

**MEDICIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN
VEHICULAR EN MANIZALES CON VANT Y SIG**

**CARLOS ALBERTO RIOS NARANJO
JUAN DIEGO ARBELÁEZ HENAO
MELISSA SALGADO MEJÍA**



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
MANIZALES**

2023

**MEDICIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN
VEHICULAR EN MANIZALES CON VANT Y SIG**

CARLOS ALBERTO RIOS NARANJO

JUAN DIEGO ARBELÁEZ HENAO

MELISSA SALGADO MEJÍA

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar por el título de Ingeniero en
Sistemas y Telecomunicaciones

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
MANIZALES**

2023

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Jonhatan Vallejo Cardona, ingeniero de Sistemas y Telecomunicaciones y docente en la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad de Manizales, por estar pendiente del desarrollo del proyecto y facilitar la gestión de los diferentes equipos electrónicos y de vuelo. Ampliamos nuestro agradecimiento a todos los docentes que nos acompañaron durante toda la carrera y nos dieron el conocimiento necesario para desarrollar el proyecto.

CONTENIDO

Introducción	12
Área problemática	13
Objetivos	14
Objetivo General	14
Objetivos específicos	14
Justificación	15
Marco Teórico	17
Marco conceptual	17
Causas de la contaminación	19
Origen del contaminante	20
Clasificación de los contaminantes de acuerdo a su estructura	21
Elementos de Contaminación	23
Consecuencias	28
Marco legal	30
Ley 23	30
Ley 388	30
Ley 1448	31
Infraestructura Colombiana de datos espaciales (ICDE)	31
Normas y documentos referentes a la calidad del aire	32
ISO 19128	32
Marco referencial	32
Monitoreo de gases mediante sensores	32
Monitoreo de gases mediante VANT	34
Antecedentes	36
Medición con drones	36
Sistemas de Información Geográfico	36
Metodología	38
Tipo de trabajo	38
Procedimiento	38
Fase 1	38
Fase 2	40
Fase 3	41
Fase 4	41

Resultados	43
Descripción de resultados	43
Discusión de resultados	46
Conclusiones	49
Recomendaciones	51
Bibliografía	52

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Componentes de la placa de circuitos	43
Figura 2. Prototipo de la placa.	44
Figura 3. Esquema PCB.	45
Figura 4. Visita al portal web.	46
Figura 5. Esquema en Fritzing del circuito.	95
Figura 6. Vista en ArcGis Pro del mapa con la capa de datos cargada.	96
Figura 7. Vista de capa de datos actualizada.	97

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Informe Estado del arte de la calidad del aire	59
ANEXO B. Informe circuito electrónico	72
ANEXO C. Informe Sistema de Información Geográfico	79
ANEXO D. Resumen analítico	81

GLOSARIO

Dióxido de Carbono (CO): “El dióxido de carbono (CO₂) es un gas incoloro e inodoro, compuesto por un átomo de carbono y dos de oxígeno en enlaces covalentes.” (Instituto para la salud geoambiental, 1p.)

Efecto invernadero: “Se denomina efecto invernadero al fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de la atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar. Afecta a todos los cuerpos planetarios dotados de atmósfera. De acuerdo con la mayoría de la comunidad científica, el efecto invernadero se está viendo acentuado en la Tierra por la emisión de ciertos gases.” (CIIFEN, 2011)

Georreferenciación:” La georreferenciación o rectificación es un proceso que permite determinar la posición de un elemento en un sistema de coordenadas espaciales diferente al que se encuentra.” (Dávila, F. J.; Camacho, E, 2012, 1p).

Hidrocarburos: “Los hidrocarburos son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno. La estructura molecular consiste en un armazón de átomos de carbono a los que se unen los átomos de hidrógeno. Los hidrocarburos son los compuestos básicos de la Química Orgánica.” (De la Cruz Rodríguez, Arcadio, 2007, 1p)

Modelo geoespacial:” El modelo geoespacial de superficie permite obtener un modelo geométrico de las unidades hidrogeológicas presentes, siempre y cuando se cuente con una base de datos estratigráfica que permita inferir el comportamiento de los topes y la bases de éstas. Para ello se parte inicialmente de las unidades hidrogeológicas y de la información hidro estratigráfica.”(Lima, 2012)

PCB: Un PCB (Printed Circuit Board) o en español Placa de Circuito Impreso, básicamente es un soporte físico en donde se instalan componentes electrónicos y eléctricos y se interconectan entre ellos. Estos componentes pueden ser chips, condensadores, diodos, resistencias, conectores, etc. (Castillo, 2019).

SIG: “Un SIG se puede definir como aquel método o técnica de tratamiento de la información geográfica que nos permite combinar eficazmente información básica para obtener información derivada.” (Ciemat, 2000, 3p.).

VANT: “Los DRONES son sistemas de aviación diseñados con el propósito de realizar operaciones aéreas sin piloto a bordo, con la posibilidad de ser controlado a distancia” (DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN EMPRESARIAL, 2017)

RESUMEN

La contaminación como un problema de salud pública, se hace cada vez más notoria en la actualidad, de aquí surgen muchas preguntas y/o preocupaciones sobre estrategias efectivas de monitoreo y control, con las cuales se puedan obtener datos precisos que ayuden a contrarrestar los efectos de la contaminación de manera eficaz, mediante el desarrollo de planes de choque.

Como parte de la presente propuesta para la observación del fenómeno, se plantea el prototipo de un sistema que incorpora varios medidores químicos, que permitirán calcular la concentración de gases contaminantes generados principalmente por la combustión vehicular, tales como Dióxido de Carbono (CO_2), Monóxido de Carbono (CO), Amoníaco (NH_3) y los Óxidos de Nitrógeno (NO), productos y subproductos resultantes de la quema incompleta de combustibles fósiles. Cada detector estará debidamente calibrado por un laboratorio certificado, para garantizar la veracidad de las medidas.

Para lo anterior, se instalará en un vehículo aéreo no tripulado (VANT), para la toma de muestras a diferentes alturas entre 0 y 100 metros, de esta forma se deben relacionar las medidas tomadas con las variables climatológicas y de movilidad presentes en la ciudad.

Con la información recolectada, una vez depurada y analizada, se incorpora a un sistema de información geográfica (SIG). Todo esto con el fin de lograr consolidar un sistema de medición y gestión de la calidad del aire en Manizales en los diferentes momentos y lugares, como una herramienta de información eficiente para ejercer control y establecer planes de acción, basados en un modelo de calidad del aire actualizado y acorde con las necesidades de la ciudad.

PALABRAS CLAVES: Contaminación, Calidad del Aire, Combustibles Fósiles, VANT, SIG, Medición, Sensores.

ABSTRACT

Pollution as a public health problem is becoming more and more notorious today, from which many questions and/or concerns arise about effective monitoring and control strategies, with which precise data can be obtained to help counteract the effects pollution effectively, through the development of crash plans.

As part of the present proposal for the observation of the phenomenon, the prototype of a system that incorporates several chemical meters is proposed, which will allow the calculation of the concentration of polluting gases, mainly Carbon Dioxide (CO₂), Carbon Monoxide (CO), Ammonia (NH₃) and Nitrogen Oxides (NO), products and by-products resulting from the incomplete burning of fossil fuels. Each detector will be duly calibrated by a certified laboratory, to guarantee the veracity of the measurements.

For the above, it will be installed in an unmanned aerial vehicle (UAV), for sampling at different heights between 0 and 100 meters, in this way the measures taken must be related to the climatological and mobility variables present in the city.

With the information collected, once filtered and analyzed, it is incorporated into a geographic information system (GIS). All this in order to consolidate a system of measurement and management of air quality in Manizales at different times and places, as an efficient information tool to exercise control and establish action plans, based on an air quality model. updated air and in accordance with the needs of the city.

KEY WORDS: Pollution, Air Quality, Fossil Fuels, UAV, GIS, Measurement, Sensors.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el tema del impacto de la contaminación ha cobrado bastante importancia, las diferentes causas, problemas asociados y consecuencias, es un fuerte tema de estudio actualmente. Siendo la calidad del aire una de las más notorias. Recientemente se han venido adelantando investigaciones sobre cómo esta puede llegar a afectar la salud en personas, animales, plantas y cultivos; además de las afectaciones económicas y demográficas que esto conlleva. Partiendo de esto, se detectó la necesidad de implementar en la ciudad de Manizales un proyecto que permita la recolección y almacenamiento de valores de la medición de calidad del aire, mediante un modelo geoespacial en el que se pueda encontrar toda la información de manera organizada y segmentada con el fin de brindar datos reales y precisos que contribuyan a la implementación de planes de acción y políticas públicas eficientes y acordes a las necesidades de la sociedad.

Para viabilizar lo anterior, se realiza el diseño, construcción e implementación de un prototipo cuyo controlador es una tarjeta Arduino, a la cual se le integraron distintos sensores que miden los gases de combustión vehicular como Dióxido de Carbono (CO₂), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO) y amoníaco (NH₃) y dispositivos encargados de testear los valores de latitud, longitud, presión y temperatura, de esta forma los datos obtenida de este prototipo es posteriormente ingresada al Sistema de Información Geográfico (SIG). Teniendo en cuenta que la muestras se deben tomar en diferentes puntos estratégicos de la ciudad entre horas pico y horas llano mediante la utilización de un dron. Toda esta información debe ser cargada de forma ordenada, clara y precisa, para que sea accesible a cualquier persona que desee consultarla.

Se presenta información coherente y oportuna, sobre el comportamiento de los valores de las variables de calidad del aire, permitiendo evaluar posibles riesgos o determinar por medio de análisis estadísticos predicciones a largo plazo sobre el comportamiento de la concentración de estos gases, de acuerdo con la relación de las variables estudiadas.

2. ÁREA PROBLEMÁTICA

Las emisiones crecientes de gases de efecto invernadero han sido la causa de algunos de los problemas del medio ambiente más impactantes que se enfrentan en la actualidad. El deterioro de la capa de ozono, el cambio climático¹ y el deterioro de la calidad del aire, son las consecuencias dominantes de la contaminación generada inicialmente por las ciudades principales. Respecto del plan de movilidad ejecutado en el año 2017 en la ciudad de Manizales, realizado por la consultora Steer Daves Gleave² para el gobierno municipal, concluyó que la mayor parte de los viajes de la ciudad se hacen: caminando (29%), transporte público siendo el principal modo motorizado (bus, buseta, microbús y cable aéreo) (28%), vehículo particular como tercer medio de movilización (20%), seguido de la motocicleta (12%), taxi (6%) y la bicicleta es el medio menos demandado (1%). En este orden de ideas, el transporte más amigable con el medio ambiente es el menos utilizado y el más usado es el vehicular que es aquel que más impacta en el medio ambiente tanto por la necesidad de ser operado mediante recursos no renovables como por ser un gran generador de gases contaminantes.

Las estaciones de monitoreo existentes en la ciudad de Manizales son muy pocas y están ubicadas de forma muy dispersa. La concentración de gases por combustión se presenta a diferentes alturas y las estaciones de Manizales son fijas, por ende, no logran tomar medidas a las diferentes alturas que son requeridas. Los entes responsables de estas estaciones no brindan la importancia necesaria y no realizan mantenimientos preventivos para garantizar su vida útil.

Manizales no cuenta con información actualizada que brinde las herramientas que permitan a las entidades correspondientes actuar respecto a la mejora de la calidad del aire.

¹ Zapata, Carlos. & Gálvez, David. Gonzáles, Carlos. & Aristizábal, Helena. & Velazco Mauricio. (2018). BOLETÍN CALIDAD DEL AIRE EN MANIZALES AÑO 2018. Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GTAIHA), Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.

² Gleave, Steer. (2018). Plan Maestro de Movilidad, Manizales, 2017. República de Colombia Gaceta del concejo de Manizales Caldas. Junio 15, GACETA N° 00188

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar, construir y operar un prototipo que proporcione datos sobre los niveles de concentración de gases de efecto invernadero en la ciudad de Manizales, producidos por vehículos de combustión a gasolina, en diferentes alturas, por medio de un vehículo aéreo no tripulado (VANT), los cuales pueden ser visualizados a través de un sistema de información geográfico (SIG).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ensamblar, programar y calibrar un prototipo funcional que permita tomar datos cuantificables sobre el estado de la concentración de gases de combustión vehicular en el aire. Mediante la utilización de Arduino y sensores de medición.
- Realizar el diseño estructural y adaptación del prototipo al dron asegurando el correcto acople y funcionamiento para garantizar la veracidad de los datos obtenidos.
- Recopilar la información existente sobre contaminación por gases de efecto invernadero producido por vehículos de combustión y los estudios de movilidad realizados por diferentes entidades en la ciudad. Para conocer los vacíos, fallas y necesidades en la recolección de información sobre la calidad del aire.
- Tomar medidas sobre la concentración de gases contaminantes a diferentes alturas entre 0 y 100 metros al nivel del suelo en diferentes puntos estratégicos de la ciudad.
- Implementar un Sistema de Información Geográfico, para ordenar, recopilar y reportar los datos recolectados.

4. JUSTIFICACIÓN

El proyecto “MEDICIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN VEHICULAR EN MANIZALES CON VANT Y SIG” nace como una iniciativa de mejoramiento al problema de control de la contaminación del aire y a la falta de datos reales y confiables que existen sobre este fenómeno en la ciudad; y cómo esto puede llegar a afectar a la hora de tomar decisiones de carácter ambiental.

Aunque en Manizales ya se cuenta con cinco estaciones de medición de calidad del aire, dichas estaciones son fijas, razón por la cual sus mediciones siempre están sujetas a un mismo punto; mientras que en este proyecto se plantea una toma de mediciones mediante la utilización de un dron, de esta manera se tomarán medidas en diferentes lugares de la ciudad y zonas horarias. Con lo cual se obtendrá un más amplio espectro de manifestación y comportamiento de estos gases, de acuerdo a su ubicación y altura, permitiendo así poder plantear estrategias de control en su mayoría focalizadas a puntos críticos de la ciudad.

Además, en la ciudad existen sectores en los que no se cuenta con una mínima percepción de datos reales sobre calidad del aire; esto se debe a que las estaciones más cercanas están bastante alejadas de estos barrios (incluso a varios kilómetros de distancia). Por tal motivo, en estas áreas no es posible tener una idea real de cómo se están comportando los gases o si es necesario ejercer un control sobre la emisión de los mismos en dichas zonas.

El proyecto presenta información organizada y clasificada sobre la calidad del aire dentro de la ciudad, razón por la cual, los mayores beneficiados serán las instituciones gubernamentales y ambientales como lo son la Alcaldía, la Gobernación y Corpocaldas; este también ayudará a diferentes organizaciones e industrias que deban ejercer control sobre sus actividades que impacten negativamente en el ambiente.

De esta manera, todas estas instituciones gubernamentales y organizaciones podrán focalizar todas las acciones que deseen implementar para mitigar los efectos causados por la contaminación del aire producida por gases; ya que contarán con un mayor número de datos en diferentes puntos de la ciudad en los que antes no se tenía un control, razón por la cual, el monitoreo se realizará de una manera más eficiente y será más económico para dichas instituciones en la medida en la que se enfoquen los principales puntos de emisión.

La utilización de una “estación móvil” permite la captura de medidas a diferentes alturas, cuyo fin es tener una idea de la dispersión espacial de los diferentes gases objeto de estudio, permitiendo que el conocimiento de sus concentraciones contribuyan a la creación e implementación de planes de acción que ayuden a mitigar el efecto contaminante de estos gases, considerando fenómenos climáticos y corrientes de aire.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 MARCO CONCEPTUAL

La atmósfera cumple funciones fundamentales para preservar la vida en el planeta: provee la capa de ozono que filtra la radiación ultravioleta (UV) originada por el sol, contribuye en la regulación del clima, ya sea por el movimiento del aire frío y caliente sobre los océanos y las superficies continentales, o por su efecto directo en las corrientes oceánicas y en el flujo del agua que después se precipita en los continentes, Bellucci³. La atmósfera actúa de igual manera como fuente de algunos elementos químicos esenciales para la vida, los cuales circulan en la biosfera a través de los llamados “ciclos biogeoquímicos” y que necesariamente pasan por una fase gaseosa en la atmósfera, como son los casos del carbono y del nitrógeno, Gruber, et al⁴.

En la atmósfera se descargan una enorme cantidad de sustancias producidas por las actividades humanas, que por sus propiedades físicas y químicas pueden permanecer suspendidas unos pocos días (como polvo, residuos industria cementera, entre otros), o décadas (como los clorofluorocarbonos, industria de la refrigeración) o incluso siglos, tal como ocurre los gases de efecto invernadero (el dióxido de carbono, por ejemplo). Las de corta duración pueden degradarse en la atmósfera, precipitarse en tierra o en los océanos o integrarse en los ciclos biogeoquímicos; las emisiones crecientes han sido la causa de algunos de los problemas del medio ambiente más importantes que se enfrentan en la actualidad. El deterioro de la capa de ozono, el cambio climático, Semarnat⁵ y el deterioro de la calidad del

³ Bellucci, A., Haarsma, R., Bellouin, N., Booth, B., Cagnazzo, C., van den Hurk, B., Keenlyside, N., Koenigk, T., Massonnet, F., Matera, S., et al. (2015), Advancements in decadal climate predictability: The role of nonoceanic drivers, *Rev. Geophys.*, 53, 165– 202. doi:10.1002/2014RG000473. CARABALLO, Jorge Mario Sánchez. Características fisicoquímicas de los gases y partículas contaminantes del aire. Su impacto en el asma. *Iatreia*, 2012, vol. 25, no 4, p. 369-379.

⁴ Gruber, Nicolas & Galloway, James. (2008). Gruber N, Galloway JN.. An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature* 451: 293-296. *Nature*. 451. 293-6. 10.1038/nature06592.

⁵ Semarnat. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México. 2013.

aire en las ciudades, como ocurre ya habitualmente en ciudades colombianas como Bogotá y Medellín, sin lugar a dudas, los más importantes.

Por esto, resulta muy importante contar con información actualizada, confiable y oportuna, sobre los temas más relevantes relacionados con la contaminación atmosférica, producidas por las actividades antrópicas, que sea útil para tomar decisiones que mejoren la calidad de vida de la sociedad.

Según el Banco Mundial, en las ciudades latinoamericanas el 70% de las emisiones se debe a fuentes móviles, vehículos de combustión diésel o gasolina como camiones, volquetas, motos, buses y carros, OMS⁶. El 30% restante es producido por fuentes fijas que vierten los contaminantes a través de ductos o chimeneas y se encuentran en un lugar determinado como los parques industriales, incineraciones controladas, viviendas y zonas mineras.

Las consecuencias de la contaminación ambiental se observan en la salud, el ambiente y la infraestructura. Con respecto a la salud, en el mundo 4,2 millones de muertes se asociaron a la contaminación del aire en 2015, provocadas en su mayoría por cardiopatías isquémicas, accidentes cerebro-vasculares, neuropatías, cáncer de pulmón e infecciones de las vías respiratorias. En Colombia la situación no es distinta, pues el 8% de las muertes en el país se deben a la mala calidad del aire, INS⁷.

Pero no solo son los humanos los que reciben las consecuencias del deterioro del aire, también los cultivos a causa de la lluvia ácida y en la infraestructura es causante del deterioro de edificios, puentes y estatuas. En 2015 y de acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación (DNP), INS⁸, atender la carga de morbilidad y mortalidad asociada a la mala calidad del aire le costó al país 1,9 billones en primas de seguros e indemnizaciones, 3,9

⁶ OMS, «Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre,» Ediciones OMS, Ginebra, 2005.

⁷ INS, «INFORME CARGA DE ENFERMEDAD AMBIENTAL EN COLOMBIA,» ONS, Bogotá, 2018

⁸ Ibip. P.

billones en pérdida económica de ingresos y de productividad y 12,3 billones en valor estadístico de la vida. Este monto (\$18 billones), equivale al 2,2% del PIB del país en ese año.

5.1.1. Causas de la contaminación

Las principales causas de la contaminación son las actividades del hombre, principalmente las productivas, por ejemplo, las relacionadas con la generación de energía (incluyendo la explotación de recursos naturales no renovables como el petróleo y los diferentes minerales), la industria, la agricultura o simplemente las actividades relacionadas con el transporte, Albert, L.⁹.

La contaminación, además, también puede ser consecuencia de procesos sociales como el crecimiento demográfico, las actividades migratorias y la urbanización; procesos que pueden influir en el hecho de que en un lugar determinado se genere una mayor generación de desechos. Otro factor bastante importante es el cultural y este va asociado más estrechamente con la economía del consumo y esto llevando a que en diferentes ámbitos como el hogar, la industria o la agricultura se dé un uso generalizado de gran variedad de sustancias sintéticas con diferentes fines, Albert, L.¹⁰.

Fuentes de contaminación. De acuerdo con un boletín entregado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales mexicana, SMARN¹¹, las fuentes de la contaminación

⁹ Albert, L. A. (2004). Contaminación ambiental. Origen, clases, fuentes y efectos. Albert LA, Jacott M. México tóxico. Capítulo 4, 38-52.

¹⁰ Ibip, p.

¹¹ SMARN (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). «Fuentes de Contaminación Atmosférica». Gobierno mexicano. Junio de 2018.

atmosférica son todas aquellas actividades, procesos u operaciones capaces de producir contaminantes del aire; dichas fuentes se pueden clasificar en tres categorías principales:

- **Fuentes fijas:** Estas fuentes de contaminación se caracterizan por ser estacionarias o estar ubicadas en un punto fijo, algunos ejemplos de estas son las plantas de energía, refinerías de petróleo, industrias químicas y fábricas.
- **Fuentes móviles:** Estas fuentes de contaminación abarcan todas las formas de transporte y vehículos automotores que funcionan a partir del uso de energías no renovables como es el caso de los combustibles fósiles.
- **Fuentes de área:** Aunque en la mayoría de los casos este tipo de fuente no es considerada, esta tiene un gran impacto sobre la contaminación. Proviene de todas aquellas actividades que en conjunto afectan la calidad del aire como lo es el uso de la madera, tintorerías, imprentas o actividades agrícolas como la ganadería que es de las actividades que mayores cantidades de metano genera, entre otras.
- **Fuentes naturales o biogénicas:** Se dan como resultado de la vida animal o vegetal, como las erosiones producidas por los volcanes, océanos y la erosión del suelo. Esta es la fuente de contaminación más antigua existente.

5.1.2. Origen del contaminante. Los elementos contaminantes además pueden clasificarse de acuerdo a su origen en Díaz & Linares¹²:

- **Contaminantes primarios:** Estos contaminantes provienen directamente de las fuentes de emisión como lo es el caso de los óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), aerosoles, hidrocarburos, halógenos y

¹² Dias, J. y Linares, C. (2010). «Las causas de la contaminación atmosférica y los contaminantes atmosféricos más importantes». Observatorio de Medio Ambiente en España 2010 de DKV Seguros y ECODES. “Contaminación Atmosférica y Salud”.

sus derivados (Cl_2 , HF, HCl, haluros), arsénico y sus derivados, ciertos componentes orgánicos, metales pesados (Pb, Hg, Cu, Zn, ...) y partículas minerales (asbesto y amianto).

- **Contaminantes secundarios:** Estos contaminantes son aquellos que se forman en la atmósfera mediante reacciones químicas de otros contaminantes que proceden en su mayor parte de fuentes antropogénicas: ozono (O_3), sulfatos, nitratos, aldehídos, cetonas, ácidos, peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y radicales libres.

5.1.3. Clasificación de los contaminantes de acuerdo a su estructura

De acuerdo con la estructura de los gases, estos pueden clasificarse en dos grandes ramas; las partículas y los gases, Díaz & Linares¹³. Para poder comprender mejor esto, a continuación, se describe cada uno de ellos:

¹³ Ibip, p.

Partículas. Estos son los contaminantes atmosféricos más complejos, esto debido a que comprenden un amplio espectro de sustancias tanto sólidas como líquidas, siendo el polvo, humo, brumas y aerosoles las principales fuentes de su generación. Estas se dividen en:

- **PM10:** Partículas gruesas o de diámetro aerodinámico = 10 μm , estos son contaminantes básicamente primarios, los cuales se generan por procesos mecánicos o de evaporación: minerales locales o transportados, partículas biológicas y partículas primarias derivadas de procesos industriales o del tráfico. De entre los pocos contaminantes secundarios que entran a formar parte de su estructura destacan los nitratos.
- **PM2.5:** Partículas finas o de diámetro aerodinámico = 2,5 μm , su composición es más tóxica, su principal origen son las emisiones de vehículos diésel, estas están principalmente formadas por partículas secundarias: nitratos y sulfatos, aerosoles orgánicos secundarios, como el peroxiacetil nitrato(PAN) y los hidrocarburos policíclicos aromáticos(HPA).
- **Gases.** Los principales gases contaminantes, lo constituyen un amplio ramo de sustancias en forma gaseosa, de naturaleza diversa y con comportamientos químicos muy diferentes. Algunos de estos son:
 - **Compuestos de Azufre:** Están directamente relacionados con el contenido de azufre de los combustibles fósiles, por lo que su principal origen es la combustión de gasóleo en los vehículos, la producción de energía y carbón en centrales térmicas, algunos procesos industriales y las calefacciones domésticas.
 - **Compuestos de Nitrógeno:** Su principal fuente de origen no natural proviene de los combustibles fósiles utilizados para el transporte, calefacción y generación de energía. La gran mayoría de las combustiones producen Monóxido de Nitrógeno (NO), el cual, por procesos de oxidación da lugar al Dióxido de Nitrógeno (NO₂). Muchas veces, la información que se suministra se refiere en términos de NO_x, indicando una mezcla de óxidos de nitrógeno.

- **Óxidos de Carbono:** Fundamentalmente son el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂). Se liberan a la atmósfera como consecuencia de las combustiones incompletas (CO) y completas (CO₂). La fuente principal del CO son los humos procedentes del escape de los vehículos a motor. Por otro lado, el CO₂, es uno de los principales contaminantes responsables del efecto invernadero.
- **Compuestos Orgánicos Volátiles (COV):** Estos son un grupo de compuestos muy variados presentes en la atmósfera, el cual incluye un amplio espectro de hidrocarburos como alcanos, alquenos, hidrocarburos aromáticos, cetonas, alcoholes, éteres y algunos compuestos clorados.
- **Otros Compuestos:** Además de los anteriores, en la atmósfera se encuentra una serie de contaminantes que rara vez se presentan, pero que pueden producir efectos negativos sobre determinadas zonas por ser su emisión a la atmósfera muy localizada. Entre estos, se encuentran como más significativos los siguientes: halógenos y sus derivados; arsénico y sus derivados; partículas de metales ligeros y pesados como el plomo, el mercurio, cobre y zinc; partículas de sustancias minerales como el amianto y los asbestos, así como sustancias radiactivas.

5.1.4. Elementos de Contaminación

La contaminación del aire y como está se relaciona directamente con la calidad del aire y los efectos nocivos en la salud del hombre, en la economía, en la sociedad y en el planeta se relacionan a continuación:

- **Tipificación de gases.** De los contaminantes gaseosos del aire, fundamentalmente se presentan los siguientes, Caraballo:

- **Dióxido de Azufre (SO₂):** Este es un gas incoloro, no inflamable. Posee un olor fuerte en altas concentraciones. Se origina por la combustión de combustibles con cierto contenido de azufre y la fundición de minerales ricos en sulfatos.
- **Partículas en Suspensión (PM10 y PM2.5):** El material particulado es una mezcla compleja de componentes con características físicas y químicas muy diversas; este se forma a partir de otros contaminantes primarios e, incluso, a partir de elementos naturales.
- **Dióxido de Nitrógeno (NO₂):** Este es un contaminante originado principalmente por las actividades de transporte. Lo emiten directamente los vehículos, especialmente los diésel (emisiones directas o «primarias»), pero se produce también en la atmósfera a partir de las emisiones de monóxido de nitrógeno (NO) de los vehículos; por un proceso químico, dicho gas se transforma en NO₂ (contaminante «secundario»).
- **Monóxido de Carbono (CO):** Este es un gas incoloro, inodoro e insípido. Su presencia se ha ido reduciendo de manera continua año tras año, esto debido a los cambios tecnológicos en los vehículos de motor que son los principales emisores de este contaminante.
- **Ozono (O₃):** Este es un contaminante secundario, el cual se origina a partir de una serie de contaminantes precursores al encontrar un nivel de insolación suficiente. Las moléculas de este gas azulado y picante están formadas por tres átomos de oxígeno.

- **Efectos de los Gases Contaminantes.** Los gases contaminantes son los responsables de la calidad del aire que se respira. Una concentración elevada de estos puede producir enfermedades respiratorias, cardiovasculares e incluso la muerte en los seres vivos de la zona. Dos efectos de la acumulación de estos gases en la atmósfera son:
 - **El Agujero de la Capa de Ozono:** De acuerdo con Fischer y Gribbin, en los últimos años se ha conocido que una pequeña reducción en la capa de ozono se traduce en niveles peligrosamente altos de radiación UV en la superficie de la tierra, la cual, podría dañar la vida en todas sus formas, Fischer¹⁴. En el hombre puede destruir ácidos nucleicos (ADN y ARN) y proteínas, inhibir el sistema inmunológico, por lo que el riesgo de padecer cáncer en todas sus formas se incrementa, y aumentándole la posibilidad de contraer herpes, hepatitis e infecciones en la piel causadas por parásitos, Gribbin¹⁵. En cuanto a la vida vegetal, investigaciones han demostrado que la cantidad y la calidad del aire pueden disminuir sensiblemente, Johanson¹⁶.

Por otro lado, estos efectos también pueden verse en algunos materiales como los polímeros que pueden degradarse con mucha mayor facilidad debido a la radiación UV, Jokela¹⁷.

- **El Efecto Invernadero:** Este es un fenómeno natural que le permite al planeta mantener las condiciones necesarias para albergar la vida, Garduño¹⁸. La atmósfera captura algunos de los rayos solares que llegan a la superficie, manteniéndolos dentro para conseguir una temperatura media de 15°C. si la atmosfera no realizara este proceso la temperatura media de la Tierra sería de -18°C.

¹⁴ FISCHER, M. (1993). La capa de ozono, McGraw-Hill, Madrid, 89

¹⁵ GRIBBIN, J. (1992). El agujero del cielo. La amenaza humana a la capa de ozono. Madrid: Alianza Editorial.

¹⁶ JOHANSON, U., GEHRKE, C., et al. (1995). "The effects of enhanced UV-B radiation on a subarctic heath ecosystem". En: *Ambio*, 24, pp. 106-111.

¹⁶ JOKELA, K., et al., (1993.) "Effects of arctic ozone depletion and snow on UV exposure in Finland, *Photochem*". En: *Photochemistry and Photobiology*, 58, pp. 559-566.

¹⁶ GARDUÑO, René. ¿Qué es el efecto invernadero?. Cambio climático: una visión desde México, 2004, vol.

La atmósfera está compuesta por diversos gases naturales, Aristizabal¹⁹, siendo el nitrógeno, el oxígeno y el argón los que constituyen el 99,93% del total. Sin embargo, son otros gases como el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, el óxido de nitrógeno y el ozono los que tienen una mayor incidencia en el efecto invernadero.

En la proporción adecuada dichos gases cumplen su cometido, sin embargo, al aumentar su concentración a causa de las actividades del hombre; la atmósfera retiene más calor del necesario, ocasionando un aumento en las temperaturas, el deshielo de los polos, la desertificación, incendios, tormentas e inundaciones.

- **Principales Causas de Contaminación Atmosférica.** Las causas de la contaminación del aire son muy diversas, Ataz²⁰; sin embargo, algunas de las principales se mencionan a continuación:
 - **Extracciones Mineras:** Muchos de los minerales se obtienen gracias al uso de productos químicos y maquinaria pesada que contamina el aire de partículas de polvo y gases.
 - **Uso de pesticidas en las Actividades Agrícolas:** El uso de insecticidas, pesticidas, fertilizantes y otros productos químicos utilizados en el cultivo de alimentos, causa un grave perjuicio a los suelos y, además, favorece la acumulación de gases en el aire.
 - **Industrialización Excesiva:** El aumento de fábricas y el consumo masivo son otra causa de la contaminación atmosférica. Cuanto mayor sea la demanda de artículos, mayores serán los efectos nocivos para el planeta.
 - **Quema de Combustibles:** Los medios de transporte convencionales que funcionan a partir de la quema de combustible fósil, queman una gran cantidad de este y lo convierten en gases que terminan en el aire, afectando negativamente la calidad del mismo para ser respirado.

¹⁹ BALLESTEROS, HO Benavides; ARISTIZABAL, GE León. Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Bogotá DC: nota técnica del IDEAM, 2007.

- **Deforestación:** Los árboles cumplen la función de neutralizar y limpiar muchos de los gases contaminantes que circulan en el aire. Razón por la cual, al reducirse el número de árboles también se reduce la calidad tanto del aire como del suelo, esto a su vez repercute en el número de árboles que se pueden sembrar, pues al no encontrarse un suelo adecuado para la siembra también se reduce este número.

5.1.5. Consecuencias

La contaminación del aire trae consigo consecuencias muy diversas y que afectan a las personas y el planeta de diferentes maneras, algunas de estas se relacionan a continuación:

- **Ambientales:** Entre las consecuencias de la contaminación del aire en el ambiente, en las de mayor relevancia se tiene la lluvia ácida, el efecto invernadero, el efecto boina (también conocido como smog), la destrucción de los campos a causa del cambio climático y los elementos tóxicos presentes en el ambiente, la extinción de especies animales a causa de la constante alteración del equilibrio ambiental y la mala calidad del aire.
- **Salud:** A causa de la contaminación del aire también se producen diferentes consecuencias en cuanto a salud se refiere. La Organización Mundial de la Salud estimó que una de cada nueve muertes en todo el mundo es el resultado de condiciones relacionadas con la contaminación atmosférica, WHO²¹.

La exposición regular a gases tóxicos presentes en el aire puede resultar mucho más grave de lo que se creía. Y no sólo porque se asocia a diferentes enfermedades de carácter

²⁰ ATAZ, Ernesto Martínez; DE MERA MORALES, Yolanda Díaz. Contaminación atmosférica. Univ de Castilla La Mancha, 2004.

²¹ WHO. World Health Organization. (2016). Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/250141>

preocupante, como el cáncer o las tan renombradas patologías cardiovasculares, además de distintas infecciones de las vías respiratorias, ISAN²².

La contaminación del aire ambiente por sí sola provocó aproximadamente 4,2 millones de muertes en 2016, mientras que la contaminación del aire doméstico originada por la cocción de alimentos con combustibles y tecnologías contaminantes causó unos 3,8 millones de muertes en el mismo periodo, OSSEIRAN²³.

- **Sociales:** A causa de la contaminación del aire también se presentan consecuencias sociales, entre ellas está el hecho de que los riesgos y efectos en la salud no están distribuidos equitativamente en la población. Las personas con enfermedades previas, los niños menores de cinco años y los adultos entre 50 y 75 años de edad son los más afectados. Las personas pobres y aquellas que viven en situación de vulnerabilidad, así como las mujeres y sus hijos que utilizan estufas tradicionales de biomasa para cocinar y calentarse, también corren mayor riesgo, OPS²⁴.

En América, 93.000 defunciones anuales en países de ingresos bajos y medios (LMIC) y 44.000 en países de ingresos altos (HI) son atribuibles a la contaminación atmosférica, siendo las muertes por habitante 18 por 100.000 en los países LMIC y 7 por 100.000 en los países de HI” ANDRADE²⁵.

²² ISAN, Ana (2018). Contaminación del aire y problemas de salud .EN: EcologiaVerde (Noviembre 23). <<https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-del-aire-y-problemas-de-salud-306.html>>

²³ Osseiran, N., & Lindmeier, C. (2018). out of 10 people worldwide breathe polluted air, but more countries are taking action. World Health Organization (WHO): Geneva, Switzerland.

²⁴ OPS

²⁵ ANDRADE, Maria (2017). Ambient Air Pollution. EN: Pan American Health Organization (PAHO) (Enero 24).

- **Económicas:** La mala calidad del aire también tiene repercusiones económicas importantes, ya que incrementa los gastos médicos, reduce la productividad laboral y daña el suelo, los cultivos, los bosques, los lagos y los ríos Rodríguez²⁶.

De acuerdo con el DNP (Departamento Nacional de Planeación), en 2015, DNP²⁷, atender la carga de morbilidad y mortalidad asociada a la mala calidad del aire le costó al país 1,9 billones en primas de seguros e indemnizaciones, 3,9 billones en pérdida económica de ingresos y de productividad y 12,3 billones en valor estadístico de la vida. Este monto (\$18 billones), equivale al 2,2% del PIB del país en ese año.

5.2. MARCO LEGAL

4.2.1 Ley 23. En Colombia, la contaminación atmosférica ha sido uno de los factores de preocupación más importantes en los últimos años, por los impactos generados tanto en la salud como en el medio ambiente. La problemática atmosférica actual es la que genera los mayores costos sociales y ambientales después de los generados por la contaminación del agua y los desastres naturales.

4.2.2 Ley 388. Esta ley es de 1997 define la exigencia de que todo municipio colombiano debe formar un expediente urbano, como se expone a continuación:

Artículo 112. Expediente urbano. Con el objeto de contar con un sistema de información urbano que sustente los diagnósticos y la definición de políticas, así como la formulación de planes, programas y proyectos de ordenamiento espacial del territorio por parte de los diferentes niveles territoriales, los municipios y distritos

²⁶ RODRÍGUEZ, María Xosé Vázquez. Estimación económica de los beneficios para la salud del control de la contaminación del aire. El caso de Vigo. Revista Galega de Economía, 2002, vol. 11, no 2, p. 0.

²⁷ DNP (Departamento Nacional de Planeación). Valoración Económica de la Degradación ambiental en Colombia 2015. Colombia.

deberán organizar un expediente urbano, conformado por documentos, planos e información georreferenciada, acerca de su organización territorial y urbana²⁸.

Este artículo define que cada territorio tiene el deber de estar debidamente georreferenciado, teniendo la información actualizada sobre su topografía, para su implementación en estudios e investigaciones que beneficien a la región.

4.2.3 Ley 1448. La Ley 1448 estipula que para recopilar información para las solicitudes de restitución, es necesario examinar primero la información institucional disponible, como los registros de propiedad, para la identificación física de las propiedades... Desafortunadamente, la información de la propiedad catastral rural no es la más confiable. Según el documento del Consejo Nacional de Política Económica y Social de 2016 (CONPES 3859), el 28 por ciento del territorio nacional no tiene registros catastrales, y el 63.9 por ciento tiene catastros obsoletos, que totalizan 722 municipios... El catastro sólo identifica a aquellos que tienen algún tipo de documento que indica una afiliación con una propiedad, lo que excluye a la mayoría de los reclamantes de tierras²⁹

La implementación del SIG es muy significativo pues ayudar a las personas que se encuentran en el proceso de restitución de tierras, con esta tecnología se puede tener información exacta acerca del tamaño de la tierra, nombre del propietario y ubicación para tener información actualizada y evitar utilizar los catastros que ya se encuentran obsoletos en los territorios, además se puede realizar un estudio acerca de las problemáticas ambientales que pueda presentar el territorio para evitar desastres naturales.

4.2.4 Infraestructura Colombiana de datos espaciales (ICDE). “ICDE se entiende como un ecosistema que permite la construcción e implementación colectiva de políticas y facilita los procesos de gestión de los recursos geográficos, que incluyen datos, información y

²⁸ EL CONGRESO DE COLOMBIA. LEY 388 de 1997. República de Colombia. Diario Oficial No. 43.091, de 24 de julio de 1997.

²⁹ Esri Colombia (2019). Restitución de tierras. Comunidad de prensa. pag 3 . <dif: <https://esri.co/wp-content/uploads/2019/04/Restituci%C3%B3n-de-tierras.pdf>>

conocimiento, para armonizarlos, disponerlos y reutilizarlos por el Gobierno y la Sociedad, como sustento de la Gobernanza y la toma de decisiones.”³⁰. La infraestructura de datos espacial define normas, políticas y estándares que se implementan al momento de la producción, el acceso y uso de la información geográfica.

4.2.5 Normas y Documentos Referentes a Calidad del Aire. Estas normas del ministerio de ambiente inciden en la correcta ejecución, de los procedimientos de almacenamientos, control y gestión de la información de calidad del aire.

4.2.6 ISO 19128. Este estándar especifica el comportamiento de un servicio que produce mapas referenciados espacialmente dinámicamente a partir de información geográfica. Especifica operaciones para recuperar una descripción de los mapas ofrecidos por un servidor, recuperar un mapa y consultar a un servidor sobre las características que se muestran en un mapa”³¹

4.3 MARCO REFERENCIAL

4.3.1 Monitoreo de gases mediante sensores. Según Molina, et al³² Se realizó un estudio de investigación con el objetivo de diseñar e implementar un analizador básico de gases vehiculares (CO, CO₂ y HC), con interpretación en dispositivos Android. El dispositivo analizador está compuesto por sensores de gases, una tarjeta de adquisición de datos que interpreta los valores registrados por los sensores y realizan la transmisión de los mismos a través de WIFI al dispositivo. Las pruebas de funcionalidad y monitoreo se realizaron de

³⁰ ICDE (2017). Qué es la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales <<http://www.icde.org.co/quienes-somos/-que-es-la-icde>>

³¹ ISO (2015). ISO 19128: 2005 Información geográfica: interfaz del servidor de mapas web. ICS: 35.240.70 Aplicaciones informáticas en ciencia. < <https://www.iso.org/standard/32546.html>>

³² Molina, Johan. & Gutiérrez, Arcelia. & Muñoz, Pablo (2016). Diseño e implementación de un analizador básico de gases para emisiones vehiculares (HC, CO y CO₂), desarrollado bajo la plataforma android. En: Dialnet. Ingeniería y Región, ISSN 1657-6985, N.º. 15, 2016, págs. 57-64.

forma controlada donde encendieron un auto durante un periodo de tiempo, la medición se realizó, antes, durante y después de que el auto estuviese encendido. Los resultados obtenidos resaltan el cambio drástico en la concentración de gases durante los tres tiempos de medición.

De acuerdo con Burbano³³ El objetivo principal es realizar un sistema embebido móvil que reconozca los contaminantes del aire. “Este proyecto trata de un sistema embebido móvil de reconocimiento de patrones de la calidad de aire en la ciudad de Ibarra, que cuya función es monitorear los gases nocivos que existen en la ciudad, enviando los datos recolectados juntos con sus coordenadas a una plataforma en la nube, en este caso Ubidots”³⁴. El sistema va adherido en el techo de un vehículo.

Según Acero & Reyes³⁵ el objetivo es el diseño y la implementación de un sistema para el monitoreo inalámbrico de los gases contaminantes, desarrollado bajo software y hardware libre. Este se divide en un subsistema transmisor encargado de la adquisición, procesamiento y envío de datos al servidor adquiridos por los sensores y un receptor encargado de la recepción y almacenamiento de datos de los contaminantes para la visualización por el usuario final, con la interfaz propuesta para él.

Según Ortiz³⁶ El objetivo es la creación de prototipo de monitoreo de gases de bajo costo compuesto de sensores inalámbricos. El sistema se diseñó con una topología de nodos de medición que contienen dos sensores de gases, un Arduino, un Raspberry Pi (Gateway), y servidor web (PC) para la aplicación. Los valores recolectados por los sensores se codifican para ser enviados a la base de datos de la raspberry pi, donde posteriormente el servidor

³³ Burbano, Yadira (2019). Sistema embebido móvil de reconocimiento de patrones de calidad del aire en la ciudad de Ibarra. Ibarra. Ecuador. Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación.

³⁴ *Ibíd.*, p. 9

³⁵ Acero Delgado, J. & Reyes Larco, C. (2016). Sistema prototipo para el monitoreo inalámbrico de gases contaminantes del aire desarrollado bajo plataformas de hardware y software libre. 148 HOJAS. Quito: EPN.

³⁶ Ortiz, Diego(2018). Tesis (Ingeniero Electrónico), Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería; Quito, Ecuador.

realiza una lectura de los datos disponibles y se actualiza, evitando así que los datos se pierdan si no hay disponibilidad de red.

De acuerdo con Burbano, et al³⁷ El objetivo del proyecto es desarrollar un sistema de monitoreo de variables atmosféricas que sea económico y escalable. Siendo implementado de forma fija en las estaciones y como resultado proveer información a las compañías de la contaminación de gases generada a raíz de sus actividades.

Es así como el sistema de monitoreo de variables atmosféricas desarrollado se constituye de manera que se conforme un módulo de registro de gases, compuesto por una serie de sensores de gases de la serie MQ y DHT, una placa Arduino y una antena de radiofrecuencia, alimentado por una batería de ion de litio y un módulo siguiente que consta de la placa Raspberry Pi, antenas de radiofrecuencia y Wifi, y otra batería del mismo tipo³⁸.

4.3.2 Monitoreo de gases mediante VANT. Según Solórzano, et al³⁹ el objetivo del trabajo es proponer el uso de redes de sensores inalámbricos (GMS_GPS/GPRS) para monitorizar la calidad del aire (aplicando un modelo físico – matemático para realizar el cálculo de la dispersión de gases, recopilando información del punto de la emisión (altura) y de los factores meteorológicos) mediante un dron en tiempo real y enviando la información tomada al equipo de cómputo para su respectivo análisis e interpretación, para así permitir el control del límite estándar de las normas de calidad del aire minimizando los problemas que se puedan presentar a la salud humana y al ecosistema con las emisiones gaseosas.

³⁷ Burbano, Charlotte & Gamboa, Cristian & Sánchez, Carlos (2017). Desarrollo e Implementación de un Sistema Inalámbrico de Monitoreo de Variables Atmosféricas con Herramientas de Software y Hardware Libre. Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium. Cali, Colombia. Libro online DESARROLLO E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA Segunda Edición Medellín – Antioquia. Capítulo 14 p. 226-239.

³⁸ *Ibíd.*, p. 229

³⁹ Solórzano-Plaza, H., Torres-Estacio, C., & Hernández Martínez, J. (2018). Diseño de un robot aéreo móvil con un sistema de sensores inalámbricos para el monitoreo de gases tóxicos en el exterior de la refinería estatal de Esmeraldas. Polo del Conocimiento, 2(12), 3-14. <doi: <http://dx.doi.org/10.23857/pc.v2i12.406>>.

Solórzano⁴⁰ señala que el objetivo es desarrollar un sistema de sensores inalámbricos para el monitoreo y adquisición de datos de contaminación de gases por la refinería con la incorporación de un vehículo aéreo no tripulado(VANT) en la ciudad de Esmeraldas. << El módulo de sensores Waspote estará acoplado en el dron mediante unos seguros que posee este módulo para su correcto acople, esto se lo hará con un modelo matemático en tercera dimensión 3D mediante un software Solid Works quien determinará el punto de equilibrio entre el módulo de sensores y el dron>>(Pg.97). Mediante el software de Arduino se pueden grabar coordenadas

Para la tarea propuesta y con un GPS se puede valorar el estado del dron. Los sensores Waspote implementados manejan tecnología ZigBee y los módulos XBee manejando como características principales el monitoreo y control aún costo económico, además tienen un bajo consumo energético.

Para la recolección de datos se maneja un sistema de red de telemetría 4g, incorporando dos maneras de almacenamiento, la primera es interna directamente en la placa Waspote Gateway, donde la información se transmite vía Wi-Fi. La segunda mediante un radio 4g que servirá para enviar los datos del módulo Waspote y manipular y controlar el dron vía red de telemetría convirtiendo los datos mediante software en forma gráfica digital para realizar el análisis.

Según Huacón, et al⁴¹ el objetivo del proyecto es diseñar un sistema electrónico, realizando su implementación con un dron (VANT).

⁴⁰ Solórzano, Hugo(2019). Desarrollo de un sistema de sensores inalámbricos para monitorear los gases tóxicos emitidos por refinería de Esmeraldas, incorporados en un robot aéreo móvil. EN: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Trabajos de Grado - Maestría en Telecomunicaciones. (Junio 30) EN: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/13204>

⁴¹ Huacón, Linda & Rosales, Joshua. (2018). Sistema electrónico para la detección de niveles de monóxido de carbono (CO) en la avenida 7 de octubre de la ciudad de Quevedo, que facilite la toma de decisiones del Departamento de Medio ambiente del GAD Municipal. Carrera Telemática. Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Este proyecto consta de un nodo emisor que es el encargado de tomar las muestras de los niveles de CO mediante un sensor y enviarlos a través de la red celular GPRS utilizando el protocolo TCP hacía un servidor virtual privado (VPS) para su almacenamiento en una base de datos de tipo SQLite3 y al mismo tiempo enviar los datos obtenidos hacia una aplicación móvil, mediante el protocolo WebSocket (tiempo real), para que los usuarios puedan conocer los datos recopilados y a su vez monitorear los cambios en los niveles, visualizando los valores máximos y mínimos de CO, durante un determinado periodo de tiempo según indique ver el usuario⁴².

La investigación se realizó con la finalidad de que a partir de los datos obtenidos se puedan tomar medidas con respecto al tema, en pos de mejorar las condiciones ambientales, en el análisis de los datos se pudo determinar que el factor climático influye cuando se realiza la medición ya que se determina que en un horario soleado con escaso viento los niveles del gas (CO₃) aumentan de manera considerablemente, mientras con poco sol y una manifestación alta de vientos los niveles disminuyen considerablemente.

4.4 ANTECEDENTES

4.4.1 Medición con drones se ha convertido en una herramienta valiosa para medir y monitorear la calidad del aire en áreas remotas y de difícil acceso. Además, los drones también pueden cubrir grandes áreas y obtener mediciones precisas (Li, Li, & Wang, 2019).

4.4.2 Sistemas de información geográfica (SIG) son útiles para visualizar y analizar los datos de calidad del aire en un contexto geográfico. Además, la integración de diferentes tipos de datos en los SIG puede mejorar la comprensión de la calidad del aire y cómo ésta afecta la salud humana y el medio ambiente (Sun, He, & Chen, 2018).

⁴² Ibid., p. 9

4.4.3 La investigación y la implementación de tecnologías de medición de la calidad del aire han llevado a una mejor comprensión de los problemas de contaminación del aire y han ayudado a los responsables de la política ambiental a tomar decisiones informadas (Xu, Li, & Wang, 2020).

4.4.4 En algunos casos de estudio, la medición con drones ha demostrado ser efectiva para monitorear la calidad del aire en tiempo real y ayudar a tomar decisiones informadas (Zhang & Li, 2020).

Li, X., Li, Y., & Wang, J. (2019). Air quality monitoring using unmanned aerial vehicles (UAVs): A review. *Journal of Environmental Management*, 242, 305-317.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.099>

Sun, Y., He, K., & Chen, H. (2018). Development of an air quality monitoring system based on GIS and unmanned aerial vehicles (UAVs). *Atmospheric Environment*, 184, 364-371. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.04.046>

Xu, H., Li, X., & Wang, J. (2020). Unmanned aerial vehicle (UAV) based air quality monitoring: A comprehensive review. *Science of The Total Environment*, 711, 135705.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135705>

5. METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE TRABAJO

Este proyecto corresponde a una investigación interactiva ya que según Hurtado⁴³ se caracteriza porque implica una acción del investigador sobre el estudio planificado, donde está orientada a la incorporación de la participación de la comunidad estudiada y esta es generada en el ámbito social.

En el trabajo se incluyen aspectos de las disciplinas geomáticas, medio ambiente y desarrollo sostenible, sistemas de información y electrónica.

El proyecto está avalado por el Grupo de Investigación de desarrollo en informática y telecomunicaciones en la línea de ingeniería de software.

5.2 PROCEDIMIENTO

El proyecto se realizó en 4 fases, así:

5.2.1 Fase 1.

Recopilar la información existente sobre contaminación por gases de efecto invernadero producido por vehículos de combustión y los estudios de movilidad realizados por diferentes entidades en la ciudad. Además, se integrarán los estudios de las variables climáticas asociadas a este fenómeno.

⁴³ Hurtado, Jacqueline (2018). El Proyecto de Investigación. Qué es investigar. El “quiénes” de la investigación. Maestría en Ciencias Penales y Criminológicas. Materia: seminario de trabajo de grado. Material de estudio. Universidad Yacambú. Sexto trimestre

En primera instancia se realizó una investigación exhaustiva con fuentes secundarias sobre la contaminación producida por gases de efecto invernadero, producidos por la combustión de vehículos Diésel o Gasolina, con el fin de establecer cuáles son los que en orden de importancia deben medirse y su probabilidad de hallazgo en el aire de la ciudad. Para ello es importante también hacer el análisis de los estudios de movilidad estableciendo cuáles son los sitios donde hay mayores fuentes de emisión de estos gases y cuales hay en menor cantidad. Adicionalmente se estudió cómo las variables atmosféricas intervienen en la dispersión y concentración de estos contaminantes.

Las actividades que conlleva esta fase son:

- **Actividad 1. Investigar el estado del arte actualizado:** En esta actividad se realiza una amplia revisión sobre la problemática que se va a tratar, los puntos estratégicos de la ciudad. Además, se hizo una consulta a las diferentes fuentes existentes Alcaldía de Manizales y Corpocaldas para saber los datos que ellos tienen y de qué manera pueden contribuir a la ejecución del proyecto.
- **Actividad 2. Consultar estudios de movilidad:** Durante esta actividad se realiza una consulta a los informes de movilidad de la ciudad, se buscó en medios informativos web y entidades reguladoras que indicaron que los medios de transporte más comunes, demostrando que por cada persona hay dos vehículos; de esta manera, definir los puntos de la ciudad en los cuales se deberán realizar los muestreos.
- **Actividad 3. Revisar estudios de variables climáticas:** En esta actividad se conocieron las diferentes variables climáticas que pueden afectar la toma de la medida considerando la dispersión de los gases.

5.2.2 Fase 2.

Implementar por medio de un Arduino los sensores de Dióxido de Carbono (CO₂), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO) y amoníaco (NH₃) debidamente calibrados y operativos para utilizarlo mediante un dron.

Se diseña y construye un circuito en el cual se integra un sensor de gases originados por la combustión de vehículos a gasolina (Dióxido de Carbono (CO₂), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO) y amoníaco (NH₃) principalmente), con las pruebas necesarias y su respectiva calibración en un laboratorio certificado. Luego entonces se procede a integrar físicamente a un VANT con el fin de tomar lecturas de concentración de gases a diferentes alturas entre 0 y 100 metros.

Las actividades que conlleva esta fase son:

- **Actividad 1. Diseñar y maquetar:** Consiste en la planeación y diseño preliminar de los planos de estructura de hardware y software del circuito que hará uso del sensor. En esta se realiza la investigación de los elementos requeridos y cómo integrarlos dentro del circuito.
- **Actividad 2. Construir la placa:** En esta actividad se realiza la integración de los diferentes componentes mediante la construcción de una placa o circuito electrónico.
- **Actividad 3. Programar la placa:** Posteriormente de la construcción de la placa se realiza la creación y la compilación del código, para que realice la toma de medidas.
- **Actividad 4. Calibrar el sensor:** Consiste en la calibración del sensor dependiendo del tipo de gas que se desee medir, de tal manera que los datos recolectados sean lo más precisos posibles, en este punto se deben de tener en cuenta las curvas de sensibilidad características contenidas en los datasheets de los sensores a usar.
- **Actividad 5. Realizar pruebas:** Después de la respectiva calibración se lleva a cabo el testing en la estación de monitoreo de calidad del aire ubicada en la gobernación,

ya que es la única estación en Manizales que contiene la información actualizada para comparar las medidas obtenidas por el sensor.

- **Actividad 6. Diseño y construcción de soporte integral Circuito - Dron:** Una vez testeado el circuito se procedió al diseño y creación de un soporte 3D que permita integrar el circuito al dron, sin afectar las medidas.

2.2.3 Fase 3.

Tomar los datos sobre la concentración de gases contaminantes a diferentes alturas entre 0 y 100 metros al nivel del suelo en diferentes puntos estratégicos de la ciudad.

Con la fase 1 y 2 completa, se procede a tomar las lecturas en diferentes días de la semana y horas, de acuerdo con las variables climáticas y de movilidad. Esta información se organiza y se integra la data a un SIG.

Las actividades que conlleva esta fase son:

- **Actividad 1. Planear fechas y horas de medición:** Dentro de esta actividad se analizarán los estudios de movilidad de la ciudad para de esta manera determinar en qué puntos y a qué hora deben tomarse las medidas.
- **Actividad 2. Tomar medidas:** En este punto se realiza la toma de muestras en los puntos y horas previamente definidas para posteriormente ser almacenadas.

5.2.4 Fase 4. Implementar un SIG, para generar diferentes reportes y análisis para la toma de decisiones.

Se construye un SIG, con el fin de mostrar la información georreferenciada que facilite al usuario final la visualización de datos que aporten a la toma de decisiones.

Las actividades que conlleva esta fase son:

- **Actividad 1. Implementar un sistema de Información Geográfico (SIG):** Se crea un sistema de información geográfica que especifique la ubicación, fecha de las medidas, la altura a la que fue tomada, el gas que se está tomando y el valor que se registró del mismo.
- **Actividad 2. Cargar la información obtenida al Sistema de Información Geográfico (SIG):** En esta actividad se lleva a cabo la carga de la información recolectada y normalizada al Sistema de Información (SIG)

6. RESULTADOS

6.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

Para realizar la medición de los niveles de gases contaminantes en la ciudad de Manizales se construyó un prototipo en el cual se implementaron varios sensores de la serie MQ de Arduino, que obtengan lecturas precisas, de acuerdo a sus especificaciones (MQ7 (CO), MQ135 (CO₂, NH₃, NO)), que compartan espacio con una controladora Arduino de referencia Arduino Nano, un barómetro de referencia BMP180, para la toma de la presión atmosférica y con esto obtener la altura sobre el nivel del mar, un módulo GPS GY-NEO6MV2 para obtener las coordenadas y por último un módulo SD en el cual se almacenan los datos tomados tanto por los capturadores como por el barómetro para luego ser almacenados en la base de datos.



Figura 1. Componentes del prototipo

En la figura 1 se aprecian algunos de los sensores implementados en el circuito como es el caso del MQ7 y MQ135, el barómetro (BMP180), el módulo SD, y la placa Arduino.

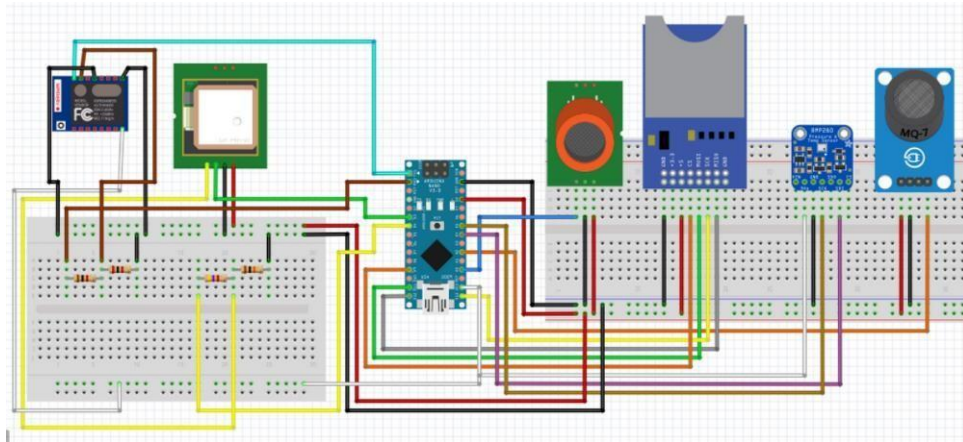


Figura 2. Prototipo de la placa.

En la figura 2 se observan los componentes y las conexiones que harán parte de la placa, de izquierda a derecha serían los siguientes:

- **Módulo GPS:** para obtener la posición exacta de la muestra, fecha y hora.
- **Microcontrolador Arduino Nano:** Encargado de ejecutar y controlar todos los procesos.
- Sensor de gas mq135. Mide CO₂, NH₃, NO.
- **Módulo micro SD:** para almacenar los datos de las mediciones.
- **Barómetro bmp180:** Mide temperatura, presión barométrica y altura sobre el nivel del mar.
- **Sensor de gas MQ 7:** Encargado de medir CO.

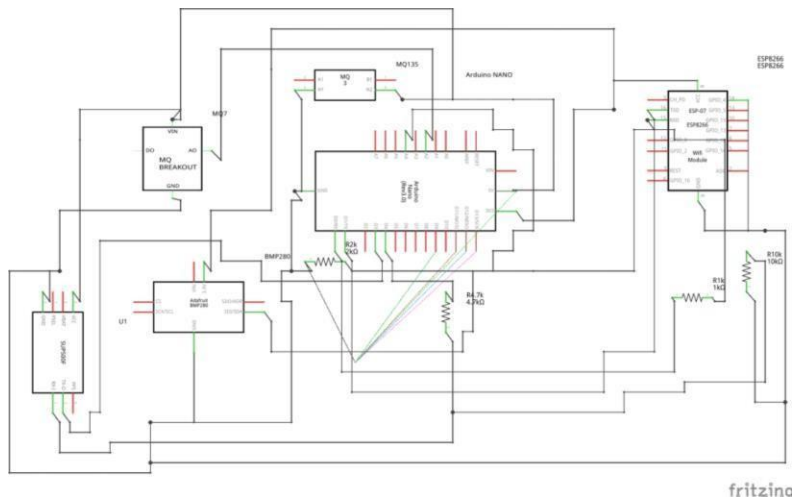


Figura 3. Esquema PCB.

En la figura 3 se muestra el esquema PCB de la placa construida, aquí se observa de manera más detallada y técnica las diferentes conexiones entre los componentes del circuito

Para la placa previamente descrita se diseñó y construyó con una impresora 3D, un soporte que integra el prototipo con en el Dron, de forma estratégica para que la turbulencia de las aspas no intervenga en la toma de las mediciones de los sensores, garantizando las propiedades de la medida.

Posteriormente se creó un sistema de información geográfico (SIG), para la persistencia, la visualización, y el análisis de los datos, de esta forma relacionar las muestras, la altura y el lugar exacto, con el fin de conocer el estado atmosférico, producto de las actividades cotidianas.



Figura 4. Visita al portal web.

Se puede acceder al portal web mediante la siguiente URL : <https://siteairquality-umanizales.hub.arcgis.com/>

6.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente proyecto se basa en el diseño e implementación de sensores que miden la contaminación en el aire producida por la combustión de vehículos a gasolina, Ortiz⁴⁴ realizó el montaje de un prototipo en una Raspberry Pi con sensores inalámbricos, en cambio este proyecto se realizó en un Arduino debido a que brinda más ventajas por su tamaño y mejor capacidad en el HUB conexiones; además estos sensores inalámbricos eran vulnerables a sufrir pérdidas de información.

Al diseño se le implementa un sensor de monitoreo de variables atmosféricas, esto se realiza para conocer las variables que intervienen en la toma de medidas las cuales se deben tener en cuenta a la hora de hacer el análisis de los valores tomados, Burbano, et al⁴⁵ realizó un sistema de monitoreo atmosférico lo que diferencia de este proyecto es que la toma de medidas se realiza desde una altura constante, en este caso una estación fija existente, igual

⁴⁴ Ortiz, op. cit, p.

⁴⁵ Burbano, et al, op. cit, p.

que Burbano⁴⁶ que recolecta la información en el techo de un vehículo por toda la ciudad donde la altura de las mediciones realizadas es persistente como la investigaciones anteriores, que a diferencia de este estudio en el cual se realiza la toma de muestras con una estación móvil y a diferentes alturas, lo cual permite conocer el comportamiento de los gases en la atmósfera, considerando que las altas concentraciones de gases contaminantes no solo se encuentran cerca al suelo, y que gracias a los fenómenos meteorológicos estos podrían desplazarse a otras zonas, además que la forma de utilizar los sensores permite movilizarse por los diferentes puntos críticos de la ciudad, donde la congestión vehicular podría agravar la problemática de la contaminación, permitiendo tener control sobre la información de la polución y las medidas que se pueden tomar respecto a esta, pudiendo confirmar que los puntos y horas pico de traslado de vehículos son causales importantes de la disminución de la calidad del aire en Manizales, este caso no se presenta en el proyecto de Huacón⁴⁷ al solo tomar las medidas de un lugar en la ciudad de Quevedo “La avenida 7 de octubre”. La similitud que se presenta en ambos proyectos es la manera de recolectar la información de la toma de medidas la cual se realiza mediante un DRON (vehículo aéreo no tripulado) facilitando el acercamiento a diferentes lugares de difícil acceso, que poseen información valiosa para determinar el estado de la calidad del aire en la capital Caldense.

Molina⁴⁸ en su investigación implementa el envío de los datos tomados mediante wifi al igual que Solórzano, et al⁴⁹ con el propósito de mantener los datos en tiempo real, teniendo la información actualizada de las medidas almacenadas siendo esto importante para la oportuna toma de decisiones. En cambio, en el proyecto actual se almacena la información de manera convencional, en una tarjeta SD insertada en la placa, aclarando que las medidas serán almacenadas con todos los datos necesarios para tener un trazado respecto al tiempo de las

⁴⁶ Burbano, op. cit, p.

⁴⁷ Huacon, op. cit, p.

⁴⁸ Molina, op. cit, p.

⁴⁹ Solórzano et al, op. cit, p.

medidas tomadas, los datos recolectados serán trasladados a la base de datos semanalmente, después de haber realizado las mediciones correspondientes al cronograma designado.

En el proyecto de Acero & Reyes⁵⁰ se pretende tener un sistema para el monitoreo de gases contaminantes y finalmente tener una visualización para el usuario final implementado bajo una LAMP*, la visualización de los datos en el presente proyecto se hará mediante un SIG (Sistema de Información Geográfica), que contará con todos los lugares georeferenciados donde se tomaron las medidas, montado en un portal web, contando con la fundamentación especial de cada una de las variables analizadas, facilitando el análisis de la información, ya que será de acceso público, permitiendo construir mapas analíticos, con valores y gráficas, simplificando la comprensión de la problemática y las lecturas obtenidas de las mediciones sobre la contaminación en la ciudad de Manizales, todo esto acompañado de una interfaz amigable con los ciudadanos, dándoles la posibilidad de acceder a la plataforma, como manera de autoconciencia frente a la problemática, considerando como esta puede afectar su bienestar y que acciones en su forma de vida puede mitigar la situación. Además del análisis y las posibles soluciones que los entes gubernamentales pueden tomar frente a puntos críticos de contaminación detectados por la investigación.

⁵⁰ Acero, op. cit, p.

*El acrónimo LAMP hace referencia a un conjunto de programas o software de código abierto que y está constituido por: -Linux - S.O -Apache - Servidor Web -MySQL u otros gestores de BD -PHP -Lenguaje de programación

7. CONCLUSIONES

El periódico la patria⁵¹ en un artículo indica que Manizales en el 2014 identificó que la principal fuente de contaminación es el sector de transporte, producto de la quema de combustibles fósiles en el sector automotriz, considerando vehículos públicos y particulares, de aquí la necesidad de una investigación específica del problema, que considere todas las variables que puedan interactuar, obteniendo información muy valiosa para generar estrategias que afronten la contaminación atmosférica proveniente de este sector.

Se puede decir que los datos que arrojan las estaciones de la red de monitoreo fijas, cumplen la normativa nacional de calidad del aire; sin embargo, en comparación con la recomendación de la OMS para evitar afectaciones en la salud en las personas, se incumple, ya que miden puntos muy precisos, haciendo que la información obtenida sea sesgada y poco profunda, además de que no son constantes en el tiempo e imposibilitan el acceso a la zona afectada, a pesar de que Manizales posee una mesa de calidad del aire y esta se encuentra trabajando en políticas públicas con respecto a la relación que hay entre la movilidad de la ciudad y la contaminación atmosférica, son limitados y no tienen la cobertura total de la ciudad.

Las mediciones de la calidad del aire en Manizales, indicaron que con los informes presentados por la alcaldía mediante “Manizales cómo vamos”, tomados de las estaciones fijas, las principales zonas con mayor índice de contaminación son el Liceo Isabel la Católica y la zona industrial de Milán, teniendo en cuenta que estos no son los únicos lugares concurridos de la ciudad, con la implementación de toma de medida mediante una estación móvil, se pretende llegar a zonas apartadas de las estaciones fijas que también se ven afectados por la polución, ampliando todo el territorio, para dar a conocer nuevos focos de contaminación que no han sido tenidos en cuenta por entes gubernamentales.

⁵¹ La patria (2019). Cómo vamos: Sumemos acciones para respirar un aire limpio en Manizales. Online. Disponible en: <https://www.lapatria.com/manizales/como-vamos-sumemos-acciones-para-respirar-un-aire-limpio-en-manizales-444860>

Este proyecto busca que las personas logren el acceso a la información de manera constante, puedan ver la trazabilidad del problema, mediante el sistema SIG, brindándole las herramientas para una visualización simple, pero a la vez completa de cómo evoluciona el problema en cuestión, de manera regular. De tal manera que se genere conciencia ambiental tanto en los ciudadanos del común como en empresas. Además, que las entidades gubernamentales encargadas pueden crear proyectos viables para contrarrestar la problemática, con un mayor radio de acción.

Integración de tecnologías: El diseño de un dispositivo electrónico y SIG puede mejorar aún más la recolección y comprensión de los datos sobre calidad del aire y permitir un monitoreo más efectivo que ayude a las personas a revisar y cambiar las estrategias actuales para reducir la dependencia de los vehículos y fomentar la adopción de alternativas más sostenibles. Esto puede incluir medidas como el desarrollo de infraestructuras para transporte público más accesibles y eficientes, la promoción de caminar y andar en bicicleta, la creación de zonas peatonales y la implementación de políticas de incentivos para la compra de vehículos eficientes en términos de energía y emisiones.

8. RECOMENDACIONES

Realizar el mejoramiento de envío de datos, esto con el fin de lograr que el envío de datos se haga de forma más segura.

Es recomendable tener precaución con la la instalación para evitar averciones por condiciones climáticas o por la manipulación no autorizada o golpes.

La conexión de voltaje del módulo BMP180 siempre debe ir a 3.3V de lo contrario podrían averiarse.

Para el correcto funcionamiento del circuito se requiere la instalación de un módulo de alimentación externa, el cual tenga salidas de voltaje de 3.3V y 5V, por ejemplo un módulo mb102 para la regulación de alimentación.

Es indispensable contar con el personal calificado para el manejo del DRON y las tomas de medida funcionen adecuadamente sin ocasionar daños.

Es importante guardar los datos en formatos adecuados que sean aceptados por Arcgis. Por ejemplo CSV.

BIBLIOGRAFÍA

Acero Delgado, J. & Reyes Larco, C. (2016). Sistema prototipo para el monitoreo inalámbrico de gases contaminantes del aire desarrollado bajo plataformas de hardware y software libre. 148 HOJAS. Quito: EPN

Albert, L. A. (2004). Contaminación ambiental. Origen, clases, fuentes y efectos. Albert LA, Jacott M. México tóxico. Capítulo, 4, 38-52.

BALLESTEROS, HO Benavides; ARISTIZABAL, GE León. Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Bogotá DC: nota técnica del IDEAM, 2007.

ATAZ, Ernesto Martínez; DE MERA MORALES, Yolanda Díaz. Contaminación atmosférica. Univ de Castilla La Mancha, 2004.

Astudillo, Marcelo (2011). Modelación de dispersión espacial de contaminantes del aire en la ciudad de Cuenca. Universidad San Francisco De Quito. Tesis de grado (Magíster en Ciencias de Información Geográfica). Quito. P200,p.34

BALLESTEROS, HO Benavides; ARISTIZABAL, GE León. Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Bogotá DC: nota técnica del IDEAM, 2007.

Bellucci, A., Haarsma, R., Bellouin, N., Booth, B., Cagnazzo, C., van den Hurk, B., Keenlyside, N., Koenigk, T., Massonnet, F., Materia, S., et al. (2015), Advancements in decadal climate predictability: The role of nonoceanic drivers, Rev. Geophys., 53, 165– 202. doi:10.1002/2014RG000473. CARABALLO, Jorge Mario Sánchez. Características fisicoquímicas de los gases y partículas contaminantes del aire. Su impacto en el asma. Iatreia, 2012, vol. 25, no 4, p. 369-379.

Burbano, Charlotte & Gamboa, Cristian & Sánchez, Carlos (2017). Desarrollo e Implementación de un Sistema Inalámbrico de Monitoreo de Variables Atmosféricas con Herramientas de Software y Hardware Libre. Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium. Cali, Colombia. Libro online DESARROLLO E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA Segunda Edición Medellín – Antioquia. Capítulo 14 p. 226-239.

Burbano, Yadira (2019). Sistema embebido móvil de reconocimiento de patrones de calidad del aire en la ciudad de Ibarra. Ibarra. Ecuador. Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación.

CARABALLO, Jorge Mario Sánchez. Características fisicoquímicas de los gases y partículas contaminantes del aire. Su impacto en el asma. Iatreia, 2012, vol. 25, no 4, p. 369-379.

Ciemat (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas). Ministerio de Ciencia y Tecnología. Madrid (2000).

CIIFEN (Centro internacional para la investigación del fenómeno del niño), Ecuador (2011). Efecto invernadero.

Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Valoración Económica de la Degradación ambiental en Colombia 2015.

Dávila, F. J.; Camacho, E, Santander (2012). Georreferenciación de documentos cartográficos para la gestión de archivos y cartotecas "Propuesta Metodológica"

Departamento Nacional de Planeación, Colombia (2005). Consejo Nacional de Política Económica y Social. Documento Conpes 3344, Lineamientos para la Formulación de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire. Bogotá, D.C., 14 de marzo

Desarrollo tecnológico e innovación empresarial, (2017). Vehículos aéreos no tripulados

De la Cruz Rodríguez, Arcadio (2007) “Química Orgánica Vivencial“ McGraw Hill..

Días, J. y Linares, C. (2010). «Las causas de la contaminación atmosférica y los contaminantes atmosféricos más importantes». Observatorio de Medio Ambiente en España 2010 de DKV Seguros y ECODES. “Contaminación Atmosférica y Salud”.

DNP (Departamento Nacional de Planeación). Valoración Económica de la Degradación ambiental en Colombia 2015. Colombia.

Ecologistas en acción. (2013), Ozono troposférico
<<https://www.ecologistasenaccion.org/27108/ozono-troposferico/>>

Esri Colombia (2019). Restitución de tierras. Comunidad de prensa. pag 3 . <dif:
<https://esri.co/wp-content/uploads/2019/04/Restituci%C3%B3n-de-tierras.pdf>>

FISCHER, M. (1993). La capa de ozono, McGraw-Hill, Madrid, 89

GARDUÑO, René. ¿Qué es el efecto invernadero?. Cambio climático: una visión desde México, 2004, vol. 29.

Gleave, Steer. (2018). Plan Maestro de Movilidad, Manizales, 2017. República de Colombia Gaceta del concejo de Manizales Caldas. Junio 15, GACETA N° 00188

GRIBBIN, J. (1992). El agujero del cielo. La amenaza humana a la capa de ozono. Madrid: Alianza Editorial.

Gruber, Nicolas & Galloway, James. (2008). Gruber N, Galloway JN.. An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle. Nature 451: 293-296. Nature. 451. 293-6. 10.1038/nature06592

Huacón, Linda & Rosales, Joshua. (2018). Sistema electrónico para la detección de niveles de monóxido de carbono (CO) en la avenida 7 de octubre de la ciudad de Quevedo, que facilite la toma de decisiones del Departamento de Medio ambiente del GAD Municipal. Carrera Telemática. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Instituto para la salud geoambiental. Dióxido de carbono CO2.

<https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-carbono-co2?gclid=CjwKCAjwqdn1BRBREiwAEbZcR1UOlpneK3tQYfzqW4ShcBhbnM5D0oanJ_WZ9E4j6E1evXwUIug-2_BoCGPkQAvD_BwE>

ICDE (2017). Qué es la Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales <http://www.icde.org.co/quienes-somos/-que-es-la-icde>

INS, «INFORME CARGA DE ENFERMEDAD AMBIENTAL EN COLOMBIA,» ONS, Bogotá, 2018.

Instituto de Estudios Ambientales IDEA, Colombia (2019). Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire en Manizales. Boletín Ambiental. Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental de Caldas – (SIMAC). Septiembre de 2018. 23 p.

ISO (2015). ISO 19128: 2005 Información geográfica: interfaz del servidor de mapas web. ICS: 35.240.70 Aplicaciones informáticas en ciencia. <<https://www.iso.org/standard/32546.html>>

ISAN, Ana (2018). Contaminación del aire y problemas de salud .EN: EcologiaVerde (Noviembre 23). < <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-del-aire-y-problemas-de-salud-306.html>>

JOHANSON, U., GEHRKE, C., et al. (1995). “The effects of enhanced UV-B radiation on a subarctic heath ecosystem”. En: *Ambio*, 24, pp. 106-111.

Jiménez R(1998). Metodología de la Investigación. Elementos básicos para la investigación clínica. Editorial Ciencias Médicas, La Habana. pag 14.

JOKELA, K. , et.al., (1993.) “Effects of artic ozone depletion and snow on UV exposure in Finland, Photochem”. En: Photochemistry and Photobiology, 58, pp. 559-566.

Korc, M., & Sáenz, R. (1999). Monitoreo de la calidad del aire en América Latina. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente–OMS Lima.

La patria (2019). Cómo vamos: Sumemos acciones para respirar un aire limpio en Manizales. Online. Disponible en: <https://www.lapatria.com/manizales/como-vamos-sumemos-acciones-para-respirar-un-aire-limpio-en-manizales-444860>

Lima, María Lourdes, Escobar, John Fernando, Massone, Héctor, & Martínez, Daniel. (2012). Modelación geoespacial exploratoria en cuencas de llanura: caso de aplicación en la cuenca del Arroyo Dulce, Buenos Aires, Argentina. Tecnología y ciencias del agua, 3(2), 51-65. Recuperado en 09 de mayo de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222012000200004&lng=es&tlng=es.

MAVDT Colombia. Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. 7 p

Ortiz, Diego(2018). Tesis (Ingeniero Electrónico), Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería; Quito, Ecuador.

Molina, Johan. & Gutiérrez, Arcelia. & Muñoz, Pablo (2016). Diseño e implementación de un analizador básico de gases para emisiones vehiculares (HC, CO y CO₂), desarrollado bajo la plataforma android. En: Dialnet. Ingeniería y Región, ISSN 1657-6985, N.º. 15, 2016, págs. 57-64.

OMS, «Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre,» Ediciones OMS, Ginebra, 2005.

Osseiran, N., & Lindmeier, C. (2018). out of 10 people worldwide breathe polluted air, but more countries are taking action. World Health Organization (WHO): Geneva, Switzerland.

Pulido, M. D. P. A., Sara Lilia Ávila de Navia, M. S. C., Sandra Mónica Estupiñán Torres, M. S. C., & Prieto, A. C. G. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. NOVA Publicación en Ciencias Biomédicas, 3(4), 69-79.

RODRÍGUEZ, María Xosé Vázquez. Estimación económica de los beneficios para la salud del control de la contaminación del aire. El caso de Vigo. Revista Galega de Economía, 2002, vol. 11, no 2, p. 0.

Semarnat. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México. 2013.

SMARN (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). «Fuentes de Contaminación Atmosférica». Gobierno mexicano. Junio de 2018.

Solórzano, Hugo(2019). Desarrollo de un sistema de sensores inalámbricos para para monitorear los gases tóxicos emitidos por refinería de Esmeraldas, incorporados en un robot aéreo móvil. EN: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Trabajos de Grado – Maestría.

Solórzano-Plaza, H., Torres-Estacio, C., & Hernández Martínez, J. (2018). Diseño de un robot aéreo móvil con un sistema de sensores inalámbricos para el monitoreo de gases tóxicos en el exterior de la refinería estatal de Esmeraldas. Polo del Conocimiento, 2(12), 3-14. <doi: <http://dx.doi.org/10.23857/pc.v2i12.406>>.

Vargas, Ana. & Calderón, Silvia. & Sánchez, Mariet. & Álvarez, Camilo. & Romero, Germán, & Riveros, Leidy. & Cantor, Yudy. (2015). Valoración Económica de la Degradación ambiental en Colombia 2015. Departamento Nacional de Planeación.

WHO. World Health Organization. (2016). Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. World Health Organization. <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/250141>>

Zapata, Carlos. & Gálvez, David. González, Carlos. & Aristizábal, Helena. & Velazco Mauricio. (2018). BOLETÍN CALIDAD DEL AIRE EN MANIZALES AÑO 2018. Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GTAIHA), Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Departamento de Ingeniería Química. b Corporación Autónoma Regional de Caldas, Corpocaldas. Manizales.

ANEXO A

INFORME ESTADO DEL ARTE DE LA CALIDAD DEL AIRE

INTRODUCCIÓN

La atmósfera cumple funciones fundamentales para preservar la vida en el planeta: provee la capa de ozono que filtra la radiación ultravioleta (UV) originada por el sol, contribuye en la regulación del clima, ya sea por el movimiento del aire frío y caliente sobre los océanos y las superficies continentales, o por su efecto directo en las corrientes oceánicas y en el flujo del agua que después se precipita en los continentes (BELLUCCI, 2018). La atmósfera actúa de igual manera como fuente de algunos elementos químicos esenciales para la vida, los cuales circulan en la biosfera a través de los llamados “ciclos biogeoquímicos” y que necesariamente pasan por una fase gaseosa en la atmósfera, como son los casos del carbono y del nitrógeno (Gruber, 2008).

El medio ambiente que nos rodea contiene varios tipos de contaminantes, tóxicos, contaminantes y exposiciones artificiales. Estos son biológicos, químicos o físicos y podría clasificarse en toxicología ambiental. Aplicando los principios de biología, física y química, los toxicólogos pueden estudiar el comportamiento tóxico de exposición al campo electromagnético artificial (EMF)(SUESCUN, 2017).

La contaminación ambiental siempre ha existido como parte inherente de las actividades del ser humano, sin embargo, durante los últimos años se le ha debido prestar mayor atención debido al aumento y concurrencia y gravedad de los incidentes ocurridos alrededor del mundo relacionados con la contaminación.

Aunque los casos de contaminación más latentes se iniciaron a finales del siglo XVIII, durante la revolución industrial, se agravaron considerablemente después de la segunda guerra mundial, cuando el mundo aumentó el consumo de energía, así como la extracción, producción y/o utilización de diferentes sustancias tanto naturales como sintéticas, para las cuales los mecanismos naturales de asimilación han sido rebasados o simplemente no existen (ALBERT, 2004).

La contaminación del aire es uno de los problemas ambientales más importantes, y es resultado de las actividades del hombre. Las causas que originan esta contaminación son diversas, pero el mayor índice es provocado por las actividades industriales, comerciales, domésticas y agropecuarias. “Se entiende por contaminación atmosférica como la contaminación de la atmósfera por residuos o productos secundarios gaseosos, sólidos o líquidos, que pueden poner en peligro la salud del hombre, el bienestar de las plantas y animales, atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables” (GONZÁLEZ, 2012). Y según (NATHANSON, 2020) en la economía y la estética.

Según el Banco Mundial, en las ciudades latinoamericanas el 70% de las emisiones se debe a fuentes móviles, vehículos de combustión diésel o gasolina como camiones, volquetas, motos, buses y carros (OMS, 2005). El 30% restante es producido por fuentes fijas que vierten los contaminantes a través de ductos o chimeneas y se encuentran en un lugar determinado como los parques industriales, incineraciones controladas, viviendas y zonas mineras.

Las consecuencias de la contaminación ambiental se observan en la salud, el ambiente y la infraestructura. Con respecto a la salud, en el mundo 4,2 millones de muertes se asociaron a la contaminación del aire en 2015, provocadas en su mayoría por cardiopatías isquémicas, accidentes cerebrovasculares, neuropatías, cáncer de pulmón e infecciones de las vías respiratorias. En Colombia la situación no es distinta, pues el 8% de las muertes en el país se deben a la mala calidad del aire (INS, 2018).

Pero no solo son los humanos los que reciben las consecuencias del deterioro del aire, también los cultivos a causa de la lluvia ácida y en la infraestructura es causante del deterioro de edificios, puentes y estatuas. En 2015 y de acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación (DNP), atender la carga de morbilidad y mortalidad asociada a la mala calidad del aire le costó al país 1,9 billones en primas de seguros e indemnizaciones, 3,9 billones en pérdida económica de ingresos y de productividad y 12,3 billones en valor estadístico de la vida. Este monto (\$18 billones), equivale al 2,2% del PIB del país en ese año (INS, 2018).

En Colombia la contaminación atmosférica ha sido uno de los factores de preocupación más importantes en los últimos años, por los impactos generados tanto en la salud como en el medio ambiente. La problemática atmosférica actual es la que genera los mayores costos sociales y ambientales después de los generados por la contaminación del agua y los desastres naturales.

Sin embargo, Colombia desde hace varios años ha tomado medidas para el control de la contaminación del aire. En 1967 se instalaron las primeras estaciones para el monitoreo de la calidad del aire; después, en 1973 se expidió la ley 23, cuyo propósito es “Prevenir y

controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del territorio nacional” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

De acuerdo con el estudio de valoración económica de la degradación ambiental en Colombia (DNP, 2015), en el año 2015 se asociaron con la baja calidad del aire más de 8.000 muertes por cáncer de pulmón y enfermedad cardiovascular en mayores de 44 años, y 22 muertes por todas las causas en menores de 5 años, así como 67 millones de enfermedades y síntomas respiratorios, además de restricción en el desarrollo de actividades y atenciones en los servicios de urgencias y hospitalización por causas respiratorias. Los costos estimados por estas causas ascendieron a 12,3 billones de pesos, equivalentes al 1,5 % del PIB de 2015 (DNP, 2018).

Según el análisis realizado en el año 2005 por el documento Conpes 3344 de 2005 (DNP, 2005), la contaminación del aire en el país estaba causada principalmente por el uso de combustibles fósiles. El 41% del total de las emisiones se generaba en ocho ciudades. Las mayores emisiones de material particulado menor a 10 micras (PM10), óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO) estaban ocasionadas por las fuentes móviles, mientras que las de partículas suspendidas totales (PST) y óxidos de azufre (SOx) eran generadas por fuentes fijas.

Actualmente, el PM10 es monitoreado en 78 municipios del país, esto por medio de 21 sistemas de vigilancia de calidad del aire (SVCA), los cuales están conformados por 163 estaciones de monitoreo y son administradas por las autoridades ambientales. Dichas estaciones de monitoreo están ubicadas en las zonas con mayor densidad poblacional y en lugares en que se desarrollan actividades de alto impacto para la calidad del aire.

En la ciudad de Manizales (Manizales como vamos, 2018) se cuenta con un SVCA (Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire), cuyo objetivo es cuantificar la cantidad de contaminantes que están siendo descargados a la atmósfera. Este sistema está compuesto por diferentes estaciones, distribuidas en diferentes puntos de la ciudad, ubicadas estratégicamente con el

fin de medir las diferentes fuentes de contaminación. Además, desde agosto de 2018, Manizales y Caldas entraron a formar parte de la red de cooperación BREATHELIFE; dicha red de cooperación internacional moviliza a las ciudades y personas para proteger la salud y el planeta, esto a través de campañas y acciones de los efectos de la contaminación atmosférica, destacando así acciones tanto de personas como de organizaciones en pro de un aire más limpio (IDEA, 2018).

Además de la cuantificación por medio de los equipos de monitoreo hay un conjunto de actividades como el análisis, procesamiento y publicación de datos en el CDIAC (Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas) y en el SISAIRE – IDEAM, lo cual permite a las entidades públicas, privadas y población en general acceder a la información de manera oportuna y así tener conocimiento de la calidad del aire en los diferentes sectores.

Al momento de medir la Calidad del Aire debemos tener en cuenta algunos factores como lo son:

1. Variables que afectan Las mediciones

Al momento de hacer el montaje de un sistema de medición de calidad del aire se deben tener en cuenta diversas variables que pueden afectar tanto los parámetros del proyecto, como el tipo y la calidad de la medición, primero que todo, según la cancillería de medio ambiente de valencia (Valenciana, 2015) cuando se habla de metodologías para evaluar la calidad del aire es muy importante saber que las concentraciones ambientales deben especificarse siempre claramente en tres puntos:

1. Forma en que se toma la muestra y el método analítico de medida.
2. Lugar donde fue tomada la muestra o donde fue físicamente medida, la localización concreta del sitio de la medida, esta será obtenida gracias al plan maestro de movilidad de Manizales.
3. Finalmente, se refiere al tiempo de la medida.

2. Método de Medición de la Calidad del Aire.

Actualmente, la calidad del aire se mide a través de muestreos, un muestreo es la selección de un subconjunto de casos o individuos de una población, como representación estadística, con

el fin de obtener información e inferir las propiedades de la totalidad de la población, por lo cual la muestra debe ser representativa, si se desea cumplir con esta característica se debe seguir una técnica de muestreo, pudiéndose obtener información similar a la de un estudio exhaustivo con mayor rapidez y menor costo.

En cuanto a la calidad del aire se refiere, el muestreo se define como la medición de la contaminación de aire por medio de la toma de muestras, para ser sometidas a análisis y posteriormente determinar la concentración de contaminantes y su caracterización (instituto nacional de ecología).

La medición de contaminantes atmosféricos se puede lograr mediante diversos métodos que se agrupan de acuerdo a sus principios, estos son:

- **Muestreo pasivo:** Este método de muestreo recolecta un contaminante específico por medio de absorción en un sustrato químico seleccionado. Los equipos utilizados en este método se llaman muestreadores pasivos, su modo de empleo es mediante la exposición de la herramienta por un periodo determinado de tiempo, que puede variar desde horas hasta meses, luego de esto la muestra se regresa al laboratorio donde se realiza la desorción del contaminante para ser cuantificado.
- **Muestreo con bioindicadores:** en este método se hace uso de especies vivas, generalmente vegetales, donde su superficie funciona como receptora de contaminantes. Su función principal es investigar los efectos de los contaminantes, tanto en el metabolismo de la planta, como en su apariencia.

Este método es difícil de implementar ya que las técnicas que se emplean no están debidamente estandarizadas y requiere de análisis de laboratorio.

- **Muestreo activo:** este método hace uso de aparatos electrónicos para cumplir su función, por lo tanto, requiere de energía eléctrica, los dispositivos succionan el aire

a través de un medio de colección físico o químico. Los muestreadores activos se clasifican en burbujeadores (gases) e impactadores (partículas).

- **Muestreo automático:** en cuanto a resolución es el mejor método, permitiendo llevar a cabo mediciones de forma continua para concentraciones horarias y menores, además de su alto espectro de contaminantes que pueden ir desde gases hasta material particulado.

Los equipos disponibles en este método se clasifican en:

- **Analizadores automáticos:** los cuales son usados para determinar la concentración de gases contaminantes en el aire, basándose en sus propiedades físicas y/o químicas.
- **Monitores de partículas:** como su nombre lo indica se usa para determinar la concentración de material particulado suspendido en el aire.
- **Método óptico de percepción remota:** estos se basan en técnicas espectroscópicas. Para este método se hace uso de equipos llamados sensores remotos que funcionan transmitiendo un haz de luz de una cierta longitud de onda a la atmósfera, midiendo la energía absorbida, permitiendo medir en tiempo real las concentraciones de contaminantes y la medición integral de multicomponentes a lo largo de una trayectoria específica de la atmósfera.

3. Análisis de Muestras

El análisis de las muestras es el método por el cual se determinan los componentes de una muestra, las concentraciones y cualidades de cada una de ellas. Los métodos de medición que utilizan muestreadores, requieren por lo general que una vez que se ha muestreado el contaminante sea necesario analizarlo por alguno de los siguientes métodos:

- **Métodos volumétricos:** la cantidad del contaminante detectado se deduce del volumen de la solución que se ha consumido en una reacción.
- **Métodos gravimétricos:** Son métodos analíticos cuantitativos en los cuales las determinaciones de las sustancias se llevan a cabo por una diferencia de pesos, donde se determina la masa pesando el filtro, a temperatura y humedad relativa controladas, antes y después del muestreo.
- **Métodos fotométricos:** Son métodos analíticos cuantitativos en los cuales las determinaciones de las sustancias se llevan a cabo por una diferencia de pesos, donde se determina la masa pesando el filtro, a temperatura y humedad relativa controladas, antes y después del muestreo.
- **Espectrofotometría:** Es la medida de la cantidad de energía radiante absorbida por las moléculas a longitudes de onda específicas. Cada compuesto tiene un patrón de absorción diferente que da origen a un espectro de identificación.

4. Plan de Movilidad

Haciendo énfasis en el segundo punto tenemos que Manizales se rige actualmente por el Plan Maestro De Movilidad el cual es un “Instrumento de largo plazo articulado con las políticas y estrategias de usos del suelo y de movilidad en cumplimiento con la ley 1083 de 2006, cuyo propósito primordial es mejorar el sistema de movilidad bajo una visión integrada con el plan de espacio público y el Sistema Estratégico de Transporte”, este proyecto tiene una vigencia de 5 años a partir de su actualización (2018), el cual es aplicado tanto en Manizales como en Villamaría; cuyos antecedentes son los siguientes:

- En 2010 los municipios de Manizales y Villamaría desarrollan la propuesta de unificar sus sistemas de transporte público, obedeciendo los lineamientos establecidos por el Plan de Desarrollo Nacional 2010-2014 “Prosperidad para todos”.

- En 2011 se realizó un estudio para observar la movilidad del municipio, con el fin de establecer estrategias para la operación del sistema de transporte integrado en la ciudad de Manizales, dando como resultado el diseño conceptual del SETP (Sistema Estratégico de transporte público) que incluía el municipio de Villamaría como zona de conurbación.
- Gracias a lo establecido en los años anteriores, en el 2012 se creó el documento Conpes 3167 de mayo 23 del mismo año, “Política para mejorar el servicio de transporte público urbano de pasajeros”, que formula la política del Gobierno Nacional en materia de transporte urbano y las estrategias para la realización de la misma, planteando acciones para todas las ciudades, sub dividiéndolas de acuerdo a su población, para determinar proyectos que permitan desarrollar sistemas de movilidad sostenibles de acuerdo a las necesidades.
- También en el año 2012, el plan de desarrollo municipal 2012-2015 “gobierno en la calle”, el SETP fue incorporado en su propósito 12: Optimizar la malla vial del Municipio y facilitar la movilidad en la ciudad, específicamente en el Programa 2: Gestión, Control y Regulación del Tránsito y el Transporte, Subprograma 4: Implementación de un Sistema Estratégico de Transporte para Manizales. Como resultado de estas políticas y estudios, el Decreto 0108 del 29 de febrero de 2012 definió el proyecto SETP de Manizales y Villamaría, el cual fue construido entre los años 2015 y 2019 y debe formar parte integral de los planes de movilidad de los municipios de Manizales y Villamaría, que desarrollarán las administraciones municipales.
- En el 2013 el DNP realizó el Diseño conceptual del SETP de Manizales y Villamaría, el cual estudió 4 variables:
 - **Matriz origen y destino:** Estudio mediante el cual se quiere conocer el comportamiento en movilidad de los habitantes de Manizales, cuáles son sus desplazamientos y así poder diseñar más eficientemente las rutas.

- **Estudio de Pico y Placa:** Estudio que busca definir si algunos sectores de la ciudad ameritan tener sí o no la restricción horaria de algunos vehículos con el fin de mejorar la movilidad.
- **Pre factibilidad de Dos líneas de Cable Aéreo:** Estudio que definirá dos posibles rutas para desarrollar un sistema de Cable Aéreo con el fin de mejorar la movilidad de ciertos sectores de la ciudad, integrando el sistema actual de Cable.
- **Integración con el Plan Maestro de Espacio Público:** El plan maestro de Espacio Público define objetivos, políticas y estrategias de estructuración de dicho sistema y establece las acciones y proyectos estratégicos, así como los instrumentos de planificación que permitirán su consolidación como eje estructurante y articulador de la ciudad en armonía con el sistema ecológico, de movilidad y los equipamientos colectivos existentes y proyectados (Observatorio de Infraestructura de Caldas, 2013).

5. Tiempo de la Medida

Aquí se busca la representatividad del dato en la escala de tiempo, se definen 2 tipos posibles:

- **Fija:** que permanece un periodo de tiempo superior a un año en un punto fijo.
- **Indicativas:** permanece en un punto en periodos de tiempo inferiores a un año. Pueden utilizarse con tecnologías de medición de referencia o no.

Lo anterior nos da el pie para determinar el tipo de estación o de sistema de vigilancia de calidad del aire que podemos implementar, siendo posible utilizar uno de los siguientes:

- **Manuales:** sistemas de monitoreo totalmente manuales, constituidos por equipos muestreadores.

- **SVCA Automáticos:** sistemas de monitoreo constituidos totalmente por equipos y sistemas automáticos.
- **Híbridos:** sistemas de monitoreo constituidos por la combinación entre equipos manuales y automáticos (MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, 2008).

Referencias Bibliográficas

Albert, L. A. (2004). Contaminación ambiental. Origen, clases, fuentes y efectos. Albert LA, Jacott M. México tóxico. Capítulo, 4, 38-52.
<<https://es.slideshare.net/thaliacespedeslizarbe/contaminacion-45347459>>

Bellucci, A., Haarsma, R., Bellouin, N., Booth, B., Cagnazzo, C., van den Hurk, B. J. J. M., ... & Weiss, M. (2015). Advancements in decadal climate predictability: The role of nonoceanic drivers. *Reviews of Geophysics*, 53(2), 165-202.
<<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2014RG000473>>

Colombia. Departamento Nacional de Planeación. Consejo Nacional de Política Económica y Social. Documento Conpes 3344, Lineamientos para la Formulación de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire. 2005.

Colombia. Instituto de Estudios Ambientales IDEA - Sede Manizales. Boletín Ambiental. Septiembre de 2018. 23 p.

Departamento Nacional de Planeación. Colombia. Valoración Económica de la Degradación ambiental en Colombia 2015.

González, V. C., & Sandoval, I. S. (2012). Contaminación ambiental del aire en Buenos Aires, Argentina. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo-RIAT*, 8(1), 34-41.

<<http://riat.atalca.cl/index.php/test/article/view/229>>

Gruber, N., & Galloway, J. N. (2008). An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature*, 451(7176), 293-296. <<https://www.nature.com/articles/nature06592>>

INS, «INFORME CARGA DE ENFERMEDAD AMBIENTAL EN COLOMBIA,» ONS, Bogotá, 2018.

Instituto Nacional de Ecología. (n.d.). Principios de medición de calidad del aire. México.

Manizales cómo vamos, «Informe de calidad de vida,» 2018.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia. Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. 7 p.

MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. (2008). PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE. Bogotá.

NATHANSON, Jerry A. (2020). Air pollution. En: *Encyclopædia Britannica* (Enero 24). Encyclopædia Britannica, inc. Tóxicos del aire. <<https://www.britannica.com/science/air-pollution/Ozone#ref286161>>

Observatorio de Infraestructura de Caldas. (2013). PLAN MAESTRO DE MOVILIDAD. Manizales.

OMS, «Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre,» Ediciones OMS, Ginebra, 2005.

Suescun Fortuna, N., Vargas, S., del Pilar, A., & Parra Sánchez, C. C. (2017). La responsabilidad del estado por la acción u omisión de sus entidades, frente a la contaminación ambiental por emisión de gases en el municipio de San José de Cúcuta.

<<https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/11850>>

Valenciana, B. d. (2015, 9 16). Gbif.es. Retrieved from Registro de Instituciones,

Colecciones y Bases de Datos de Biodiversidad:

Institución:

<<https://www.gbif.es/instituciones/banco-de-datos-de-la-biodiversidad-de-la-comunitat-valenciana/>>

ANEXO B

INFORME CIRCUITO ELECTRÓNICO

Para el desarrollo del proyecto se realizó el diseño y construcción de un circuito electrónico para la toma de datos y almacenamiento de los datos, para esto se tuvo en cuenta los diferentes parámetros que se querían medir, así como la mejor forma de integrar los diferentes componentes necesarios para lograr una correcta medición de variables.

Los elementos utilizados para la construcción del circuito fueron:

- **Arduino Nano:** Es una pequeña y potente tarjeta de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega328. Es compatible con el entorno de desarrollo Arduino y tiene una gran cantidad de pines de entrada y salida, lo que lo hace ideal para proyectos pequeños y medianos. En este caso, se utiliza para controlar y recolectar datos de los sensores y escribirlos en un archivo en la tarjeta SD.

Algunas de las características principales del Arduino Nano son:

- Microcontrolador ATmega328P con clock de 16 MHz
- Compatible con las instrucciones AVR de 8 bits
- 32 KB de memoria flash para almacenar el código
- 2 KB de SRAM
- 1 KB de memoria EEPROM
- 14 pines de entrada/salida digitales, de los cuales 6 pueden ser utilizados como salidas PWM
- 8 entradas analógicas
- Conector USB mini-B para la alimentación y la comunicación con el ordenador
- Conector ICSP para la programación
- Puede ser alimentado a través del conector USB o de una fuente externa de 7 a 12V

Este circuito utiliza un Arduino Nano como controlador principal para integrar varios sensores y un módulo SD. A través de la lectura de los sensores de presión, temperatura, humedad, gases y posición geográfica, el Arduino Nano recolecta los datos y los almacena en el módulo SD. El LED indica cuando se está guardando un archivo con los datos de los sensores.

- **BMP180:** Es un sensor de presión y temperatura barométrica. Este sensor tiene un rango de medición de presión de 300 hPa a 1100 hPa y un rango de medición de temperatura de -40 a 85 grados Celsius. La precisión de la medición de presión es de ± 1 hPa y la precisión de la medición de temperatura es de ± 1.5 grados Celsius. El BMP180 se utiliza para medir la presión atmosférica y la temperatura ambiente.

Algunas de las características principales del BMP180 son:

- Rango de medición de presión: 300 hPa a 1100 hPa
- Rango de medición de temperatura: -40 °C a 85 °C
- Precisión de la medición de presión: ± 1 hPa
- Precisión de la medición de temperatura: ± 1.5 °C
- Comunicación I2C
- Voltaje de alimentación: 1.8 V a 3.6 V
- Consumo de energía: 3.6 μ A en modo de medición de presión y 3 μ A en modo de medición de temperatura
- Compacto y ligero (menos de 1 gramo)
- Diseño robusto y resistente a condiciones extremas

En este circuito, el BMP180 es utilizado para medir la presión atmosférica y la temperatura, y se conecta al Arduino Nano mediante el protocolo I2C para transmitir los datos a la placa.

Es importante mencionar que el BMP180 es un sensor que se especializa en medir la presión atmosférica y la temperatura, y su funcionamiento principal es convertir las variaciones de presión en una señal eléctrica que puede ser interpretada por el

Arduino Nano, y a su vez proporcionar un valor numérico para poder ser procesado.

- **Sensor MQ7:** Este sensor utiliza un material de medida de gas selectivo que reacciona con el monóxido de carbono (CO) en presencia de una corriente eléctrica. El MQ-7 tiene un rango de medición de 0 a 1000 ppm (partes por millón) con una precisión de $\pm 10\%$.

Algunas de las características principales del MQ-7 son:

- Rango de medición de CO: 0 a 1000 ppm
- Precisión de la medición: $\pm 10\%$
- Comunicación analógica
- Voltaje de alimentación: 5V
- Consumo de energía: 150mA
- Diseño compacto y ligero
- Sensibilidad a altas concentraciones de CO
- Diseño robusto y resistente a condiciones extremas

En este circuito, el MQ-7 es utilizado para medir la concentración de monóxido de carbono en el ambiente, y se conecta al Arduino Nano mediante una conexión analógica para transmitir los datos a la placa. Es importante mencionar que este sensor es sensible a altas concentraciones de CO, y requiere una precaución adicional al momento de su manejo y almacenamiento.

- **Sensor MQ135:** Es un sensor de gas de polvo, humo, amoníaco, dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de nitrógeno (NO), dióxido de carbono (CO₂) y compuestos orgánicos volátiles (VOCs) fabricado por la empresa Hanwei Electronics. Este sensor utiliza un material de medida de gas selectivo que reacciona con los compuestos gaseosos mencionados anteriormente en presencia de una corriente eléctrica. El MQ-

135 tiene un rango de medición de 0 a 1000 ppm (partes por millón) con una precisión de $\pm 10\%$.

Algunas de las características principales del MQ-135 son:

- Rango de medición: 0 a 1000 ppm
- Precisión de la medición: $\pm 10\%$
- Comunicación analógica
- Voltaje de alimentación: 5V
- Consumo de energía: 150mA
- Diseño compacto y ligero
- Sensibilidad a altas concentraciones de gases
- Diseño robusto y resistente a condiciones extremas

En este circuito, el MQ-135 es utilizado para medir la concentración de varios gases en el ambiente, especialmente los compuestos orgánicos volátiles (VOCs), amoníaco, dióxido de nitrógeno y dióxido de carbono, y se conecta al Arduino Nano mediante una conexión analógica para transmitir los datos a la placa. Es importante mencionar que este sensor es sensible a altas concentraciones de los gases mencionados, y requiere una precaución adicional al momento de su manejo y almacenamiento.

- **Módulo SD:** Es un dispositivo de almacenamiento externo que se conecta al Arduino a través de un conector SPI. El Arduino puede utilizar la librería SD para acceder y escribir en la tarjeta SD. Es importante mencionar que es necesario tener una tarjeta SD formateada en el formato FAT (FAT16 o FAT32) y también es necesario instalar la librería SD en Arduino IDE para poder utilizar el módulo SD.

En el circuito se utiliza un módulo de tarjeta SD para almacenar los datos recolectados por los sensores. El módulo de tarjeta SD se conecta al Arduino Nano a través de una interfaz SPI (Serial Peripheral Interface). Este protocolo de comunicación permite una transferencia de datos rápida y fiable entre el Arduino y el módulo de tarjeta SD.

En resumen, el módulo de tarjeta SD es un componente clave en el circuito ya que permite almacenar los datos recolectados por los sensores de manera segura y accesible para su posterior análisis.

- **Módulo GPS NEO6MV2:** Es un dispositivo GPS basado en el chip NEO-6M de u-blox. Este chip es capaz de proporcionar información de posicionamiento precisa con una velocidad de actualización de 5Hz. El módulo es compatible con el protocolo NMEA-0183 y proporciona información de posicionamiento en formato de texto, incluyendo coordenadas geográficas (latitud y longitud), velocidad, altitud, tiempo GPS y precisión de la posición.

El módulo también cuenta con una antena externa, lo que permite una mejor recepción de la señal GPS y una mayor precisión en la posición. El módulo se conecta a un microcontrolador a través de un puerto serial, y se puede utilizar para una variedad de aplicaciones, incluyendo navegación, seguimiento de vehículos, y registro de posiciones.

En el caso de este circuito, el módulo GPS NEO-6MV2 se utiliza para obtener información de posicionamiento y hora. Estos datos se utilizan para registrar la hora y la fecha en los datos que se guardan en la tarjeta SD junto con las lecturas de los demás sensores. Es posible utilizar esta información para luego hacer un seguimiento de los datos en un mapa, o para registrar la posición en la que se tomaron las mediciones de los demás sensores.

Al tener el dato de la posición en donde se tomaron las mediciones, es posible tener una mejor relación de las mediciones con la posición geográfica, siendo útil para estudios medioambientales o de calidad del aire, permitiendo tener un mejor entendimiento de los cambios en la calidad del aire en distintas áreas.

- **LED (Light Emitting Diode):** Es un componente electrónico básico que se utiliza para indicar el estado de un sistema o para generar un efecto de iluminación. En este caso, se ha utilizado un LED para indicar cuándo se están guardando datos en la

tarjeta SD.

En el circuito, el LED está conectado a un pin digital del Arduino Nano mediante una resistencia de limitación de corriente. Cada vez que se guardan los datos en la tarjeta SD, se envía una señal al pin del LED para encenderlo. Esto permite al usuario saber visualmente cuándo se están realizando mediciones y guardando datos.

Es importante mencionar que el LED se utiliza como un indicador visual y no tiene una función crítica en el funcionamiento del circuito, es solo una herramienta de retroalimentación para el usuario.

- **Controlador de Alimentación (YwRobot Power Supply):** Un controlador de alimentación como el YwRobot Power Supply se utiliza para proporcionar una fuente de alimentación estable y segura a los componentes del circuito. Este controlador es capaz de aceptar una amplia gama de voltajes de entrada, desde 5V hasta 12V, y proporciona una salida de voltaje constante de 3.3V o 5V, dependiendo de la configuración seleccionada.

Además de proporcionar una fuente de alimentación estable, el controlador también cuenta con protección contra sobretensión, cortocircuito y sobrecalentamiento, lo que lo hace ideal para aplicaciones en las que se requiere una fuente de alimentación segura y confiable.

En el caso del circuito que estamos desarrollando, el controlador de alimentación YwRobot Power Supply se utilizaría para proporcionar una fuente de alimentación estable y segura a los componentes del circuito, como el Arduino nano, el BMP180, el MQ7, el MQ135, el módulo SD y el módulo GPS NEO6MV2. Además, el controlador también se utilizaría para proporcionar una fuente de alimentación estable al LED que se utiliza para indicar cuando se están guardando datos en la tarjeta SD.

Una vez integrados todos los componentes, el esquema de montaje queda de la siguiente manera:

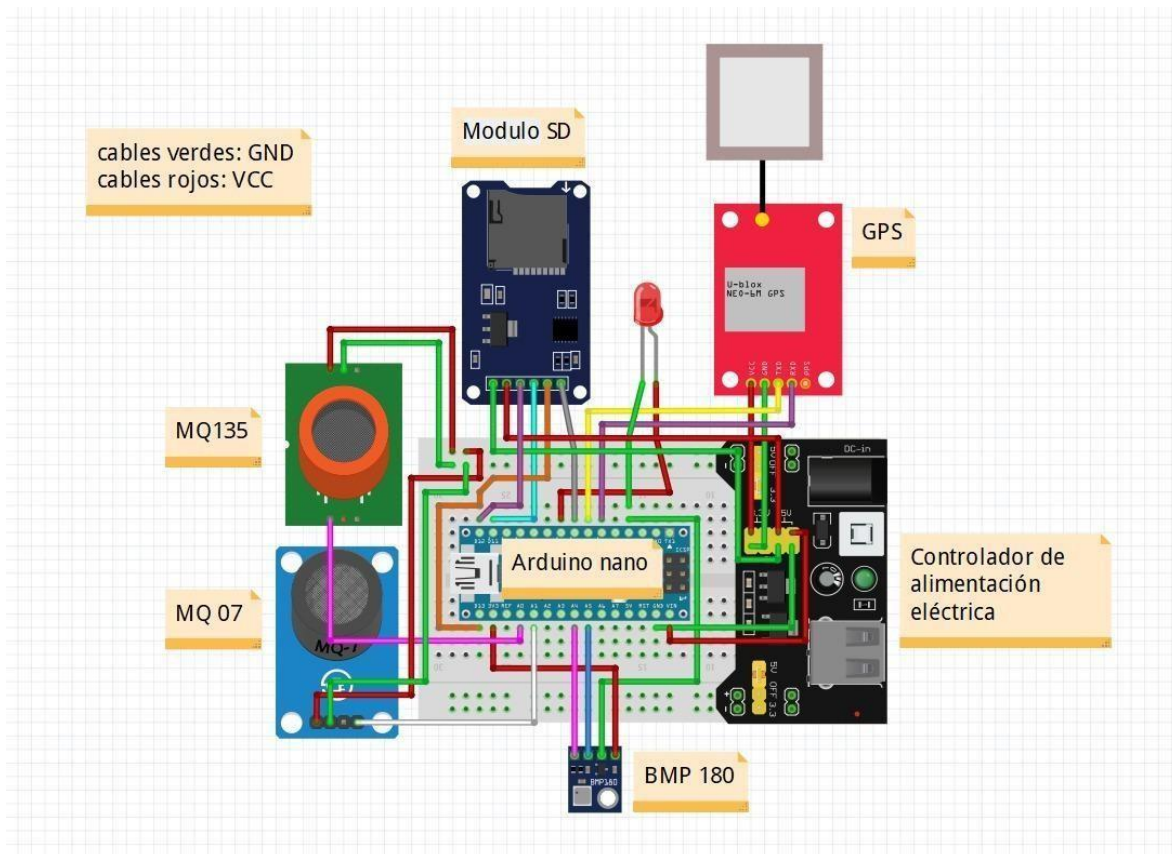


Figura 5. Esquema en Fritzing del circuito.

ANEXO C

INFORME SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Este informe describe un sistema avanzado de visualización de datos geográficos utilizando la combinación de ArcGIS Pro y ArcGIS Online. La solución combina una capa de mapa global con una capa de datos precisa y valiosa almacenada en un archivo CSV.

Inicialmente se crea un proyecto en Arcgis Pro en donde se emplea una capa con el mapa global, a esta se le añade una capa de datos los cuales fueron tomados previamente con el sensor prototipo, y almacenados en un archivo de extensión CSV, que contiene los puntos de referencia espacial (X,Y,Z), una vez cargada esta información la capa queda lista para ser compartida con ArcGIS Online.

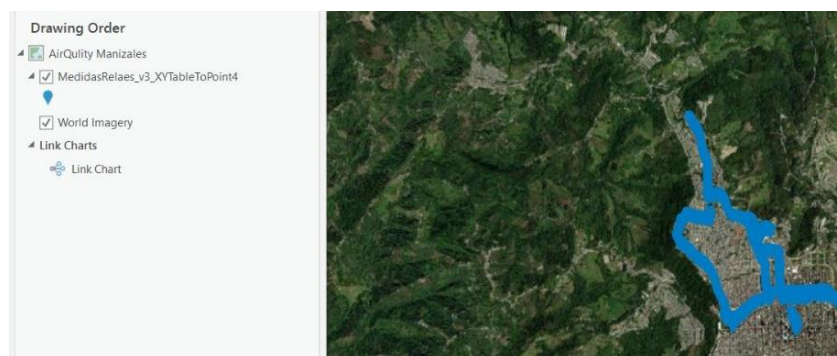


Figura 6. Vista en ArcGis Pro del mapa con la capa de datos cargada.

Se utiliza el módulo de ArcGIS dashboard para crear tableros de control interactivos para cada gas medido, permitiendo a los usuarios explorar y analizar los datos de manera intuitiva a través de gráficos y mapas dinámicos. Además, se integra el contenido en ArcGis Hub para crear una experiencia de visualización de datos accesible y fácilmente compartible con el público.

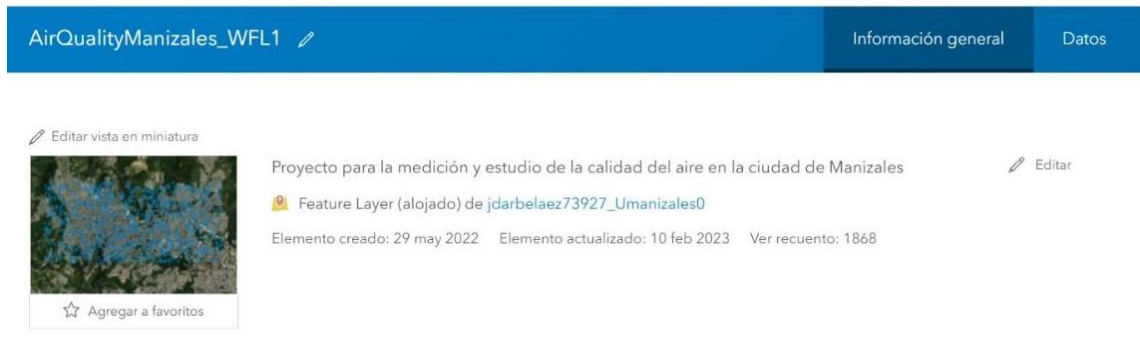


Figura 7. Vista de capa de datos actualizada.

Como ejemplo, supongamos que se desea visualizar la concentración de dióxido de carbono en diferentes regiones del mundo. Se carga la capa de mapa global y se agrega una capa de datos de concentración de dióxido de carbono tomada previamente con un sensor prototipo. Luego, se utiliza ArcGIS dashboard para crear un tablero de control para la concentración de dióxido de carbono y se agrega un widget para filtrar los datos por fecha y visualizarlos en un gráfico y mapa interactivo. Finalmente, se integra todo el contenido en ArcGis Hub para hacerlo accesible y compartible con el público.

Este es solo un ejemplo de cómo la solución de visualización de datos geográficos descrita en este informe puede ser aplicada para visualizar y analizar datos valiosos de una manera intuitiva y accesible.

A continuación se muestra la URL en donde se pueden visualizar los datos.

<https://siteairquality-umanizales.hub.arcgis.com>

ANEXO D
RESUMEN ANALÍTICO

Título del proyecto	Medición de la Concentración de Gases de Combustión Vehicular en Manizales con VANT y SIG
Autor(es)	SALGADO MEJÍA, Melissa. melissasalgadomejia@gmail.com RIOS NARANJO, Carlos Alberto. carlosalbertorios3@gmail.com ARBELÁEZ HENAO, Juan Diego. judiar45@gmail.com
Presidente / Asesor temático	MEJÍA CORREA, José Fernando. jfmejia@umanizales.edu.co . Profesor titular, Universidad de Manizales.
Tipo de documento	Informe final del proyecto de investigación.

Referencia documento	SALGADO MEJÍA, Melissa. RIOS NARANJO, Carlos Alberto. ARBELÁEZ HENAO, Juan Diego. Medición de la Concentración de Gases de Combustión Vehicular en Manizales con VANT y SIG. Manizales, 2020, 51p. Trabajo de grado (Ingeniería de sistemas y telecomunicaciones). Universidad de Manizales, Facultad de ciencias e ingeniería.
Institución	Facultad de ciencias e ingeniería, Universidad de Manizales.
Palabras claves	Contaminación, Calidad del Aire, Combustibles Fósiles, VANT, SIG, Medición, Sensores.
Descripción	<p>La contaminación ambiental por efectos de gases producida por la combustión de hidrocarburos, sobre todo la de los motores diésel y gasolina, se ha convertido en un problema de salud pública. Ciudades en Colombia como Bogotá y Medellín sufren los rigores de este fenómeno. Determinar la concentración de este tipo de gases contaminantes a diferentes alturas, puede dar luces sobre cómo atacar esta problemática y diseñar políticas públicas para minimizar sus consecuencias.</p> <p>En la presente propuesta se plantea el diseño de un sistema que permite medir la concentración de gases contaminantes, principalmente Dióxido de Carbono (CO₂), Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO) y amoníaco (NH₃), este estará debidamente calibrado por un laboratorio certificado. Además, se instalará en un vehículo aéreo no tripulado (VANT), para la toma de muestras a diferentes alturas entre 0 y 100 metros, teniendo en cuenta las variables climáticas y de movilidad existentes en la ciudad y como estas se relacionan de una forma u otra con las medidas registradas.</p> <p>Con la información recolectada, una vez depurada y analizada, se construye un Sistema de Información</p>

Geográfica (SIG), relacionando las variables consultadas para la toma de decisiones. Todo esto con el fin de lograr consolidar un sistema de medición y gestión de la calidad del aire en Manizales como una herramienta de ayuda a ejercer un control y a la toma de decisiones, basadas en un modelo de calidad del aire actualizado y acorde con las necesidades de la ciudad.

Fuentes

Manizales cómo vamos, «Informe de calidad de vida,» 2018.

Gleave, Steer. (2018). Plan Maestro de Movilidad, Manizales, 2017. República de Colombia Gaceta del concejo de Manizales Caldas. Junio 15, GACETA N° 00188

Instituto de Estudios Ambientales IDEA, Colombia (2019). Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire en Manizales. Boletín Ambiental. Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental de Caldas – (SIMAC). Septiembre de 2018. 23 p.

OMS, «Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre,» Ediciones OMS, Ginebra, 2005.

Huacón, Linda & Rosales, Joshua. (2018). Sistema electrónico para la detección de niveles de monóxido de carbono (CO) en la avenida 7 de octubre de la ciudad de Quevedo, que facilite la toma de decisiones del Departamento de Medio ambiente del GAD Municipal. Carrera Telemática. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Contenido	1.Introducción,	2.Área problemática,	3.Objetivos,
	4.Justificación,	5.Marco teórico,	
		5.Metodología,	
	6.Resultados,	7.Conclusiones,	8.Recomendaciones y

9. Bibliografía.	
Metodología	<p>Es una investigación interactiva realizada en 4 fases:</p> <p>1. investigación preliminar, 2. Diseño del circuito embebido e implementación del sensor, 3. Toma de lecturas, 4. Construcción e integración del SIG.</p>
Conclusiones	<p>Las mediciones de la calidad del aire en Manizales, indicaron que con los informes presentados por la alcaldía por medio de “Manizales cómo vamos”, realizados a partir de las estaciones fijas, las principales zonas con mayor índice de contaminación son El Liceo Isabel la Católica y la zona industrial de milán, aunque estos no son los únicos lugares concurridos de la ciudad, con la implementación de tomas de medida mediante una estación móvil se cubre mayor rango que lo que cubren las estaciones fijas, y así conocer los lugares con mayor y menor contaminación y así poder realizar comparaciones.</p> <p>Actualmente en manizales se presenta informes anuales sobre la contaminación del aire y lo que se pretende con el proyecto es que las personas tengan la información a sus manos y con mejor visualización, por esto se utiliza un SIG que ayuda a las entidades encargadas e informa a los ciudadanos y los concientiza de las acciones que pueden mejorar para lograr un cambio en el aire.</p>
Anexos	<p>Anexo A: Informe Estado del arte de la calidad del aire</p> <p>Anexo B: Informe Circuito Electrónico</p> <p>Anexo C: Informe Sistema de Información Geográfico</p> <p>Anexo D: Resumen Analítico</p>