SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES PARA GESTIONAR ALERTAS TEMPRANAS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ

DIRSON YAIR HINESTROZA CONRADO
Cod.:20052277023

INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLOGICA
INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN
BOGOTÁ, COLOMBIA
2019

SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES PARA GESTIONAR ALERTAS TEMPRANAS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ

DIRSON YAIR HINESTROZA CONRADO
Cod.:20052277023

Trabajo presentado
Como requisito académico
Para optar el título de Ingeniero de Producción

Director:
ÁLVARO ESPINEL ORTEGA. PhD

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLOGICA
INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN
BOGOTÁ, COLOMBIA
2019

Nota de aceptación:

_____

_____

_____

_____

Firma del presidente del jurado

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

Bogotá, febrero de 2019

DEDICATORIA

A mi madre Luzmila, por todo, a Daissy por su apoyo constante y a mi hija Sarita por su fe en mí.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Ingeniero Edgar Aguirre Buenaventura por su guía, apoyo y acompañamiento en la realización del presente trabajo y a Daissy Duarte ya que sin su apoyo este trabajo no habría sido posible.

CONTENIDO

GLOSARIO 12

RESUMEN 14

INTRODUCCION 15

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 16

2. OBJETIVOS 17

2.1 OBJETIVO GENERAL 17

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 17

3. DISEÑO METODOLÓGICO 18

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN 18

3.2 MÉTODO DE INVESTIGACION 18

4. SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES PARA GESTIONAR ALERTAS TEMPRANAS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ 19

4.1 FASE 1. DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS 20

4.2 FASE 2 ANÁLISIS DE VARIABLES Y MÉTODOS DE MEDICIÓN 23

4.3 FASE 3 DISEÑO, MODELADO Y CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO 26

4.4 FASE 4 PRUEBAS Y MEDICIÓN DE VARIABLES 31

4.5 FASE 5 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS 36

4.5.1 Resultados caso Bogotá 36

4.5.2 Resultados caso Medellín 39

4.5.3 Resultados caso Ubaté 42

4.6 COMPARACION ENTRE CIUDADES 47

4.7 EFECTOS SOBRE LA SALUD ASOCIADOS A LAS VARIABLES ANALIZADAS 52

5. RESUMEN DE RESULTADOS DEL DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO ... 56

5.1 RESULTADOS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS 56

5.2 RESUMEN DEL PROCESO METODOLÓGICO SEGUIDO 58

6. CONCLUSIONES 59
7. RECOMENDACIONES 62
BIBLIOGRAFÍA 63
ANEXO A ARTÍCULO 65
I. INTRODUCCION 65
II. MARCO DE REFERENCIA 65
III. MODELO DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN Y DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS 67
IV. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN 68
V. PRUEBAS TRABAJO DE CAMPO 69
VI. CONCLUSIONES 72
VII. REFERENCIAS 73
VIII. AUTORES 74
ANEXO B. PLANOS DEL DISPOSITIVO 75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo del Desarrollo de la Investigación 19

Figura 2. Imagen 3D del Dispositivo 26

Figura 3. Esquema del Prototipo 27

Figura 4. Prototipo del Sensor Múltiple Empleado 29

Figura 5. Conexiones a la Tarjeta Arduino Mega 31

Figura 6 Tabla Dinámica de Datos Meteorológicos en Tiempo Real 33

Figura 7. Mediciones en Bogotá 34

Figura 8. Mediciones en Medellín 35

Figura 9. Mediciones en la Provincia de Ubaté 36

Figura 10. Relación de Variables de Calidad de Aire, Humedad y Temperatura en la Ciudad de Bogotá 38

Figura 11. Comparación de Variables de Calidad de Aire, Humedad y Temperatura en la Ciudad de Bogotá 39

Figura 12. Condiciones atmosféricas normales de la ciudad de Medellín 40

Figura 13. Relación de Variables de Calidad de Aire, Humedad y Temperatura en la Ciudad de Medellín 41

Figura 14. Comparación de Variables de Calidad de Aire, Humedad y Temperatura en la Ciudad de Medellín 42

Figura 15. Relación de Variables de, Calidad de Aire (A) (B) (C), Humedad (D), Temperatura (E), Índice UV (F) y en la Ciudad de Ubaté 45

Figura 16. Comparación de las Mediciones de la variable de calidad de aire en las tres fechas en la provincia de Ubaté 46

Figura 17. Comparación de Variables de Humedad, Temperatura e Índice UV en la Ciudad de Ubaté 46

Figura 18. Comparación de Temperatura por Número de Muestras 47

Figura 19. Comparación de Humedad por Número de Muestras 47

Figura 20. Comparación de Calidad del Aire por Número de Muestras 48

Figura 21. Comparación de Índice UV por Número de Muestras 48

Figura 22. Variables para radiación, temperatura, humedad relativa y material particulado (polución) para Bogotá 50

Figura 23. Variables para radiación, temperatura, humedad relativa y material particulado (polución) para Medellín 50

Figura 24. Resumen Propuesta Metodológica 56

Figura 25. Resumen del plan de trabajo 58

Figura 26. Prototipo de Sensor múltiple empleado 68

Figura 27. Variables para radiación, temperatura, humedad relativa y material particulado (polución) para Medellín. 69

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Sistemas de Alerta Temprana de Colombia 20

Cuadro 2. Normograma Sistemas de Alerta Temprana..... 22

Cuadro 3. Registro Documental..... 22

Cuadro 4. Características de los Elementos del Dispositivo 24

Cuadro 5. Relación de Datos Tomados en Bogotá 37

Cuadro 6. Correlación Entre las Variables en Bogotá 38

Cuadro 7. Determinación entre variables en Bogotá..... 38

Cuadro 8. Relación de Datos Tomados en Medellín 40

Cuadro 9. Correlación Entre las Variables en Medellín..... 41

Cuadro 10. Determinación entre Variables 41

Cuadro 11. Determinación Entre Variables en Ubaté..... 43

Cuadro 12. Correlación entre las variables en Ubaté..... 44

Cuadro 13. Relación de Datos Tomados en Ubaté..... 44

Cuadro 14. Comparación de datos de la estación frente a los datos del IDEAM..... 51

Cuadro 15. Muertes atribuibles por factores de riesgo ambiental..... 53

Cuadro 16. Muertes atribuibles por enfermedad 53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Categorías de ICA, Efecto Sobre la Salud y Sugerencias Basado en Información de la OMS y EPA-US..... 54

Tabla 2. Categorías de Exposición a la Radiación y Sugerencias Basado en Información de la OMS..... 55

Tabla 3. Categorías de Exposición a la Radiación y Sugerencias Basado en Información de la OMS..... 60

Tabla 4. Categorías de ICA, Efecto Sobre la Salud y Sugerencias Basado en Información de la OMS y EPA-US..... 61

GLOSARIO

ALERTA TEMPRANA: Alerta que se emite con antelación a la ocurrencia de un evento[1].

ARDUINO: Es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinares[2].

CATÁSTROFE: Desastre de magnitud mayor.

GESETIC: Grupo de Investigación en Gestión de Sistemas Energéticos con Base en Tecnologías de Información y Comunicación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas[3].

HUMEDAD AMBIENTAL: Hace referencia a la presencia de vapor de agua en el ambiente[4].

IDIGER: Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático de Bogotá[5].

ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA): Corresponde a un valor adimensional, cuyo rango se encuentra 0 y 500 puntos el cual es un indicativo que permite de manera cualitativa identificar la calidad del aire de un lugar específico y su efecto en la salud humana[6].

ÍNDICE DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA (IUV): Medida de la intensidad de la radiación UV sobre la superficie terrestre que tiene relación con los efectos sobre la piel humana[7].

MITIGACIÓN: Esfuerzo por reducir la pérdida de vida y propiedad reduciendo el impacto de los desastres[8].

NORMOGRAMA: Herramienta que permite a las entidades públicas y privadas delimitar las normas que regulan sus actuaciones en desarrollo con su objeto misional[9].

---

[1] Ley 1523 de 2012 Sistema nacional de gestión del riesgo de desastre, pag3.
[2] https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/22/que-es-el-hardware-libre/
[3] https://ingenieria.udistrital.edu.co/mod/page/view.php?id=383
[4] https://www.ecured.cu/Humedad_ambiental
[5] http://www.idiger.gov.co/
[6] IDEAM. Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2017. Primera Edición. Bogotá, D.C., 2018.
[7] OMS. Índice UV solar mundial: guía práctica. 2003.
[8] Ley 1523 de 2012 Sistema nacional de gestión del riesgo de desastre, pag 4.
[9] http://cgb.gov.co/inicio/index.php/normograma.

RIESGO: Posibilidad de ocurrencia de un evento[10].

SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA (SAT): Conjunto de herramientas, dispositivos de control, capacidades de gestión o instrumentos tecnológicos que permiten a las comunidades expuestas a un riesgo conocer información oportuna y eficaz a través de instituciones técnicas, científicas y/o comunitarias, encaminadas a facilitar la toma de decisiones para evitar o mitigar el riesgo, disminuir su impacto y preparar la respuesta ante la posibilidad de ocurrencia del evento teniendo en cuenta sus capacidades[11].

UNDGR: Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres de Colombia[12].

SENSOR: Un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud física o química y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica que se pueda cuantificar y manipular[13].

TEMPERATURA: Indica la cantidad de calor que tiene el aire en un momento específico en un espacio determinado[14].

[10] https://www.prevencionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2015/metodo-cualitativo-estimacion-probabilidad-incidentes

[11]Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia. Efraín Domínguez-Calle, Sergio Lozano-Báez. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 38(148):321-32, julio-septiembre de 2014.

[12] http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/.

[13] https://es.slideshare.net/Edw1a/clasificacion-de-sensores

[14] http://www.masmar.net/esl/Apuntes-N%C3%A1uticos/Meteorolog%C3%ADa/Temperatura.-la-temperatura-en-la-atm%C3%B3sfera.

RESUMEN

Los sistemas de alerta temprana se configuran como el resultado de las lecciones aprendidas ante los diferentes desastres que ha afrontado la humanidad, en la actualidad tienen un gran impacto en la forma como se realiza la gestión de riesgo y el direccionamiento de los planes de emergencia y contingencia propuestos y el análisis de las diferentes amenazas presentes. Su evolución ha estado directamente relacionada con el desarrollo de la tecnología y ha permitido el desarrollo de directrices legales para el establecimiento de alertas, alarmas y estructuración de planes de acción.

En el trabajo de investigación se propuso el diseño y puesta en marcha a nivel de prototipo de un sistema de monitoreo a bajo costo que permitiera medir el comportamiento de diferentes variables ambientales y con el uso de las tecnologías de la informática y la comunicación aportar a la gestión alertas tempranas y toma de decisiones para la prevención de riesgos en la ciudad de Bogotá D.C – Colombia. Para ello se tomó como base el estudio y análisis de las disposiciones legales sobre riesgos y sistemas de alertas tempranas existente en Colombia, se definieron como variables a monitorear la polución, temperatura, humedad relativa, y radiación solar debido a su importancia e impacto en la vida del ser humano, se analizaron y eligieron los diferentes sensores que se emplean para la medición.

El prototipo desarrollado fue puesto a prueba y sus mediciones comparadas con las arrojadas por sistemas que ya se encontraban en funcionamiento y que son empleados por diferentes organismos gubernamentales como mecanismo para comprobar la precisión en las mediciones. Como resultado final se estructuro un artículo científico titulado “SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES CON HARDWARE DE BAJO COSTO. COMPARACIÓN ENTRE BOGOTÁ, MEDELLIN Y UBATÉ (Anexo A).

INTRODUCCION

Desde hace más de 5 décadas, dado el impacto y daños generados por los desastres asociados con fenómenos de origen natural, socio-natural, tecnológico y humano no intencional empezó a tener relevancia y a estar en la agenda pública la pertinencia de la gestión, seguimiento y control de situaciones de riesgo y amenazas latentes, y para ello se han venido desarrollando Sistemas de Alerta Temprana –SAT- para las diferentes amenazas o riesgos. Los SAT son reconocidos como el conjunto de herramientas, dispositivos de control, capacidad de gestión o instrumentos tecnológicos que permiten a las comunidades expuestas a un riesgo conocer información oportuna y eficaz a través de instituciones técnicas, científicas y/o comunitarias, encaminadas a facilitar la toma de decisiones para evitar o mitigar el riesgo, disminuir su impacto y preparar la respuesta ante la posibilidad de ocurrencia del evento teniendo en cuenta sus capacidades (UNGRD, 2015). Básicamente lo que se ha buscado es salvar vidas, reducir o evitar que se produzcan lesiones personales y disminuir al máximo las pérdidas de recursos sociales, económicos y ambientales, a través de la vigilancia permanente de las amenazas latentes empleando herramientas técnicas, científicas y/o comunitarias, para que a partir de los registros y alarmas la comunidad y las entidades correspondientes respondan en el menor tiempo posible de conformidad a los planes de protección definidos con anterioridad y plasmados en planes de emergencia y contingencia.

En consecuencia, cualquier desarrollo que se adelante en materia de Sistemas de Alerta Temprana es relevante y oportuno. La investigación que se presenta a continuación desarrolla un prototipo que emplea sistemas comunicativos que permite medir de forma simultánea cuatro (4) variables ambientales, fue puesta a prueba en dos ciudades y una provincia de Colombia, constituyéndose en una herramienta de consulta para la implementación de acciones de gestión de riesgo y monitoreo de amenazas en los diferentes territorios, siendo así un Sistema de Alerta Temprana integrado y a bajo costo, convirtiéndose en una alternativa eficaz a la hora de integrar los diferentes sistemas de medición y generación de alertas tempranas en procura de territorios menos vulnerables y comunidades más resilientes.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La toma de medidas de variables ambientales para alimentar los Sistemas de Alerta Temprana que funcionan actualmente en Bogotá se hace de forma parcial[15], puesto que cada entidad monitorea lo que le corresponde; no se presenta una integración de la información, esto debido a que manejan lenguajes diferentes; no involucra todas las variables que afectan a la ciudad y presenta dificultad en el acceso en tiempo real a la información, por eso el objetivo de este proyecto es proponer, diseñar e implementar a nivel de prototipo un sistema de monitoreo de variables ambientales de polución, temperatura, humedad relativa, y radiación solar de bajo costo al servicio del distrito o del país, con el que tanto organismos de atención de riesgos como los ciudadanos puedan obtener datos en tiempo real, y sean empleados por la entidad responsable para la toma de decisiones, así generar las alertas tempranas respectivas para cada caso y documentar datos históricos de las variables a monitorear.

[15] *El IDIGER actualmente cuenta con 30 acelerógrafos y 27 estaciones para el monitoreo de las variables hidrometeorológicas.*

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo para variables ambientales con el fin de gestionar alertas tempranas en la ciudad de Bogotá para la prevención de riesgos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión conceptual, normativa y legal sobre riesgos y sistemas de alertas tempranas para variables ambientales de polución, temperatura, humedad relativa, y radiación solar en la ciudad de Bogotá D.C.

- Analizar dos modelos relevantes y tecnologías para la prevención de riesgos con el fin de determinar los requerimientos del sistema.

- Proponer, diseñar e implementar a nivel de prototipo un sistema de monitoreo de variables ambientales y alertas tempranas.

- Probar y Evaluar en diferentes escenarios de prueba el sistema propuesto.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La elaboración del proyecto se desarrolló de acuerdo con un esquema estructurado que abarcó la recopilación y análisis de la información, revisando la normatividad legal vigente en Colombia; y seleccionando los elementos de medición para cada variable ambiental; posterior a ello se diseñó y fabricó un prototipo de un sistema de monitoreo de variables ambientales el cual se puso a prueba tomando muestras y analizando la información con el fin de gestionar alertas tempranas.

3.2 MÉTODO DE INVESTIGACION

El método de investigación empleado para este proyecto fue Explicativo y de Campo, entendida esta como una investigación la cual se debe hacer donde el fenómeno se da de manera natural, de este modo busqué determinar las implicaciones de las alteraciones en algunas variables ambientales dentro de la generación de alertas tempranas.

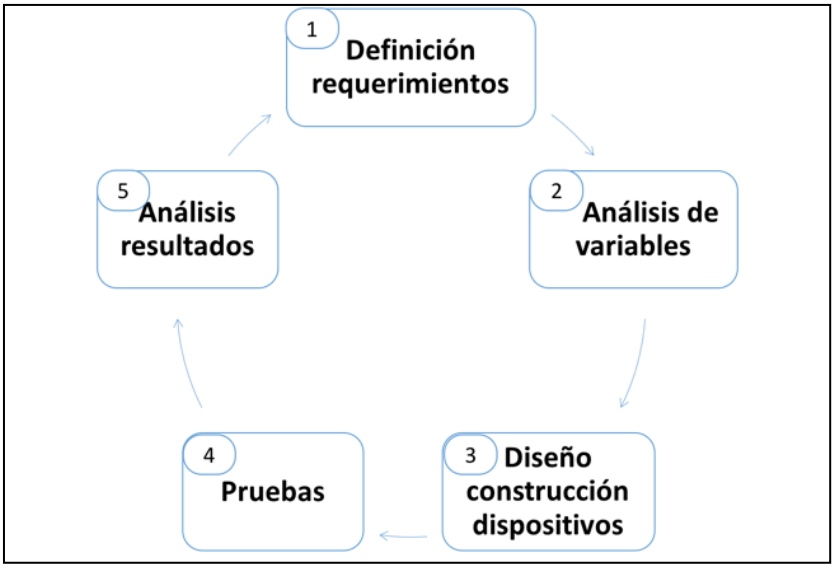
4. SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES PARA GESTIONAR ALERTAS TEMPRANAS EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ

Los sistemas de alerta temprana son mecanismos que permiten mitigar los impactos de los desastres naturales por el conocimiento del riesgo que generan y/o por las alertas que estos pueden emitir. Mediante el uso de una estación de monitoreo de bajo costo se realizó seguimiento del comportamiento de las variables de temperatura, humedad relativa, índice ultravioleta (UV) y calidad de aire en las ciudades de Bogotá, Medellín y la provincia de Ubaté en Colombia, permitiendo establecer la relación y comparación entre variables y entre ciudades.

La investigación se dividió en cinco etapas, la primera en donde se definieron los requerimientos conceptuales normativos y tecnológicos necesarios; en la segunda etapa se definió y analizó las variables a medir y controlar, en la tercera fase se programó, diseñó y construyó el prototipo de prueba; en una cuarta fase se adelantaron pruebas en la ciudad de Bogotá, y comparativamente en la ciudad de Medellín y provincia de Ubaté y finalmente se realizó el análisis y evaluación de resultados.

En la siguiente figura se muestra el modelo del desarrollo empleado para la investigación.

Figura 1. Modelo del Desarrollo de la Investigación



Fuente Elaboración propia.

A continuación, se presentan las acciones desarrolladas en cada una de las fases de la investigación.

4.1FASE 1. DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS

En esta fase del proyecto se realizó recolección, consolidación y análisis de información y documentación existente relacionada con la medición de variables ambientales, gestión de riesgos y alertas tempranas tanto en Bogotá como en el resto del país, la información fue organizada y registrada en tres tablas de conformidad a tres variables, Sistemas de Alerta Temprana, legislación e información documental relacionada. En los siguientes cuadros se presenta la información recolectada.

Cuadro 1. Sistemas de Alerta Temprana de Colombia

ENTIDAD	VARIABLE	CARACTERÍSTICA
IDIGER (Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático)	Evento hidrometeorológico	30 acelerógrafos, 27 estaciones para el monitoreo de las variables hidrometeorológicas
SIATA implementado en el área metropolitana del Valle de Aburrá	Evento hidrometeorológico	66 estaciones pluviométricas, 15 de las cuales monitorizan variables temperatura, humedad relativa, presión, dirección y velocidad del viento, red de sensores de nivel, y humedad, temperatura y conductividad eléctrica en el suelo, 30 sensores de humedad; red de cámaras en vivo (live streaming), conformada por siete cámaras; tres radares, uno en el Área Metropolitana (en Santa Elena) y dos de la Aerocivil ubicados en Corozal, Sucre, y el otro en Bogotá, y otras redes como la Red Acelerográfica de Medellín (RAM), la Red Acelerográfica del Valle de Aburrá (RAVA) y la Red de Calidad de Aire del Área Metropolitana. Cada una de las estaciones transmite en tiempo real.
Red de estaciones hidrometeorológicas de Manizales, operadas por la Universidad Nacional Sede Manizales.	Evento hidrometeorológico	19 estaciones hidrometeorológicas, meteorológicas para las variables del clima y 6 de alarma sonora.
Corporación Autónoma Regional de la Guajira (Corpoguajira) y la Cruz Roja Colombiana, Seccional Guajira	Hidrometeorológicas	10 estaciones análogas medidoras de precipitación y temperatura en el flanco nororiental de la Sierra Nevada de Santa Marta. 4 estaciones Meteorológicas Satelitales 6 Medidores de nivel ubicados en los puentes
Red Sismológica Nacional de Colombia	Sismología	87 sensores de Intensidades sísmicas
IDEAM	Hidrometeorológicas	247 con comunicación satelital
Sistema de alerta temprana para la cuenca del rio Combeima	Supervisión, control y adquisición de datos (SCADA)	Estaciones instaladas y operadas por el IDEAM, y por estaciones automáticas operadas por el Comité Regional de Prevención y Atención de Desastres del Tolima (CREPAD)
Sistema acústico de alerta temprana en Bucaramanga	Sistema de difusión por perifoneo	Sistema de difusión por perifoneo
Sistema de alerta temprana para el área metropolitana de Barranquilla	Pluviómetros Doppler de banda X, con una frecuencia de 9,41 GHz, potencia pico de 8 KW y un radio	Inundaciones. Grupo de Investigación en Telecomunicaciones y Señales y el Instituto de Estudios Hidráulicos y Ambientales (IDHEA) de la Universidad del Norte

ENTIDAD	VARIABLE	CARACTERÍSTICA
	de cobertura de 40 km	
El Sistema de alerta temprana de Norte de Santander	Inundación	Eventos climáticos extremos

Fuente Elaboración Propia.

De la información registrada se destaca que en Colombia existen entidades de orden nacional encargadas del manejo y procesamiento de estas alertas para fenómenos a gran escala como lo son IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), DIMAR (Dirección General Marítima), Corporación OSSO (ONG que promueve y apoya investigaciones de carácter científico, tecnológico y técnico) y SGC (Servicio Geológico Colombiano, anteriormente INGEOMINAS) y a nivel regional, estos fueron algunos ejemplos de lo que se está haciendo actualmente en cuanto a SAT.

Así mismo, la mayoría de análisis que realizan estos SAT se encuentran enmarcados en el seguimiento a eventos hidrometeorológicos donde se destaca el SIATA el cual adicionalmente monitorea variables como temperatura, humedad relativa, presión, dirección y velocidad del viento, entre otras; la Red de Calidad de Aire del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, donde la información es transmitida en tiempo real y tanto el publico en general como las entidades responsables de las alertas pueden tener acceso a esa información; el Instituto de Estudios Ambientales – IDEA de la Universidad Nacional sede Manizales, quien también monitorea variables de temperatura, humedad, precipitación, velocidad del viento y radiación solar, además se puede tener acceso en tiempo real a estos datos a través de la página Web del Instituto de Estudios Ambientales; la Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá, la cual administra la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB con 12 estaciones de medición fijas automáticas y una estación móvil que permiten recolectar información de forma continua y permanente sobre la concentración de material particulado (PM10, PST, PM2.5), de gases contaminantes (SO2, NO2, CO, O3) y de las variables de temperatura, radiación solar, humedad relativa, presión barométrica, precipitación, velocidad y dirección del viento.

En cuanto a la legislación se le dio especial importancia a la Resolución 2717 de 1970 de la ONU en donde se planteó la necesidad de desarrollar los SAT para adoptar medidas debido al incremento en las amenazas meteorológicas e hidrológicas generadas por el cambio climático, al Decreto 4147 de 2011 por medio del cual se Crea la Unidad Nacional de Gestión de Riesgos y Desastres, la Ley 1523 de 2012 Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastre. En el siguiente cuadro se indican los documentos analizados.

Cuadro 2. Normograma Sistemas de Alerta Temprana

NORMA/TIPO-AMBITO	GOBERNANZA	CONOCIMIENTO DEL RIESGO Y EFECTOS DE CAMBIO CLIMATICO	REDUCCION DEL RIESGO Y ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO	MANEJO DE EMERGENCIAS Y DESASTRES	NACIONAL	DISTRITAL
Resolución 2717 de 1970 de la ONU sobre Asistencia en casos de desastres naturales		X	X	X		
Ley 99 de 1993 Sistema Nacional Ambiental	X	X	X	X	X	
Decreto 4147 de 2011 Creación UNGRD	X					X
Ley 1523 de 2012 Sistema nacional de gestión del riesgo de desastre	X	X	X	X	X	
Acuerdo 546 de 2013 Sistema Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático - SDGR-CC		X	X	X		X
Decreto 173 de 2014 Instituto distrital de gestión de riesgo y cambio climático IDIGER	X					X
Decreto 174 de 2014 Fondo distrital para la gestión de riesgo y cambio climático de Bogotá FONDIDIGER	X					X
Decreto 308 de 2016 Plan Nacional de gestión del riesgo de desastre	X	X	X	X	X	

Fuente Elaboración Propia.

En la siguiente tabla se encuentran los documentos que se analizaron en búsqueda de información concerniente al funcionamiento y constitución de un SAT, cuáles son las variables ambientales que analizan y cuál es la influencia de estas variables a corto y largo plazo sobre las personas. De la información identificada se resalta el documento titulado "Estado del Arte de los Sistema de Alertas Tempranas en Colombia", en donde se relacionan los indicadores para tener en cuenta de acuerdo con las normas nacionales establecidas para tal fin, así mismo el desarrollo legislativo en el país

Cuadro 3. Registro Documental

AUTOR	TÍTULO	FECHA/ VOLUMEN	ENLACE
Unidad Nacional para la	Normatividad del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.	2012	
Alcaldía de Medellin.	SIATA - Sistema de Alerta Temprana del valle de Aburrá, [Online]	2017	https://siata.gov.co/siata_nuevo/index.php/mapa/. [Accessed: 01-Mar-2017]
Corpoguajira.	Sistema de Alerta Temprana (SAT) | Corpoguajira Corporación Autónoma Regional de La Guajira. [Online].	2012	http://corpoguajira.gov.co/wp/programas-y-proyectos/2007-2012/sistema-de-alerta-temprana/. [Accessed: 08-Mar-2017].
IDEAM.	Sistemas alertas tempranas. [Online].		http://www.ideam.gov.co/. [Accessed: 08-Mar-2017].
IDIGER.	SIRE. [Online].		http://www.sire.gov.co/inicio. [Accessed: 08-Mar-2017].
Alcaldía de Manizales	Gestion de riesgos en Manizales.[Online].		http://idea.manizales.unal.edu.co/gestion_riesgos/estaciones.php. [Accessed: 08-Mar-2017].

AUTOR	TÍTULO	FECHA/ VOLUMEN	ENLACE
S. L. B. Efraín Domínguez Calle.	Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia,"	Rev. Acad. Colomb. Cienc, 2014	
IDIGER.	Normograma," 2017. [Online].	2017	http://www.idiger.gov.co/normograma.
UNGRD.	Guía para la Implementación de Sistemas de alerta temprana comunitarios. Bogotá, D.C.	2016	
T. Grajales.	Tipos de investigación. [Online].	vol. 14, 2000	
OMS.	Índice UV Solar Mundial.	2003	
OMS.	Guías de Calidad del Aire Actualización Mundial 2005.	2005	
UNGRD.	Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Obtenido de portal.gestion del riesgo	2018	
UNGRD.	PLAN NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES.	2015	
ONU.	Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015: Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres.	2005	

Fuente Elaboración Propia.

4.2 FASE 2 ANÁLISIS DE VARIABLES Y MÉTODOS DE MEDICIÓN

Teniendo en cuenta las características ambientales de Bogotá, los antecedentes de eventos y el análisis de vulnerabilidad ante posibles sucesos que pueden presentarse en la ciudad, se identificaron como variables a medir: la Temperatura, medida en ºC, ya que el seguimiento de esta permite analizar el efecto del cambio climático al contar con datos históricos de registro de temperatura máxima y mínima en un período de tiempo determinado; Humedad relativa, medida en %; Índice UV, debido a su capacidad de causar lesiones cutáneas ya que una exposición prolongada a la radiación UV solar puede producir efectos agudos y crónicos en la salud de la piel, los ojos y el sistema inmunológico como los cánceres de piel y las cataratas[16], este índice medido en valores de acuerdo con la escala de peligrosidad para la vida humana definida por la OMS de 1 para el más bajo, hasta 11para el más alto. Y Calidad del aire, por su incidencia en la salud, pudiendo generar reducciones significativas en la función pulmonar, además de inflamación de las vías aéreas, lo que puede causar otros síntomas, alterar el desempeño en adultos y puede provocar niveles importantes de morbilidad y mortalidad en todos los países[17], esta medida en p.p.m..

[16] *Índice UV solar mundial: guía práctica. Recomendación conjunta de: Organización Mundial de la Salud, Organización Meteorológica Mundial, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante.*

[17] *OMS Guías de calidad del aire actualización mundial 2005*

Una vez identificadas las variables a medir, se realizó una revisión de las herramientas tecnológicas existentes identificando que el sistema Arduino es el que mejores características y condiciones ofrece teniendo en cuenta sus características como: bajo costo; ejecución en multiplataformas (Windows, MAC, y Linux); entorno de programación amigable, simple, claro y fácil de descargar; código abierto con software extensible, con librerías y hardware extensible permitiendo crear y mejorar la placa del módulo. Además, permite el control del entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y módulos interconectándolos de forma digital con internet, lo que permite a la comunidad un fácil acceso a los resultados a través de un canal de internet e inclusive a través de mensajes de Twitter, cumpliendo así con varias de las condiciones definidas para un sistema de Alerta Temprana definidas en la tercera conferencia Internacional sobre Alertas Tempranas de Bonn Alemania 2006, siendo estas:

1. El conocimiento del Riesgo
2. El monitoreo
3. La comunicación - Difusión de las Alertas
4. La capacidad de respuesta

Posteriormente se realizo análisis de los diferentes tipos de sensores que ofrece el mercado, así como los sistemas de control de bajo costo existentes que cumplieran con precisión en los valores de medición para cada una de las variables ambientales a analizar. Para esta tarea se tuvo en cuenta los rangos en los cuales estos sensores trabajan. Partiendo de ello se eligió una tarjeta Arduino Mega, un sensor de humedad y temperatura DHT22, un sensor de calidad de aire MQ-135 ajustable con potenciómetro, un sensor UV y un Módulo Wi-Fi ESP8266.

En el cuadro 4 se enumeran las características de cada uno de los elementos del dispositivo

Cuadro 4. Características de los Elementos del Dispositivo

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS	VOLTAJE DE TRABAJO	RANGO DE MEDICION	CORRIENTE DC	PRECISIÓN DE MEDICIÓN
ARDUINO MEGA 2560	Es una tarjeta basada en el microcontrolador ATmega2560. Tiene 54 pines (Entrada/Salida) digitales (14 de estos pueden usarse como salidas PWM), 16 entradas análogas, 4 UARTs (puertos seriales por hardware), oscilador de cristal a 16MHz, conexión USB, jack de energía, conector ICSP y botón de reset. Además es compatible con la mayoría de shields diseñados para Arduino Deumilanove o Diecimila o UNO.	5-12V		150mA	

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS	VOLTAJE DE TRABAJO	RANGO DE MEDICION	CORRIENTE DC	PRECISIÓN DE MEDICIÓN
DHT22	Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no hay pines de entrada analógica). Este sensor está instalado en una PCB con la resistencia de Pull-Up y el condensador del filtro. Tiene tres pines para la conexión externa, VCC, GND y el Dato de salida (digital).	5V	"-40°C~125°C 0%RH~100%RH "	muy bajo	2%~5%
MQ-135	Este sensor de control de calidad de aire es usado para la detección de contaminación en el medio ambiente. La señal de salida que proporciona el MQ-135 es dual, de carácter analógico y digital. Respecto a la señal analógica proporcionada, esta viene a ser directamente proporcional al incremento de voltaje, en cuanto a la señal digital, esta presenta niveles bajos de tensión por lo que esta señal puede ser procesada por un microcontrolador, como entrada o salida.	5V	10ppm~1000ppm	150mA	
SENSOR UV	Sensor de luz ultravioleta (UV), entrega una señal analógica UV (mW/cm2) que depende de la cantidad de luz UV que detecta, detecta luz en el espectro UV-B como UV-A.	5V	0-1024mV	muy bajo	
MODULO WIFI ESP8266	Módulo que trabaja con comunicación serial, esto significa que hace uso de transmisión serial TX / RX para enviar y recibir buffers de Ethernet, y del mismo modo, el uso de comandos serial para consultar y cambiar las configuraciones del módulo Wi-Fi. Esto es muy conveniente, ya que sólo requiere dos cables (TX / RX) para la comunicación entre un microcontrolador y WiFi, pero más importante aún, descarga las tareas relacionadas con WiFi al módulo, permitiendo que el código del microcontrolador no ocupe mucha memoria.	3.3 V		muy bajo	
FUENTE DE PODER PARA PROTOBOARD 3.3V / 5V MB-102	Fuente regulador de alimentación para proto, dispone de 2 salidas independientes de alimentación de 3.3V y 5V, se puede alimentar con un regulador de 6-12V o con cable USB.	6-12V (DC) o USB		720mA	

Fuente Elaboración propia

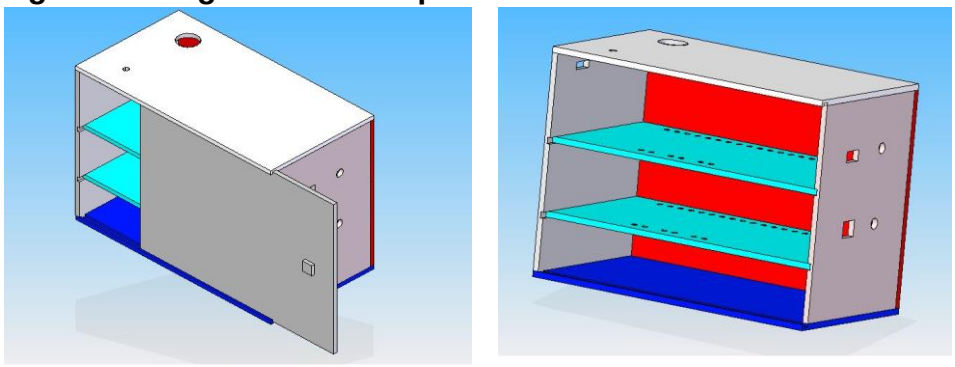
4.3FASE 3 DISEÑO, MODELADO Y CONSTRUCCIÓN DEL DISPOSITIVO

La tercera fase consistió en el diseño, la programación y la construcción del dispositivo. El diseño del mismo se realizó utilizando la herramienta computacional Solid Edge, donde se priorizó la optimización del espacio en donde se pudieran ubicar los sensores sin que existiera interferencia entre estos, siendo ésta una prioridad, dado que en las pruebas realizadas se apreció que al calentarse la resistencia con la que funciona el sensor de calidad del aire afecta las mediciones del sensor de humedad y temperatura.

También se dejó un espacio tanto interna como externamente para instalar otros sensores y/o fuentes de alimentación si se llegase a necesitar medir otro tipo de variables. El prototipo se fabricó basándose en los planos que se realizaron en Solid Edge, con poliestireno en calibre 150 opal para evitar que la acumulación de calor pudiese alterar las mediciones de los sensores.

El diseño final se muestra en la figura 2 y los planos se encuentran en el Anexo B.

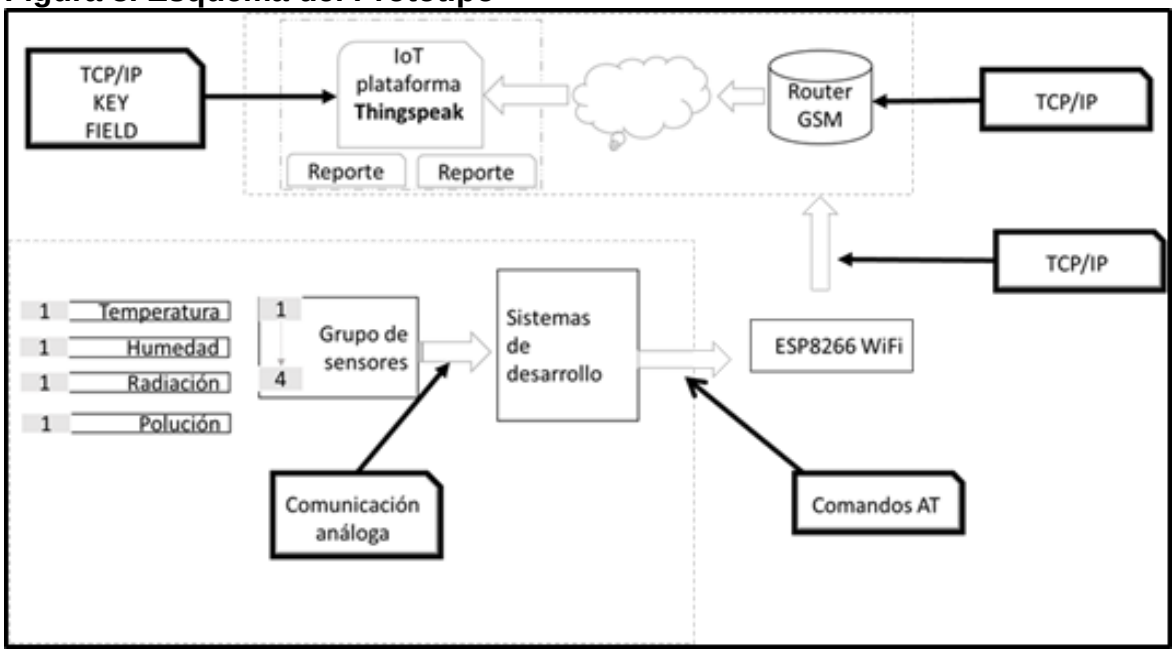
Figura 2. Imagen 3D del Dispositivo



Fuente Elaboración propia.

El esquema general empleado para su funcionamiento se aprecia en la figura 3 donde se muestra que por medio de los sensores se recogen de forma análoga los valores de las variables a analizar y mediante comandos AT y con el Módulo Wi-Fi ESP8266 se envían estos valores a una plataforma de IoT de libre acceso la cual grafica hasta 8 variables y almacena durante dos años hasta 3´000.000 de los datos recibidos.

Figura 3. Esquema del Prototipo



Fuente Elaboración propia.

La programación del código creado utiliza el lenguaje de programación del sistema Arduino, se compone de tres partes, en la primera se definió la comunicación para el envío de datos de cada sensor a la página de ThingSpeak; se definió la entrada analógica de los sensores ya que estos entregan valores de parámetros físicos y se declararon las constantes de los sensores.

La segunda parte correspondiente al void setup(). Contiene la declaración de las variables de comunicación serial y de conexión a la red. Este bloque de instrucciones va entre llaves.

La tercera parte corresponde a la función void loop(). Contiene las formulas y el programa para cada sensor el cual se ejecuta cíclicamente dependiendo del delay o intervalo de transmisión y actualización de datos que se le asignó a cada uno de estos programas, el cual puede ser de cinco (5) minutos, de una hora o más. Este bloque de instrucciones también va entre llaves.

Su estructura sería la siguiente:

```
#define elementos;
const int elementos;

void setup()
{
estamentos;
```

```
}
void loop()
{
estamentos;
}
```

A continuación se presenta parte del código, en el cual se estableció una fórmula para que los datos de Radiación UV correspondieran con la escala de peligrosidad para la vida humana definida por la OMS de 1 para el más bajo, hasta 11para el más alto.

```
void loop(){
float h = dht.readHumidity(); // Lee la humedad
float t = dht.readTemperature(); //Lee la temperatura

char bufferTemp[8]; //Crear buffer temporal para convertir float a string
String temperatura = dtostrf(t, 8, 3, bufferTemp); //Convertir de float a String 8 = longitud de String, 3 = número de decimales
updateTemp(temperatura); //Actualizar temperatura

digitalWrite(13,HIGH);
delay(20000); //ThingSpeak nos pide un MINIMO de 15 segundos entre cada actualizacion

char bufferHum[8]; //Crear buffer temporal para convertir float a string
String humedad = dtostrf(h, 8, 2, bufferHum);
updateHumedad(humedad); //Actualizar humedad
delay(20000); //Hacer una medición cada 20 segundos
  {
  // put your main code here, to run repeatedly:
float r =(((1025-Valorleido)*11)/1024);//Lee la radiación

char bufferIlum[8];
String radiacion = dtostrf(r, 8,1, bufferIlum);
updateIlum(radiacion); //Actualizar radiacion

Serial.println("Factor: ");
Serial.println(radiacion);

Valorleido=analogRead(RESISTENCIA);

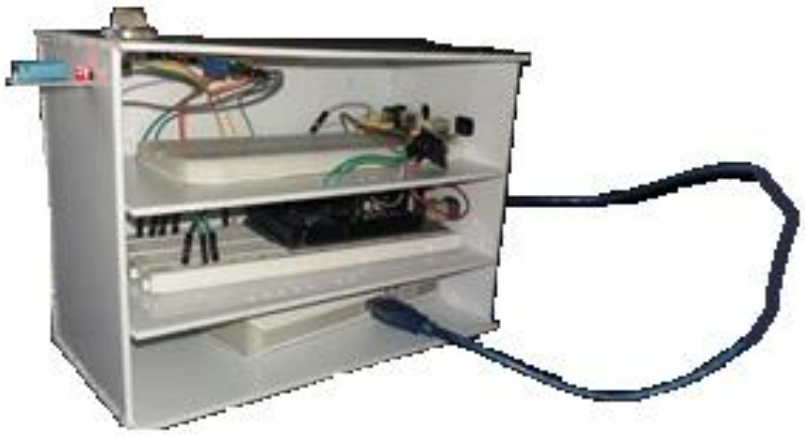
delay(15000);
radiacion=(((1025-Valorleido)*11)/1024);
Serial.print("Factor: ");
Serial.print(radiacion);
Serial.println(" UV: ");
delay (15000);
}
```

Como ya se había mencionado, el prototipo de sensor múltiple se encuentra constituido por una tarjeta Arduino Mega; un sensor de humedad y temperatura DHT22; un sensor de calidad de aire MQ-135 ajustable con potenciómetro, un sensor UV y un Módulo WIFI ESP8266, este alimentado a 3,3 V y los sensores alimentados a 5 V y con salidas análogas.

El sistema completo funciona perfectamente entre los 5 y 9 V con una corriente mínima de 1,2 A/h. Inicialmente se alimentó con un adaptador conectado a la corriente, pero para hacerlo portable se instaló una batería recargable de 12 A/h a 5 V, que le da una autonomía cercana a las 12 horas de funcionamiento continuo en el exterior, para hacerlo aún más autónomo es posible emplear un cargador solar de la misma capacidad o superior y adicionalmente instalar un módulo para un chip con internet eliminando con esto la necesidad de conectarse a una red local, que al estar saturada minimiza el paso de la información.

Con las características de este dispositivo tal y como se ha descrito tiene un costo aproximado de US 165 y su prototipo se muestra en la figura 4.

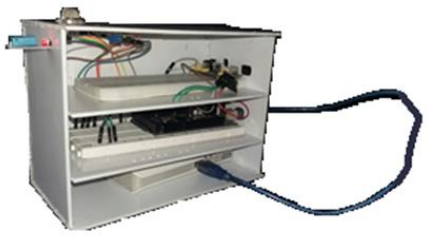
Figura 4. Prototipo del Sensor Múltiple Empleado



Fuente Elaboración propia*.*

El cuadro 5 permite realizar una comparación entre el precio del dispositivo y el de otros que se usan actualmente en el país.

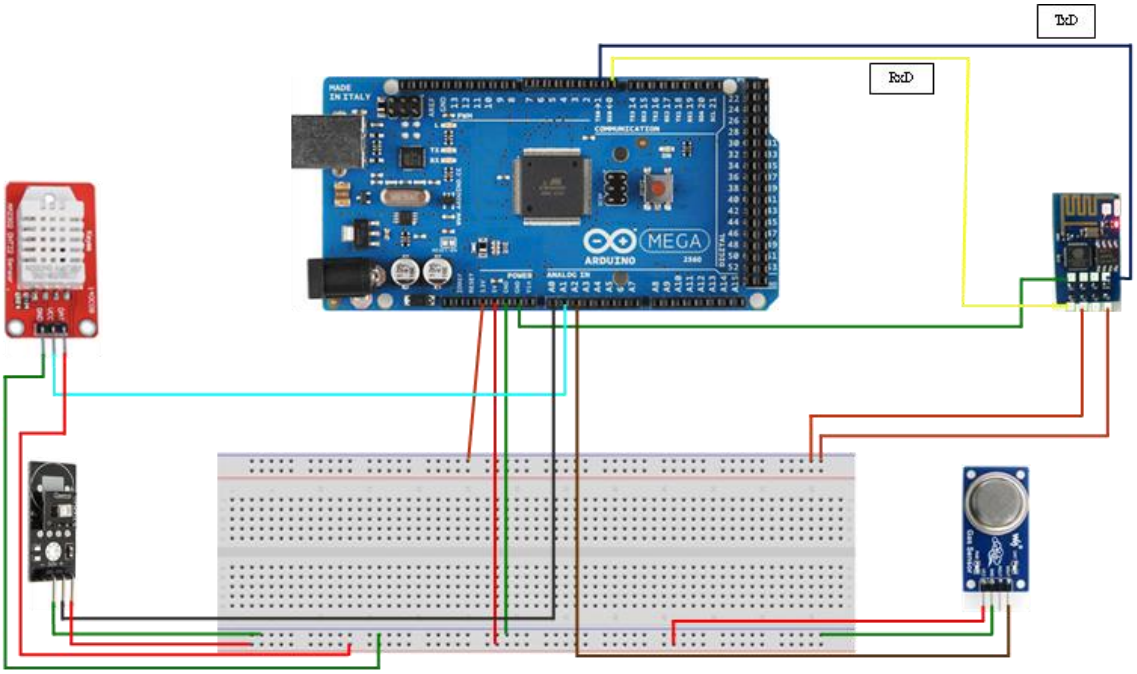
Cuadro 5. Costos de Equipos de Medición Ambiental

COSTOS DE EQUIPOS DE MEDICION AMBIENTAL			
NOMBRE	**EQUIPO**	**ENTIDAD**	**PRECIO ($)**
ESTACION DE CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLÓGICA FIJA		SECRETARÍA DE AMBIENTE DE BOGOTÁ	De 100 a 130 millones
ANALIZADOR MATERIAL PARTICULADO PM10		SECRETARIA DE AMBIENTE DE BARRANQUILLA	De 25 a 55 millones
ESTACION INTEGRADA DE MONITORIZACION AMBIENTAL SVT-EMA		DIFERENTES SECRETARÍAS DE AMBIENTE	5 millones
NUBE MODELO 2018		SIATA	1,2 millones
PROTOTIPO MONITOR DE VARIABLES AMBIENTALES		ELABORACIÓN PROPIA	495.000

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 5 se muestran las conexiones de los sensores y módulo wifi a la tarjeta Arduino Mega.

Figura 5. Conexiones a la Tarjeta Arduino Mega



Fuente: Elaboración propia.

4.4 FASE 4 PRUEBAS Y MEDICIÓN DE VARIABLES

La fase de Pruebas y puesta en marcha del dispositivo se llevó a cabo en varias zonas de la ciudad de Bogotá, en la ciudad de Medellín y en la Provincia de Ubaté, estas zonas fueron seleccionadas teniendo en cuenta los altos niveles de contaminación permitiendo comparar el comportamiento de las variables en dos grandes ciudades y una zona rural.

Para determinar la mejor ubicación del dispositivo y obtener datos puntuales se tuvo como principal referencia la ubicación de los equipos y unidades de medición instaladas por el IDIGER en la ciudad de Bogotá, donde los antecedentes se enmarcan principalmente en episodios de inundación y mala calidad del aire, para el caso Medellín se ubicó en las estaciones del SIATA, donde el principal problema se enmarca en emergencias ambientales derivadas de baja calidad del aire. Para el caso de la Provincia de Ubaté el Sistema Departamental para la Gestión del Riesgo de Desastres indica que la estación de monitoreo más cercana se encuentra ubicada en el municipio de Tausa (SISAIRE – CAR 19), lo antecedentes de emergencias se circunscriben en inundaciones y problemas de

calidad de aire. La provincia se encuentra a una altitud de 2.556 m.s.n.m., una temperatura y humedad promedio de 11°C y 93% respectivamente.

Ahora, en la ciudad de Bogotá D.C. funciona el IDIGER cuya misión es Coordinar, orientar y consolidar el Sistema Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático –SDGR-CC y su propósito principal es promover políticas, normas, planes, programas y proyectos de gestión de riesgos y cambio climático para la transformación cultural, social y territorial del Distrito Capital, desde un enfoque de derechos y de sostenibilidad. Según la entidad, para la ciudad de Bogotá D.C los riesgos en aspectos ambientales que más la pueden afectar tienen que ver con tormentas, inundaciones y deslizamientos, lo cual se puede verificar con los datos históricos que permiten validar esta información[18]. La ciudad se encuentra localizada a una altitud sobre el nivel del mar de 2.600 mt., una temperatura y humedad promedio de 18°C y 75% respectivamente.

El SIATA, opera en el Valle de Aburrá, es concebida como una estrategia regional para la gestión de riesgos, donde se monitorean las condiciones ambientales del territorio para fortalecer la toma de decisiones basada en información y la intervención oportuna de los organismos de respuesta haciendo posible el acceso en tiempo real a la información generada y requerida sobre la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos (Precipitaciones extremas, inundaciones, movimientos en masa, calidad del aire, entre otros) que amenacen la calidad de vida de los habitantes metropolitanos. La ciudad de Medellín se encuentra localizada a una altitud de 1495 m.s.n.m., una temperatura de 20 °C y 83% de humedad promedio.

En el Valle de Aburrá hay un proyecto iniciado en 2015 denominado Ciudadanos Científicos, proyecto local de ciencia, tecnología y educación, el cual entrega a ciudadanos una "nube", que es un sensor de bajo costo ($1´000.000 aproximadamente, según lo informado por el gerente del SIATA) para la medición de la calidad aire, que permite obtener datos puntuales, minuto a minuto, de temperatura, humedad y PM 2.5 y una aplicación para dispositivos móviles, también permite a su vez evidenciar ante la sociedad la importancia del monitoreo de la calidad del aire en la ciudad y la región. Para todo esto el SIATA lleva a cabo cuatro grandes tareas: Monitoreo, Modelación, Alertas y Gestión y Comunicación y Educación.

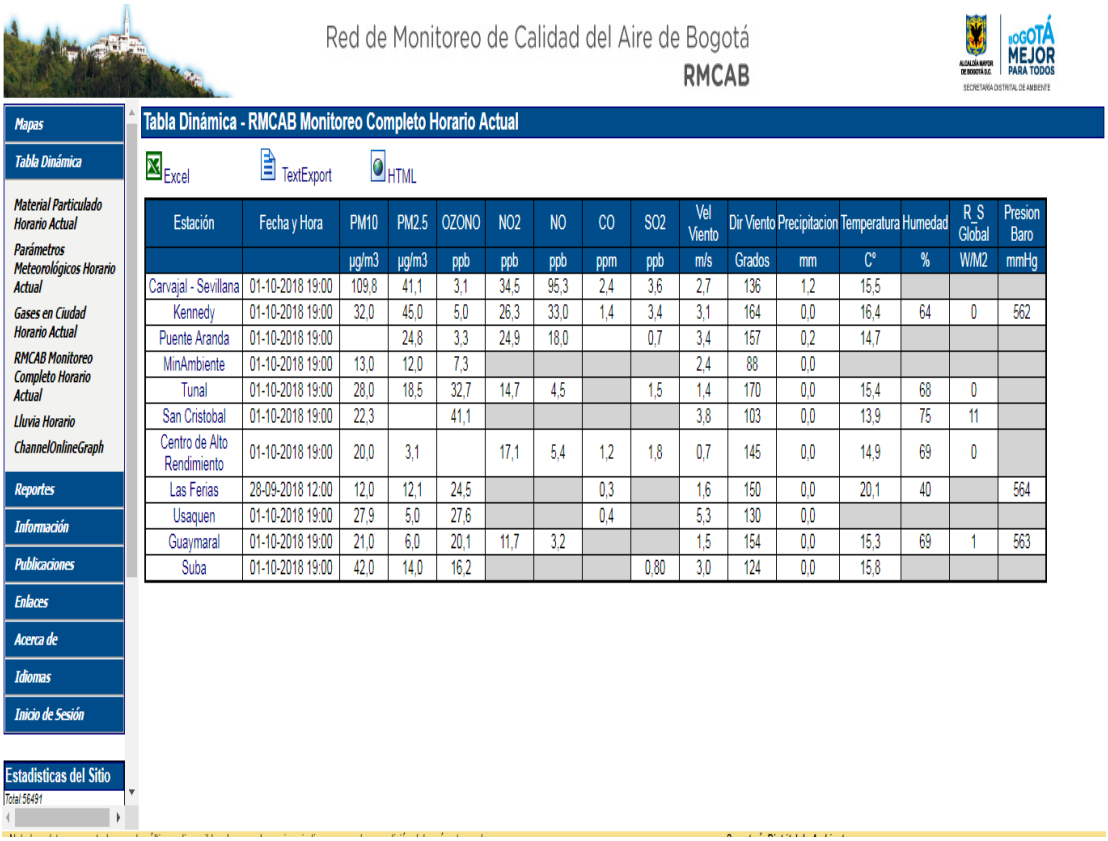
La Secretaria Distrital de Ambiente de Bogotá, administra la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB, cuenta con 12 estaciones de medición fijas automáticas y una estación móvil que permiten recolectar información de forma continua y permanente sobre la concentración de material particulado (PM10, PST, PM2.5), de gases contaminantes (SO2, NO2, CO, O3) y de las variables de

[18] IDIGER, “Escenarios de riesgo,” 2017. [Online]. Available: http://www.idiger.gov.co/web/guest/sistema-istrital#_escenarios-de-riesgo.

temperatura, radiación solar, humedad relativa, presión barométrica, precipitación, velocidad y dirección del viento.

Aunque la RMCAB busca medir todos los parámetros contaminantes y meteorológicos que afectan a la ciudad, cada estación no mide los mismo parámetros ambientales como se muestra en la figura 6, y aunque en la página indica que se puede acceder a históricos de hasta un año, no es así, ya que el acceso por parte del público en general y/o especializado a estos datos y en general a la interfaz de la página no es sencillo y en ocasiones presenta información que no es entendible, por eso la importancia de utilizar un dispositivo de bajo costo como el que se propone en el que a través de internet, de twitter e incluso de una APP como Pocket IoT® la población en general tenga acceso en tiempo real, de manera remota y de forma clara al comportamiento de las variables ambientales de temperatura, humedad, calidad del aire y radiación solar, con la hora y fecha de la última transmisión de datos, y que permanezca actualizada. Además, la plataforma de IoT de libre acceso (ThingSpeak), plataforma propuesta permite almacenar datos históricos entre 2 y 5 años, con la posibilidad de analizarlos y graficarlos usando MATLAB®.

Figura 6 Tabla Dinámica de Datos Meteorológicos en Tiempo Real

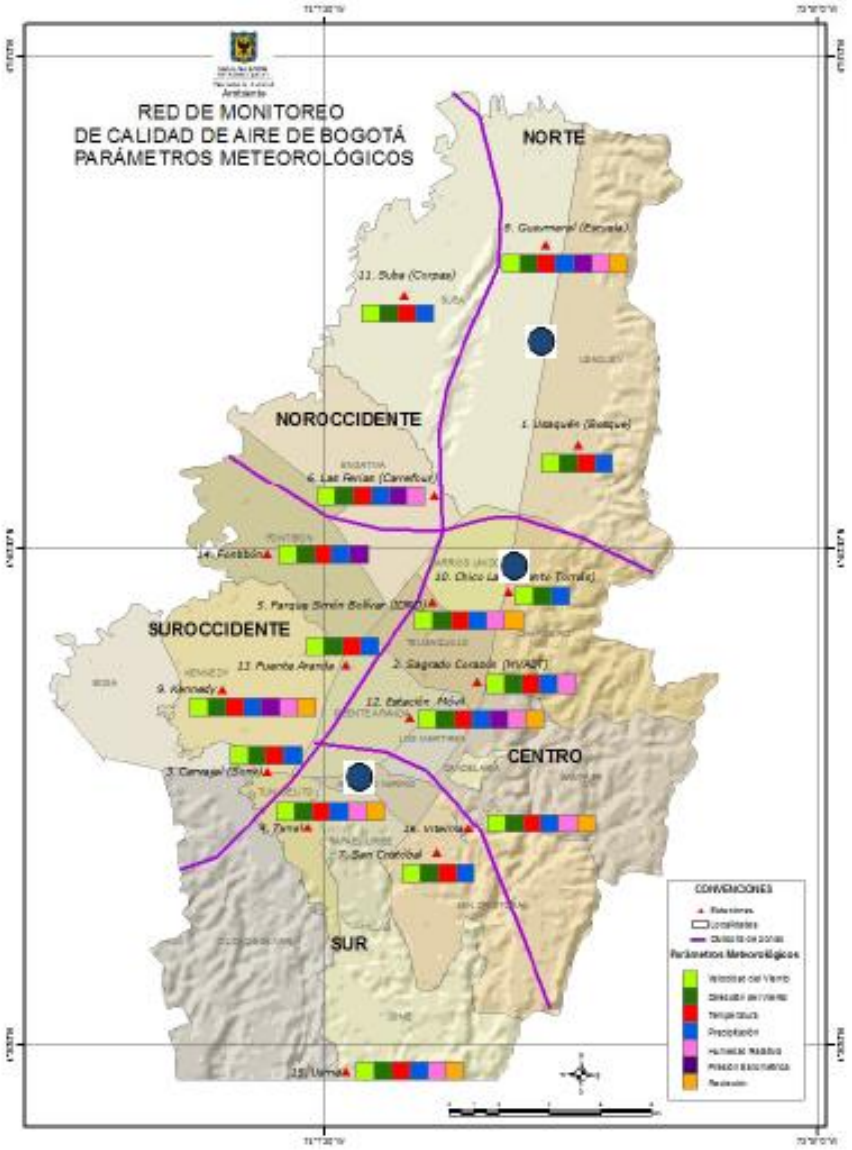


Estación	Fecha y Hora	PM10	PM2.5	OZONO	NO2	NO	CO	SO2	Vel Viento	Dir Viento	Precipitacion	Temperatura	Humedad	R_S Global	Presion Baro
		µg/m3	µg/m3	ppb	ppb	ppb	ppm	ppb	m/s	Grados	mm	C°	%	W/M2	mmHg
Carvajal - Sevillana	01-10-2018 19:00	109,8	41,1	3,1	34,5	95,3	2,4	3,6	2,7	136	1,2	15,5			
Kennedy	01-10-2018 19:00	32,0	45,0	5,0	26,3	33,0	1,4	3,4	3,1	164	0,0	16,4	64	0	562
Puente Aranda	01-10-2018 19:00		24,8	3,3	24,9	18,0		0,7	3,4	157	0,2	14,7			
MinAmbiente	01-10-2018 19:00	13,0	12,0	7,3					2,4	88	0,0				
Tunal	01-10-2018 19:00	28,0	18,5	32,7	14,7	4,5		1,5	1,4	170	0,0	15,4	68	0	
San Cristobal	01-10-2018 19:00	22,3		41,1					3,8	103	0,0	13,9	75	11	
Centro de Alto Rendimiento	01-10-2018 19:00	20,0	3,1		17,1	5,4	1,2	1,8	0,7	145	0,0	14,9	69	0	
Las Ferias	28-09-2018 12:00	12,0	12,1	24,5			0,3		1,6	150	0,0	20,1	40		564
Usaquen	01-10-2018 19:00	27,9	5,0	27,6			0,4		5,3	130	0,0				
Guaymaral	01-10-2018 19:00	21,0	6,0	20,1	11,7	3,2			1,5	154	0,0	15,3	69	1	563
Suba	01-10-2018 19:00	42,0	14,0	16,2				0,80	3,0	124	0,0	15,8			

Fuente http://www.ambientebogota.gov.co/calidad-del-aire http://201.245.192.252:81/

Con el fin de georreferenciar los puntos en los que se realizaron las mediciones, en la figura 7, encerrado en círculos azules, se indican los sitios donde se hicieron las mediciones en Bogotá, para contar con mediciones de referencia con triángulos rojos se señalan las Estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá-RMCAB.

Figura 7. Mediciones en Bogotá



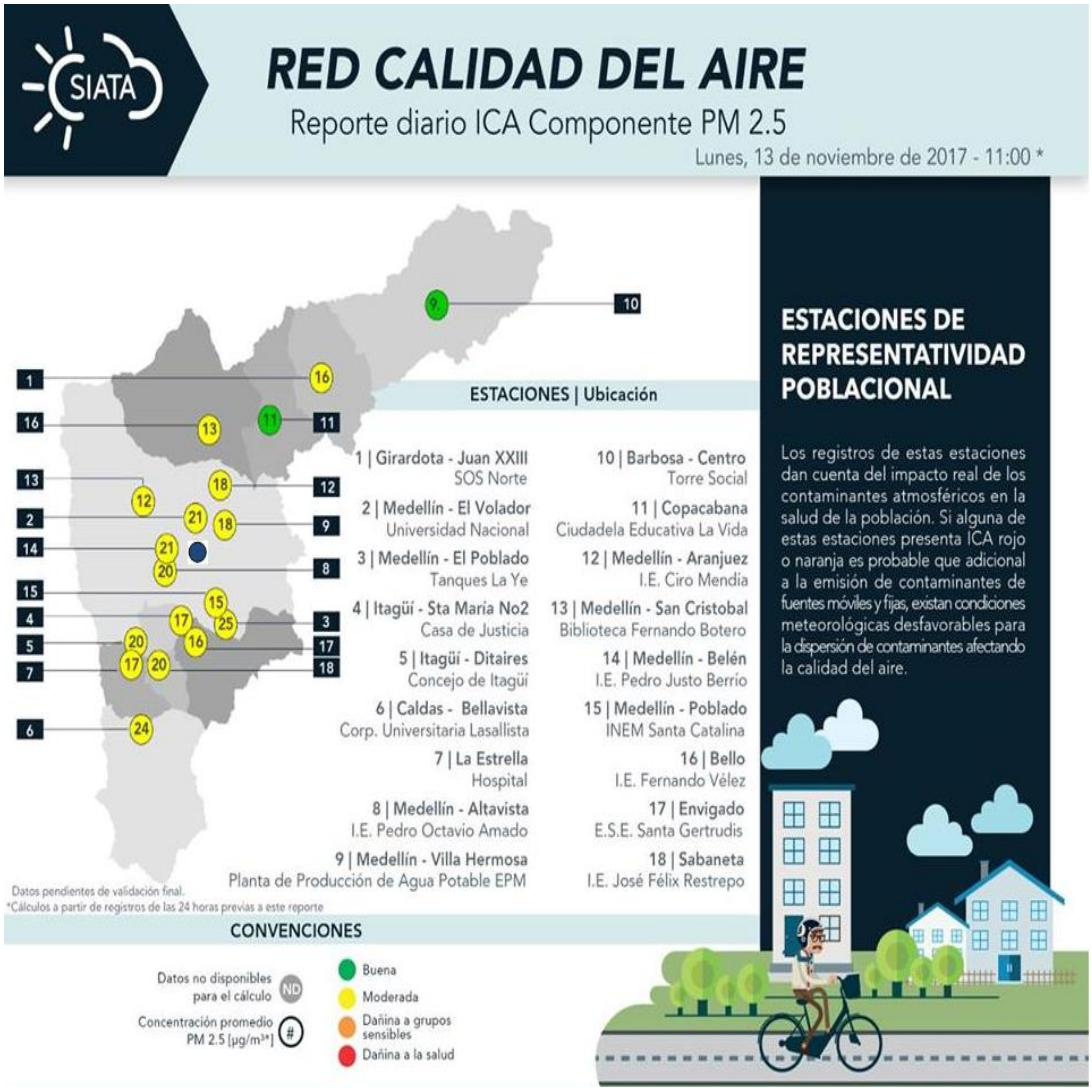
Fuente http://www.ambientebogota.gov.co/image/image_gallery?uuid=5d04f994-007b-4006-b519-634dae4d181d&groupId=10157&t=1410817546632

Estaciones RMCAB

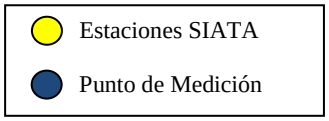
Puntos de Medición

En la figura 8, con un círculo azul se indica donde se hicieron las mediciones en Medellín y con círculos amarillos y verdes las Estaciones de la Red de Calidad del Aire del SIATA.

Figura 8. Mediciones en Medellín



Fuente:https://web.facebook.com/siatamedellin/photos/a.604208822984348.1073741828.604194669652430/1841082335963651/?type=3&theater



En la figura 9, con un círculo azul se indica donde se hicieron las mediciones en la Provincia de Ubaté.

Figura 9. Mediciones en la Provincia de Ubaté



Fuente http://satellites.pro/plano/mapa_de_Ubate#5.309805,-73.813659,16

Punto de Medición

4.5 FASE 5 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

En esta fase se realizaron los análisis y la evaluación de resultados obtenidos en las mediciones. Se realizaron 15.946 mediciones con un intervalo aproximado de 5 minutos entre cada grupo de mediciones, y a continuación se muestran los datos obtenidos.

4.5.1 Resultados caso Bogotá

En el caso de Bogotá se observa la variación de la calidad del aire durante el día teniendo un pico a las 20:00 horas, mientras la humedad se comporta de forma contraria a la temperatura, aumentando con el transcurso del día como se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 5. Relación de Datos Tomados en Bogotá

BOGOTÁ 03-12-17				
Hora	**Polución**	**Humedad**	**Temperatura**	**Radiación**
9:20:43	365,4	68	18	10
9:43:12	365,4	65	18	10
10:02:45	414,5	61	19	10
10:20:18	365,4	58	19	10
10:41:31	414,5	59	20	10
10:58:37	388,4	59	19	10
11:21:56	365,4	55	20	10
11:40:23	388,4	58	19	10
12:00.17	388,4	60	19	10
12:30:05	414,5	60	20	10
13:07:21	414,5	72	18	10
13:25:21	414,5	74	17	10
13:44:21	388,4	74	17	10
14:04:43	388,4	72	17	10
14:25:44	388,4	69	18	10
14:45:15	388,4	65	19	10
15:03:16	414,5	65	19	10
15:25:47	388,4	58	20	10
15:43:42	414,5	59	20	10
16:10:33	365,4	64	18	10
16:32:54	388,4	67	18	10
16:50:45	388,4	70	17	10
17:13:11	414,5	70	17	9
17:31:07	365,4	71	16	7
17:53:33	388,4	72	16	5
18:11:33	388,4	72	15	2
18:33:59	388,4	72	15	1
18:56:25	365,4	74	15	0
19:14:26	365,4	76	15	0
19:36:57	388,4	80	14	0
19:59:28	388,4	81	14	0
20:21:49	437,9	81	14	0
20:39:49	365,4	82	14	0
20:57:45	414,5	83	14	0
21:15:46	388,5	85	14	0

Fuente Elaboración propia.

En el cuadro 6 se aprecia que en Bogotá las correlaciones de humedad-temperatura y humedad-índice UV son inversas, fuertes y casi perfectas, mientras que la correlación temperatura-índice UV es directa, fuerte y casi perfecta.

Cuadro 6. Correlación Entre las Variables en Bogotá

CORRELACIÓN BOGOTÁ 03-12-17				
	Polución	**Humedad**	**Temperatura**	**Radiación**
Polución	1			
Humedad	0,0570654	1		
Temperatura	0,08748442	-0,93962041	1	
Radiación	0,07149122	-0,78868649	0,90197429	1

Fuente Elaboración propia.

En el cuadro 7 se aprecia la determinación entre las variables en la ciudad de Bogotá.

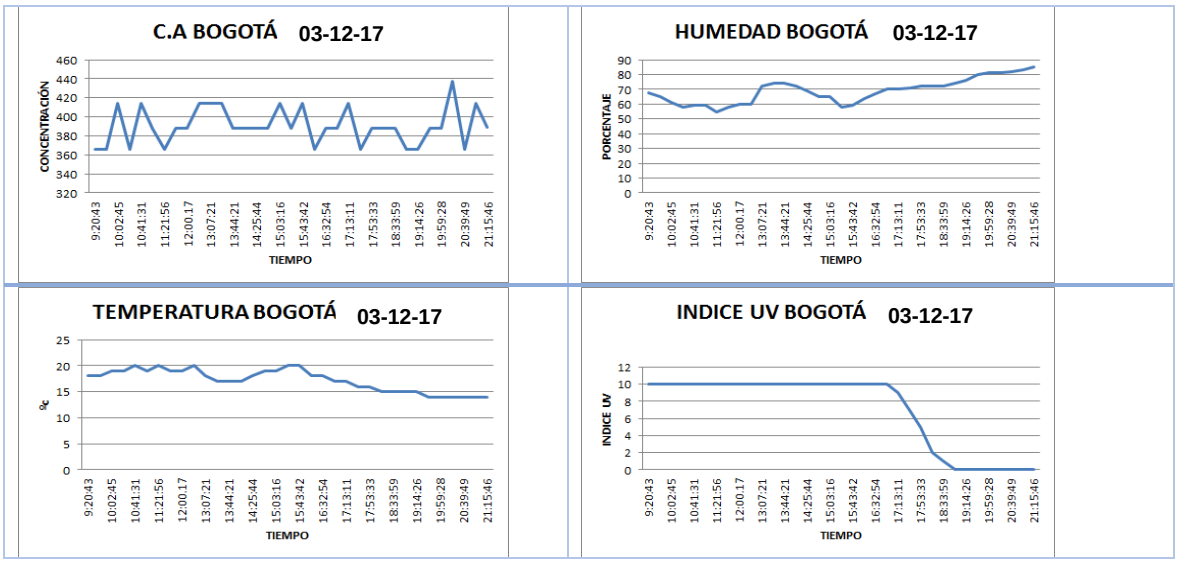
Cuadro 7. Determinación entre variables en Bogotá

DETERMINACIÓN ENTRE VARIABLES BOGOTÁ 03-12-17				
	Polución	**Humedad**	**Temperatura**	**Radiación**
Polución	1			
Humedad	0,33%	1		
Temperatura	0,77%	88,29%	1	
Radiación	0,51%	62,20%	81,36%	1

Fuente Elaboración propia

La figura 10 corresponde a las gráficas que se generaron con los datos obtenidos de las mediciones en la ciudad de Bogotá.

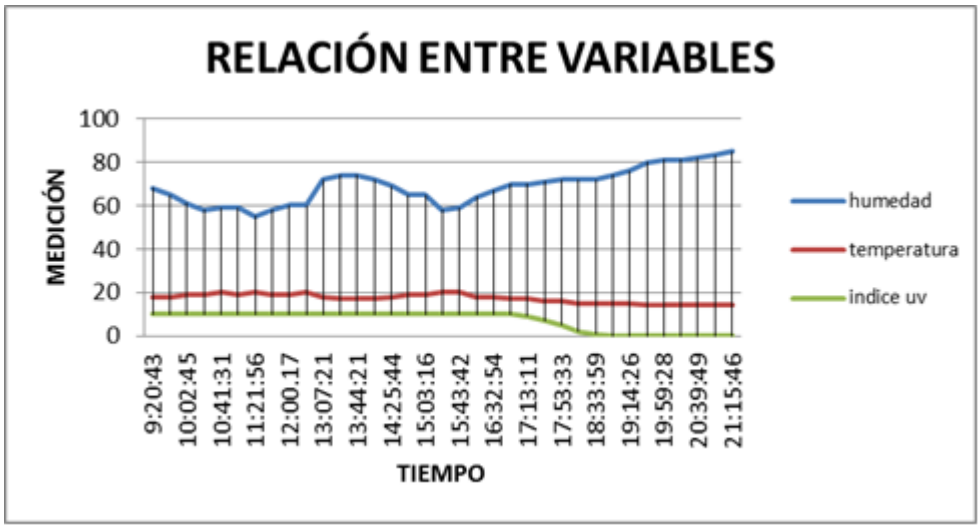
Figura 10. Relación de Variables de Calidad de Aire, Humedad y Temperatura en la Ciudad de Bogotá



Fuente Elaboración propia.

En la figura 11 se aprecia que en Bogotá las correlaciones de humedad-temperatura y humedad-índice UV son inversas, fuertes y casi perfectas, mientras que la correlación temperatura-índice UV es directa, fuerte y casi perfecta.

Figura 11. Comparación de Variables de Calidad de Aire, Humedad y Temperatura en la Ciudad de Bogotá



Fuente Elaboración propia.

4.5.2 Resultados caso Medellín

Para la realización de las gráficas correspondientes a la toma de datos de Medellín se tuvo en cuenta que la ventana de contaminación se da entre las 10:30 y las 19:00, ya que según lo manifestó por el director del SIATA, es en esta franja horaria en la que más se presenta el aumento de la contaminación en la ciudad, fenómeno asociado a la Inversión Térmica, que impide la salida de contaminantes emitidos por fuentes fijas y móviles a la parte alta de la atmosfera. También por esa "Inversión Térmica", en temporadas de mucho calor la radiación es muy alta en algunas zonas de la ciudad[19]. En La Figura 12 se pueden observar las condiciones atmosféricas normales de la ciudad de Medellín.

[19] https://www.youtube.com/watch?v=GAWe0g__7f0.

Figura 12. Condiciones atmosféricas normales de la ciudad de Medellín



Fuente SIATA.

El cuadro 8 corresponde a la toma de datos de Medellín donde se tuvo en cuenta que la ventana de contaminación.

Cuadro 8. Relación de Datos Tomados en Medellín

MEDELLIN 13-11-17				
Hora	**Polución**	**Humedad**	**Temperatura**	**Radiación**
10:15:37	611,0	72,0	21,0	10,0
10:37:52	564,3	72,0	21,0	10,0
10:55:43	444,1	72,0	21,0	10,0
11:13:39	564,3	72,0	21,0	10,0
11:36:00	588,5	71,0	21,0	10,0
11:58:16	564,3	71,0	21,0	10,0
12:16:02	564,3	70,0	21,0	10,0
12:42:48	611,0	70,0	22,0	10,0
13:09:39	588,5	67,0	23,0	10,0
13:23:06	666,0	67,0	23,0	10,0
13:55:51	666,0	65,0	23,0	10,0
14:04:46	588,5	64,0	24,0	10,0
14:36:13	564,3	62,0	24,0	10,0
14:58:28	564,3	60,0	25,0	10,0

Fuente Elaboración propia.

En el cuadro 9 se puede apreciar la correlación existente entre las variables en la Ciudad de Medellín. Cabe señalar que, aunque la correlación entre ellas es baja, exceptuando la que hay entre humedad y temperatura que es inversa fuerte y casi perfecta, los valores permanecen muy altos, por ejemplo, a las 13:23 los valores de C.A, humedad, temperatura y radiación eran de 666, 67, 23 y 10 respectivamente

Cuadro 9. Correlación Entre las Variables en Medellín

CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES MEDELLIN 13-11-17				
	Polución	**Humedad**	**Temperatura**	**Radiación**
Polución	1			
Humedad	-0,25128139	1		
Temperatura	0,27601791	-0,97520483	1	
Radiación	0.12	-0,328	0,258	1

Fuente Elaboración propia.

En el cuadro 10 se aprecia la determinación entre las variables en la ciudad de Medellín.

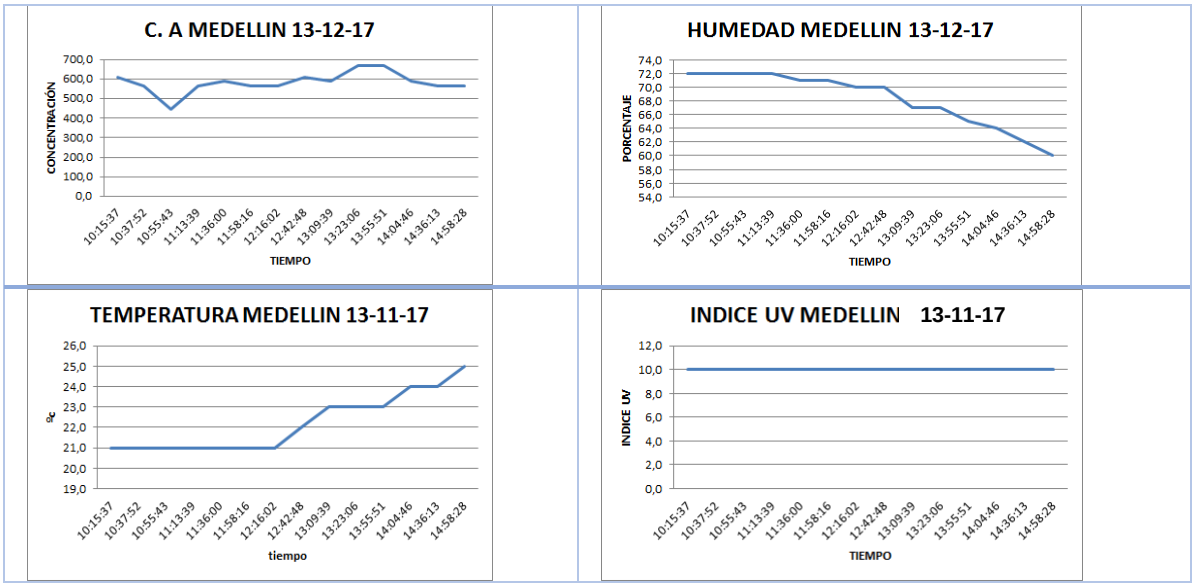
Cuadro 10. Determinación entre Variables

DETERMINACIÓN ENTRE VARIABLES MEDELLIN 13-11-17				
	Polución	**Humedad**	**Temperatura**	**Radiación**
Polución	1			
Humedad	6,31%	1		
Temperatura	7,62%	95,10%	1	
Radiación	1,44%	10,76%	6,66%	1

Fuente Elaboración propia.

En la figura 13 se observa las gráficas de monitoreo de calidad de aire, humedad relativa del aire, temperatura e índice UV de la ciudad de Medellín.

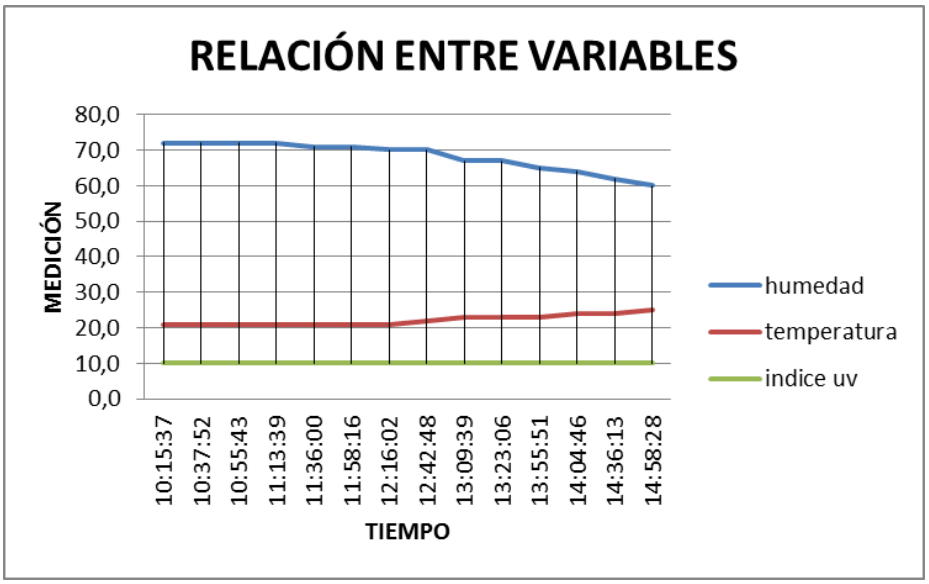
Figura 13. Relación de Variables de Calidad de Aire, Humedad y Temperatura en la Ciudad de Medellín



Fuente Elaboración propia.

En la figura 14 se aprecia la correlación inversa casi perfecta entre humedad y temperatura, donde a medida que va descendiendo la humedad la temperatura va aumentando mientras el índice UV permanece invariable.

Figura 14. Comparación de Variables de Calidad de Aire, Humedad y Temperatura en la Ciudad de Medellín



Fuente Elaboración propia.

4.5.3 Resultados caso Ubaté

Aunque en internet se encuentran los pronósticos de humedad, temperatura e índice UV, los cuales son muy similares a los arrojados por el dispositivo, no se puede acceder a información en tiempo real sobre la calidad del aire del Valle de Ubaté, por lo cual se hizo una pequeña comparación con los valores recogidos en tres fechas.

Contrario a lo que se pensaba, los valores obtenidos fueron muy diferentes a los arrojados en las mediciones de Bogotá y Medellín, esto debido a que la villa de Ubaté se encuentra en una zona que ocupa la cuarta posición dentro de las poblaciones más contaminadas del departamento. (DESCA, 2017).

Las mediciones fueron tomadas en el mes de diciembre de 2017 y enero de 2018 en diferentes horas, donde se observó en la franja azul correspondiente a las 6 am un porcentaje alto que varía de forma similar durante la mañana, figura 15 (a), (b) y (c), en la franja rosada se observa la ampliación de la variación que corresponde a horas de la tarde y en la noche en la franja verde se amplían los niveles.

Cabe resaltar que los datos recogidos en la segunda medición y mostrados en la figura 15 (b) entre las 18:05 del 24/12/17 y las 06:39 del 25/12/17 mostraron valores muy altos, en algunas ocasiones hasta el triple de los valores de las mediciones de los otros días, esto posiblemente generados por el uso de pólvora que es muy habitual en esa fecha en la región.

El cuadro 11 corresponde a la toma de datos de la Provincia de Ubaté.

Cuadro 11. Determinación Entre Variables en Ubaté

UBATE 10-12-2018				
Hora	**Polución**	**Humedad**	**Temperatura**	**Índice UV**
10:02:45	662,3	86	13	3
10:20:18	735,6	86	13	3
10:41:31	735,6	84	15	3
10:58:37	666	84	17	3
11:21:56	713,9	84	16	3
11:40:23	765,8	80	18	4
12:00.17	821	80	17	4
12:30:05	742,3	80	18	4
13:07:21	683,6	80	16	4
13:25:21	794,2	83	17	4
13:44:21	765,8	83	19	4
14:04:43	666	83	17	4
14:25:44	662,3	80	17	6
14:45:15	690,7	76	17	6
15:03:16	639,5	76	16	8
15:25:47	821	76	17	10
15:43:42	717,3	77	17	11
16:10:33	742,3	77	16	11
16:32:54	742,3	77	16	8
16:50:45	735,6	77	16	8
17:13:11	666	76	16	8
17:31:07	639,5	76	15	8
17:53:33	713,9	73	14	6
18:11:33	666	73	15	4
18:33:59	794,2	70	14	4
18:56:25	713,9	70	14	3
19:14:26	713,9	70	14	1
19:36:57	794,2	75	12	1
19:59:28	703,6	75	12	0
20:21:49	756,1	75	12	0

UBATE 10-12-2018				
Hora	**Polución**	**Humedad**	**Temperatura**	**Índice UV**
20:39:49	765,8	81	11	0
20:57:45	662,3	81	11	0
21:15:46	690,7	82	11	0
21:38:27	742,3	88	10	0
22:03:11	703,6	88	10	0

Fuente Elaboración propia.

En el cuadro 12 se puede apreciar la correlación que hay entre las variables de la Provincia de Ubaté. se aprecia la correlación inversa muy leve entre humedad y temperatura, una relación directa fuerte entre temperatura e índice UV y una relación inversa leve entre humedad e índice UV.

Cuadro 12. Correlación entre las variables en Ubaté

CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES UBATÉ 10-12-17				
	Polución	**Humedad**	**Temperatura**	**Radiación**
Polución	1			
Humedad	-0,05847655	1		
Temperatura	0,07439916	-0,11417496	1	
Radiación	-0,03699398	-0,29707689	0,66276519	1

Fuente Elaboración propia.

En el cuadro 13 se aprecia la determinación entre las variables en la ciudad de Medellín

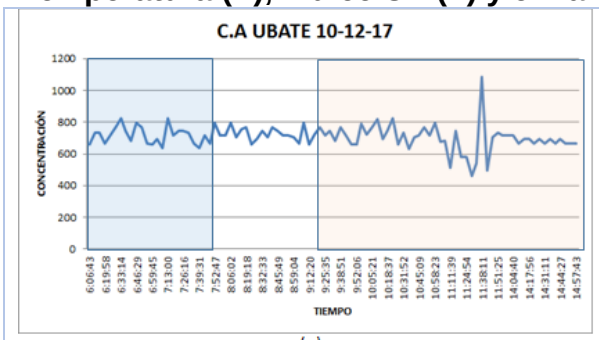
Cuadro 13. Relación de Datos Tomados en Ubaté

DETERMINACIÓN ENTRE VARIABLES UBATÉ 10-12-17				
	Polución	**Humedad**	**Temperatura**	**Radiación**
Polución	1			
Humedad	0,34%	1		
Temperatura	0,55%	1,30%	1	
Radiación	0,14%	8,83%	43,93%	1

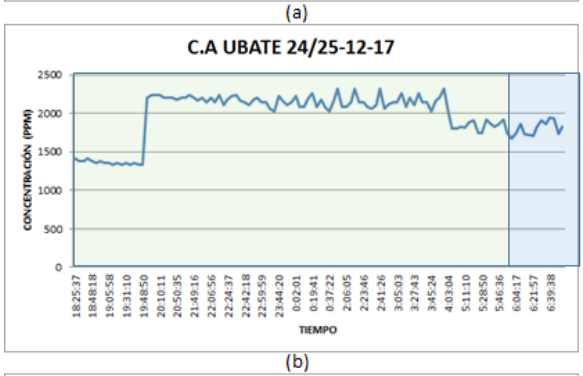
Fuente Elaboración propia.

En la figura 15 se observa las gráficas de monitoreo de la Provincia de Ubaté, donde se observó en la franja azul correspondiente a las 6 am un porcentaje alto que varía de forma similar durante la mañana gráfica (a), (b) y (c), en la franja rosada se observa la ampliación de la variación que corresponde a horas de la tarde y en la noche en la franja verde se amplían los niveles.

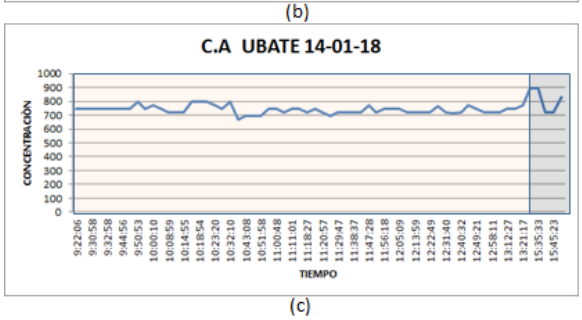
Figura 15. Relación de Variables de, Calidad de Aire (A) (B) (C), Humedad (D), Temperatura (E), Índice UV (F) y en la Ciudad de Ubaté



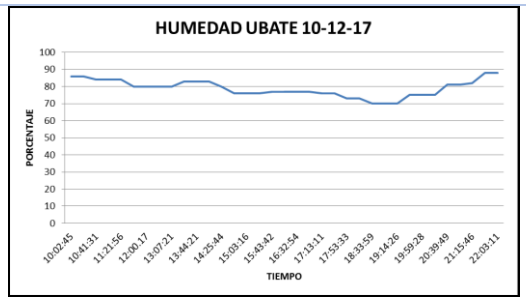
(a)



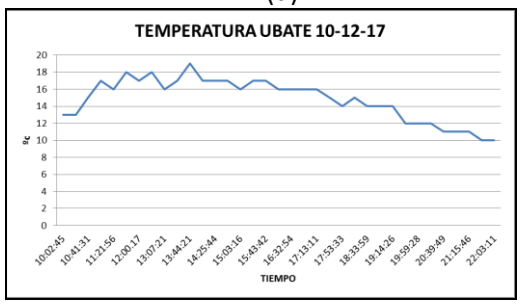
(b)



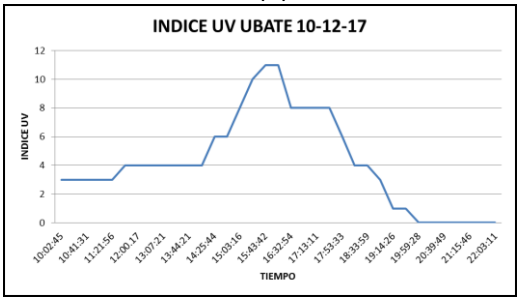
(c)



(d)



(e)

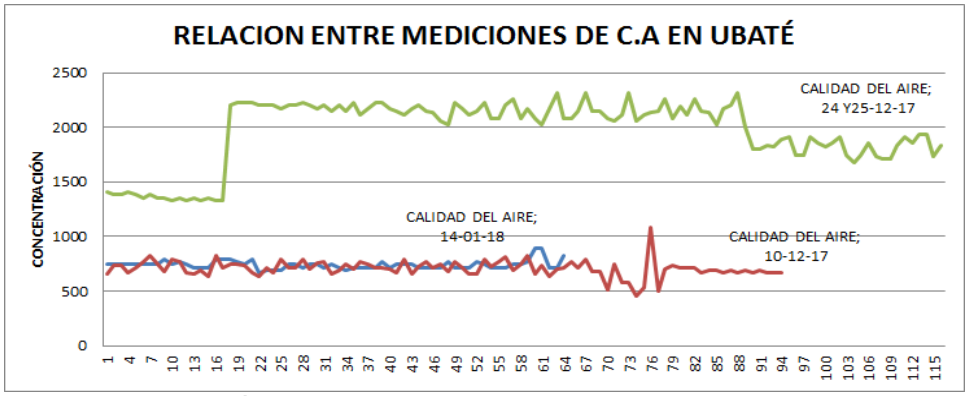


(f)

Fuente Elaboración propia.

En la figura 16 se muestra la diferencia en las mediciones de calidad del aire en la Provincia.

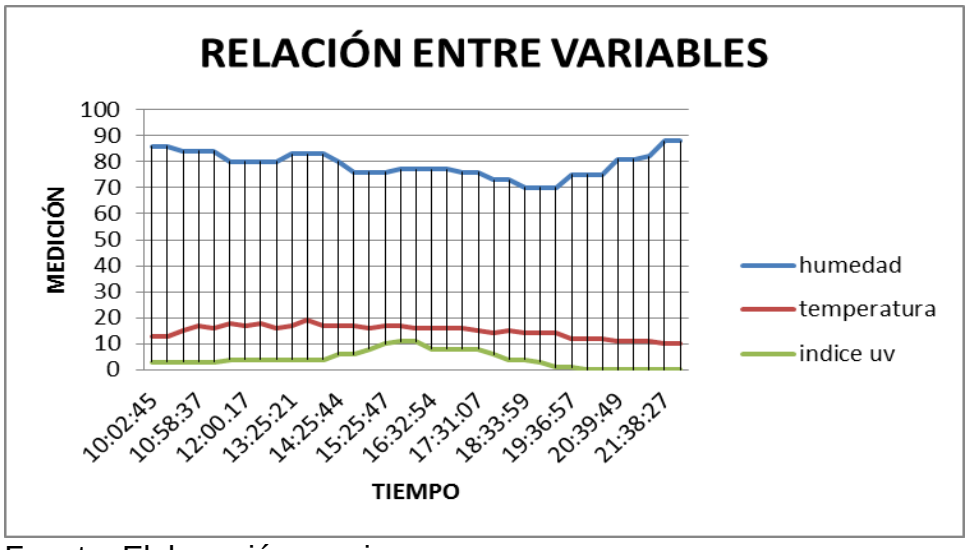
Figura 16. Comparación de las Mediciones de la variable de calidad de aire en las tres fechas en la provincia de Ubaté



Fuente Elaboración propia.

En la figura 17 se aprecia la correlación inversa muy leve entre humedad y temperatura, una relación directa fuerte entre temperatura e índice UV, donde a medida que va aumentando la temperatura también va aumentado el índice UV, y una relación inversa leve entre humedad e índice UV donde a medida que va disminuyendo la humedad, va aumentado el índice UV.

Figura 17. Comparación de Variables de Humedad, Temperatura e Índice UV en la Ciudad de Ubaté



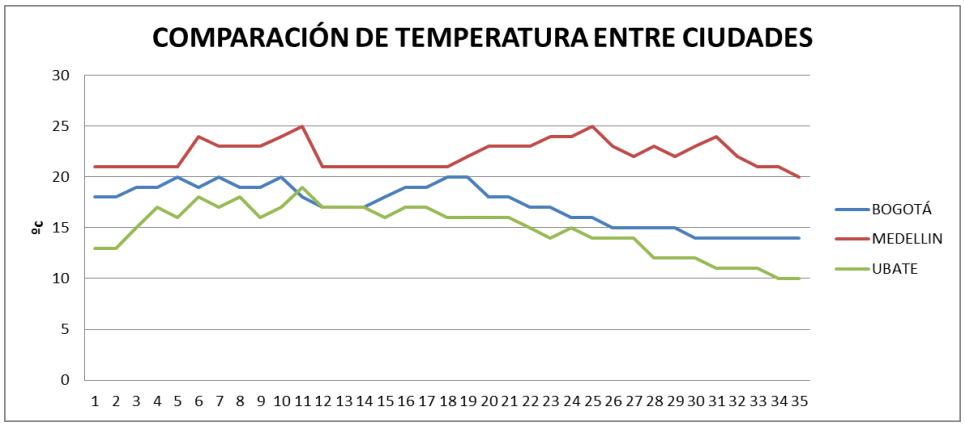
Fuente Elaboración propia.

4.6 COMPARACION ENTRE CIUDADES

A continuación se presentan las gráficas de comparación de cada una de las variables entre las ciudades donde se hicieron las tomas de datos.

En cuanto a la temperatura, se pudo apreciar que la correspondiente a Medellín fue siempre mayor siendo coherente con los msnm a que se encuentre, en tanto como Bogotá y la Provincia de Ubaté se encuentran sobre los 2000 m.s.n.m. se puede apreciar que sus temperaturas en algunas ocasiones y por la época del año no superan los 20ºC como se aprecia en la figura 18.

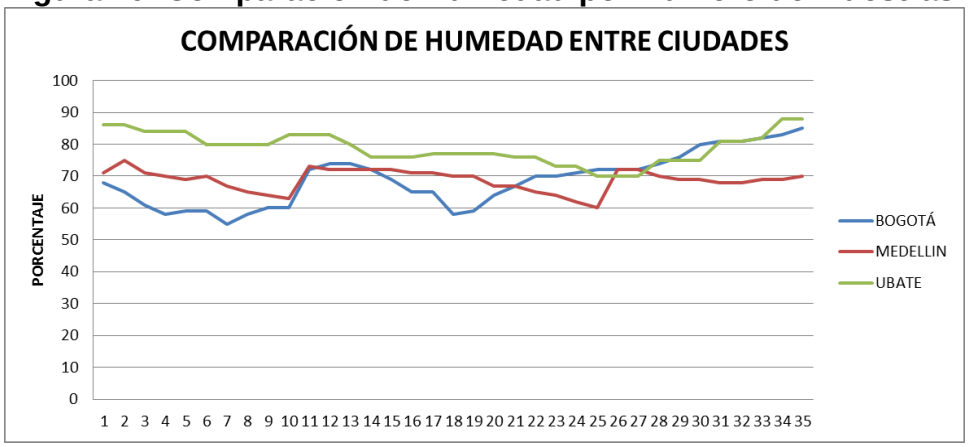
Figura 18. Comparación de Temperatura por Número de Muestras



Fuente Elaboración propia.

Aunque se puede pensar que a menor temperatura mayor humedad, en Medellín se pudo apreciar que a pesar de las altas temperaturas también se obtuvieron valores altos de humedad inclusive muy entrada la noche.

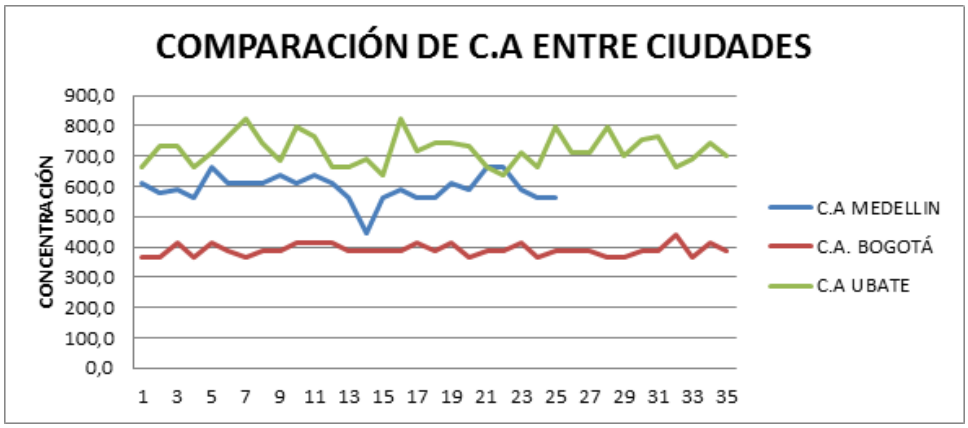
Figura 19. Comparación de Humedad por Número de Muestras



Fuente Elaboración propia.

En cuanto a calidad del aire, contrario a lo que se pensaba, los valores obtenidos en la provincia de Ubaté fueron mayores a los arrojados en las mediciones de Bogotá y Medellín, esto debido a que la villa de Ubaté se encuentra en una zona que ocupa la cuarta posición dentro de las poblaciones más contaminadas del departamento de Cundinamarca.

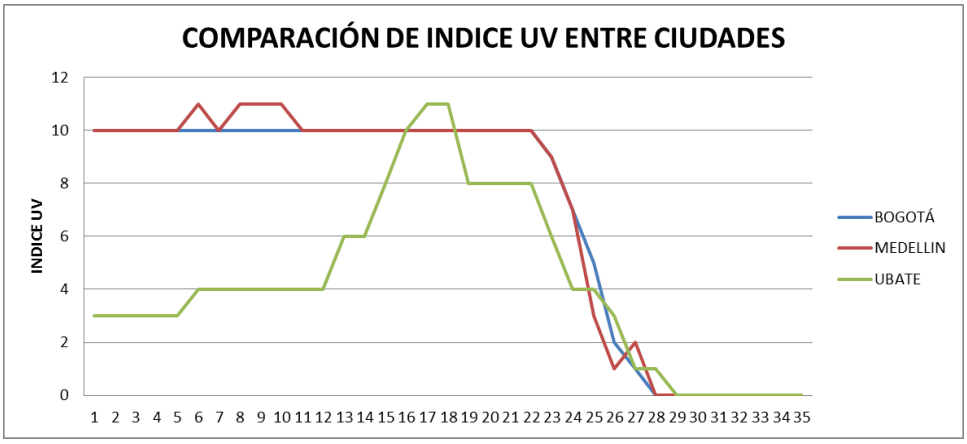
Figura 20. Comparación de Calidad del Aire por Número de Muestras



Fuente Elaboración propia.

El Índice de radiación UV se mantuvo alto la mayor parte de las mediciones aún con nubosidad alta, esto debido al Efecto Aldebo[20] el cual genera valores altos de radiación por la reflexión en diferentes superficies.

Figura 21. Comparación de Índice UV por Número de Muestras



Fuente Elaboración propia.

[20] *La capacidad que tienen las diferentes superficies para reflejar una determinada fracción de la energía solar que reciben.*

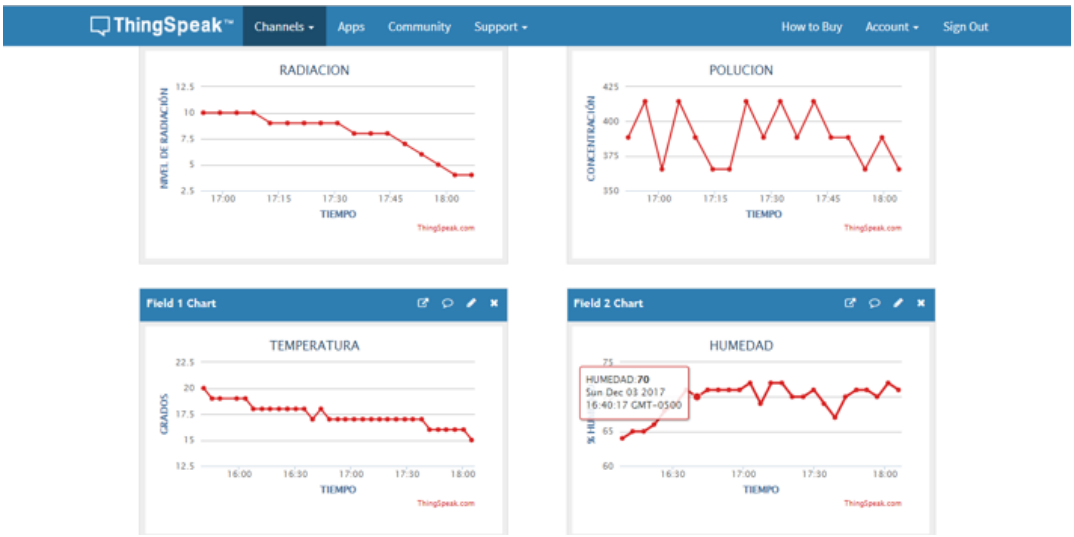
De las figuras se puede inferir que, en climas fríos como Bogotá y Ubaté, a medida que va llegando la noche la humedad va aumentando mientras que la temperatura disminuye, caso contrario a lo que pasa en Medellín, donde al ir pasando las horas la humedad disminuye mientras que la temperatura va aumentando.

Aunque la poca presencia de nubes aumenta la intensidad de la radiación UV, cuando está nublado o hay neblina también se pueden obtener valores altos debido a la dispersión, la que puede producir el mismo efecto que la reflexión o el albedo en diferentes superficies como el cemento, el agua o el asfalto.

Además, las características geográficas afectan la calidad del aire dado que en condiciones meteorológicas de transición entre la temporada de sequía y la temporada de lluvia favorece la formación de nubes espesas de baja altura que impiden tanto la entrada de radiación solar hasta la superficie como la salida de la radiación existente, generando una acumulación de contaminantes en la parte baja de la atmosfera emitidos por fuentes fijas y móviles, generando de esta manera la no remoción de material particulado por acción del viento debido a la altura de las montañas, caso presente en el valle de aburra y en Bogotá que es una planicie bordeada en el costado oriental por montañas.

Como se había mencionado anteriormente, la plataforma IoT seleccionada para el registro de información fue ThingSpeak ™ la cual es un servicio web gratuito que permite recopilar y almacenar por dos años hasta 3´000.000 de datos de sensores en la nube, en la Figura 21 se observan las gráficas que generó la plataforma para las variables de radiación, temperatura, humedad relativa y material particulado (polución) para Bogotá y en la Figura 22 muestra la misma información para la ciudad de Medellín.

Figura 22. Variables para radiación, temperatura, humedad relativa y material particulado (polución) para Bogotá



Fuente Elaboración propia.

En la figura 23 se muestran las gráficas de variables para radiación, temperatura, humedad relativa y polución para Medellín generadas por la plataforma.

Figura 23. Variables para radiación, temperatura, humedad relativa y material particulado (polución) para Medellín



Fuente Elaboración propia.

En las tres ciudades se tomaron los datos y se compararon frente a estaciones cercanas del IDEAM, en el cuadro 14 se observa la comparación, así mismo se comparó para el caso de Bogotá en calidad de aire con el observatorio ambiental teniendo un valor de concentración PM10 47µg/m³ considerada como buena y en la ciudad de Medellín se comparó con los datos del SIATA la calidad de aire obteniendo una calificación de moderada y de índice UV de muy alta.

Cuadro 14. Comparación de datos de la estación frente a los datos del IDEAM

CIUDAD	VARIABLE	DATOS DISPOSITIVO		DATOS IDEAM	
		Min.	Max.	Min.	Max.
BOGOTÁ 03-12-2017	TEMPERATURA	14	20	9	20
	HUMEDAD	55%	83%	57%	84%
	CALIDAD DEL AIRE	437 ppm			
	INDICE UV.	11		muy alta	
MEDELLÍN 13-11-2017	TEMPERATURA	21	25	19	25
	HUMEDAD	72%	91%	74%	96%
	CALIDAD DEL AIRE	666 ppm.			
	INDICE UV.	10		muy alta	
PROVINCIA DE UBATE 10-12-2017	TEMPERATURA	10	19	9	21
	HUMEDAD	76%	91%	76%	95%
	CALIDAD DEL AIRE	794 p.p.m			
	INDICE UV.	11		muy alta	

Fuente Elaboración propia.

Si bien el objetivo principal del proyecto es el de poner en marcha un dispositivo de monitoreo de bajo costo y probar su efectividad, el tiempo de monitoreo aunque es demasiado corto para definir patrones e identificar conclusiones más profundas, permite evidenciar que el aire de Medellín es más contaminado que el de Bogotá, concordando con las mediciones que ha hecho el IDEAM[21] y con la información del Departamento Nacional de Planeación, el cual indica que el porcentaje de muertes atribuibles a calidad del aire en el valle de Aburra es mayor al de Bogotá. En estas mediciones no aparece la Provincia de Ubaté, debido a que no hay una estación de monitoreo como tal en la zona, con lo que se podría pensar que al haber poblaciones en el país que no cuentan con ningún sistema de monitoreo de calidad del aire, estas podrían tener valores muy por encima de los que presentan Bogotá y Medellín, y sus habitantes no saben qué tipo de aire están respirando y si este les está generando afectaciones en su salud.

[21] IDEAM. Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2017. Primera Edición. Bogotá, D.C., 2018.

4.7 EFECTOS SOBRE LA SALUD ASOCIADOS A LAS VARIABLES ANALIZADAS

De acuerdo a los rangos de mediciones tomadas, resulta de importancia identificar el impacto del comportamiento de las variables analizadas en la población en general, ya que se encontró que el nivel de calidad de aire para Bogotá está entre 365 y 438 ppm, para Medellín oscila entre 564 y 666 ppm. y en la provincia de Ubaté entre 639 y 2350 ppm, lo que se puede interpretar como un riesgo bueno, moderado y dañino para la salud respectivamente como se mencionó anteriormente

Ahora, en lo que respecta a radiación, en las tres ciudades en las que se realizaron las mediciones se obtuvieron valores de 10 en la escala de índice UV de la OMS. Si bien pequeñas cantidades de radiación UV-B son beneficiosas para personas en el proceso de la síntesis dérmica de la vitamina D y para tratar enfermedades como el raquitismo, la psoriasis y el eczema, a diferencia de las otras variables analizadas, los efectos de la radiación UV-B no son observables de manera inmediata, como es el caso de la reducción de la eficiencia del sistema inmunológico, cataratas, manchas en la piel, pterigios y el cáncer de piel, el cual puede aparecer muchos años después de una exposición excesiva a la luz solar.

En lo que respecta al desarrollo teórico a nivel nacional y local existe poca información relacionada con las enfermedades y muertes asociadas a las variables analizadas y su correspondiente carga económica, tal y como lo indica el Instituto Nacional de Salud en su Informe Técnico Especial 10 “CARGA DE ENFERMEDAD AMBIENTAL EN COLOMBIA” para el año 2018, en el cual hace un análisis de la literatura existente sobre el tema, encontrando falencias en la información disponible, este documento se centra mayoritariamente en el análisis de las enfermedades y/o muertes relacionadas con la calidad del aire y del agua, dejando de lado las enfermedades y muertes que se generan por radiación UV-B.

Indica que las muertes (prevenibles) relacionadas directamente con factores de riesgo ambiental como aire, agua y otros (cuadro 15) para el año 2016 sumaron un total de 17.549, de las cuales 15.681 fueron causadas directamente por la calidad del aire (cuadro 16), generando una carga económica indirecta de 545.000 millones de pesos en el escenario promedio, correspondientes al 0,0678% del PIB nacional para ese año[22]. Los cuadros que siguen muestran más detalladamente la relación entre el factor de riesgo, el número de muertes y la carga económica atribuibles

[22] Instituto Nacional de Salud, Observatorio Nacional de Salud, Carga de Enfermedad Ambiental; Décimo Informe Técnico Especial (Pag. 108). Bogotá, D.C., 2018.

Cuadro 15. Muertes atribuibles por factores de riesgo ambiental

FACTOR DE RIESGO	MUERTES ATRIBUIBLES	CARGA ATRIBUIBLE EN TASA POR 100.000 HABITANTES
Aire	15.681	619,78
Agua	1.209	70,31
Otros	871	42,83
TOTAL*	**17.549**	**724,67**

*No corresponde a la suma de los factores, pues hay exposiciones concomitantes a los factores de riesgo ambiental.
Fuente: Instituto Nacional de Salud

En el cuadro 16 se encuentran las 6 enfermedades que el Instituto Nacional de Salud le atribuye a la calidad del aire y las muertes que estas enfermedades generaron en el país para el año 2016.

.

Cuadro 16. Muertes atribuibles por enfermedad

ENFERMEDAD	MUERTES ATRIBUIBLES	CARGA ATRIBUIBLE EN TASA POR 100.000 HABITANTES
Enfermedad Isquémica del Corazón EIC	7.330	290,15
Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica EPOC	3.873	143,99
Infección Respiratoria Aguda Baja IRAB	1.809	65,62
Enfermedad Cardiovascular ECV	1.929	82,83
Cáncer de Pulmón	840	35,46
Cataratas	0	1,82
TOTAL	**15.681**	**619,78**

Fuente: Instituto Nacional de Salud.

Respecto a esta carga económica en este informe se señala que los departamentos de Antioquia, Atlántico, Valle del Cauca y la ciudad de Bogotá representan el 42%[23] del total de la misma.

Por otra parte, el Departamento Nacional de Planeación en su página web, indica que para el 2017 en Bogotá el 10,5% (3.219) del total de las muertes que se presentaron en la ciudad fueron atribuidas a la contaminación del aire urbano, lo que generó costos estimados en $4,2 billones de pesos, equivalentes al 2,5% del PIB de la ciudad, mientras que en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, el 12,3% (2.105) del total de las muertes que se presentaron fueron atribuidas a la contaminación del aire urbano, lo que generó costos estimados en $2,8 billones de pesos, equivalentes al 5% del PIB del área[24].

[23] https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradaci%C3%B3n-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-$20,7-billones-.aspx.
[24] Ídem.

Otra entidad de orden nacional como el IDEAM, en su documento denominado “ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR, ULTRAVIOLETA Y OZONO DE COLOMBIA” del año 2017 habla sobre los efectos de esta en el cuerpo humano, pero lo hace a nivel general, sin especificar sobre el caso colombiano, y manejando la misma información que usó la OMS en su guía práctica “INDICE UV SOLAR MUNDIAL” de 2003. Por ultimo tenemos a nivel local a la Secretaría Distrital de Salud, la cual cuenta con varios grupos de investigación, pero ninguno de ellos trabaja temas relacionados con el cambio climático y sus efectos en la salud, salvo un artículo publicado en 2005 sobre los efectos de la calidad del aire en la capital del país.

Por lo anterior el monitoreo constante de las variables es de gran importancia para la población en general, así como la existencia de sistemas de alerta temprana que permita la toma de decisiones que van desde acciones de prevención durante el desarrollo de actividades al aire libre o en aquellas personas que por sus actividades laborales están expuestas por un tiempo prolongado a estados críticos de estas variables, hasta la implementación de las recomendaciones basadas en información de la OMS, las cuales se muestran en la tabla 1 para ICA y la tabla 2 para IUV-B, con las cuales se pueden generar estrategias para el control y/o disminución del riesgo, pudiendo con esto evitar enfermedades y/o la muerte asociadas a estas, entendiendo que no todas las personas tienen la misma sensibilidad y capacidad del organismo para adaptarse o recuperarse de los efectos de las variables analizadas.

Tabla 1. Categorías de ICA, Efecto Sobre la Salud y Sugerencias Basado en Información de la OMS y EPA-US

PUNTOS DE CORTE INDICE DE CALIDAD DEL AIRE-ICA			
ICA	**CLASIFICACIÓN**	**EFECTOS EN LA SALUD**	**SUGERENCIAS**
0-50	**BUENA**	Ningún efecto	NINGUNA
51-100	**MODERADA**	Ningún efecto para la salud de la población en general	NINGUNA
101-150	**DAÑINA A LA SALUD PARA GRUPOS SENSIBLES**	Aumento de molestias en personas con padecimientos respiratorios y cardiovasculares; aparición de ligeras molestias en la población en general.	Personas con enfermedades respiratorias deben reducir la actividad física al aire libre
151-200	**DAÑINA A LA SALUD**	Agravamiento significativo de la salud en personas con enfermedades cardiacas o respiratorias. Afectación de la población sana.	Personas con enfermedades respiratorias deben reducir la actividad física prolongada al aire libre, especialmente los niños.
201-300	**MUY DAÑINA A LA SALUD**	Agravamiento significativo de la salud en personas con enfermedades cardiacas o respiratorias. Afectación de la población sana.	Personas con enfermedades respiratorias deben evitar cualquier actividad al aire libre; todos los demás, especialmente los ancianos y niños, deben reducir el
301-500	PELIGROSA	Alto riesgo para la salud de la población. Aparición de efectos al nivel de daño.	Todos deben evitar cualquier esfuerzo al aire libre, las personas con enfermedades respiratorias no deben estar al aire libre

Fuente Elaboración propia.

Para la radiación UV-B se recomienda usar la protección pertinente dependiendo del tipo de piel, protegerse en las horas de mayor incidencia de esta (entre las 10:00 y las 14:00) y recordar que aunque este nublado ciertas superficies pueden reflejar la radiación debido al efecto aldebo.

Tabla 2. Categorías de Exposición a la Radiación y Sugerencias Basado en Información de la OMS

TABLA DE COLORES			
INTERVALO DE VALORES DE IUV	CATEGORIA DE EXPOSICIÓN	PROTECCIÓN	SUGERENCIA
1-2	BAJO	NO NECESITA	Puede permanecer en el exterior sin riesgo.
3-5	MEDIO	NECESITA	Manténgase a la sombra durante las horas del día.
6-7	ALTO	NECESITA	Póngase camisa, crema de protección solar y sombrero.
8-10	PELIGROSO	NECESITA PROTECCIÓN EXTREMA	Son imprescindibles camisa, crema de protección solar y sombrero.
11 y más	EXTREMO	NECESITA PROTECCIÓN EXTREMA	Busque la sombra. Evite salir durante las horas centrales del día.

Fuente Elaboración propia.

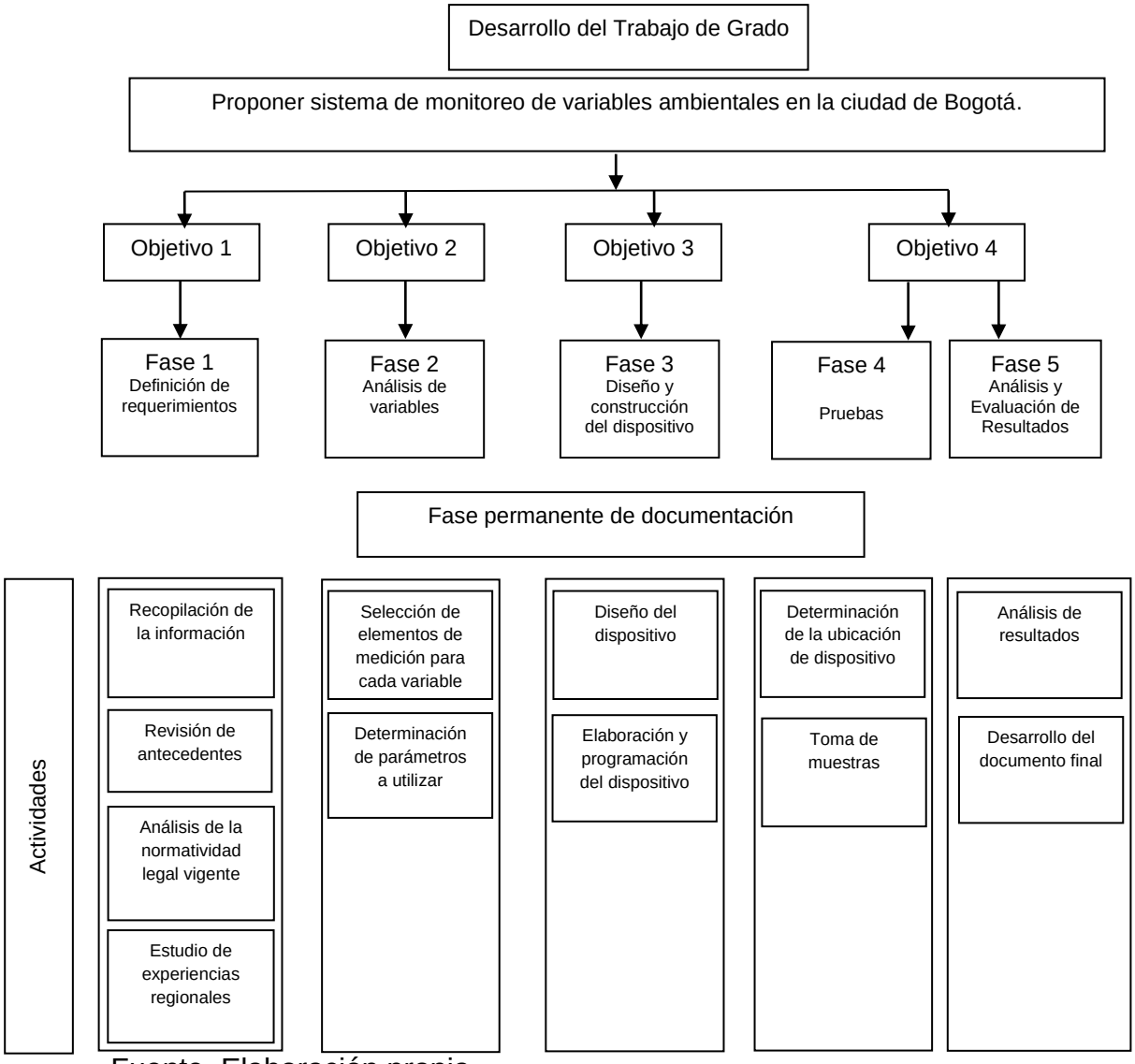
Sobra decir que para permitir la toma de decisiones oportuna la población debe contar con un sistema de información inmediato, con lenguaje comprensible y entendible por cualquier persona sin importar su grado de escolaridad, que facilite actuar y adaptarse a situaciones cambiantes reduciendo así su vulnerabilidad y las consecuencias derivadas de la exposición de las mismas, impacto que se vería reflejado en el gasto asociado a ello y cargado al sistema de salud nacional por enfermedad y muerte.

5. RESUMEN DE RESULTADOS DEL DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

5.1 RESULTADOS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS

En la Figura 24 se observa un modelo con el resumen de resultados del desarrollo del trabajo de grado asociado con cada uno de los objetivos específicos, las fases y las actividades que se realizaron para alcanzar el objetivo del proyecto de investigación.

Figura 24. Resumen Propuesta Metodológica



Fuente Elaboración propia.

Para cumplir el objetivo 1 se recopiló información sobre la la legislación nacional vigente y algunos componentes internacionales con el fin de elaborar un normograma donde se pudiera apreciar las implicaciones legales del trabajo que se realizó. Así mismo se analizaron varias de las experiencias regionales tanto a nivel nacional como internacional, para tener un panorama en cuanto a las variables relevantes que se podían analizar inicialmente debido al incremento en las amenazas meteorológicas generadas por el cambio climático.

En el objetivo 2 se tuvo en cuenta las características ambientales de Bogotá, los antecedentes de eventos y el análisis de vulnerabilidad ante posibles sucesos que pueden presentarse en la ciudad para poder identificar las variables a medir. Con base en esto se analizaron los sensores de bajo costo que estuvieran en el mercado y que nos pudieran dar fiabilidad en cuanto a precisión y rango de trabajo en los valores de medición para cada una de las variables ambientales a analizar, y se determinó que el sistema Arduino es el que mejores características y condiciones ofrecía para este trabajo, además permitía conectarnos a internet para poder mostrar en tiempo real la información al público y para almacenar datos y con esto poder generar históricos.

Con los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de la carrera se diseñó el dispositivo utilizando la herramienta computacional Solid Edge, donde se priorizó la optimización del espacio en donde se pudieran ubicar los sensores sin que existiera interferencia entre estos, dado que está la posibilidad de usar más sensores y así medir un amplio número de variables. Paralelamente a esto se trabajó en la creación del código utilizando el lenguaje de programación del sistema Arduino, en el cual se estableció una fórmula para que los datos de Radiación UV correspondieran con la escala de peligrosidad para la vida humana definida por la OMS de 1 para el más bajo, hasta 11para el más alto. Así se dio cumplimiento al tercer objetivo

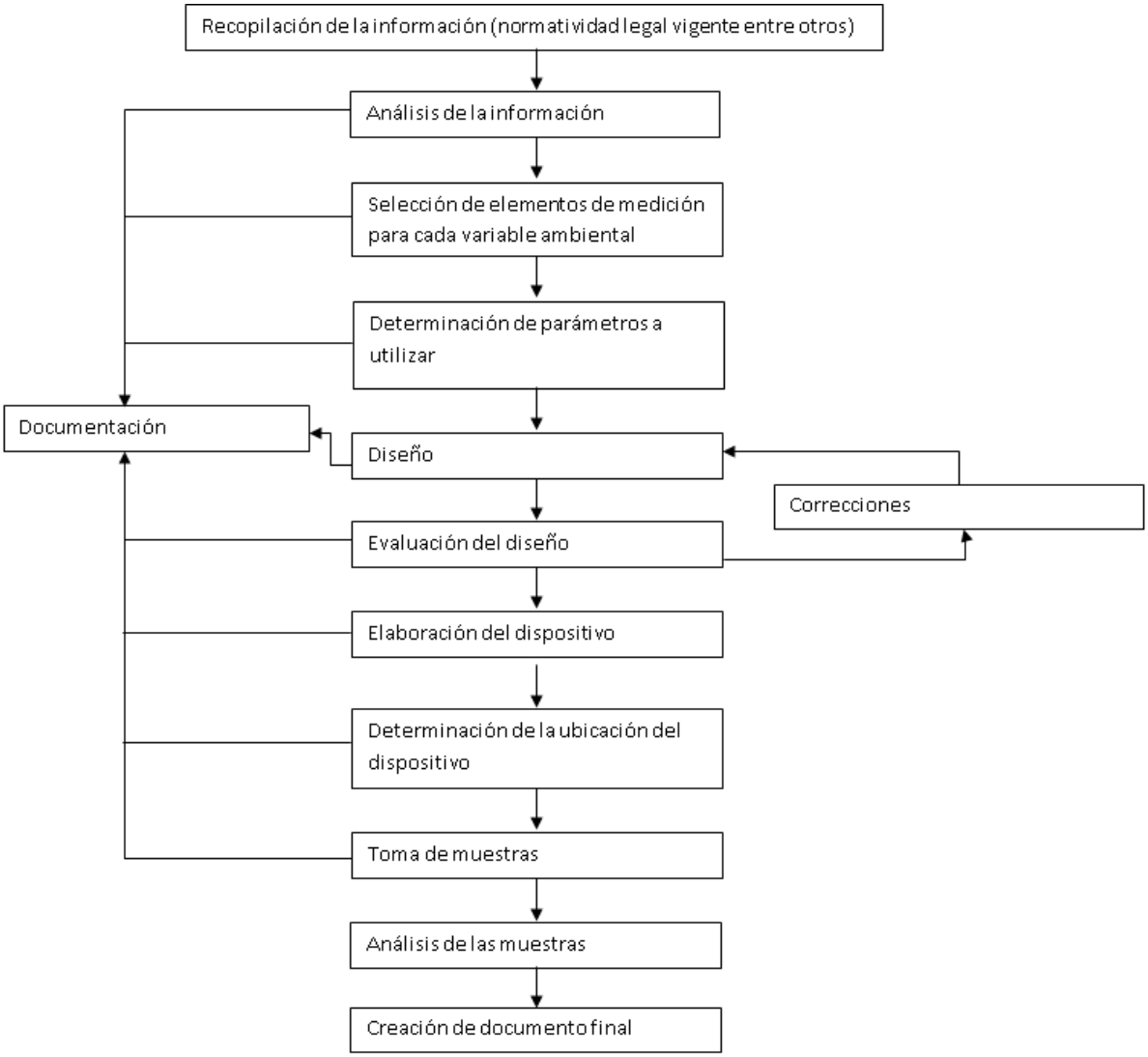
Para realizar cumplir con el objetivo 4, se tuvo en cuenta la ubicación de las estaciones instaladas por el IDIGER en Bogotá, las del SIATA en Medellín y las de SISAIRE-CAR 19 para la Provincia de Ubaté, esto con el fin de poder contrastar los resultados obtenidos. Después se realizaron 15.946 mediciones con un intervalo aproximado de 5 minutos entre cada grupo de mediciones. Esta información se analizó y se evaluó para con esto generar el documento final.

Y cumpliendo con el objetivo general, se obtuvo un dispositivo que permitió medir la calidad del aire y las variables ambientales de humedad, temperatura, radiación UV el cual puede estar a disposición tanto de los organismos de control y monitoreo de variables ambientales del distrito capital o del país, como de comunidades vulnerables que necesiten monitoreo constante de calidad de aire y de las condiciones meteorológicas y que económicamente no puedan costear los equipos de medición de variables ambientales convencionales.

5.2 RESUMEN DEL PROCESO METODOLÓGICO SEGUIDO

En la figura 25 se encuentra resumido el plan de trabajo donde se puede apreciar el consecutivo para obtener como resultado final este trabajo.

Figura 25. Resumen del plan de trabajo



Fuente Elaboración propia.

6. CONCLUSIONES

Este dispositivo fue desarrollado a partir de los conocimientos adquiridos durante la malla curricular diseñada para la formación como ingeniero, aplicando conocimientos de diseño y modelado por computador, uso y empleo de tecnologías de la información y hardware libre y empleo de fundamentos de electrónica y matemáticas.

El objeto final estuvo centrado en la generación de un dispositivo con un bajo costo, con el fin de ponerlo a disposición tanto de los organismos de control y monitoreo de variables ambientales del distrito capital o del país, como de comunidades vulnerables que necesiten monitoreo constante de calidad de aire (generada por las fuentes fijas y móviles) y de las condiciones meteorológicas en tiempo real localmente y que se les hace imposible acceder a los costosos equipos de medición de variables ambientales convencionales.

Es por lo anterior que cobra mayor relevancia el desarrollo y multiplicación de dispositivos a bajo costo como este, el cual tiene, como valor agregado la posibilidad de instalación de hasta 8 sensores para monitorear diferentes variables y con esto asegurar la obtención de la mayor cantidad de datos e información y así recrear modelos para predecir efectos futuros; es compacto, con una carcasa resistente y presenta bajo consumo energético (puede funcionar con una batería recargable), características que permite sea ubicado en casi cualquier ambiente del país y es de fácil mantenimiento así como un fácil cambio y calibración de los sensores, entre otros.

Después de realizar varias mediciones se pudo establecer que los datos arrojados por el dispositivo son muy exactos, no obstante, es recomendable ajustar el dispositivo a los valores de Calidad de Aire empleados por la OMS, ya que los obtenidos con el dispositivo están dados en ppm.

Con su bajo costo, unos US 160 aproximadamente, incluyendo la carcasa, hace posible replicarlo en masa para realizar tomas de datos puntuales en diferentes lugares y con esto establecer una red de monitoreo para toda una ciudad en la cual los instituciones encargadas y/o el ciudadano común puede acceder a los datos de su interés en tiempo real.

Al utilizar la plataforma de IoT de libre acceso (ThingSpeak) esta permite visualizar, graficar la información de hasta 8 sensores diferentes de forma simultanea para cada dispositivo y configurar alertas por twitter si así se requieren; almacenar hasta 3`000.000 de datos al año para proporcionar información de referencia; realizar análisis y procesamiento en línea de los datos a medida que se producen; y lo más importante, generar históricos.

De las figuras se puede inferir que, en climas fríos como Bogotá y Ubaté, a medida que va llegando la noche la humedad va aumentando mientras que la temperatura disminuye, caso contrario a lo que pasa en Medellín, donde al ir pasando las horas la humedad disminuye mientras que la temperatura va aumentando.

Aunque la poca presencia de nubes aumenta la intensidad de la radiación UV, cuando está nublado o hay neblina también se pueden obtener valores altos debido a la dispersión, la que puede producir el mismo efecto que la reflexión o el albedo en diferentes superficies como el cemento, el agua o el asfalto.

La OMS en materia de radiación UV creó unos valores de referencia con un lenguaje sencillo, en las que se agrupan en categorías los diferentes valores del Índice UV (medida de la intensidad de la radiación UV sobre la superficie terrestre), en las que también brinda recomendaciones de protección solar asociadas a los diferentes valores de IUV. La siguiente tabla es un resumen de toda esta información.

Tabla 3. Categorías de Exposición a la Radiación y Sugerencias Basado en Información de la OMS

TABLA DE COLORES			
INTERVALO DE VALORES DE IUV	CATEGORIA DE EXPOSICIÓN	PROTECCIÓN	SUGERENCIA
1-2	BAJO	NO NECESITA	Puede permanecer en el exterior sin riesgo.
3-5	MEDIO	NECESITA	Manténgase a la sombra durante las horas del día.
6-7	ALTO	NECESITA	Póngase camisa, crema de protección solar y sombrero.
8-10	PELIGROSO	NECESITA PROTECCIÓN EXTREMA	Son imprescindibles camisa, crema de protección solar y sombrero.
11 y más	EXTREMO	NECESITA PROTECCIÓN EXTREMA	Busque la sombra. Evite salir durante las horas centrales del día.

Fuente Elaboración propia.

Las características geográficas afectan la calidad del aire dado que en condiciones meteorológicas de transición entre la temporada de sequía y la temporada de lluvia favorece la formación de nubes espesas de baja altura que impiden tanto la entrada de radiación solar hasta la superficie como la salida de la radiación existente, generando una acumulación de contaminantes en la parte baja de la atmosfera emitidos por fuentes fijas y móviles, generando de esta manera la no remoción de material particulado por acción del viento debido a la altura de las montañas, caso presente en el valle de aburra y en Bogotá que es una planicie bordeada en el costado oriental por montañas.

Después de analizar el dispositivo se pudo determinar que ya que se empleó una tarjeta Arduino Mega es posible instalarle un anemómetro profesional, esto con el fin de poder medir la dirección del viento. Aunque este anemómetro puede tener un precio de hasta 70 dólares, el dispositivo seguiría siendo de bajo costo.

Se pudo observar en la provincia de Ubaté que los datos recogidos para Calidad del Aire, en la segunda medición figura 15 b, entre las 18:05 del 24/12/17 y las 06:39 del 25/12/17 mostraron valores muy altos, en algunas ocasiones hasta el triple de los valores de las mediciones de los otros días, esto posiblemente generados por el uso de pólvora que es muy habitual en esa fecha en la región.

La contaminación del aire es una de las principales causas evitables de morbilidad y mortalidad en el mundo y en la siguiente tabla se agrupan por colores las diferentes categorías de Índice de Calidad del Aire-ICA basada en información de la OMS y la EPA-US.

Tabla 4. Categorías de ICA, Efecto Sobre la Salud y Sugerencias Basado en Información de la OMS y EPA-US

PUNTOS DE CORTE INDICE DE CALIDAD DEL AIRE-ICA			
ICA	**CLASIFICACIÓN**	**EFECTOS EN LA SALUD**	**SUGERENCIAS**
0-50	**BUENA**	Ningún efecto	NINGUNA
51-100	**MODERADA**	Ningún efecto para la salud de la población en general	NINGUNA
101-150	**DAÑINA A LA SALUD PARA GRUPOS SENSIBLES**	Aumento de molestias en personas con padecimientos respiratorios y cardiovasculares; aparición de ligeras molestias en la población en general.	Personas con enfermedades respiratorias deben reducir la actividad física al aire libre
151-200	**DAÑINA A LA SALUD**	Agravamiento significativo de la salud en personas con enfermedades cardiacas o respiratorias. Afectación de la población sana.	Personas con enfermedades respiratorias deben reducir la actividad física prolongada al aire libre, especialmente los niños.
201-300	**MUY DAÑINA A LA SALUD**	Agravamiento significativo de la salud en personas con enfermedades cardiacas o respiratorias. Afectación de la población sana.	Personas con enfermedades respiratorias deben evitar cualquier actividad al aire libre; todos los demás, especialmente los ancianos y niños, deben reducir el
301-500	PELIGROSA	Alto riesgo para la salud de la población. Aparición de efectos al nivel de daño.	Todos deben evitar cualquier esfuerzo al aire libre, las personas con enfermedades respiratorias no deben estar al aire libre

Fuente Elaboración propia.

7. RECOMENDACIONES

Basados en el código internacional de colores definido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el PNUD y la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante para el IUV y para el ICA, se podrían instalar en sitios públicos o en los lugares de mayor afectación solmáforos25 y/o semáforos de ICA con la información concerniente a las sugerencias dependiendo de su respectivo índice para alertar de forma inmediata y permanente a la población.

El estado debe proponer una política pública que articule a partir de la UNIDAD NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO todos los organismos y entidades descentralizados del orden nacional hasta municipal para que se puedan implementar de forma conjunta los planes, programas y proyectos que establezca el mismo estado.

Para permitir la toma de decisiones oportuna es importante que la población cuente con un sistema de información inmediato, con lenguaje comprensible y entendible por cualquier persona sin importar su grado de escolaridad, que facilite actuar y adaptarse a situaciones cambiantes reduciendo así su vulnerabilidad y las consecuencias derivadas de la exposición de las mismas, impacto que se vería reflejado en el gasto asociado a ello y cargado al sistema de salud nacional por enfermedad y/o muerte.

Con el fin de controlar y/o mitigar el riesgo, se recomienda a empresas en las que sus trabajadores estén expuestos a estas variables utilizar estos dispositivos de control de bajo costo para prevenir la aparición de enfermedades de origen laboral.

[25] *También puede ser llamado "semáforo de sol", es un semáforo que mide los niveles de radiación ultravioleta, alertando a la población por medio de un código basado en 5 colores determinados por la Organización Mundial de la Salud, OMS.*

BIBLIOGRAFÍA

A. Maskrey, Los Desastres No Son Naturales, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 1993.

A. Maskrey, Early Warning Programme Report on National and Local Capabilities for Early Warning, GENOVA, 1997.

D. S. Gómez, Metodología para la gestión de riesgos de desastres en las comunidades, basado en el marco de acción de Hyogo 2005-2015, 2012.

DESCA, «Dirección de Evaluación Seguimiento y Control Ambiental CAR,» 2017.

IDEAM. Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2017. Primera Edición. Bogotá, D.C., 2018.

Instituto Nacional de Salud, Observatorio Nacional de Salud, Carga de Enfermedad Ambiental; Décimo Informe Técnico Especial (Pag. 108). Bogotá, D.C., 2018

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE, Bogotá, 2008.

O. M. d. l. S. (OMS), Índice UV solar mundial.

ONU, Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015: Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres, 2005.

Organización Meteorológica Mundial, DIRECTRICES SOBRE SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA Y APLICACIÓN DE PREDICCIÓN INMEDIATA Y OPERACIONES DE AVISO, Ginebra, 2010.

Pedro Ferradas, Alcides Vilela. Revisión: Carlos Frías, Sistemas de información y alerta temprana para enfrentar al cambio climático / Editor: Grégory Damman. Colaboradores:— Lima: Soluciones Prácticas-ITDG; 2008

R. Basher, Global early warning systems for natural hazards: Systematic and people-centered, 2006.

SIATA. 2014. Sistema de Alerta Temprana Ambiental. Fecha de consulta: 20 de julio. Disponible en: https://siata.gov.co/siata_nuevo/.

SIRE. 2014. Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático. Fecha de consulta: 20 de julio de 2014. Disponible en: http://www.sire.gov.co/.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Guía para la implementación de sistemas de alerta temprana comunitarios. Bogotá, D.C., Bogotá, 2016.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Guía para la Implementación de Sistemas de alerta temprana, Bogotá, 2016.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, «Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres,» 2018. [En línea].

UNGRD, «PLAN NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES,» 2015.

ANEXO A ARTÍCULO

SISTEMA DE MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES CON HARDWARE DE BAJO COSTO, COMPARACION ENTRE BOGOTÁ, MEDELLIN Y UBATE

Dirson Hinestroza, Edgar Aguirre, Álvaro Espinel, Roberto Ferro.

Abstract—Los sistemas de alerta temprana son mecanismos que permiten mitigar los impactos de los desastres naturales por el conocimiento del riesgo que generan y/o por las alertas que estos pueden emitir. Esta investigación tiene como objetivo el estudio comparativo de las variables de temperatura, humedad relativa, índice ultravioleta (UV) y calidad de aire en las ciudades de Bogotá, Medellín y la provincia de Ubaté en Colombia, la cual se realizó mediante el uso de una estación de monitoreo de bajo costo, obteniendo resultados del comportamiento de las variables y de la relación entre estas.

Index Terms: SAT, monitoreo, temperatura, humedad relativa, UV, calidad de aire.

I. INTRODUCCION

Desde hace más de cinco décadas, dado el impacto y daños generados por los desastres asociados con fenómenos de origen natural [1], socio-natural, tecnológico y humano no intencional ha empezado a tener relevancia y a estar en la agenda pública la pertinencia de la gestión [2], seguimiento y control de situaciones de riesgo y amenazas latentes y para ello se han venido desarrollando Sistemas de Alerta Temprana –SAT- para las diferentes amenazas o riesgos. Los SAT son definidos como el conjunto de herramientas, dispositivos de control, capacidades de gestión o instrumentos tecnológicos que permiten a las comunidades expuestas a un riesgo conocer información oportuna y eficaz a través de instituciones técnicas, científicas y/o comunitarias, encaminadas a facilitar la toma de decisiones para evitar o mitigar el riesgo, disminuir su impacto y preparar la respuesta ante la posibilidad de ocurrencia del evento teniendo en cuenta sus capacidades [3]. Básicamente lo que se ha buscado es salvar vidas, reducir o evitar que se produzcan lesiones personales y disminuir al máximo las pérdidas de recursos sociales, económicos y ambientales [4], a través de la vigilancia permanente de las amenazas latentes, empleando herramientas técnicas, científicas y/o comunitarias, para que a partir de los registros y alarmas la comunidad y las entidades correspondientes respondan en el menor tiempo posible de conformidad a los planes de protección definidos con anterioridad y plasmados en planes de emergencia y contingencia.

Por tanto, cualquier desarrollo que se adelante en materia de Sistemas de Alerta Temprana es relevante y oportuno [4]. La presente investigación fue realizada en dos ciudades y una provincia de Colombia, consiste en una propuesta de sistema de monitoreo para SAT de bajo costo, buscando integrar diferentes procesos de alertas tempranas para la gestión del riesgo, en procura de territorios menos vulnerables y comunidades más resilientes.

El documento se encuentra estructurado en cuatro partes, en la primera parte se describe el problema de investigación y un breve estado del arte, en una segunda parte el diseño e implementación del modelo con cada una de sus partes, en la tercera parte se expone el estudio del caso y sus resultados y finalmente las conclusiones obtenidas.

II. MARCO DE REFERENCIA

Como se definió anteriormente un Sistema de Alerta Temprana – SAT, es una herramienta técnica con el propósito de crear condiciones para que una comunidad en un territorio actúe oportunamente ante una situación de riesgo a una amenaza latente, permitiendo así la protección de las personas y de los recursos naturales y tecnológicos.

Estos sistemas han evolucionado conforme evoluciona la ciencia y la tecnología, según Basher [5], se pueden identificar cuatro etapas:

1. Los sistemas pre-científicos, que se basan en las primeras observaciones sobre fenómenos simples como la forma de las nubes, el estado del océano o la visibilidad de las estrellas.

2. Los sistemas de alerta temprana *"ad hoc"*, que son sistemas específicos desarrollados por iniciativa de científicos o personas interesadas en el tema del riesgo.
3. Los sistemas de alerta temprana desarrollados por los servicios meteorológicos, que implican una entrega organizada, lineal y unidireccional de los productos de la alerta a los usuarios por parte de los expertos.
4. El sistema de alerta temprana integral, el cual vincula todos los elementos necesarios para la advertencia temprana y la respuesta eficaz, e incluye el papel del elemento humano del sistema y la gestión de riesgos.

Si bien su estructura también puede variar dependiendo de la complejidad, por lo general los Sistemas de Alerta Temprana – SAT, están conformados por los siguientes subsistemas [6]

- Subsistema de alerta, compuesto por las predicciones y la monitorización de los peligros a nivel nacional e internacional, el cual produce información científica que se transmite a las autoridades nacionales encargadas de los desastres.
- Subsistema de información del riesgo, el cual permite generar el escenario del riesgo e identificar los impactos potenciales, así como los grupos y sectores vulnerables que pueden verse afectados por el desastre.
- Subsistema de comunicación, cuyo objetivo es comunicar la información oportuna sobre el peligro, haciendo énfasis en los grupos vulnerables y teniendo en cuenta medidas de mitigación, escenarios potenciales de riesgo y estrategias de preparación.
- Subsistema de preparación, mediante el cual se desarrollan estrategias y acciones para reducir los daños generados por el desastre.

A nivel internacional el fomento del uso de los Sistemas de Alerta Temprana-SAT, tuvo su inicio en 1960 cuando la Organización de las Naciones Unidas (ONU) comenzó a adoptar medidas debido al incremento en las amenazas meteorológicas e hidrológicas generadas por el cambio climático, cabe resaltar que desde esta época Colombia se une por ser parte firmante. A partir de ésta década se crean las redes internacionales de pronostico y alerta de diferentes fenómenos naturales y se empiezan a implementar redes de monitoreo Hidrometeorológico en el marco de los convenios firmados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) [3].

Posteriormente mediante la resolución 2717 de 1970 de la ONU se planteó la necesidad de desarrollar estos SAT, y en 1994, en el marco de la Conferencia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción de los Desastres Naturales se establecieron las directrices para la prevención, la preparación y la mitigación de los desastres naturales en el siglo XXI. Así mismo, durante la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres, realizada en el 2005 se estableció un plan de acción conocido como el Marco de Acción de Hyogo, el cual establece las prioridades para la gestión del riesgo [7]

En Colombia con el fin de adelantar acciones de gestión del riesgo y sistemas de alerta temprana se han desarrollado labores que han evolucionado desde 1989 cuando se creó el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres, que posteriormente mediante la Ley 1523 de 2012 paso a llamarse Sistema Nacional De Gestión Del Riesgo de Desastres (SNGRD), el cual es operado por la Unidad Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (UNGRD), creada en el año 2011 por sanción presidencial. Este Sistema está integrado por 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 colombianas. [7], Actualmente el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres está compuesto por seis instancias de orientación y coordinación, quienes optimizan el desempeño y la gestión de las distintas entidades en la ejecución de acciones. Estas son:

Tabla 1. Entidades que ejecutan de acciones para la gestión del riesgo

Consejo Nacional para la Gestión del Riesgo
Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres
Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo
Comité Nacional para la Reducción del Riesgo
Comité Nacional para el Manejo de Desastres
Consejos Departamentales, distritales y municipales para la Gestión del Riesgo

Dentro del sistema se destacan el accionar de entidades de orden nacional encargadas del manejo de alertas tempranas para fenómenos a gran escala como lo son el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, la Dirección General Marítima-DIMAR, el Servicio Geológico Colombiano SGC, y la ONG Corporación OSSO. A nivel regional existen organismos bien estructurados como el de Bogotá y Medellín (los cuales se tuvieron en cuenta en la investigación) y otros como el de Manizales. A continuación, se relacionan los SAT más importantes.

Tabla 2. SAT más importantes relacionados

Sistema de alerta temprana del Distrito Capital de Bogotá.
Sistema de Alerta Temprana Ambiental (SIATA).
Sistema de alertas agroclimáticas tempranas (SAAT) cuenca alta del río Cauca.
Sistema de alerta temprana para la cuenca del río Combeima.
Sistema acústico de alerta temprana en Bucaramanga.
Sistema de alerta temprana de la Guajira.
Sistema de alerta temprana, ante eventos climáticos extremos en las cuencas de los ríos Zulia y Pamplonita, departamento de norte de Santander.
Sistemas de Alerta Temprana (S.A.T) para la Reducción del Riesgo de Inundaciones Súbitas y Fenómenos Atmosféricos en el Área Metropolitana de Barranquilla.

Sin embargo y para el caso específico de la ciudad de Bogotá se identifica que la toma de medidas de variables ambientales para alimentar el Sistema de Alerta Temprana se hace de forma parcial[26], puesto que cada entidad monitorea lo que le corresponde manejando lenguajes diferentes y no involucra todas las variables que afectan a la ciudad, aunque cabe resaltar que cuenta con un radar y una red automatizada operada por el IDIGER, caso contrario a lo que sucede en la ciudad de Medellín, donde el SIATA (Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá) cuenta con un radar y un sistema automatizado [8], donde involucra entre otras las variables de humedad, temperatura, calidad de aire para PM 10 y PM 2.5 e índice UV, haciendo posible para los organismos de respuesta y comunidad el acceso a la información y la toma de decisiones en tiempo real.

Teniendo en cuenta lo anterior la presente investigación se planteó el objetivo de diseñar e implementar a modo de prototipo un dispositivo de hardware a bajo costo para monitorear de manera integrada variables ambientales aportando de forma positiva a la toma de decisiones para gestionar alertas tempranas en la ciudad de Bogotá, así mismo realizar pruebas de verificación que permitieran comparar los valores obtenidos en las ciudades de Medellín y la provincia de Ubaté.

Las variables seleccionadas para el seguimiento y control fueron: humedad, temperatura, calidad de aire y radiación UV ya que muchas actividades humanas dependen en gran medida de estas variables [9], donde la humedad hace referencia a la presencia de vapor de agua en el ambiente, la temperatura indica la cantidad de calor que tiene el aire en un momento específico en un espacio determinado, la calidad del aire muestra que tan contaminado se encuentra este en un periodo de tiempo y lugar determinados y cuáles podrían ser los efectos en la salud de los seres vivos, y la radiación UV que hace referencia a la radiación electromagnética proveniente del sol y que su longitud de onda está en el rango de 400 nm y los 15 nm aproximadamente. Para el IUV e ICA la OMS determinó un protocolo de colores dependiendo la intensidad: color verde, nivel bajo; amarillo, medio; naranja, alto; rojo, muy alto; y morado, extremo.

[26] *El IDIGER actualmente cuenta con 30 acelerógrafos y 27 estaciones para el monitoreo de las variables hidrometeorológicas*

III. MODELO DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN Y DEFINICIÓN DE REQUERIMIENTOS

El modelo del experimento se dividió en cinco etapas, la primera en la que se definieron los requerimientos conceptuales normativos y tecnológicos necesarios; en la segunda etapa se definió y analizó las variables a medir y controlar, en la tercera fase se programó, diseñó y construyó el prototipo de prueba; en una cuarta fase se adelantaron las pruebas en la ciudad de Bogotá, y comparativamente en la ciudad de Medellín y provincia de Ubaté y finalmente se realizó el análisis y evaluación de resultados. En la siguiente figura se muestra el modelo de desarrollo empleado.

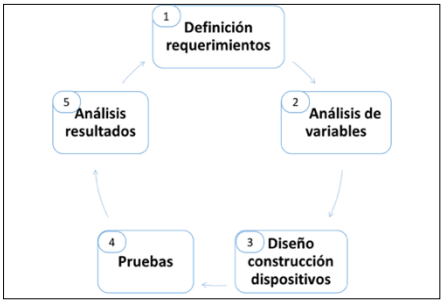


Figura 1. Modelo del desarrollo de la Investigación

En un primer momento se realizó una revisión bibliográfica que permitió la identificación del estado del arte y de la normatividad legal vigente en materia de gestión del riesgo y sistemas de alerta temprana, para ello se revisaron la Guía Para la Implementación de Sistemas de Alerta Temprana de la presidencia de la Republica, el Estado del Arte Sistema de Alertas Tempranas en Colombia y manuales de Arduino entre otros documentos teóricos y la Ley 1523 de 2012 como documento normativo, los cuales fueron analizados y registrados en tablas de registro documental.

Posteriormente se realizó una revisión de las herramientas tecnológicas existentes determinando el uso del sistema Arduino®, teniendo en cuenta varias de sus características como: bajo costo; ejecución en multiplataformas (Windows, MAC, y Linux); entorno de programación, simple, claro, código abierto con software con librerías y hardware extensible permitiendo crear y mejorar la placa del módulo que

permita el control del entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y módulos interconectándolos de forma digital con internet, lo que facilita el acceso de los resultados a la comunidad a través de un canal de internet e inclusive a través de mensajes de twitter, cumpliendo con las características definidas para un sistema de alerta temprana.

Teniendo en cuenta las características ambientales del Bogotá, los antecedentes de eventos y el análisis de vulnerabilidad ante posibles eventos que pueden presentarse en la ciudad, se identificaron como variables las mencionadas previamente, destacando la radiación UV, debido a su capacidad de causar lesiones cutáneas ya que una exposición prolongada a la radiación UV solar puede producir efectos agudos y crónicos en la salud de la piel, los ojos y el sistema inmunológico como los cánceres de piel y las cataratas[27]; y Calidad del aire, por su incidencia en la salud, pudiendo generar reducciones significativas en la función pulmonar, además de inflamación de las vías aéreas, las que pueden causar otros síntomas, alterar el desempeño en adultos y poder provocar niveles importantes de morbilidad y mortalidad en todos los países [28].

IV. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

El prototipo de sensor múltiple se encuentra conformado por una tarjeta Arduino® Mega; un sensor de humedad y temperatura; un sensor de gas y humo ajustable, un sensor UV y un Módulo Wi-Fi ESP8266 alimentado a 3,3 voltios y los sensores alimentados a 5 V, con salidas análogas. El sistema completo puede funcionar entre los 5 y 9 V con una corriente mínima de 1,2 A. Inicialmente se alimentaba con un adaptador conectado a la corriente, pero para hacerlo portable se le instaló una batería recargable de 12 A/h a 5 V, que le dio una autonomía cercana a las 12 horas de funcionamiento continuo en el exterior y para hacerlo más autónomo se usó un cargador solar de la misma capacidad, adicionalmente tiene un módulo para internet. Cada dispositivo tiene un costo aproximado de US$ 160 y el prototipo se muestra en la figura 2.



Figura 26. Prototipo de Sensor múltiple empleado

El diagrama esquemático que forma parte del diseño se aprecia en la figura 3, donde se pueden apreciar los sensores que obtienen los valores de las variables por analizar, la unidad central de procesamiento conformada por la board Arduino®, el Módulo Wi-Fi ESP8266, que implementa los protocolos TCP/IP y que envía los valores a una plataforma de IoT de libre acceso la cual grafica hasta 8 variables y almacena durante dos años hasta 3´000.000 de datos recibidos.

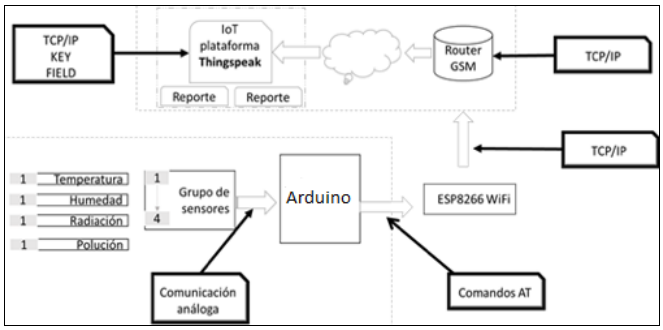


Figura 3. Esquema del Prototipo

El esquema implementado en el proyecto se observa en la figura 3 y la generalidad del código se observa en la figura 4, el código implementado se observa en parte en la figura 5 para la lectura de las variables de humedad relativa y temperatura y la construcción del buffer para construir la cadena a de información para ser transmitida a la plataforma IoT.

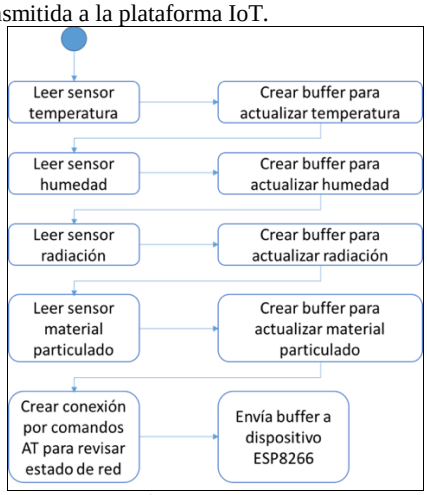


Figura 4. Esquema del código implementado

[27] *Índice UV solar mundial: guía práctica. Recomendación conjunta de: Organización Mundial de la Salud, Organización Meteorológica Mundial, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante*
[28] *OMS Guías de calidad del aire actualización mundial 2005*

```
void loop(){

float h = dht.readHumidity(); // Lee la humedad
float t = dht.readTemperature(); //Lee la temperatura

char bufferTemp[8]; //Crear buffer temporal para convertir float a st
String temperatura = dtostrf(t, 8, 3, bufferTemp); //Convertir de flo
updateTemp(temperatura); //Actualizar temperatura

digitalWrite(13,HIGH);
delay(20000); //Thingspeak nos pide un MINIMO de 15 segundos entre ca

char bufferHum[8]; //Crear buffer temporal para convertir float a str
String humedad = dtostrf(h, 8, 2, bufferHum);
updateHumedad(humedad); //Actualizar humedad

delay(20000); //Hacer una medicion cada 20 segundos


float r =(((1025-Valorleido)*11)/1024);//Lee la radiacion

char bufferIlum[8];
String radiacion = dtostrf(r, 8,1, bufferIlum);
updateIlum(radiacion); //Actualizar radiacion

Serial.println("Factor: ");
Serial.println(radiacion);

Valorleido=analogRead(RESISTENCIA);

delay(15000);
radiacion=(((1025-Valorleido)*11)/1024);
Serial.print("Factor: ");
Serial.print(radiacion);
Serial.println(" UV: ");
delay (15000);
}
```

Figura 5. Código lectura de variables y construcción d buffer

La plataforma IoT seleccionada para el registro de información fue ThingSpeak ™ la cual es un servicio web gratuito que permite recopilar y almacenar datos de sensores en la nube, en la figura 6 se observan las variables para radiación, temperatura, humedad relativa y material particulado (polución) para Bogotá y en la figura 7 para Medellín.

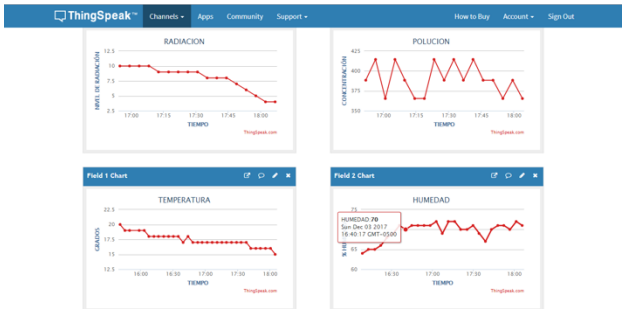


Figura 6. Variables para radiación, temperatura, humedad relativa y material particulado (polución) para Bogotá.

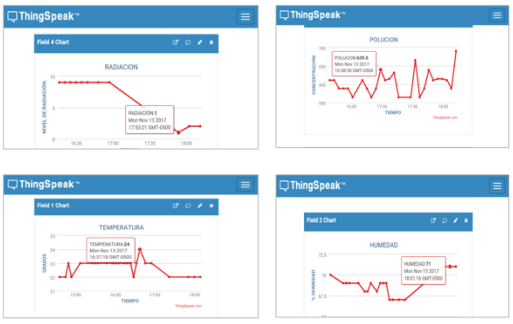


Figura 27. Variables para radiación, temperatura, humedad relativa y material particulado (polución) para Medellín.

V. PRUEBAS TRABAJO DE CAMPO

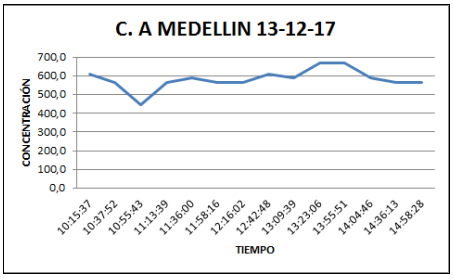
La fase de pruebas de la investigación se llevó a cabo en varias zonas de la ciudad de Bogotá, en Medellín y en la Provincia de Ubaté, estas zonas fueron seleccionadas teniendo en cuenta los altos niveles de contaminación que permite comparar el comportamiento de las variables en dos grandes ciudades y una zona rural.

La ciudad de Bogotá D.C. se encuentra localizada a una altitud sobre el nivel del mar de 2.600 mt, una temperatura y humedad promedio de 18°C y 75% respectivamente; la ciudad de Medellín se encuentra localizada a una altitud de 1495 m.s.n.m., una temperatura de 20 °C y 83% de humedad promedio y la provincia de Ubaté encuentra a una altitud de 2.556 m.s.n.m., una temperatura y humedad promedio de 11°C y 93% respectivamente.

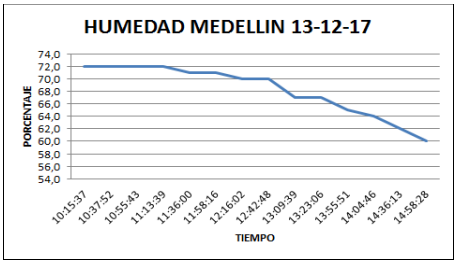
A. RESULTADOS CASO MEDELLÍN

Para la realización de las gráficas correspondientes a las tomas de medidas de Medellín se tomó en cuenta que la ventana de contaminación se da entre las 10:30 y las 19:00, ya que según lo manifestado por el director del SIATA, es a partir de esta hora en la que más se nota el aumento de la contaminación en la ciudad, fenómeno generado por la Inversión Térmica, lo que impide la salida de contaminantes emitidos por fuentes fijas y móviles a la parte alta de la atmosfera. También por esa Inversión Térmica, en temporadas de mucho calor la radiación es muy alta en algunas zonas de la ciudad.

Cabe señalar que, aunque la correlación entre las variables es baja (exceptuando la que hay entre humedad y temperatura) los valores permanecen muy altos, por ejemplo, a las 13:23 los valores de calidad de aire, humedad, temperatura y radiación eran de 666, 67, 23 y 10 respectivamente, en la figura 8 se observa el monitoreo de calidad de aire figura 8 (a), humedad relativa del aire figura 8 (b), temperatura figura 8 (c) e índice UV.

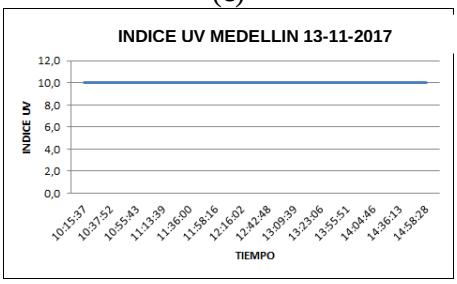


(a)



(b)

(c)



(d)

Figura8 *Relación de variables de calidad de aire (a), humedad (b) y temperatura (c) e índice UV (d) en la ciudad de Medellín.*

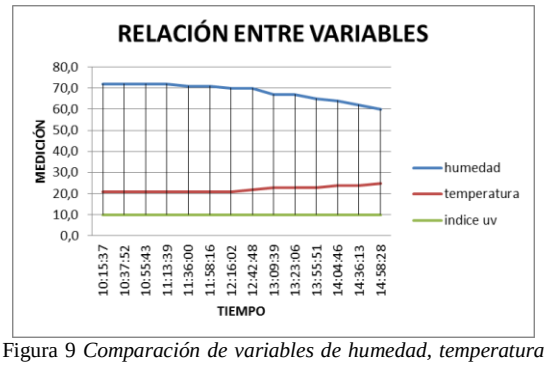


Figura 9 *Comparación de variables de humedad, temperatura e índice UV en la ciudad de Medellín.*

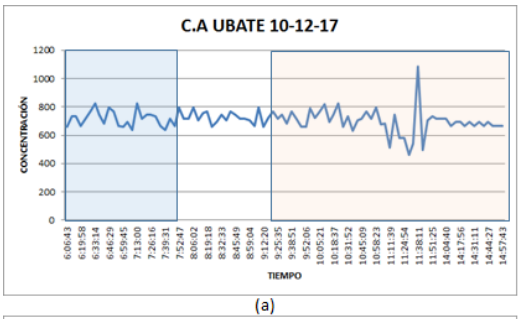
En la figura 9 se aprecia la correlación inversa casi perfecta entre humedad y temperatura, donde a medida que va descendiendo la humedad la temperatura va aumentando mientras el índice UV permanece invariable.

B. Resultados Caso Ubaté

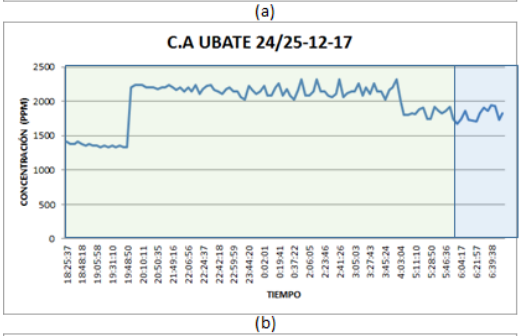
Aunque en internet se encuentran los pronósticos de humedad, temperatura e índice UV, los cuales son muy similares a los arrojados por el dispositivo, no se puede acceder a información en tiempo real sobre la calidad del aire del Valle de Ubaté, por lo cual se hizo una pequeña comparación con los valores recogidos en tres fechas.

Contrario a lo que se pensaba, los valores obtenidos de calidad del aire fueron muy diferentes a los arrojados en las mediciones de Bogotá y Medellín, esto debido a que la villa de Ubaté se encuentra en una zona que ocupa la cuarta posición dentro de las poblaciones más contaminadas del departamento [10].

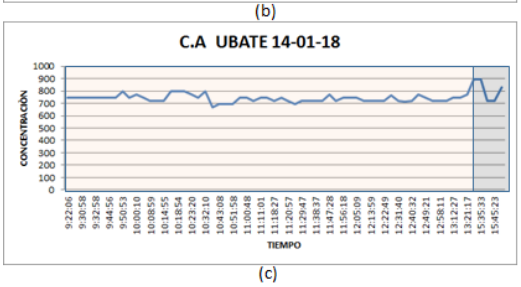
Las mediciones fueron tomadas en el mes de diciembre de 2017 y enero de 2018 en diferentes horas donde se observó en la franja azul correspondiente a las 6 am un porcentaje alto que varía de forma similar durante la mañana, figura 10 (a), (b) y (c), en la franja rosada se observa la ampliación de la variación que corresponde a horas de la tarde y en la noche franja verde se amplían los niveles.



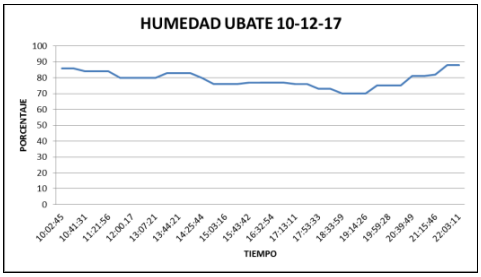
(a)



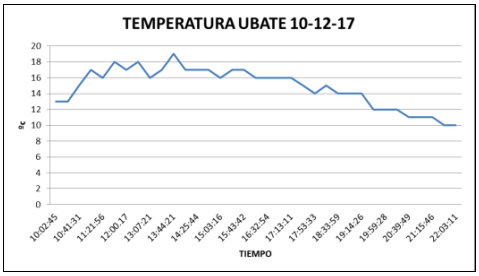
(b)



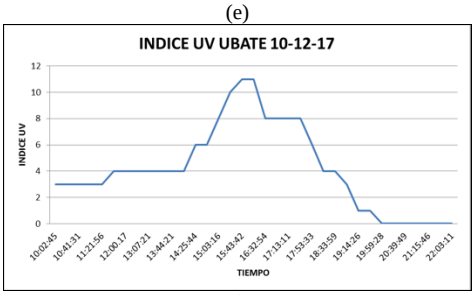
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 10 Relación de variables de, calidad de aire (a) (b) (c), humedad (d), temperatura (e), índice UV (f) y en la ciudad de Ubaté.

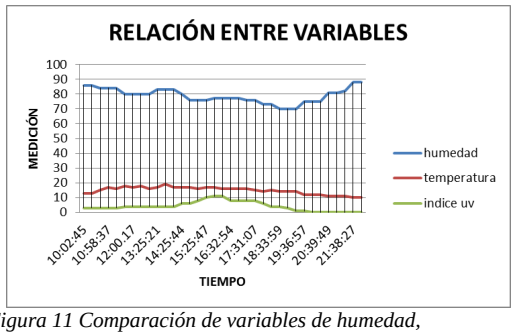
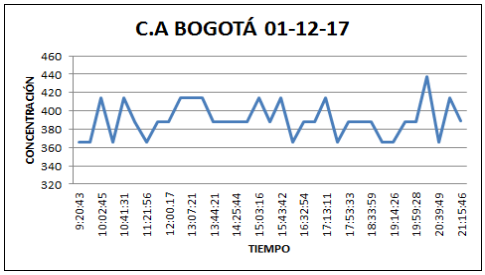


Figura 11 Comparación de variables de humedad, temperatura e índice UV en la ciudad de Ubaté.

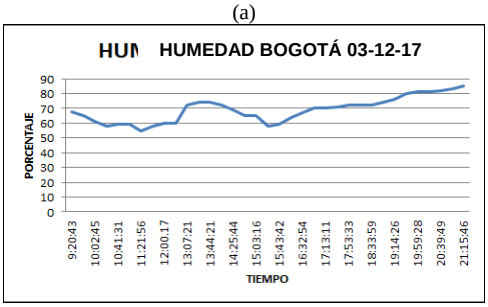
En la figura 11 se aprecia la correlación inversa muy leve entre humedad y temperatura, una relación directa fuerte entre temperatura e índice UV, donde a medida que va aumentando la temperatura también va aumentado el índice UV, y una relación inversa leve entre humedad e índice UV donde a medida que va disminuyendo la humedad, va aumentado el índice UV.

C. Resultados Caso Bogotá

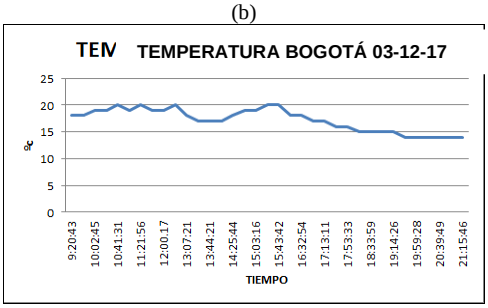
En el caso de Bogotá se observa la variación de la calidad del aire durante el día teniendo un pico a las 20:00 horas, mientras la humedad se comporta de forma contraria a la temperatura, aumentando con el transcurso del día.



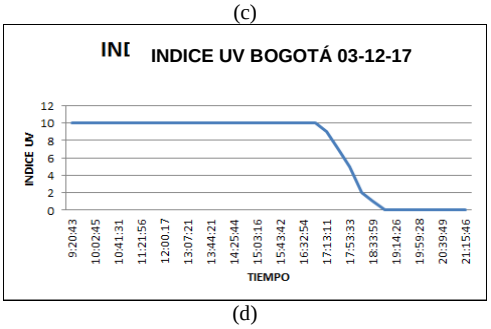
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 12 Relación de variables de calidad de aire, humedad y temperatura e índice UV en la ciudad de Bogotá.

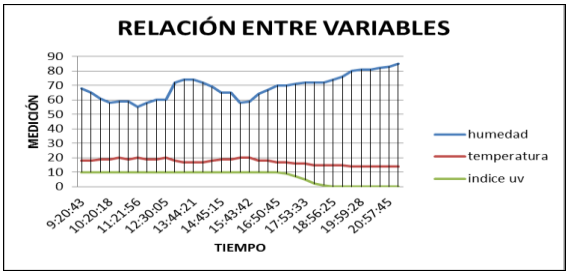


Figura 13 Comparación de variables de humedad, temperatura e índice UV en la ciudad de Bogotá.

En la figura 13 se aprecia que en Bogotá las correlaciones de humedad-temperatura y humedad-índice UV son inversas, fuertes y casi perfectas, mientras que la correlación temperatura-índice UV es directa, fuerte y casi perfecta.

D. COMPARACION ENTRE CIUDADES

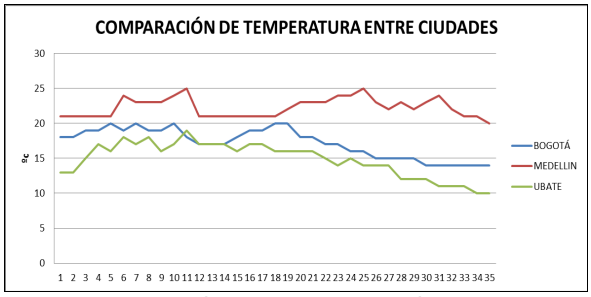


Figura 14 Comparación de Temperatura por número de muestras

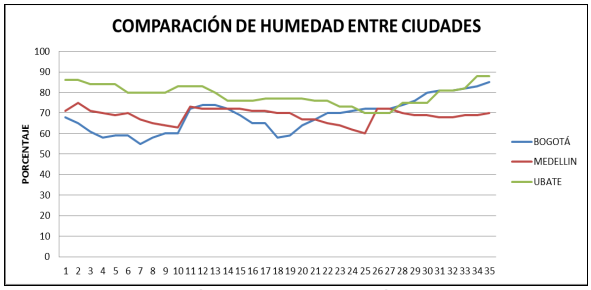


Figura 15 Comparación de Humedad por número de muestras

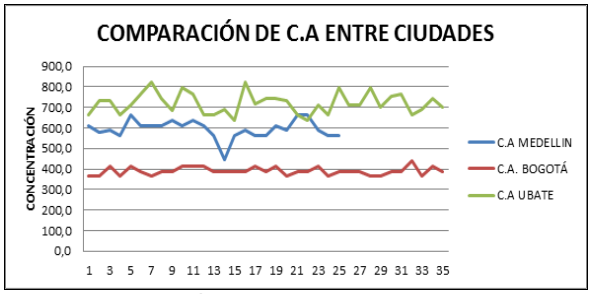


Figura 16 Comparación de Calidad del Aire de material particulado por número de muestras

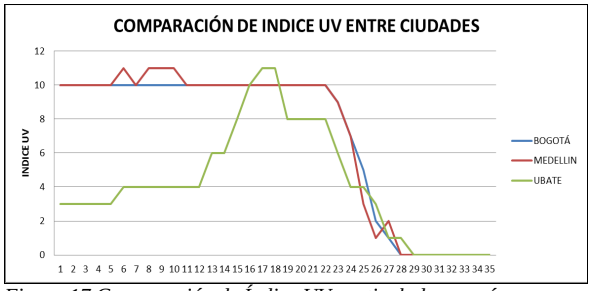


Figura 17 Comparación de Índice UV particulado por número de muestras

En las tres ciudades se tomaron los datos y se compararon frente a estaciones cercanas del IDEAM, en la tabla 3 se observa la comparación, así mismo se comparó para el caso de Bogotá en calidad de aire con el observatorio ambiental teniendo un valor de concentración PM10 47µg/m³ considerada como buena y en la ciudad de Medellín se comparó con los datos del SIATA la calidad de aire obteniendo una calificación de moderada y de índice UV de muy alta.

Tabla 3. Comparación de datos de la estación frente a los datos del IDEAM

CIUDAD	VARIABLE	DATOS DISPOSITIVO		DATOS IDEAM	
		Min.	Max.	Min.	Max.
BOGOTÁ 03-12-2017	TEMPERATURA	14	20	9	20
	HUMEDAD	55%	83%	57%	84%
	CALIDAD DEL AIRE	437 p.p.m			
	INDICE UV.	11		muy alta	
MEDELLÍN 13-11-2017	TEMPERATURA	21	25	19	25
	HUMEDAD	72%	91%	74%	96%
	CALIDAD DEL AIRE	666 p.p.m.			
	INDICE UV.	10		muy alta	
PROVINCIA DE UBATE 10-12-2017	TEMPERATURA	10	19	9	21
	HUMEDAD	76%	91%	76%	95%
	CALIDAD DEL AIRE	794 p.p.m			
	INDICE UV.	11		muy alta	

VI. CONCLUSIONES

Después de realizar varias mediciones se pudo establecer que los datos arrojados por el dispositivo son muy exactos (aunque aún falta ajustar el dispositivo a los valores de C.A de la OMS ya que los obtenidos son en p.p.m.), y con su bajo costo (unos US 160 aproximadamente, incluyendo la carcasa) hace posible replicarlo en masa para realizar tomas de datos puntuales en diferentes sitios y con esto establecer una red de monitoreo para toda una ciudad en la cual los instituciones encargadas y/o el ciudadano común puede acceder a los datos de su interés en tiempo real. Además, al utilizar la plataforma de IoT de libre acceso (ThingSpeak) esta nos permite primero, visualizar, graficar la información de hasta 8 sensores diferentes de forma simultanea para cada dispositivo y configurar alertas por twitter si así se requieren; segundo, almacenar hasta 3`000.000 de datos por dos años para proporcionar información de referencia y lo más importante, generar históricos y tercero, realizar análisis y procesamiento en línea de los datos a medida que se producen.

De las figuras se puede inferir que, en climas fríos como Bogotá y Ubaté, a medida que va llegando la noche la humedad va aumentando mientras que la temperatura disminuye, caso contrario a lo que pasa en Medellín, donde al ir pasando las horas la humedad disminuye mientras que la temperatura va aumentando.

Aunque la poca presencia de nubes aumenta la intensidad de la radiación UV, cuando está nublado o hay neblina también se pueden obtener valores altos debido a la dispersión, la que puede producir el mismo

efecto que la reflexión o el albedo[29] en diferentes superficies como el cemento, el agua o el asfalto.

La OMS creó unas tablas con un lenguaje sencillo, en las que se agrupan en categorías los diferentes valores del Índice UV (el cual es una medida de la intensidad de la radiación UV sobre la superficie terrestre) en las que también dan recomendaciones de protección solar asociadas a los diferentes valores de IUV. La siguiente tabla es un resumen de toda esta información.

Tabla4. Categorías de exposición a la radiación y sugerencias basadas en información de la OMS.

TABLA DE COLORES ☀			
INTERVALO DE VALORES DE IUV	CATEGORIA DE EXPOSICIÓN	PROTECCIÓN	SUGERENCIA
1-2	BAJO	NO NECESITA	Puede permanecer en el exterior sin riesgo.
3-5	MEDIO	NECESITA	Manténgase a la sombra durante las horas del día.
6-7	ALTO	NECESITA	Póngase camisa, crema de protección solar y sombrero.
8-10	PELIGROSO	NECESITA PROTECCIÓN EXTREMA	Son imprescindibles camisa, crema de protección solar y sombrero.
11 y más	EXTREMO	NECESITA PROTECCIÓN EXTREMA	Busque la sombra. Evite salir durante las horas centrales del día.

Una de las razones que afectan la calidad del aire son las características geográficas las cuales, en condiciones meteorológicas de transición entre la temporada de sequía y la temporada de lluvia hace que existan nubes espesas de baja altura lo que impide la entrada de radiación solar hasta la superficie o la salida de la radiación existente, generando una acumulación de contaminantes en la parte baja de la atmosfera, los cuales son emitidos por fuentes fijas y móviles, lo que genera que no se presente remoción de material particulado por acción del viento debido a la altura de las montañas, este caso se presenta en el valle de aburra y en Bogotá que es una planicie bordeada en el costado oriental por montañas.

Se pudo observar en la provincia de Ubaté que los datos recogidos para Calidad del Aire, en la segunda medición figura 10, entre las 18:05 del 24/12/17 y las 06:39 del 25/12/17 mostraron valores muy altos, en algunas ocasiones hasta el triple de los valores de las mediciones de los otros días, esto posiblemente generados por el uso de pólvora que es muy habitual en esa fecha en la región.

Basados en las clasificaciones por colores realizadas por la OMS para el IUV y para el ICA, se podrían instalar en sitios públicos o en los lugares de mayor afectación solmáforos30 y/o semáforos de ICA con la información concerniente a las sugerencias dependiendo de su respectivo índice para alertar de forma inmediata y permanente a la población.

[29] La capacidad que tienen las diferentes superficies para reflejar una determinada fracción de la energía solar que reciben.

[30]También puede ser llamado "semáforo de sol", es un semáforo que mide los niveles de radiación ultravioleta, alertando a la población por medio de un código basado en 5 colores determinados por la Organización Mundial de la Salud, OMS.

VII. REFERENCIAS

[1] A. Maskrey, Los Desastres No Son Naturales, Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, 1993.

[2] D. S. Gómez, Metodología para la gestión de riesgos de desastres en las comunidades, basado en el marco de acción de Hyogo 2005-2015, 2012.

[3] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Guía para la implementación de sistemas de alerta temprana comunitarios. Bogotá, D.C., Bogotá, 2016.

[4] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Guía para la Implementación de Sistemas de alerta temprana, Bogotá, 2016.

[5] R. Basher, Global early warning systems for natural hazards: Systematic and people-centered, 2006.

[6] A. Maskrey, Early Warning Programme Report on National and Local Capabilities for Early Warning, GENOVA, 1997.

[7] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, «Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres,» 2018. [En línea].

[8] Siata, «Portal SIATA,» 2018. [En línea]. Available: https://siata.gov.co/siata_nuevo/.

[9] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE, Bogotá, 2008.

[10] DESCA, «Dirección de Evaluación Seguimiento y Control Ambiental CAR,» 2017.

[11] UNGRD, «PLAN NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES,» 2015.

[12] ONU, Marco de Acción de Hyogo para 2005-2015: Aumento de la resiliencia de las naciones y las comunidades ante los desastres, 2005.

[13] O. M. d. l. S. (OMS), Índice UV solar mundial.

VIII. AUTORES

Dirson Yair Hinestroza Conrado es estudiante de ingeniería en producción en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, obtuvo su grado de tecnólogo industrial, en la misma Universidad.

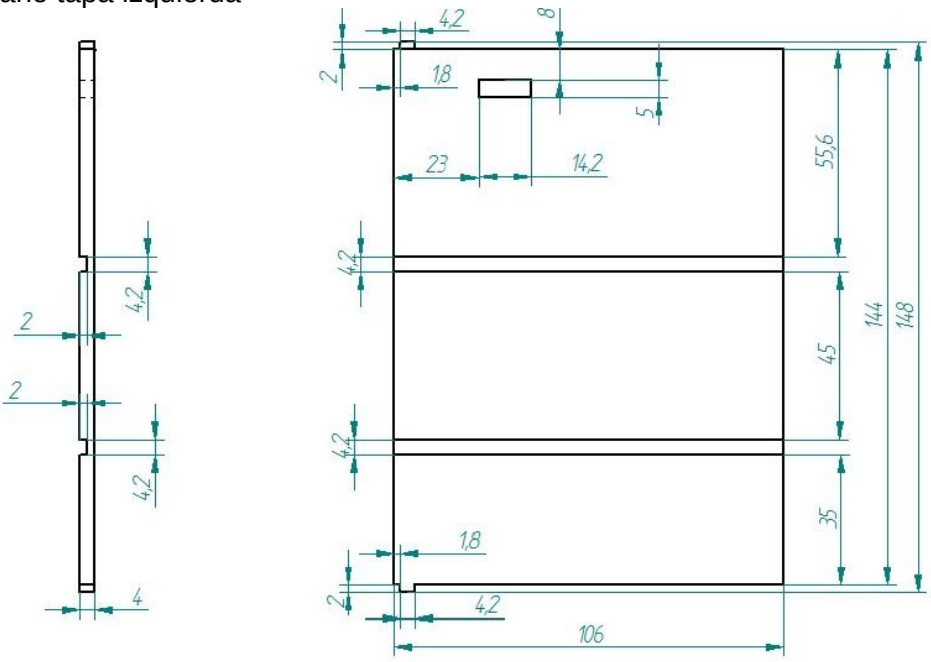
Álvaro Espinel Ortega Es Ingeniero Electricista, Universidad Nacional de Colombia. Magister en Teleinformática, Doctor en Ingeniería de Software, Profesor titular, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: alvaroespinel@hotmail.com.

Edgar Alirio Aguirre Buenaventura es estudiante de doctorado en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, magister en ciencias de la información y las comunicaciones, ingeniero en control electrónico y tecnólogo en electrónica, profesor de la corporación Universitaria minuto de Dios Uniminuto, Correo electrónico: eaaguirreb@correo.udistrital.edu.co eaguirre@uniminuto.edu

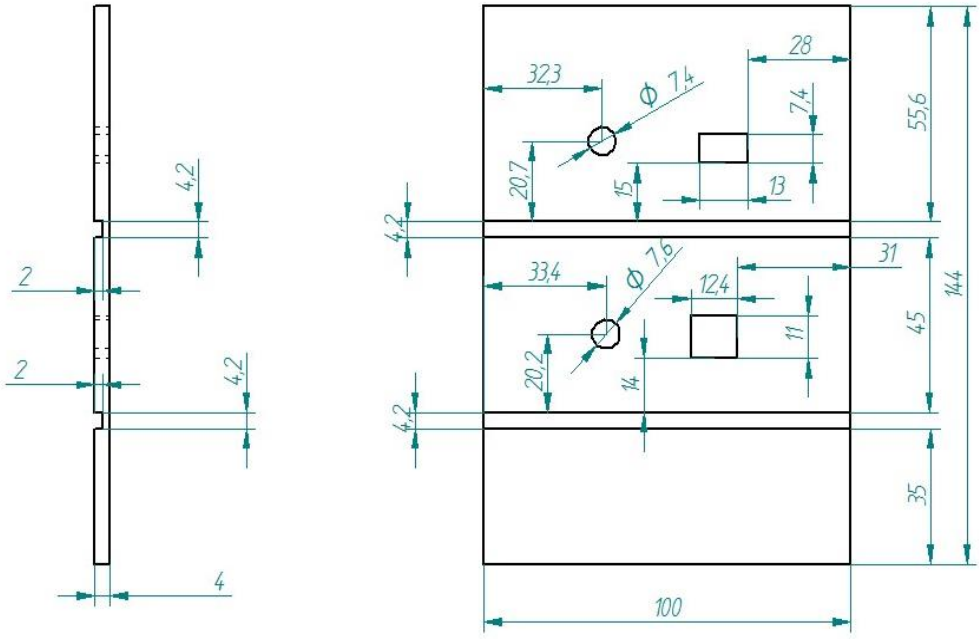
Roberto Ferro Escobar Ingeniero Electrónico, Doctor en ingeniería de la Pontificia Universidad Salamanca, docente de la Universidad Distrital Francisco de José de Caldas. Correo electrónico: rferro@udistrital.edu.co

ANEXO B. PLANOS DEL DISPOSITIVO

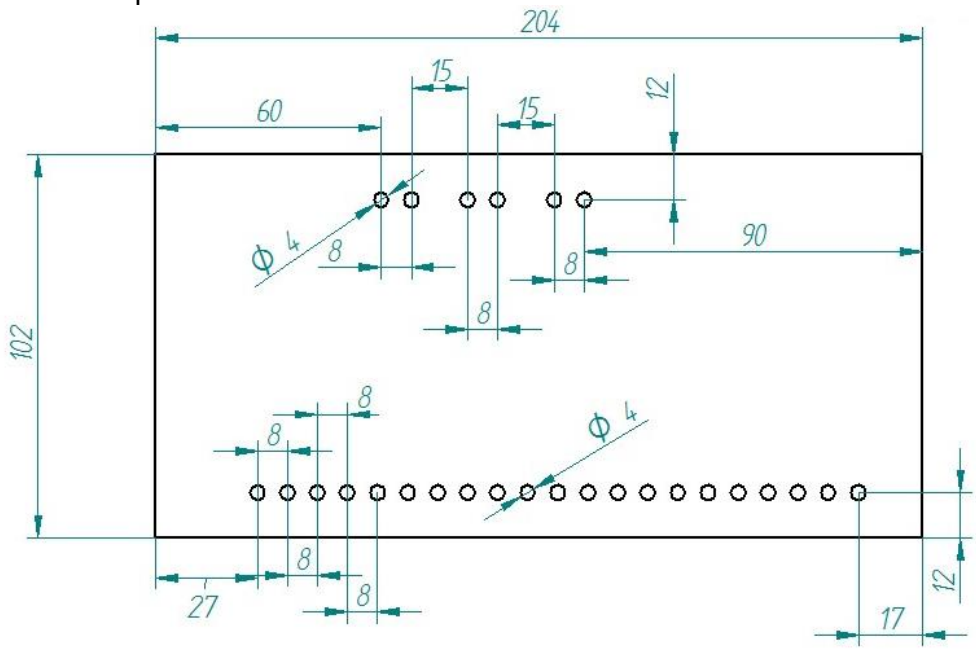
Plano tapa izquierda



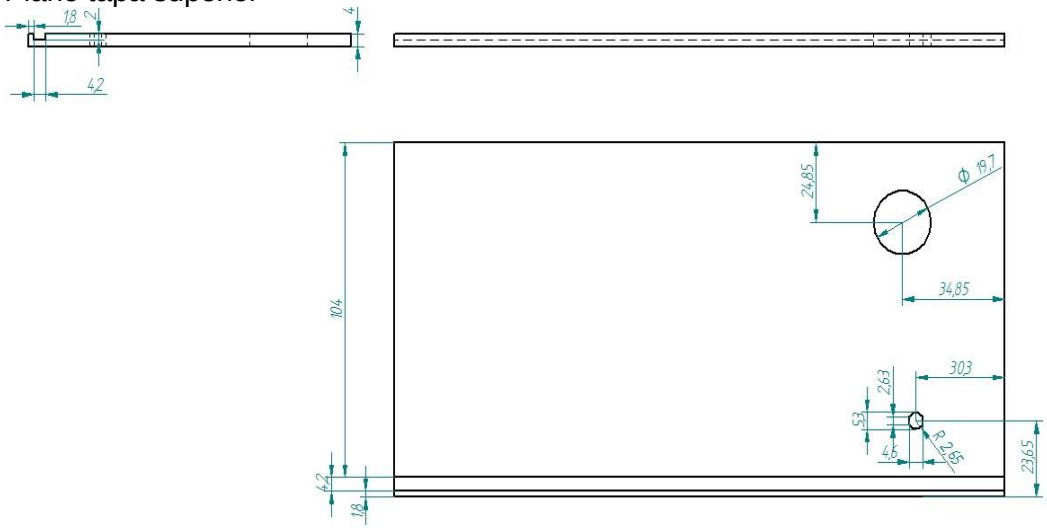
Plano tapa derecha



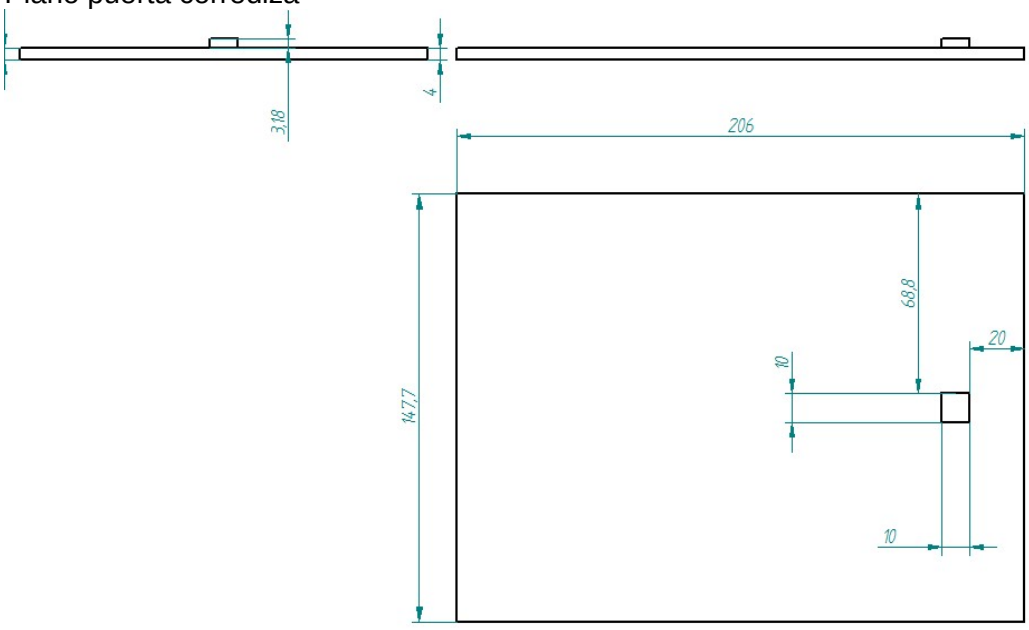
Plano entrepaños



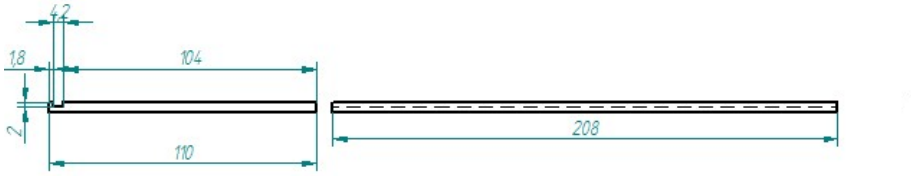
Plano tapa superior

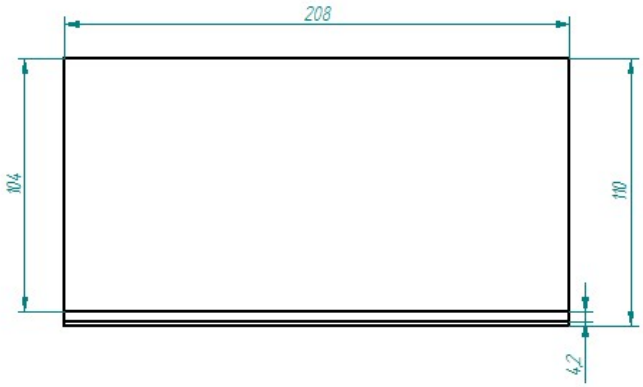


Plano puerta corrediza

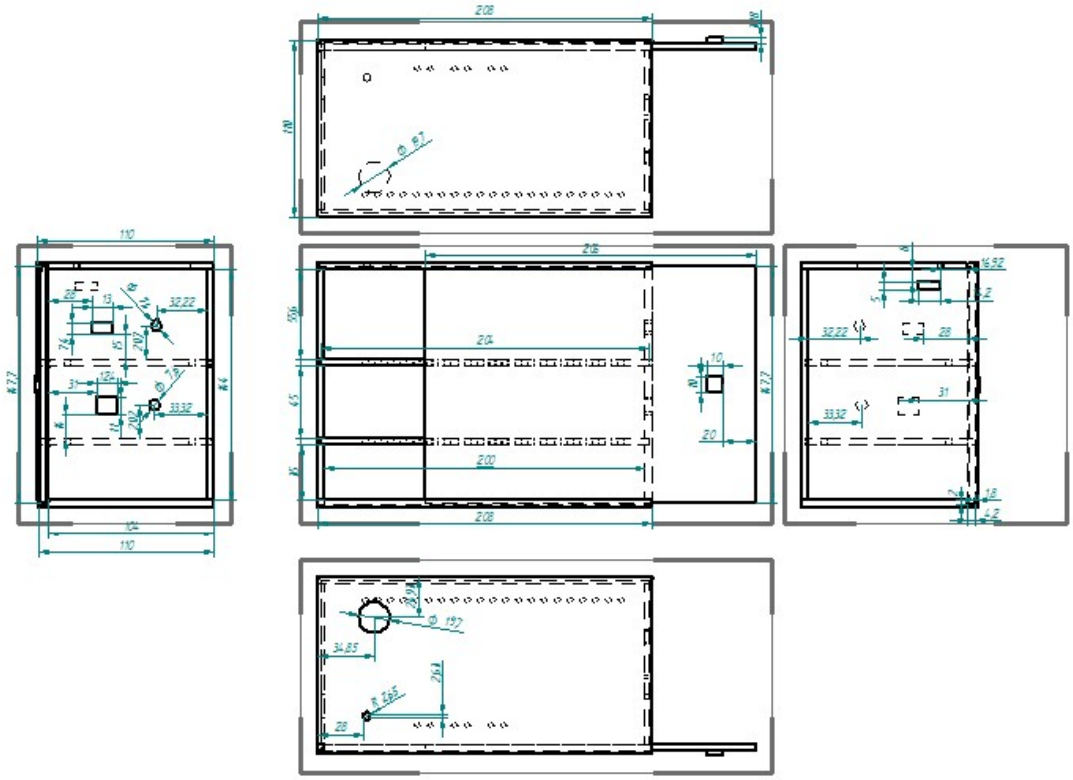


Plano tapa inferior





Plano general dispositivo



Explosivo caja del dispositivo

