else if (voltage>881 && voltage<=976)
{
  UVIndex = 8;
}
else if (voltage>976 && voltage<=1079)
{
  UVIndex = 9;
}
else if (voltage>1079 && voltage<=1170)
{
  UVIndex = 10;
}else if (voltage>1170)
{
  UVIndex = 11;
}

//IMPRIMIMOS RESULTADOS
String tab;
Serial.println(temp+tab+hum+tab+UVIndex+tab+luz+tab+pre+tab+llu);

delay(300000);
}

```

Sección 3 – Código fuente Python

```

#importamos las funciones necesarias para la comunicación serial.
import serial

```

```

import os
from datetime import datetime
import MySQLdb
#import mysql.connector
import pycurl

#Establecemos los datos necesarios para la comunicación (puerto y baudios)
arduino= serial.Serial('/dev/ttyACM0', 9600)
print('Leyendo datos a través de Raspberry Pi')

mydb = MySQLdb.connect (
    host='sql10.freemysqlhosting.net',
    user='sql10373605',
    password='m2ghzSLvHw',
    database='sql10373605',
    port= 3306)
mycursor = mydb.cursor()
mycursor.execute("SELECT * FROM Mediciones")
myresult = mycursor.fetchall()

sql = "INSERT INTO Mediciones VALUES (%s,%s,%s,%s,%s)"

#for x in myresult:
# print(x)

while True:
    try:
        #Declaramos una variable que lee los bytes el puerto serial.
        #Debemos decodificar utilizando el standar utf-
8 para convertir de bytes a string
        #con strip quitamos los espacios en blanco sobrantes
        lectura = arduino.readline().decode("utf-8").strip()
        #print(len(lectura))
        if len(lectura)>25:

            #print(lectura)
            temperatura = float(lectura[0:5])
            humedad = float(lectura[5:10])
            radiacion = float(lectura[10:14])
            luz = float(lectura[14:18])
            presion = float(lectura[18:24])
            lluvia = float(lectura[24:27])

            if temperatura>0 and humedad >10:
                now = datetime.now()

```

```
        fecha = now.date()
        hora = now.time().replace(microsecond=0)
        print("Temperatura:", temperatura, "°C, Humedad:", humedad, "%, Ra
diación: ", radiacion, "UV")
        #print("Luz: ", luz, " presión: ", presion, " lluvia: ", lluvia)
        print(" presión: ", presion, "hPa, Precipitación: ", lluvia, "mm")
        print(fecha)
        print(hora)
        print()

        temp = (0,1,temperatura,fecha,hora)
        mycursor.execute(sql,temp)

        hum = (0,2,humedad,fecha,hora)
        mycursor.execute(sql,hum)

        rad = (0,3,radiacion,fecha,hora)
        mycursor.execute(sql,rad)

        luz = (0,4,luz,fecha,hora)
        mycursor.execute(sql,luz)

        pre = (0,5,presion,fecha,hora)
        mycursor.execute(sql,pre)

        lluv = (0,6,lluvia,fecha,hora)
        mycursor.execute(sql,lluv)

        mydb.commit()

except Exception as err:
    print("Error: ".format(err.args))
```


ANEXO B – Desarrollo de página web

Sección 1 – Código fuente del controlador de la página web

```
<?php

namespace App\Http\Controllers;

use Illuminate\Http\Request;
use Carbon\Carbon;
use App\Mediciones;

class MedicionesController extends Controller
{
    public function getDataTemperatura() {
        $date = Carbon::now();
        $dia = $date->format('l jS \\of F Y h:i A');
        $fecha_hoy = $date->toDateString();
        $meditions = Mediciones::where('idSensor',1)->where('fecha', $fecha_hoy)-
>orderBy('hora', 'ASC')->take(25)->get();
        $array_meditions = $meditions->toArray();
        if(!empty($array_meditions)) {
            $last_array_medition = end($array_meditions);
            $last_medition = $last_array_medition["valorMed"];
        }else {
            $last_medition = 0;
        }
        $res = array();
        foreach($meditions as $dato){
            $res[] = $dato->valorMed;
        }
        $res["dia"] = $dia;
        $res["last_medition"] = $last_medition;
        return $res;
    }
    public function getDataHumedad() {
        $date = Carbon::now();
        $dia = $date->format('l jS \\of F Y h:i A');
        $fecha_hoy = $date->toDateString();
        $meditions = Mediciones::where('idSensor',2)->where('fecha', $fecha_hoy)-
>orderBy('hora', 'ASC')->take(25)->get();
        $array_meditions = $meditions->toArray();
        if(!empty($array_meditions)) {
            $last_array_medition = end($array_meditions);
```

```

        $last_meditation = $last_array_meditation["valorMed"];
    }else {
        $last_meditation = 0;
    }
    $res = array();
    foreach($meditions as $dato){
        $res[] = $dato->valorMed;
    }
    $res["dia"] = $dia;
    $res["last_meditation"] = $last_meditation;
    return $res;
}

public function getDataRadiacion() {
    $date = Carbon::now();
    $dia = $date->format('l jS \\of F Y h:i A');
    $fecha_hoy = $date->toDateString();
    $meditions = Mediciones::where('idSensor',3)->where('fecha', $fecha_hoy)-
>orderBy('hora', 'ASC')->take(25)->get();
    $array_meditations = $meditions->toArray();
    if(!empty($array_meditations)) {
        $last_array_meditation = end($array_meditations);
        $last_meditation = $last_array_meditation["valorMed"];
    }else {
        $last_meditation = 0;
    }
    $res = array();
    foreach($meditions as $dato){
        $res[] = $dato->valorMed;
    }
    $res["dia"] = $dia;
    $res["last_meditation"] = $last_meditation;
    return $res;
}

public function getDataPresion() {
    $date = Carbon::now();
    $dia = $date->format('l jS \\of F Y h:i A');
    $fecha_hoy = $date->toDateString();
    $meditions = Mediciones::where('idSensor',5)->where('fecha', $fecha_hoy)-
>orderBy('hora', 'ASC')->take(25)->get();
    $array_meditations = $meditions->toArray();
    if(!empty($array_meditations)) {
        $last_array_meditation = end($array_meditations);
        $last_meditation = $last_array_meditation["valorMed"];
    }else {
        $last_meditation = 0;
    }
}

```

```

    }
    $res = array();
    foreach($meditions as $dato){
        $res[] = $dato->valorMed;
    }
    $res["dia"] = $dia;
    $res["last_meditation"] = $last_meditation;
    return $res;
}

public function getDataLuminosidad() {
    $date = Carbon::now();
    $dia = $date->format('l jS \\of F Y h:i A');
    $fecha_hoy = $date->toDateString();
    $meditions = Mediciones::where('idSensor',4)->where('fecha', $fecha_hoy)-
>orderBy('hora', 'ASC')->take(25)->get();
    $array_meditions = $meditions->toArray();
    if(!empty($array_meditions)) {
        $last_array_meditation = end($array_meditions);
        $last_meditation = $last_array_meditation["valorMed"];
    }else {
        $last_meditation = 0;
    }
    $res = array();
    foreach($meditions as $dato){
        $res[] = $dato->valorMed;
    }
    $res["dia"] = $dia;
    $res["last_meditation"] = $last_meditation;
    return $res;
}

public function getDataPrecipitacion() {
    $date = Carbon::now();
    $dia = $date->format('l jS \\of F Y h:i A');
    $fecha_hoy = $date->toDateString();
    $meditions = Mediciones::where('idSensor',6)->where('fecha', $fecha_hoy)-
>orderBy('hora', 'ASC')->take(25)->get();
    $array_meditions = $meditions->toArray();
    if(!empty($array_meditions)) {
        $last_array_meditation = end($array_meditions);
        $last_meditation = $last_array_meditation["valorMed"];
    }else {
        $last_meditation = 0;
    }
    $res = array();
    foreach($meditions as $dato){

```

```

        $res[] = $dato->valorMed;
    }
    $res["dia"] = $dia;
    $res["last_meditation"] = $last_meditation;
    return $res;
}
}

```

Sección 2 – Código fuente de las vistas de la página

```

<!doctype html>
<html lang="{{ str_replace('_', '-', app()->getLocale()) }}">
<head>
    <meta charset="utf-8">
    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">

    <!-- CSRF Token -->
    <meta name="csrf-token" content="{{ csrf_token() }}">

    <title>Metéor</title>

    <!-- Scripts -->
    <script src="{{ asset('js/app.js') }}" defer></script>
    <link href="{{ asset('css/app.css') }}" rel="stylesheet">
</head>
<body>
    <div id="app">
        <main class="main">
            <div class="space-sidebar">
                <side-bar />
            </div>
        </main>
    </div>
<footer class="page-footer font-small bg-dark pt-2">
    <div class="footer-copyright text-center py-3">
        PROYECTO DE GRADO II UNAB<br/>
        © 2020 Copyright: <a href="http://station.josedortiz.com/meteor/public">
Metéor.com</a>
    </div>
</footer>

<style>

```

```

body {
  background-color: white;
}
footer {
  color: white;
}
.main {
  display: flex;
  height: 550px;
}
.navbar a {
  color: royalblue;
  font-size: x-large;
  font-family: sans-serif;
  display: none;
}
</style>
</body>
</html>

```

Componente Vue.js SideBar.vue

```

<template>
  <div class="space-all">
    <nav id="sidebar">
      <div class="sidebar-header">
        <h3>METÉOR</h3>
      </div>
      <ul class="list-unstyled components">
        <li>
          <a @click="getTemperatura">Temperatura</a>
        </li>
        <li>
          <a @click="getHumedad">Humedad</a>
        </li>
        <li>
          <a @click="getPresion">Presión Atmosférica</a>
        </li>
        <li>
          <a @click="getPrecipitacion">Precipitación</a>
        </li>
        <li>
          <a @click="getRadiacion">Radiación Solar</a>
        </li>
      </ul>
    </nav>
  </div>
</template>

```

```

        </li>
      </ul>
    </nav>
    <div class="content">
      <card-
variable :text_date_card="text_date_card" :variable_name="variable_name" :medida=
"medida" :last_meditation="last_meditation" />
      <div class="space-chart">
        <chart :datacollection="datacollection" :variable_name="variable_
name" />
      </div>
    </div>
  </div>
</template>
<style>
.space-all {
  display: flex;
  height: 100%;
}
.content {
  display: flex;
  width: 100%;
  justify-content: space-evenly;
  align-items: center;
}
.space-chart {
  display: flex;
}
a,
a:hover,
a:focus {
  color: inherit;
  text-decoration: none;
  transition: all 0.3s;
  cursor: pointer;
}
#sidebar {
  min-width: 250px;
  max-width: 250px;
  background: #4169e1bf;
  transition: all 0.3s;
}
#sidebar .sidebar-header {
  padding: 20px;
}

```

```

background: #00008ba8;
color: whitesmoke;
font-family: sans-serif;
text-align: -webkit-auto;
border-top-right-radius: 110%;
border-bottom-left-radius: 70%;
padding-left: 50px;
padding-top: 30px;
}
#sidebar.active {
margin-left: -250px;
}
#sidebar ul.components {
padding: 30px;
font-size: large;
font-family: sans-serif;
text-align: center;
}
#sidebar ul li a {
padding: 10px;
font-size: 1.1em;
display: block;
color: whitesmoke;
}
#sidebar ul li a:hover {
border-radius: 0%;
color: whitesmoke;
background: #4169e1bf;
}
</style>

<script>
import { mapGetters } from 'vuex'
export default {
  data() {
    return {
      datacollection: null,
      data: [],
      variable_name: 'Variable climatológica',
      medida: '°C',
      text_date_card: '...',
      last_meditation: 0
    }
  },

```

```

mounted() {
  this.fillData()
  this.getTemperatura()
},
methods: {
  fillData(respon) {
    this.datacollection = {
      labels: ['12 am', '1 am', '2 am', '3 am', '4 am', '5 am', '6 am', '7
am', '8 am', '9 am', '10 am', '11 am',
              '12 pm', '1 pm', '2 pm', '3 pm', '4 pm', '5 pm', '6 pm', '7
pm', '8 pm', '9 pm', '10 pm', '11 pm'],
      datasets: [
        {
          label: `${this.variable_name} ${this.medida}`,
          backgroundColor: '#4169e1bf',
          borderColor: '#000000a6',
          pointBackgroundColor: '#000000a6',
          borderWidth: 1,
          pointBorderColor: 'white',
          data: this.data
        }
      ]
    }
  },
  route_axios(url_variable) {
    axios
      .get(`/meteor/publica/api/${url_variable}`)
      .then(res => {
        let respuesta = Object.values(res.data)
        this.last_meditation = respuesta.pop()
        this.text_date_card = respuesta.pop()
        this.data = respuesta
        this.fillData()
      })
      .catch(err => {
        console.log(err)
      })
  },
  getTemperatura() {
    const rute_variable = 'temperatura'
    this.variable_name = 'Temperatura'
    this.medida = '°C'
    this.route_axios(rute_variable)
  },
  getHumedad() {

```

```

        const rute_variable = 'humedad'
        this.variable_name = 'Humedad'
        this.medida = 'RH'
        this.route_axios(rute_variable)
    },
    getPresion() {
        const rute_variable = 'presion'
        this.variable_name = 'Presión'
        this.medida = 'Pa'
        this.route_axios(rute_variable)
    },
    getPrecipitacion() {
        const rute_variable = 'precipitacion'
        this.variable_name = 'Precipitación'
        this.medida = 'l/m²'
        this.route_axios(rute_variable)
    },
    getLuminosidad() {
        const rute_variable = 'luminosidad'
        this.variable_name = 'Luminosidad'
        this.medida = 'Lm'
        this.route_axios(rute_variable)
    },
    getRadiacion() {
        const rute_variable = 'radiacion'
        this.variable_name = 'Radiación'
        this.medida = 'J/m²'
        this.route_axios(rute_variable)
    },
    }
}
</script>

```

Componente de Vue.js Chart.vue

```

<template>
  <div class="card text-center bg-light">
    <div class="card-header" style="background: white;">
      Historial de {{ variable_name }} del día
    </div>
    <div class="card-body">
      <LineChart :chart-data="datacollection"></LineChart>
    </div>
  </div>

```

```

</template>

<script>
  import LineChart from '../LineChart.js'
  export default {
    props: ['datacollection', 'variable_name'],
    components: {
      LineChart
    }
  }
</script>

```

Componente de Vue.js Card.vue

```

<template>
  <div class="card bg-light" style="max-width: 30rem;">
    <div class="card-
header" style="background: white;">Bucaramanga, Santander</div>
    <div class="card-body">
      <h5 class="card-
title">{{
variable_name}} {{last_meditation}} {{medida}}</h5>
      <p class="card-text">{{ text_date_card }}</p>
    </div>
  </div>
</template>

<style>

</style>

<script>
export default {
  props: ['text_date_card', 'variable_name', 'medida', 'last_meditation']
}
</script>

```

Sección 3 – Código fuente de las rutas en api.php

```
<?php
```

```
use Illuminate\Http\Request;
use Illuminate\Http\Response;
use Illuminate\Support\Facades\Route;

Route::get('temperatura', 'MedicionesController@getDataTemperatura');
Route::get('humedad', 'MedicionesController@getDataHumedad');
Route::get('presion', 'MedicionesController@getDataPresion');
Route::get('precipitacion', 'MedicionesController@getDataPrecipitacion');
Route::get('luminosidad', 'MedicionesController@getDataLuminosidad');
Route::get('radiacion', 'MedicionesController@getDataRadiacion');
```