



**ANÁLISIS DE LAS TENDENCIAS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS COMO BASE PARA EL PLANTEAMIENTO DE
UNA ESTRATEGIA DE CONTROL DE CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD
BOGOTÁ**

Schmitt Yulieth Quimbayo Rodríguez

11231621563

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Ambiental

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2022

**ANÁLISIS DE LAS TENDENCIAS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS COMO BASE PARA EL PLANTEAMIENTO DE
UNA ESTRATEGIA DE CONTROL DE CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD
BOGOTÁ**

Schmitt Yulieth Quimbayo Rodríguez

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Ambiental

Director (a):

(MsC) Vanessa Rodríguez Rueda

Línea de Investigación:

Gestión ambiental

Grupo de Investigación:

GRESIA- Grupo de investigación en recursos, Ecología, Desarrollo sostenible e Ingeniería
Ambiental

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Ambiental

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado,
Análisis de las tendencias de contaminación
atmosférica en los últimos 10 años como base para
el planteamiento de una estrategia de control de
calidad del aire en la ciudad Bogotá,

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN	13
2	ABSTRACT	16
3	INTRODUCCIÓN.....	18
4	OBJETIVOS.....	22
	4.1 Objetivo General	22
	4.2 Objetivos específicos.....	22
5	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
6	MARCO CONCEPTUAL	25
	6.1 ¿Qué es la atmosfera?.....	25
	6.1.1 Capas de la atmosfera.....	25
	6.2 Contaminación atmosférica.....	26
	6.2.1 Clasificación de los contaminantes	27
	6.2.2 Fuentes de emisión	30
	6.2.3 Fuentes de emisión antropogénicas	30
	6.3 Calidad del aire en la ciudad de Bogotá.....	31
	6.3.1 Como enfrentar la contaminación atmosférica.....	33
7	ESTADO DEL ARTE	37
	7.1 Calidad del aire a nivel mundial.....	37
	7.1.1 Geovisores como herramientas tecnológicas para informar y dar seguimiento a la contaminación atmosférica a nivel mundial	39
	7.1.2 Musgo como estrategia para combatir la contaminación atmosferica en el mundo	40
	7.1.3 Contaminación del aire a nivel Latinoamérica	42

7.2	Contaminación del aire en Colombia	43
7.2.1	Contaminación atmosférica y su relación con la deforestación en Colombia	44
7.2.2	Contaminación del aire en la ciudad de Bogotá	45
7.3	¿Cómo enfrentar la contaminación atmosférica?	47
7.3.1	Directrices de la OMS	47
7.3.2	Normativa nacional	49
7.3.3	¿Qué está haciendo Bogotá para reducir la contaminación atmosférica?	50
8	METODOLOGIA.....	52
9	RESULTADOS	54
9.1	Delimitación de la zona de estudio	54
9.1.1	Variables meteorológicas	54
9.1.2	Variables sociodemográficas.....	57
9.1.3	Variables socioeconómicas	57
9.1.4	Estructura ecológica principal	60
9.1.5	Recolección de datos y estaciones de monitoreo seleccionadas	60
9.2	Análisis de tendencias	62
9.2.1	Material Particulado de 10 micras (PM ₁₀)	62
9.2.2	Material Particulado de 2.5 micras (PM _{2.5})	12
9.2.3	Análisis del contaminante Ozono	25
9.2.4	Análisis del contaminante monóxido de carbono (CO)	1
9.2.5	Análisis del contaminante dióxido de azufre (SO ₂)	6
9.2.6	Análisis del contaminante dióxido de nitrógeno (NO ₂)	1
9.3	Estrategia.....	8
10	CONCLUSIONES.....	14

11	BIBLIOGRAFÍA.....	17
12	ANEXO 1: MARCO NORMATIVO NACIONAL	29

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Compuestos presentes en la atmosfera	25
Figura 2 Capas de la atmosfera	26
Figura 3 Contaminantes primarios.....	27
Figura 4 Contaminante primario	28
Figura 5 que son los contaminantes secundarios	29
Figura 6 Contaminantes secundarios	29
Figura 7 Descripción de fuentes naturales y antropogénicas.....	30
Figura 8 Fuentes de emisión antropogénicas	30
Figura 9 Crecimiento poblacional y deforestación	31
Figura 10 Localidades de Bogotá	32
Figura 11 Pasos de un sistema de gestión.....	34
Figura 12 Países que más contaminan la atmosfera con CO2	39
Figura 13 Geovisor Windy.....	40
Figura 14 Mapa de la calidad del aire en tiempo real	40
Figura 15 especies de musgo	41
Figura 16 Concentración de material particulado por metro cubico en países latinoamericanos	42
Figura 17 Concentración máxima permitida para contaminantes.....	48
Figura 18 Actualización de las directrices de contaminación del aire por la OMS	48
Figura 19 Contaminantes criterio.....	49
Figura 20 Normativa	50
Figura 21 Metodología.....	52
Figura 22 Precipitación de Bogotá.....	55
Figura 23 Rosa de vientos.....	56
Figura 24 Distribución por sexo y rango de edades en la ciudad de Bogotá	57
Figura 25 Localidades con mayor número de empresas e industrias.....	58
Figura 26 Prestación de servicios básicos.....	59
Figura 27 Estructura ecológica principal	60
Figura 28 Mapa de localización de localidades de estudio	61
Figura 29 Mapa de localización de las estaciones de monitoreo	61

Figura 30 Concentración máxima de PM ₁₀ en la estación de Sevillana.....	62
Figura 31 Concentración máxima de PM ₁₀ en la estación de Kennedy.....	1
Figura 32 Concentración máxima de PM ₁₀ en la estación de Centro de alto rendimiento ...	2
Figura 33 Concentración máxima de PM ₁₀ en la estación de Fontibón.....	3
Figura 34 Concentración máxima de PM ₁₀ en estación de Guaymaral	4
Figura 35 Concentración máxima de PM ₁₀ en estación las Ferias.....	5
Figura 36 Concentración máxima de PM ₁₀ en estación Ministerio de Ambiente.....	6
Figura 37 Concentración máxima de PM ₁₀ en estación de Puente Aranda	7
Figura 38 Concentración máxima de PM ₁₀ en estación de San Cristóbal	8
Figura 39 Concentración máxima de PM ₁₀ en estación de Suba	9
Figura 40 Concentración máxima de PM ₁₀ en estación de Tunal.....	10
Figura 41 Concentración máxima de PM ₁₀ en estación de Usaquén	11
Figura 42 Concentración máxima de PM _{2.5} en la estación Sevillana	13
Figura 43 Concentración máxima de PM _{2.5} en la estación Kennedy.....	14
Figura 44 Concentración máxima de PM _{2.5} en la estación Centro de alto rendimiento	15
Figura 45 Concentración máxima de PM _{2.5} en la estación Fontibón.....	16
Figura 46 Concentración máxima de PM _{2.5} en la estación Guaymaral	17
Figura 47 Concentración máxima de PM _{2.5} en la estación Las Ferias.....	18
Figura 48 Concentración máxima de PM _{2.5} en la estación Ministerio de Ambiente	19
Figura 49 Concentración máxima de PM _{2.5} en la estación Puente Aranda.....	20
Figura 50 Concentración máxima de PM _{2.5} en la estación de Suba	21
Figura 51 Concentración máxima de PM _{2.5} en la estación de San Cristóbal.....	22
Figura 52 Concentración máxima de PM _{2.5} en la estación del Tunal	23
Figura 53 Concentración máxima de PM _{2.5} en la estación Usaquén	24
Figura 54 Concentración máxima de Ozono en la estación Sevillana.....	25
Figura 55 Concentración máxima de Ozono en la estación Centro de alto rendimiento....	26
Figura 56 Concentración máxima de Ozono en la estación Guaymaral	27
Figura 57 Concentración máxima de Ozono en la estación Kennedy	28
Figura 58 Concentración máxima de Ozono en la estación las Ferias	29
Figura 59 Concentración máxima de Ozono en la estación Puente Aranda	30
Figura 60 Concentración máxima de Ozono en la estación San Cristóbal	31

Figura 61 Concentración máxima de Ozono en la estación Suba.....	32
Figura 62 Concentración máxima de Ozono en la estación Tunal	33
Figura 63 Concentración máxima de CO en la estación de Sevillana	1
Figura 64 Concentración máxima de CO en la estación de Centro de alto rendimiento	2
Figura 65 Concentración máxima de CO en la estación de Fontibón.....	2
Figura 66 Concentración máxima de CO en la estación de Kennedy.....	3
Figura 67 Concentración máxima de CO en la estación de Las Ferias	4
Figura 68 Concentración máxima de CO en la estación de Puente Aranda	5
Figura 69 Concentración máxima de CO en la estación de San Cristóbal	6
Figura 70 Concentración máxima de SO ₂ en la estación de Sevillana.....	1
Figura 71 Concentración máxima de SO ₂ en la estación de Centro de alto rendimiento	2
Figura 72 Concentración máxima de SO ₂ en la estación de Fontibón	3
Figura 73 Concentración máxima de SO ₂ en la estación Kennedy.....	4
Figura 74 Concentración máxima de SO ₂ en la estación Puente Aranda.....	5
Figura 75 Concentración máxima de SO ₂ en la estación Tunal	6
Figura 76 Concentración máxima de NO ₂ en la estación Centro de alto rendimiento.....	1
Figura 77 Concentración máxima de NO ₂ en la estación Fontibón	1
Figura 78 Concentración máxima de NO ₂ en la estación Guaymaral.....	2
Figura 79 Concentración máxima de NO ₂ en la estación Kennedy	3
Figura 80 Concentración máxima de NO ₂ en la estación las Ferias	4
Figura 81 Concentración máxima de NO ₂ en la estación Puente Aranda.....	5
Figura 82 Concentración máxima de NO ₂ en la estación Suba.....	6
Figura 83 Concentración máxima de NO ₂ en la estación Tunal	7
Figura 84 Ubicación de paredes de musgo	12
Figura 85 Estructura de un muro de vida.....	12

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Estrategias	9
Tabla 2 Planteamiento de estrategia.....	13

Dedicatoria

Hace más de 5 años recibí la promesa de Dios, quien me decía que iba a estudiar e iba a culminar mis estudios universitarios, hoy veo como la palabra de Dios se cumple, el presente trabajo está dedicado principalmente a Dios quien con su infinito amor me guio y me brindó sabiduría para continuar, a mi madre, quien estuvo siempre para mí, brindándome su amor y apoyo, a mi tía Marysol quien me apoyo de principio a fin con mis estudios primarios hasta mis estudios universitarios.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia, agradezco a Dios por siempre guiarme y brindarme valores como: sabiduría, valentía, persistencia para sacar mi carrera adelante, hoy brindo testimonio de que las promesas que Dios nos hace se cumplen.

Agradezco a mi Madre y a mi abuela Ana por su amor, confianza, apoyo moral y emocional en toda circunstancia, por tenerme en sus oraciones diarias.

Agradezco a mi tía Marysol, mi padrino Roberto y mi primo Ronald por su paciencia, amor y sobre todo por acompañar de cerca mi proceso.

Agradezco a mi directora de tesis Vanessa Rodríguez por su tiempo dedicado y por sus conocimientos brindados.

1 RESUMEN

En la atmosfera existen diversas sustancias y elementos que hacen parte de su composición natural, sin embargo, estas sustancias pueden ser emitidas por la naturaleza, como por ejemplo: la erupción de un volcán, que libera al aire dióxido de azufre, monóxido de carbono entre muchos otros, o de manera antrópica como resultado de actividades humanas, la contaminación atmosférica se presenta cuando se cambian las características naturales de la atmosfera, un ejemplo de esto, es la existencia o aumento de sustancias que pueden resultar nocivas para la salud, como los gases liberados constantemente de una combustión de materiales fósiles (Acosta, 2019)

Uno de los primeros episodios registrados sobre contaminación del aire se presentó en el año 852 en la ciudad de Londres-Inglaterra a causa de la quema de carbón, luego de esto, en el año 1100 y 1200 se aprueban leyes para la contaminación atmosférica en Londres, a través del tiempo se siguieron presentando diferentes episodios de contaminación por todo el mundo.

En la actualidad los países con el aire más contaminado son la India, este país cuenta con la capital más contaminada del mundo Nueva Delhi, la concentración promedio de material particulado $PM_{2.5}$ en esta ciudad para el año 2020 fue de $84.1 \mu g/m^3$ (Arora, 2020), India tiene 35 de las 50 ciudades más contaminadas a nivel mundial, el segundo país con más contaminación atmosférica es china, las ciudades más contaminadas de este país son Cangzhou, en Hebei; el distrito de Ninghe en Tianjin; y el distrito de Xinshi, en Ürümqi, China es el país que más emite gases de efecto invernadero y mercurio al aire (ShareAmerica, 2020) un reporte de medición de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) revelo que el 86% de los países del mundo no tienen un aire saludable

A nivel Latino América los países que más contaminan el aire con contaminantes como el dióxido de carbono son: Perú, Chile, México, Brasil y Colombia. en el quinto lugar, se encuentra Colombia con un promedio de contaminación del $13.9 \mu g/m^3$, luego se encuentra Brasil, con un promedio de $16.29 \mu g/m^3$, seguido de México con $20.29 \mu g/m^3$,

Chile con $24.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Perú como el país con el aire más contaminado a nivel Latino América, con un promedio de $32.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Real, 2019)

La contaminación atmosférica en Colombia es causada principalmente por el uso de combustibles fósiles que son emitidas por fuentes móviles y fijas, el 41% de las emisiones de los contaminantes se generan en las principales ciudades del país, como lo es Bogotá, Medellín y Cali (Ramírez, 2013), Colombia aporta el 0.45% de la contaminación atmosférica mundial y sus ciudades más contaminadas por material particulado son: Bogotá, Municipio de Ráquira en Boyacá, Nemocón Cundinamarca, Municipio de Sibaté, Jagua de Ibirico en el municipio del Cesar, Altavista y Éxito de San Antonio en Medellín, Municipio de Sopó y el Paso en Cesar (Compartir por una sociedad mas equitativa, 2017)

Bogotá es la capital de Colombia y una de las ciudades con mayor deterioro en el aire, la dinámica de crecimiento de la ciudad, representa un problema para la calidad del aire, ya que es un factor que incrementa las actividades industriales, el parque automotor, el comercio entre otros. Un análisis de material particulado PM_{10} en la ciudad para el año 2021, indico que el promedio de concentración era $34,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ menos que en el año 2019 (El Espectador, 2021). La contaminación del aire en la ciudad proviene de fuentes fijas y móviles (Figueroa, 2015)

El área de estudio se basó en la selección de una zona con exposición alta de diferentes contaminantes en la atmosfera, como por ejemplo el $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , SO_2 , CO y O_3 y en los datos disponibles y actualizados para realizar su correspondiente análisis. Para realizar esta investigación, se tuvieron en cuenta 5 fases, la primera es delimitar la zona de estudio, la segunda fase es recopilar la información necesaria como por ejemplo variables meteorológicas, socioeconómicas entre otras, La tercera fase consiste en el análisis de los datos recolectados de las estaciones de monitoreo Sevilla, Kennedy, Guaymaral, Fontibón, ministerio de medio ambiente, Puente Aranda, las ferias, San Cristóbal, Tunal, Usaquén, Centro de alto rendimiento y Suba para los contaminantes criterio ($\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , CO , NO_2 , y SO_2), la cuarta fase es el diagnóstico y la quinta fase se basó en el diseño de estrategias de mitigación.

Se identificó que los contaminantes que más afectan la ciudad de Bogotá son el material particulado (PM10 y PM2.5) en zonas como la sevellana y Kennedy, por otra parte el dióxido de nitrógeno tiene concentraciones que tienden a sobrepasar el límite máximo permisible en las zonas Tunal, Puente Aranda y las Ferias.

2 ABSTRACT

In the atmosphere there are various substances and elements that are part of its natural composition, however, these substances can be emitted by nature, such as: the eruption of a volcano, which releases sulfur dioxide, carbon monoxide between many others, or in an anthropic way as a result of human activities, air pollution occurs when the natural characteristics of the atmosphere change, an example of this is the existence or increase of substances that can be harmful to health, such as gases constantly released from the combustion of fossil materials (Acosta, 2019)

One of the first recorded episodes of air pollution occurred in the year 852 in the city of London-England due to the burning of coal, after this, in the years 1100 and 1200 laws for atmospheric pollution were approved in London , over time, different episodes of contamination continued to occur throughout the world.

Currently the countries with the most polluted air are India, this country has the most polluted capital in the world, New Delhi, the average concentration of PM_{2.5} particulate matter in this city for the year 2020 was 84.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Arora, 2020), India has 35 of the 50 most polluted cities worldwide, the second country with the most air pollution is China, the most polluted cities in this country are Cangzhou, in Hebei; the Ninghe district in Tianjin; and the Xinshi district, in Ürümqi, China is the country that emits the most greenhouse gases and mercury into the air (ShareAmerica, 2020). A particulate matter measurement report (PM₁₀ and PM_{2.5}) revealed that 86% of the countries of the world do not have healthy air

At the Latin American level, the countries that pollute the air the most with pollutants such as carbon dioxide are: Peru, Chile, Mexico, Brazil and Colombia. In fifth place is Colombia with an average contamination of 13.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, followed by Brazil, with an average of 16.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, followed by Mexico with 20.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Chile with 24.94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and Peru. as the country with the most polluted air in Latin America, with an average of 32.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Real, 2019)

Air pollution in Colombia is caused mainly by the use of fossil fuels that are emitted by mobile and fixed sources, 41% of pollutant emissions are generated in the main cities of

the country, such as Bogotá, Medellín and Cali (Ramírez, 2013), Colombia contributes 0.45% of global air pollution and its cities most polluted by particulate matter are: Bogotá, Municipality of Ráquira in Boyacá, Nemocón Cundinamarca, Municipality of Sibaté, Jagua de Ibirico in the municipality of Cesar, Altavista and Success of San Antonio in Medellín, Municipality of Sopó and El Paso in Cesar (Share for a more equitable society, 2017)

Bogotá is the capital of Colombia and one of the cities with the greatest deterioration in the air, the growth dynamics of the city represents a problem for air quality, since it is a factor that increases industrial activities, the automotive fleet, trade among others. An analysis of particulate matter PM₁₀ in the city for the year 2021, indicated that the average concentration was 34.4 µg/m³, 0.6 µg/m³ less than in the year 2019 (El Espectador, 2021). Air pollution in the city comes from fixed and mobile sources (Figuerola, 2015)

The study area was based on the selection of an area with high exposure to different pollutants in the atmosphere, such as PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, SO₂, CO and O₃, and on the available and updated data to carry out its corresponding analysis. To carry out this research, 5 phases were taken into account, the first is to delimit the study area, the second phase is to collect the necessary information such as meteorological, socioeconomic variables, among others, The third phase consists of the analysis of the data collected from the Sevillana, Kennedy, Guaymaral, Fontibón, Ministry of the Environment, Puente Aranda, Las Ferias, San Cristóbal, Tunal, Usaquén, High Performance Center and Suba monitoring stations for criteria pollutants (PM_{2.5}, PM₁₀, CO, NO₂, and SO₂), the fourth phase is the diagnosis and the fifth phase is based on the design of mitigation strategies.

It was identified that the pollutants that most affect the city of Bogotá are particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) in areas such as Seville and Kennedy, on the other hand, nitrogen dioxide has concentrations that tend to exceed the maximum permissible limit in the Tunal, Puente Aranda and the Fairs areas.

3 INTRODUCCIÓN

La calidad del aire en la ciudad de Bogotá no solo se ve afectada por las emisiones de las fuentes móviles y fijas, sino, también por los incendios forestales que tienen lugar en la sabana de Bogotá o incluso en lugares como la amazonia, la Orinoquia, Venezuela entre otros. Iniciando el año 2022 se registraron 1873 incendios en la Orinoquia y la amazonia, como resultado, los vientos arrastraron a la ciudad de Bogotá contaminantes incrementando de manera alarmante las concentraciones de material particulado y otros (vargas, 2022)

La ciudad de Bogotá ha estado trabajando para mejorar la calidad del aire, es así que cuando se declara la alerta ambiental fase 1, la secretaria de ambiente intensifica sus labores de control y seguimiento para el sector industrial y de transporte, iniciando el año se suspendieron algunas industrias en Usme y negativa por no cumplir con la normativa de emisiones al aire (Ramírez, 2022)

Algunos factores influyentes sobre la contaminación del aire son el crecimiento poblacional, industrial, comercial y al parque automotor, es por esto que desde 1997 Bogotá cuenta con una red de monitoreo de calidad de aire, que ha ido mejorando con el paso de los años, además se han implementado diferentes estrategias para mejorar la calidad del aire como por ejemplo Bogotá se viste de verde, unidos por un nuevo aire entre muchas otras, sin embargo, el aire en la ciudad, sigue afectada, en mayor medida por el Material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}).

En el año 1997 el aire de la ciudad de Bogotá se vio afectada principalmente por el incremento en la concentración NO_2 máximas por hora, por lo que gran parte de la ciudad tenía concentraciones de más del 50% del valor normativo. Se identificó que las principales causas de este aumento eran las fuentes móviles, también existía contaminación por material particulado, ozono y dióxido de azufre (Rincón, 2007)

Otros eventos históricos se presentaron en el año 2014 cuando se generó un incendio aproximadamente de 600.000 llantas acumuladas en una bodega ubicada en Fontibón, generando una de las peores crisis de contaminación atmosférica en la ciudad, que según estudios, equivalían a las emisiones causadas por un 1,000.000 de vehículos en tránsito, el

incendio ocasiono una nube de humo negro, que alcanzo 6 localidades (Chapinero, Fontibón, Puente Aranda, Barrios Unidos, Kennedy y Teusaquillo) (El Tiempo, 2014), para el año 2016, se generó un incendio en los cerros orientales de Bogotá, los vientos para ese tiempo eran fuertes, lo que ayudaba a que la quema de los cerros se extendiera, la secretaria de ambiente decreto alerta amarilla (El Tiempo, 2016)

El aire en la ciudad de Bogotá no es homogéneo, por lo que la minoría de personas gozan de una buena calidad de aire y la mayoría no tienen más opción que respirar el aire que les ofrece la ciudad, (Rocha, 2021), en el año 2020 hubieron más de 3.900 personas fallecidas por contaminación en el aire (Greenpeace, 2020). Los lugares más contaminados de la ciudad de Bogotá son: Kennedy, Puente Aranda, Usme, Ciudad Bolívar y Bosa, esto se debe a que en estos lugares se encuentran la mayoría de industrias y con ellos el tráfico pesado (Cardona, 2021)

Exponer a una sociedad a altas concentraciones de contaminantes en el aire, es causar una variedad de enfermedades en ella, como infecciones respiratorias, envejecimiento pulmonar, neumonía, enfermedades del corazón, cáncer, desarrollo de asma, bronquitis, entre muchas otras, el material particulado $PM_{2.5}$ es uno de los contaminantes más peligroso para la salud, ya que este al tener un tamaño menor a 2.5 micras ingresa directamente a los pulmones alojándose en los alvéolos del pulmón e incluso pueden llegar al torrente sanguíneo (Ortega, 2019)

Bogotá es una de las ciudades de Colombia con mayor deterioro en el aire, Un análisis de material particulado PM_{10} para el año 2021, indico que el promedio de concentración era $34,4 \mu g/m^3$, $0,6 \mu g/m^3$ menos que en el año 2019, (El Espectador, 2021). La contaminación del aire en la ciudad proviene de fuentes fijas y móviles (Figueroa, 2015)

A partir de estudios realizados por la secretaria Distrital de Ambiente, se evidencio que las industrias están aportando el 60% en las emisiones de material particulado y las fuentes móviles un 40%, sin embargo, la exposición a emisiones por parte de fuentes móviles es más perjudicial para una comunidad, ya que la exposición es frecuente como en el caso de personas que usan las bicicletas como transporte, los peatones y conductores (Rojas, 2007)

Para el año 2021 la alcaldesa de Bogotá indico mejoras frente al tema de calidad de aire, adquirió nuevos equipos y puso más estaciones de monitoreo para monitorear la contaminación atmosférica, esto para tener más información de cómo van esos lugares claves donde están las estaciones y para que los habitantes puedan acceder a esta información fácilmente (Castiblanco, 2021)

Se crean planes como el plan Aire 2030 que proporciona estrategias integrales, inversiones y medidas específicas con el fin de cumplir con la meta de disminuir la concentración de $PM_{2.5}$ en un 16.6 % y de PM_{10} en un 14,2 % para el año 2030, este plan invita a cualquier tipo de organización y/o persona natural a que contribuyan de manera positiva con el aire, ya sea por medio de cambios de hábitos o con buenas prácticas ambientales en sus organizaciones (Villamil, 2021)

El área de estudio se basó en la selección de una zona con exposición alta de diferentes contaminantes en la atmosfera, como por ejemplo el $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , SO_2 , CO y O_3 y en los datos disponibles y actualizados para realizar su correspondiente análisis. Esta investigación se realizó por medio de 5 fases, las cuales consistían en delimitar la zona de estudio, recopilación de información (variables meteorológicas, socioeconómicas sociodemográficas etc.), análisis de datos recolectados de las estaciones de monitoreo Sevillana, Kennedy, Guaymaral , Fontibón, ministerio de medio ambiente, Puente Aranda, las ferias, San Cristóbal, Tunal, Usaquén, Centro de alto rendimiento y Suba para los contaminantes criterio ($PM_{2.5}$, PM_{10} , CO , NO_2 , y SO_2), diagnóstico y diseño de estrategias de mitigación.

Por medio de esta metodología se logró evidenciar que los contaminantes con mayor afectación en la ciudad de Bogotá son el Material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) ya que en zonas como Kennedy y sevilla el material particulado menor a diez micras presento el 51% y 85% de datos que sobrepasaban el límite máximo permisible durante el periodo de estudio y para el material particulado menor a 2.5 micras el 50% y 38% de los datos sobrepasaron los límites máximos permisibles por otra parte el dióxido de nitrógeno tiene concentraciones que tienden a sobrepasar el límite máximo permisible en las zonas del Tunal, Puente Aranda y las Ferias.

La estrategia escogida para este proyecto es una pared compuesta por diversidad de musgo, según su cofundador Liang Wu los musgos escogidos para crear la pared son los que mejor se adaptan a diferentes climas y adsorben más contaminantes, el árbol urbano tiene la capacidad de absorber 250 gramos por día de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), 240 toneladas por año de dióxido de carbono, también absorbe dióxido de nitrógeno y otros contaminantes. El árbol urbano absorbe contaminantes como lo harían 275 árboles adultos, puede reducir la contaminación del aire en un área de 50 metros a su alrededor (Ybarra, 2019)

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

- Analizar las tendencias de contaminación atmosférica en los últimos 10 años para plantear una estrategia innovadora de control de calidad del aire en la ciudad de Bogotá.

4.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado de la ciudad de Bogotá frente a la contaminación atmosférica.
- Estudiar las tendencias de la contaminación atmosférica para los últimos 10 años.
- Formular estrategias para la mitigación del impacto atmosférico en la ciudad de Bogotá.

5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aire en la ciudad de Bogotá no es homogéneo, por lo que la minoría de personas gozan de una buena calidad de aire y la mayoría no tienen más opción que respirar el aire que les ofrece la ciudad, se evidencia una inequidad, ya que, por lo general en los sectores con niveles socioeconómicos bajos, se ubican las industrias, por lo que la concentración de contaminantes es mayor (Rocha, 2021)

A partir de estudios de investigación sobre la contaminación de la atmosfera en la ciudad de Bogotá, se ha determinado que el contaminante que más preocupan a la capital, es el material particulado, ya que tiene alta concentración en la parte suroccidente de la ciudad de Bogotá, puesto que allí se ubican la mayoría de industrias y con ello el transporte de carga pesada (Gaitan, 2007), la secretaria Distrital de Ambiente, evidencio que las industrias están aportando el 60% en las emisiones de material particulado y las fuentes móviles un 40%, sin embargo, la exposición a emisiones por parte de fuentes móviles es más perjudicial para una comunidad, ya que la exposición es frecuente como en el caso de personas que usan las bicicletas como transporte, los peatones y conductores (Rojas, 2007)

La vida de las personas se va deteriorando debido a la calidad del aire, esto sucede por las altas concentraciones de contaminantes en la atmosfera, afectando la salubridad, la exposición a altas concentraciones de contaminantes en el aire, causa una gran variedad de enfermedades, como por ejemplo infecciones respiratorias, envejecimiento pulmonar, neumonía, enfermedades del corazón, cáncer, desarrollo de asma, bronquitis, entre muchas otras, además de provocar muerte prematura en población vulnerable como personas con enfermedades de base, niños menores de cinco años y personas de la tercera edad. El material particulado $PM_{2.5}$ es uno de los contaminantes más peligroso para la salud, ya que este al tener un tamaño menor a 2.5 micras ingresa directamente a los pulmones alojándose en los alvéolos del pulmón e incluso pueden llegar al torrente sanguíneo (Ortega, 2019)

La contaminación atmosférica incide en el medio biótico y abiótico, contaminando suelos y aguas por medio de la lluvia acida, un exceso de amoníaco y óxidos de nitrógeno

pueden afectar la vegetación, estos contaminantes se pueden filtrar en el suelo y llegar a cuerpos de agua generando eutrofización o erosión de suelos (Hernandez, 2004). La economía de un país también se ve afectada por la contaminación del aire, ya que se incrementa los gastos médicos, se reduce la productividad de una sociedad y se deben realizar inversiones económicas para el mejoramiento del medio ambiente (Guajardo, 2019)

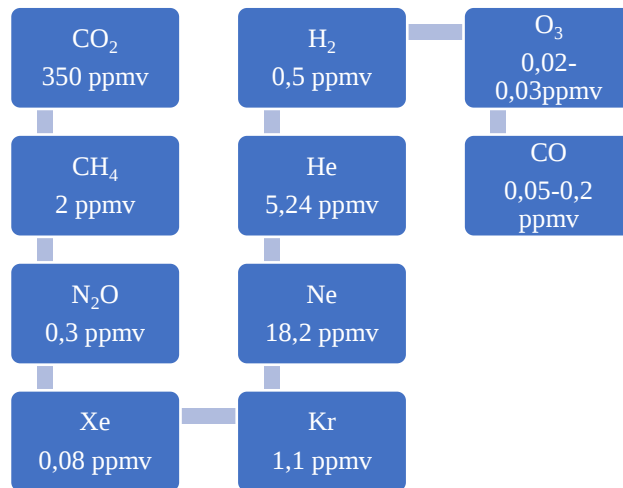
6 MARCO CONCEPTUAL

6.1 ¿Qué es la atmosfera?

La atmosfera es el resultado de una mezcla de gases que rodea el planeta tierra y se mantiene adherida a el por influencia de la gravedad, las diferentes capas de la atmosfera hacen posible el desarrollo de la vida y ayudan a proteger los seres vivos de los rayos ultravioleta, los compuestos principales de la atmosfera son 78,08% de nitrógeno, 20,95% de oxígeno y 0.93% argón (Egger, 2003).

En la figura 1 se observa que existen otros compuestos en la atmosfera, pero su concentración es tan pequeña que se expresan en partes por millón o en partes por billón,

Figura 1 Compuestos presentes en la atmosfera



Modificada a partir de (Egger, 2003)

6.1.1 Capas de la atmosfera

La atmosfera está compuesta por cinco capas, las cuales son: exosfera, termosfera, mesosfera, estratosfera, troposfera, son indispensables para el desarrollo de la vida en el planeta, destacando la capa más cercana a la corteza terrestre, la troposfera, en esta se desarrollan las diferentes variables climatológicas como la lluvia, el viento etc. En la figura 2 se describen las 5 capas que conforman la atmosfera.

Figura 2 Capas de la atmosfera

Exosfera	•Es la capa de la atmosfera con mayor distancia de la corteza terrestre, se encuentra encima de la termosfera, los principales componentes de la exosfera son hidrogeno, helio, dióxido de carbono y oxígeno atómico (Helmenstine, 2020)
Termosfera	•Es la segunda capa más alta y la más gruesa de la atmosfera, se encuentra ubicada entre la mesosfera y exosfera, en esta capa ocurre el fenómeno de la aurora boreal por causa de la ionización (EarthHow, 2022)
Mesosfera	•Se encuentra ubicada entre la estratosfera y termosfera, en esta capa, se queman algunos meteoros por las altas velocidades en las que viajan y se forman nubes noctiluentes, la mesosfera se compone de carbono, nitrógeno y oxígeno (Flynn, 2022)
Estratosfera	•Es la segunda capa más proxima a la corteza terrestre, se encuentra ubicada entre la troposfera y la mesosfera, su latitud es de diez kilometros y termina a una altura de cincuenta kilometros, allí se ubica la capa de ozono, quien absorbe parte de radiación ultravioleta, el vapor de agua en esta capa es muy poco, por eso no existen nubes en la estratosfera (EarthHow, 2022)
Troposfera	•Troposfera se encuentra por debajo de la estratosfera y es la capa más proxima a la corteza terrestre, es una de las capas más importantes, porque en ella se desarrolla la vida del planeta, los eventos climatológicos, contribuye a la regularización del clima del planeta al permitir que se genere el ciclo del agua, la formación de nubes y viento. (Sanchez, 2022)

6.2 Contaminación atmosférica

En la atmosfera existen diversas sustancias y elementos que hacen parte de su composición natural, como el Nitrógeno, sin embargo, estas sustancias pueden ser emitidas por la naturaleza, como por ejemplo: la erupción de un volcán, que libera al aire dióxido de azufre, monóxido de carbono entre muchos otros, o de manera antrópica como resultado de actividades humanas., la contaminación atmosférica se presenta cuando se cambian las características naturales de la atmosfera, un ejemplo de esto, es la existencia o aumento de sustancias que pueden resultar nocivas para la salud, como los gases liberados constantemente de una combustión de materiales fósiles (Acosta, 2019)

La contaminación atmosférica está asociada a la presencia de diversos compuestos en el aire, que pueden ser una mezcla de partículas sólidas de diferente tamaños y gases, como el CO, NO, PM_{2.5}, PM₁₀ entre otros, estos contaminantes en altas concentraciones pueden disminuir la calidad del aire y ocasionar riesgo en la salud de los seres vivos (Gobierno de Chile, 2018)

La contaminación del aire no solo afecta la salud de los seres vivos, también incide en la contaminación de suelos y aguas, puesto que generan lluvia acida, un exceso de

amoniaco y óxidos de nitrógeno que pueden afectar la vegetación, estos contaminantes se pueden filtrar en el suelo y llegar a cuerpos de agua generando eutrofización o erosión de los suelos (Giraldo, 2004)

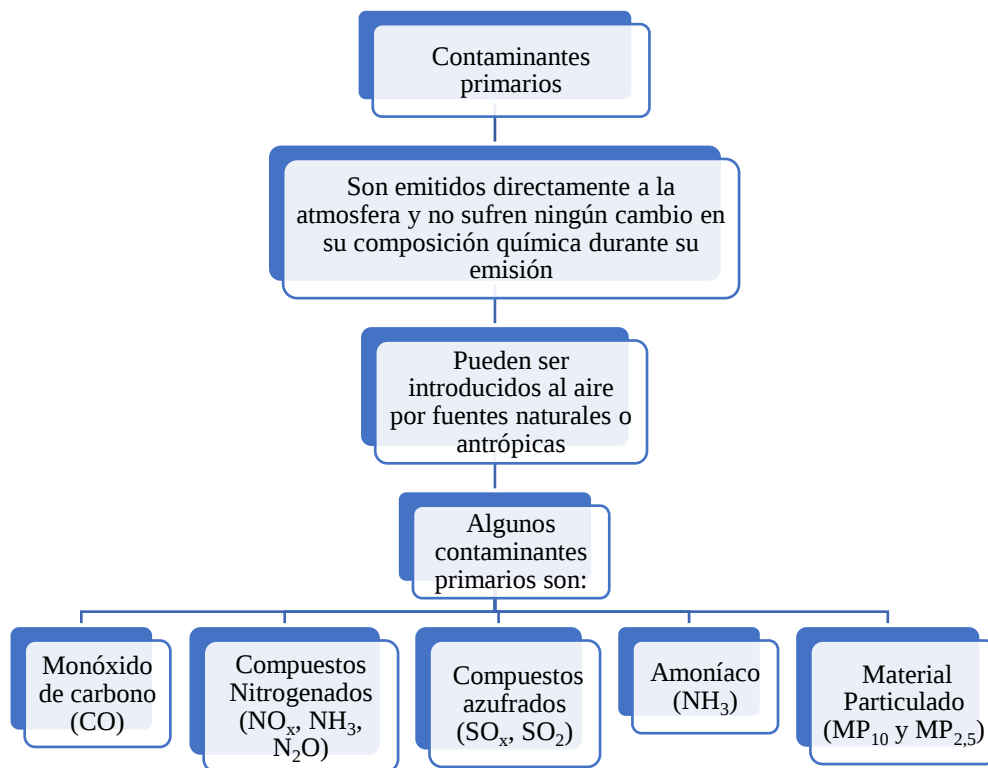
Los contaminantes se comportan de distintas maneras, esto depende de su composición química, condiciones físicas y meteorológicas del lugar donde fueron emitidos (Universidad de los Andes, 2013).

6.2.1 Clasificación de los contaminantes

Los contaminantes tienen diversas formas de clasificación, se pueden clasificar de acuerdo a su estado químico, si son gaseosos, líquidos o sólidos, sin embargo, una de las maneras más comunes es clasificarlos en contaminantes primarios y secundarios (Acosta, 2019)

En la Figura 3 se realiza una descripción de los contaminantes primarios y sus fuentes de emisión.

Figura 3 Contaminantes primarios

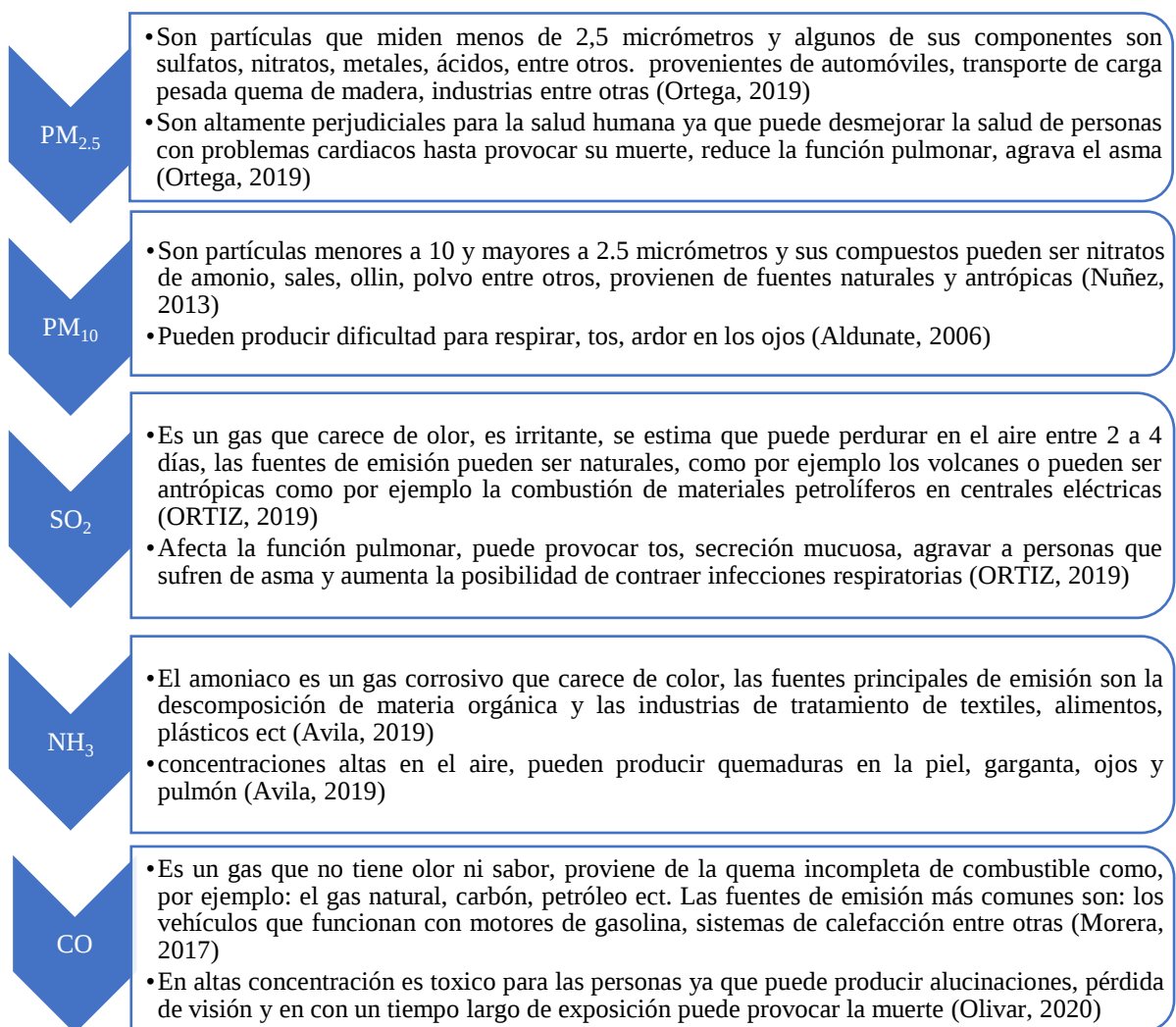


Modificado a partir de (Envira, 2021)

Algunos contaminantes primarios son: el material particulado menores a 2.5 y 10 micras, el dióxido de azufre (SO_2), el amoníaco (NH_3) el monóxido de carbono (CO), estos contaminantes tienen un impacto negativo en el medio ambiente y en la salud de las personas cuando su concentración es alta y persistente en la atmosfera (Acosta, 2019)

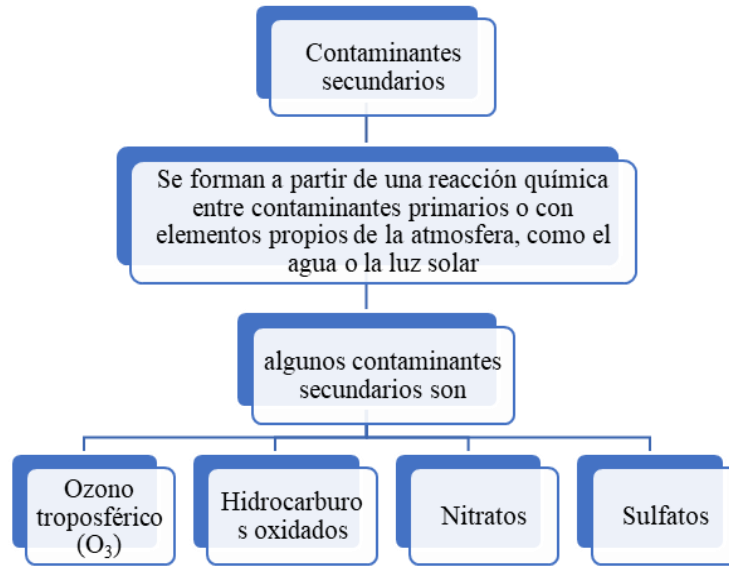
En la figura 4 se describen los diferentes contaminantes primarios y sus posibles efectos sobre la salubridad.

Figura 4 Contaminante primario



En la Figura 5 se realiza la descripción de contaminantes secundarios y ejemplos de estos.

Figura 5 que son los contaminantes secundarios

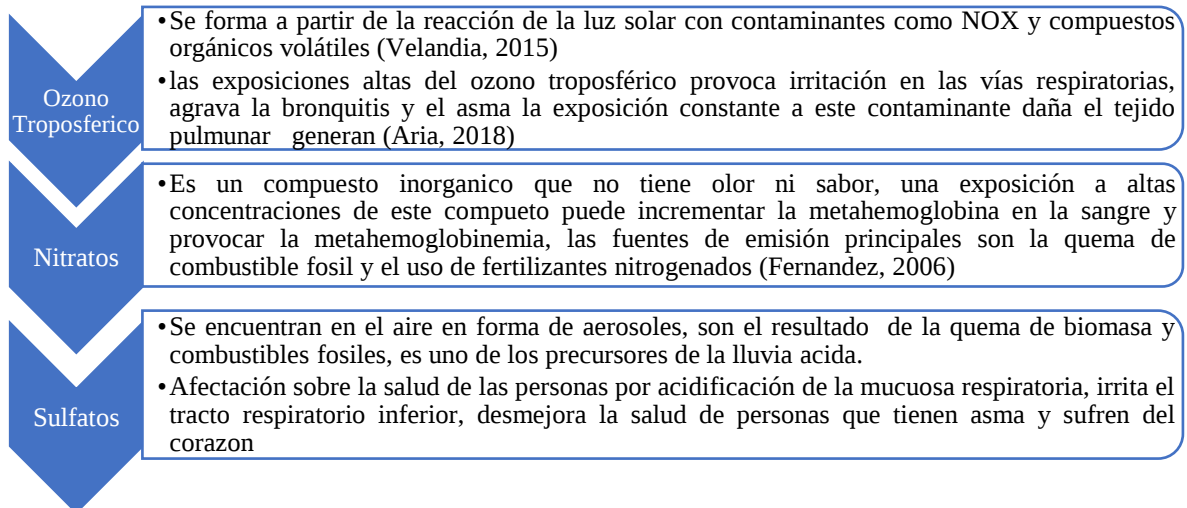


Modificado a partir de (Gobierno de Chile, 2018)

Algunos contaminantes secundarios son: el ozono troposférico, nitratos y sulfatos. Estos contaminantes tienen un impacto negativo en el medio ambiente y en la salud de las personas cuando su concentración es alta y persistente en la atmósfera (Acosta, 2019).

En la Figura 6 se observa los contaminantes secundarios con sus características y efectos sobre la salud de las personas.

Figura 6 Contaminantes secundarios

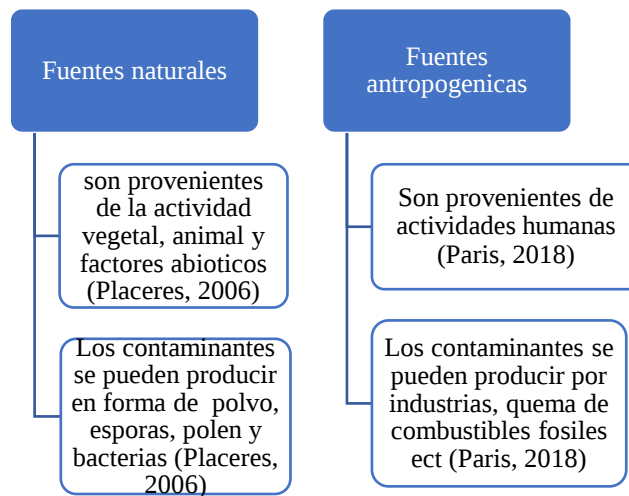


6.2.2 Fuentes de emisión

Las fuentes de emisión, son todas aquellas actividades que se realizan en el medio ambiente, como por ejemplo procesos naturales o antrópicos, estas actividades generan una emisión de contaminantes al aire (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Mexico, 2018), se pueden clasificar en fuentes naturales o fuentes antropogénicas.

En la Figura 7 se describen las fuentes de emisión naturales y antropogénicas.

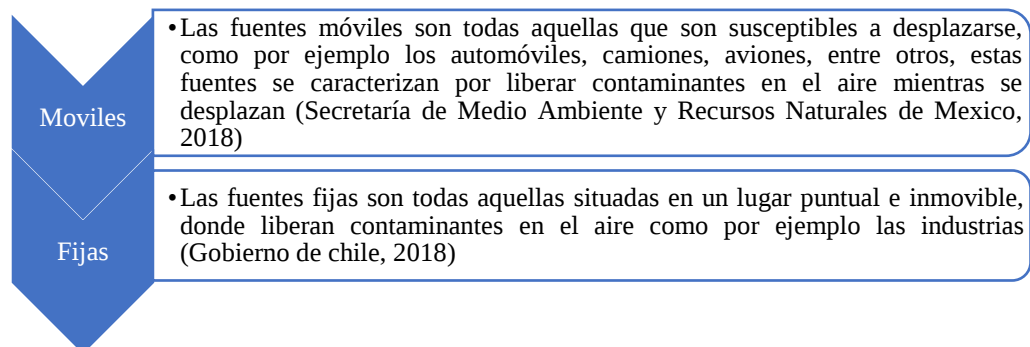
Figura 7 Descripción de fuentes naturales y antropogénicas



6.2.3 Fuentes de emisión antropogénicas

Las fuentes de emisión antropogénicas son todas aquellas causadas por actividades humanas, en la Figura 8 se observan la clasificación de las fuentes de emisión más comunes causadas por el ser humano.

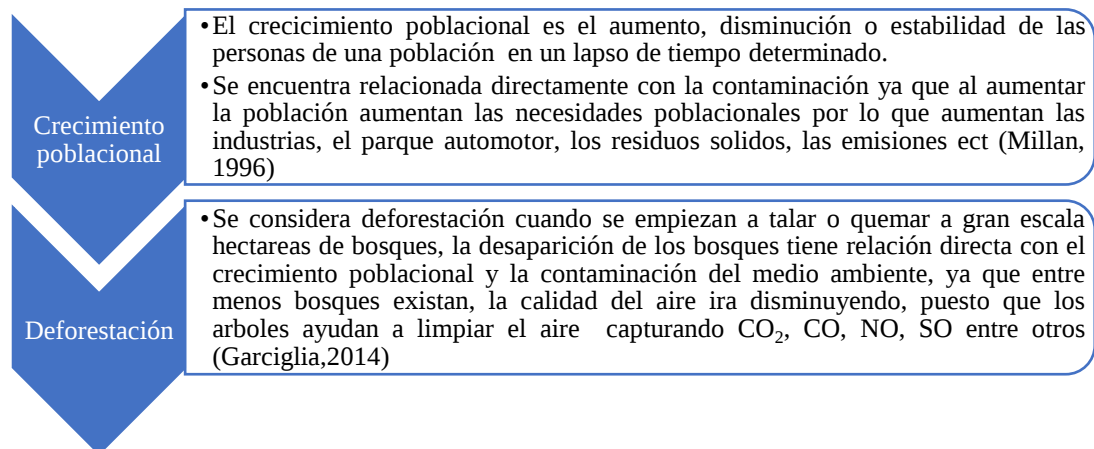
Figura 8 Fuentes de emisión antropogénicas



Existen otras variables que se involucran directamente con la emisión de contaminantes en la atmósfera, como por ejemplo el crecimiento poblacional y otras que aunque no son una fuente de emisión, tienen un papel importante en el planeta porque capturan contaminantes. Estas variables no se encuentran clasificadas directamente en fuentes móviles o fijas.

En la Figura 9, se realiza una descripción del crecimiento poblacional y la deforestación y se evidencia una relación directa con la emisión y captura de contaminantes en el aire.

Figura 9 Crecimiento poblacional y deforestación

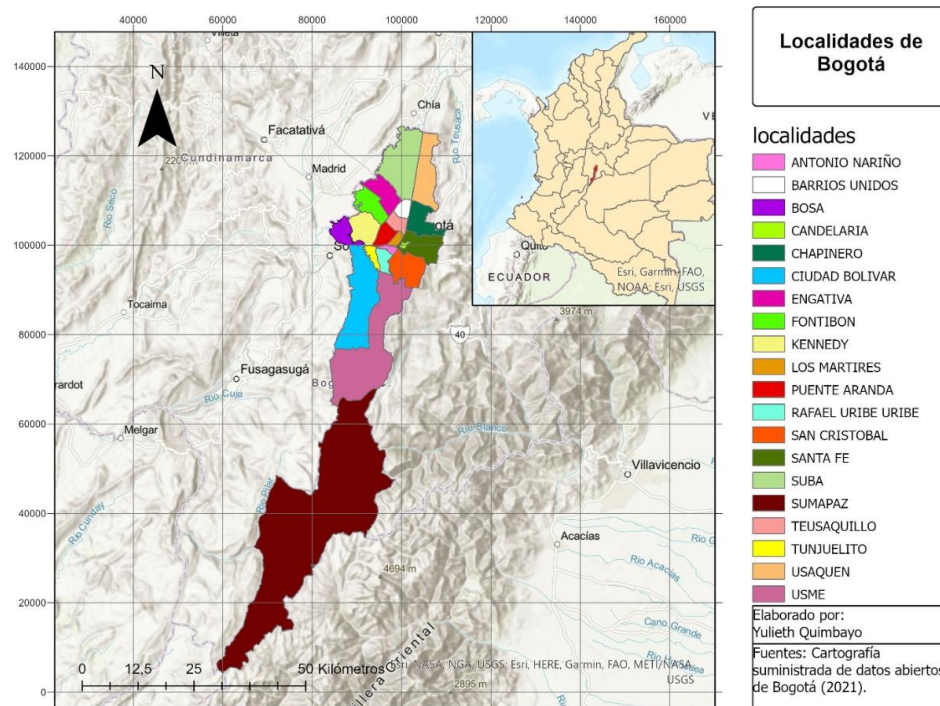


6.3 Calidad del aire en la ciudad de Bogotá

Bogotá es la capital de Colombia, una ciudad extensa con más de 7.181.469 habitantes (Bogotá cómo vamos, 2018), esta ciudad cuenta con diversas actividades económicas como por ejemplo las industrias, el comercio entre muchas otras. La dinámica de crecimiento de la ciudad, representa un problema para la calidad del aire, ya que se incrementan las actividades industriales, el parque automotor, el comercio etc. Esto hace que se aumenten las emisiones de contaminantes en la atmósfera (Figuerola, 2015)

Bogotá se encuentra dividida en 20 localidades y cada localidad cuenta con un alcalde menor, en la figura 10 se observa la división por localidades de Bogotá.

Figura 10 Localidades de Bogotá



Creado por (Quimbayo, 2022) a partir de (Alcaldía mayor de Bogotá, 2021)

Bogotá cuenta con zonas industriales en algunas de sus localidades, como Fontibón, Puente Aranda, también existe minería de material arcilloso y materiales de construcción en las localidades: Tunjuelo, (cuenca media del río Tunjuelo), Usme, ciudad Bolívar (parque minero mochuelo en la zona rural de esta localidad), San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe (Lozano, 2017)

Bogotá cuenta con diferentes áreas protegidas, una de ellas es la zona de protección especial de Ramajal, ubicada en los cerros orientales en la localidad de San Cristóbal, esta zona ha sido deforestada ilegalmente por ciudadanos que aparentemente utilizarían el terreno para asentamientos ilegales (El Espectador, 2020)

6.3.1 Como enfrentar la contaminación atmosférica

La calidad del aire se ha ido deteriorando por el crecimiento poblacional, esto conlleva al incremento industrial, comercial ect., incrementando los niveles de concentración de los contaminantes en el aire, que pueden ser nocivo para la salubridad de los seres vivos y para el medio abiótico, es necesario conocer las causas que conllevan al deterioro atmosférico, por ende, el diagnóstico es una parte fundamental del estudio (Vidal, 2020)

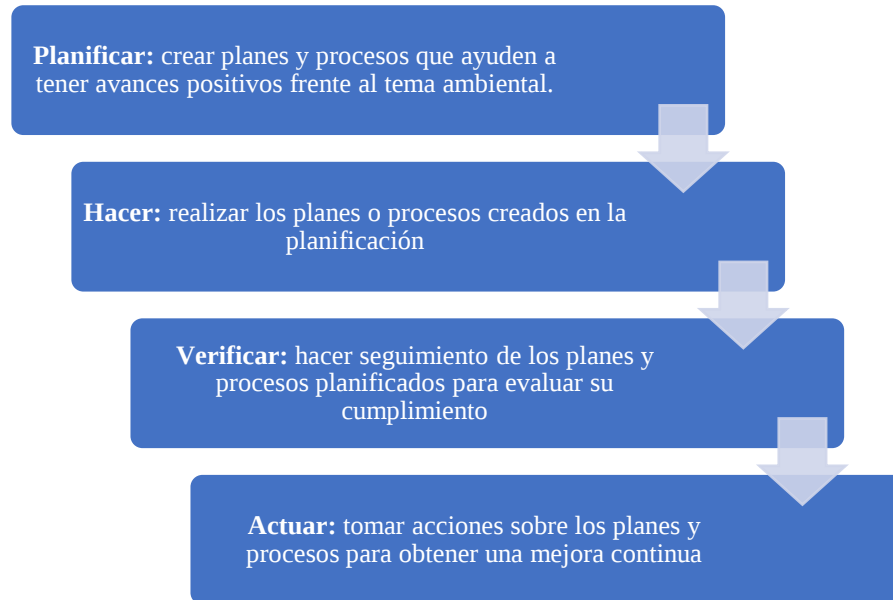
El diagnóstico es un proceso de investigación, reconocimiento y evaluaciones de una zona de estudio, con el fin de identificar tendencias, causas y efectos que ocasionen un problema, para posteriormente encontrar soluciones pertinentes (Urbano, 2008), para realizar un diagnóstico se deben tener en cuenta diferentes etapas:

1. Establecimiento de coordenadas socio-demográficas y ambientales: tener conocimiento de las coordenadas socio-demográficas y aspectos ambientales ayuda a deducir, explicar y predecir la conducta de los contaminantes, para esto se debe tener en cuenta el habitad a nivel rural y urbano, caracterización física y meteorológica entre otras (Urbano, 2008)
2. Planificación: es la estructuración de diferentes tareas que se llevan a cabo para alcanzar los objetivos propuestos y exponer lo que se necesita hacer y cómo se va hacer (UniR, 2021)
3. Recolección de datos: es la captura de datos y/o información necesaria para llevar a cabo un estudio y posteriormente su interpretación, estos datos pueden ser cualitativos o cuantitativos dependiendo el contexto (Westreicher, 2021)
4. Elaboración de resultados e interpretación: es el proceso de análisis, compresión y explicación de los datos recolectados para posteriormente expresarlos de manera más sencilla (Urbano, 2008)

La contaminación atmosférica es un problema latente, sin embargo, a través del tiempo se han ido creando diferentes herramientas de prevención y mitigación es por eso que se crean:

- Estrategias de mitigación para contaminación atmosférica: pueden ser políticas o acciones dirigidas a la reducción de los diferentes contaminantes cuyo valor de concentración en el aire sobrepasan los límites estándares. Para implementar una estrategia, es necesario analizar el tipo de contaminante, causa de la contaminación, concentración del contaminante y el tipo de fuente de emisión (Núñez, 2013)
- Políticas ambientales: son principios y/o normas, cuyo principal objetivo son proteger el medio ambiente en cualquiera de sus áreas, debe ser establecida por el más alto poder directivo, quien debe mostrar su capacidad para poder dirigir y modificar el Sistema de Gestión Ambiental, estas políticas deben asegurar: La mejora continua a través del tiempo, la prevención de la contaminación y su posible control (Zarza, 2022)
- Sistemas de gestión ambiental: es una herramienta de gran importancia, que se emplea para aumentar el desempeño ambiental por medio de cuatro pasos que se pueden observar en la Figura 11.

Figura 11 Pasos de un sistema de gestión



Modificado a partir de (Ministerios de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008)

- Plan de gestión de la calidad del aire: son un grupo de normas, procesos que tienen como objetivo principal reducir la contaminación de la atmosfera proveniente de las diferentes fuentes de emisión, estos planes de gestión ayudan a comprender más fácilmente los procesos productivos e industriales y la incidencia que tienen en la contaminación del aire (Ministerios de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008)

Los Planes de gestión de calidad del aire están conformados por diferentes etapas que ayudan a determinar las diferentes acciones, medidas, estrategias que contribuyan de manera positiva a la atmosfera (Ministerios de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008), las etapas son:

1. Revisión inicial
2. Compromiso por parte de la institución para mejorar la calidad del aire
3. Planeación: se encuentra la evaluación del aire, requisitos legales, objetivos metas.
4. Implementación: se crea la estructura y se asignan responsabilidades, capacitación, documentación, reporte a la población, y planes de emergencia
5. Verificación y acción correctiva: se hacen seguimientos, se mide la calidad del aire, se realizan registros y auditorias.
6. Revisión por parte de la Dirección

- Los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire –SVCA: hace referencia a conjuntos de redes cuyo principal objetivo es registrar las diferentes concentraciones de contaminantes en el aire en zonas determinadas, al mismo tiempo son herramientas de gran importancia para realizar planes de gestión para la calidad atmosférica, ya que estos permiten plantear los objetivos y verificar el cumplimiento de los planes de gestión (Vidal, 2020)

- Red de monitoreo de calidad del aire: es un programa de vigilancia que tiene como objetivo monitorear y evaluar la calidad del aire en un lugar determinado para identificar comportamientos y/o tendencias de los contaminante, además de generar bases de datos que

sirven de apoyo para realizar análisis y tomar decisiones frente al cuidado de la atmosfera en un lugar (Vidal, 2020)

- Estación de monitoreo de calidad del aire: son sistemas compuestos por diferentes sensores capaces de medir la concentración de diversos contaminantes en un lugar determinado, recolectan datos cada hora y los almacenan en base de datos para ser publicados (IDEAM, 2009)

7 ESTADO DEL ARTE

7.1 Calidad del aire a nivel mundial

Los primeros eventos de contaminación del aire, surgen en el año 852 en la ciudad de Londres-Inglaterra, los habitantes se quejaban por la calidad del aire a causa de la quema de carbón que servía como combustible para los calefactores. En los años 1100 y 1200 en Londres se aprueban algunas leyes para la contaminación atmosférica sin embargo para el año 1939 fallecen 1300 personas a causa de una densa niebla que dura 4 días (Henry Glynn, 1999), todo empeoro en los años cincuenta donde murieron muchas personas, esto gracias a la quema de carbón que se aumentaba en los hogares y a su vez en las empresas. Esto ocasionaba una espesa capa de humo en la atmosfera sobre todo en las épocas de invierno donde el viento era muy poco (Fagan, 2017).

Para el año de 1930 en el valle de Meuse ubicado en Bélgica, hubo una epidemia donde murieron 63 personas y 8000 habitantes se enfermaron a causa del smog (Henry Glynn, 1999), las emisiones de dióxido de sulfuro de una fábrica de Meusa se mezclaron con una niebla densa, que provoco que muchas personas se enfermaran de los pulmones y otras cuantas murieran (Gomez, 2019)

En el año 1948 en la ciudad de Donora-Pensilvania, una población de 14.000 habitantes aproximadamente, sufrió un evento grave de contaminación atmosférica, a causa de una densa niebla y humo que no se disipo durante 6 días seguidos, ya que los vientos eran ligeros y el relieve de la zona era montañosa, lo que evitaba que los contaminantes del aire se dispersaran. El 43% de la población se vio afectada, 20 habitantes murieron, 1.440 personas sufrieron efectos graves en su salud, 2.322 personas sufrieron efectos moderados y 2.148 personas sufrieron efectos leves, este acontecimiento afecto en mayor medida a la población de la tercera edad y personas que sufrían problemas respiratorios y cardiacos (Henry Glynn, 1999)

En 1976 en Seveso- Italia, ocurrió una explosión de una planta química local, esto sucede porque uno de sus tanques subió su temperatura, ocasionando que una válvula se abriera y dejara escapar un gas toxico a la atmosfera que contenía TCDD, conocido como

2,3,7,8-tetraclorodibenzodioxina, ocasionando la muerte y el sacrificio de muchos animales y además de esto enfermedades cancerígenas, efectos sobre la reproducción, enfermedades en la piel como cloracné entre muchas otras (Lallanilla, 2020)

En el año 1979, la central nuclear Three Mile Island ubicada en Harrisburg – Pensilvania, dejó escapar Residuos y gases radioactivos a la atmósfera, esto sucede porque uno de sus reactores subió la temperatura y la válvula se abrió lo que posteriormente generó que el reactor se encendiera los trabajadores de ese entonces, decidieron tomar el control manual lo que generó varios errores, luego se libera radiación al aire para evitar una explosión (Pell, 2019)

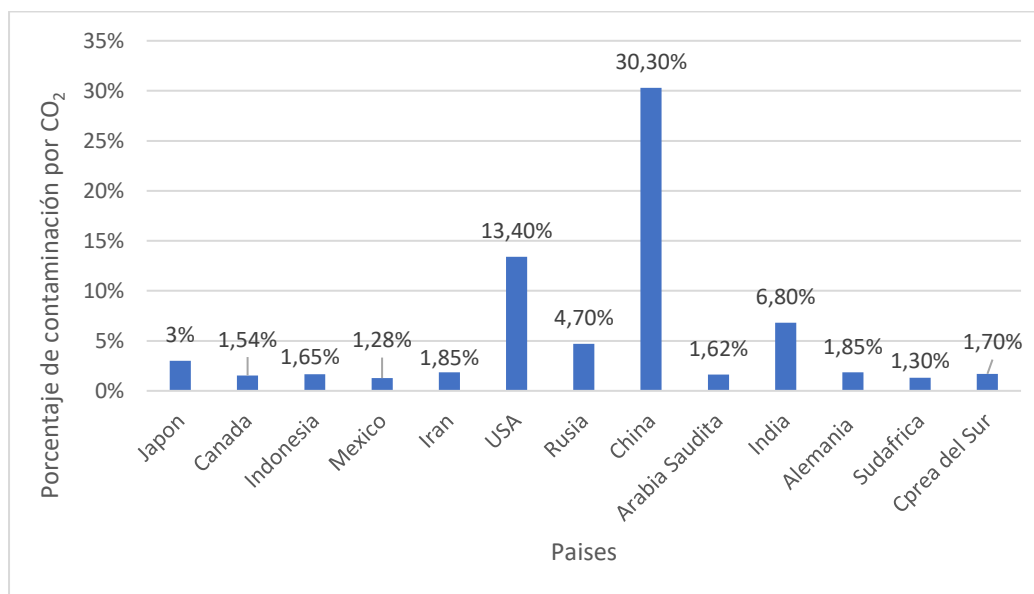
En 1984 en Bhopal-India, la planta Unión Caribe dedicada a la fabricación de pesticidas, dejó escapar a la atmósfera 30 toneladas de isocianato de metilo, un gas altamente tóxico provocando la muerte de al menos 15.000 personas y causando que muchas de las mujeres que estuvieron expuestas a este gas cuando entran en estado de gestación tengan niños con discapacidades físicas y mentales (Taylor, 2014)

En 1986 ocurre uno de los más grandes desastres nucleares, el desastre de la planta de Chernóbil en el norte de Ucrania, esto sucede por un mal procedimiento de los trabajadores en uno de los reactores, provocando una explosión en el reactor y dejando expuesto el núcleo de este, lo que posteriormente generó la liberación de la radiación a la atmósfera exponiendo a la población a enfermedades cancerígenas (Blakemore, 2019)

Todos los países contribuyen con la contaminación atmosférica, pero unos contaminan más que otros, algunos países generan grandes emisiones de CO₂, los cuales son: China, Estados Unidos, India y Rusia. Estos países tienen emisiones de 55 % de CO₂ en todo el mundo (Solís, 2021)

En la Figura 12 se presentan los países con más contaminación por CO₂ en el aire a nivel mundial, se observa que estos países contribuyen a la contaminación atmosférica y al calentamiento global, ya que tienen altas emisiones de CO₂ a la atmósfera. Sin embargo, estos países para reducir la contaminación atmosférica han hecho acuerdos como el acuerdo de París, que principalmente busca evitar que la temperatura mundial aumente 2 grados Celsius (Barcelino, 2019)

Figura 12 Países que más contaminan la atmosfera con CO₂



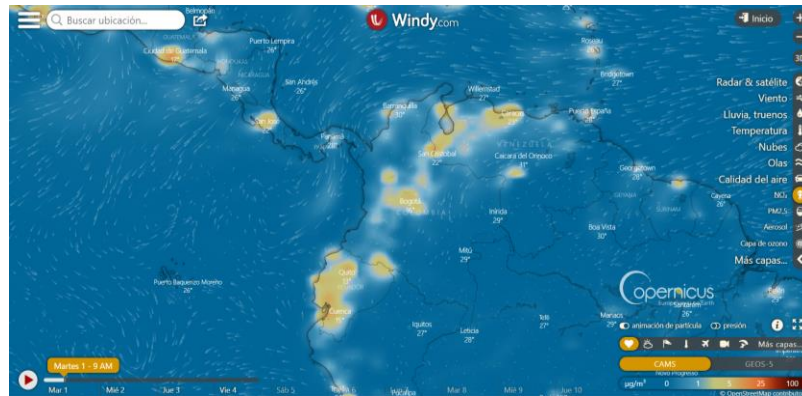
Modificado a partir de (Solis, 2021)

7.1.1 Geovisores como herramientas tecnológicas para informar y dar seguimiento a la contaminación atmosférica a nivel mundial

La contaminación de la atmosfera es un problema persistente en el planeta, por esta razón se han creado diferentes herramientas que da a conocer el estado de la calidad del aire en un lugar determinado, un ejemplo de esto, es el geovisor windy o el mapa que permite ver la calidad del aire de un pais en tiempo, el geovisor windy permite conocer la calidad de aire, dirección de los vientos, entre otras, el mapa de calidad de aire permite conocer el estado de la calidad atmosferica de un lugar, por medio de una escala de colores que indica si el aire se encuentra saludable, medianamente saludable o muy poco saludable.

En la Figura 13 se observa el geovisor windy, este geovisor muestra diferentes parametros como por ejemplo: la temperatura, lluvias y truenos, vientos, nubes, olas, calidad de aire con respecto a contaminantes de NO₂, PM_{2.5}, aerosoles

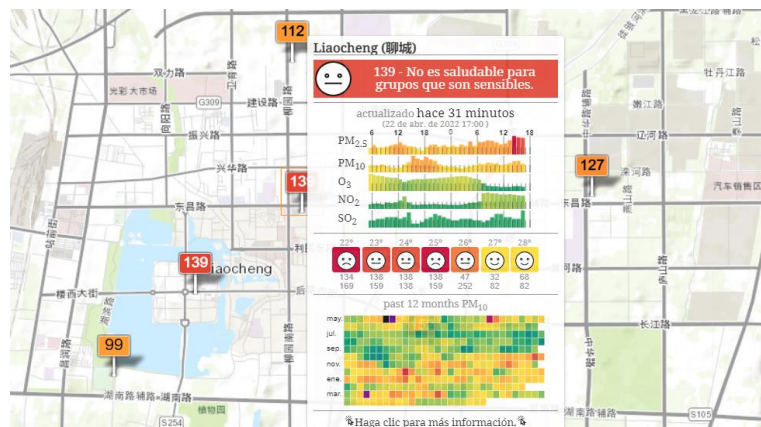
Figura 13 Geovisor Windy



Fuente: <https://www.windy.com/es/-NO2-no2?cams,no2,4.650,-74.063,5>

En la Figura 14 se observa el mapa de la calidad de aire, en el país de China, se evidencian diferentes estaciones de monitoreo que miden diferentes concentraciones de contaminantes en el aire, en este mapa se identifica diferentes colores que hacen referencia al estado del aire, un ejemplo de ellos es: el color rojo, hace referencia a que el aire es insalubre.

Figura 14 Mapa de la calidad del aire en tiempo real



Fuente: <https://aqicn.org/map/world/es/>

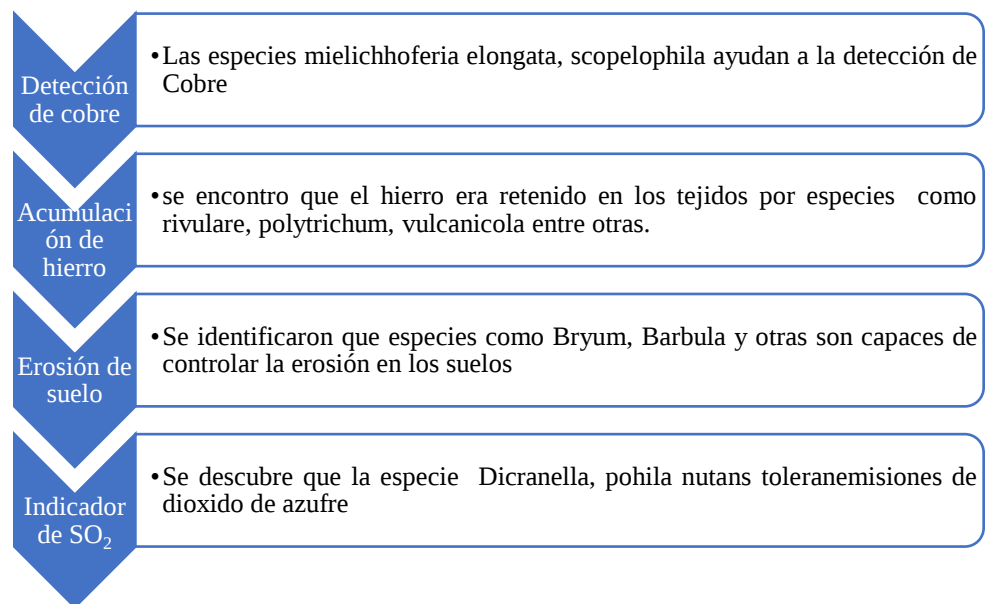
7.1.2 Musgo como estrategia para combatir la contaminación atmosférica en el mundo

El musgo vive en lugares húmedos o cerca al agua, son muy versátiles y pueden adaptarse en diferentes ambientes, son capaces de absorber 20 veces su peso en agua para en tiempos de sequía ir liberándolo lentamente (Aguirre, 2010). Los musgos son muy importantes para los ecosistemas ya que pueden retener y mantener la humedad, la erosión del suelo, captan agua lluvia, absorben contaminantes del aire y los utilizan como nutrientes además de que contribuyen con el desarrollo de la vida de plantas y animales.

El musgo ha sido utilizado como un bioindicador de contaminantes del aire y suelo por su capacidad de absorción y retención, el primer congreso de calidad del aire organizado por Europa mencionaba el uso de musgo especialmente la especie criptógama epífita como bioindicadores de la contaminación atmosférica (Poblano, 2013). En diferentes países del mundo

En la figura 15 se observa algunas especies de musgo que tienen la capacidad de servir de bioindicador de contaminación por metales o gases

Figura 15 especies de musgo



Se han implementado biotecnologías a base de musgo para combatir la contaminación atmosférica en 25 ciudades de países desarrollados como Oslo-Noruega, Hong Kong, Japón, Glasgow-Escocia, Vitoria-España, Berlín-Alemania, París-Francia,

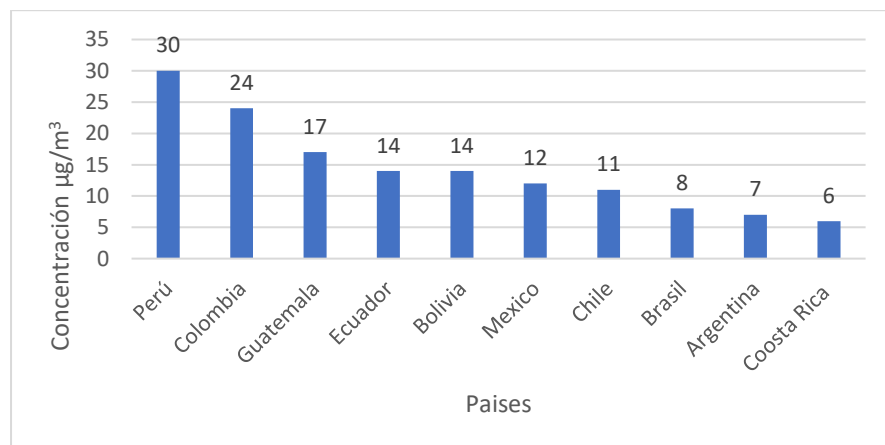
Londres-inglaterra, entre otros, por su eficiencia en la absorción de contaminantes (Rodriguez, 2018)

7.1.3 Contaminación del aire a nivel Latinoamérica

La ciudad de Lima en Perú, es la ciudad más contaminada a nivel latinoamericano, algunos estudios indicaron que la contaminación atmosférica en la ciudad es un poco más del doble que el de la ciudad de Medellín y Cali en Colombia y nueve veces más que en la ciudad de México y Santiago de Chile, los combustibles fósiles son la fuente que más contamina en Perú, porque son usados en diferentes actividades humanas como el transporte, industrias, agricultura ect, el uso de ese tipo combustible genera material particulado y otros gases que contaminan el aire y son perjudiciales para la salud del medio biótico (Sputnik, 2021)

En la Figura 16 se evidencia que el país que genera más contaminación al aire por concentración de material particulado por metro cubico es: Perú con $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Colombia con $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Guatemala con $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Ecuador y Bolivia se encuentran en el mismo puesto generando $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 16 Concentración de material particulado por metro cubico en países latinoamericanos



Modificado a partir de (Sputnik, 2021)

A nivel Latino América los países que más contaminan el aire con CO_2 son: Perú, Chile, México, Brasil y Colombia. en el quinto lugar, se encuentra Colombia con un promedio de contaminación del $13.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, luego se encuentra Brasil, con un promedio de

16.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido de México con 20.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Chile con 24.94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y Perú como el país con el aire más contaminado a nivel Latino América, con un promedio de 32.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Real, 2019)

7.2 Contaminación del aire en Colombia

Colombia es el responsable de aportar el 0.45% de la contaminación atmosférica mundial y sus ciudades más contaminadas por material particulado son: Bogotá, Municipio de Ráquira en Boyacá, Nemocón Cundinamarca, Municipio de Sibaté, Jagua de Ibirico en el municipio del Cesar, Altavista y Éxito de San Antonio en Medellín, Municipio de Sopó y el Paso en Cesar (Compartir por una sociedad mas equitativa, 2017)

Los municipios de la Jagua de Ibirico y El Paso ubicados en la parte central del departamento del Cesar, destacan por la explotación de carbón, sin embargo esta minería ha dejado muy contaminado el aire y ha afectado la salud de las personas de estos municipios, ya que según el observatorio de CorpoCesar, para los años 2013 y 2014 los niveles de material particulado han llegado a concentraciones de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ superando lo permitido por la norma (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Esto se debe principalmente a que las empresas encargadas de la explotación de carbón como Drummond Ltda, Operación Conjunta La Jagua y Norcarbón, incumplieron con el plan de mitigación de impactos ambientales generados por sus propias actividades (Barrios, 2014)

Ráquira es uno de los municipios con más contaminación atmosférica, su economía está centrada en la producción de artesanías, la causa principal del mal estado del aire, son las fuentes fijas, puesto que en Ráquira se encuentran ubicadas industrias cementeras, ladrilleras y Hornos de artesanías (Siete días boyaca, 2019), El material particulado de 10 μg , llega a concentraciones de 77,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, estas concentraciones se deben principalmente a las industrias artesanales, las personas que tienen sus viviendas cerca a estas industrias sufren de problemas respiratorios (El Tiempo, 2008)

Sibaté, Cundinamarca, en la década de los 60 hasta los 90 los habitantes del municipio se vieron fuertemente afectados por la presencia de asbesto, actualmente la presencia de este contaminante es significativa, ya que en muchas zonas públicas existieron vertederos de residuos de asbesto, además de que muchos barrios están cercanos a industrias

encargadas de la producción de este, como lo era la empresa Eternit Colombia, por lo que se generó una contaminación atmosférica peligrosa capaz de enfermar a sus ciudadanos de cáncer por el contacto continuo a este material (CEDINS, 2020)

Medellín es una de las ciudades más grandes de Colombia, para el año 2018 decretaron estado de alerta e hicieron algunas recomendaciones a los habitantes, una de ellas era no salir a realizar actividades al aire libre, la contaminación atmosférica de esta ciudad proviene principalmente de las fuentes móviles y fijas por el uso de ACPM y gasolina, esto libera al aire material particulado y por las condiciones geográficas y meteorológicas de la ciudad, los contaminantes no se dispersan, lo que causa que el aire de la ciudad se deteriore (Semana, 2018)

Bogotá es la capital de Colombia y una de las ciudades con mayor deterioro en el aire, la dinámica de crecimiento de la ciudad, representa un problema para la calidad del aire, ya que se incrementan las actividades industriales, el parque automotor, el comercio entre otras. Esto hace que se aumenten las emisiones de contaminantes en la atmósfera, por lo que la contaminación proviene de fuentes fijas y móviles (Figuerola, 2015)

7.2.1 Contaminación atmosférica y su relación con la deforestación en Colombia

La deforestación es un factor muy importante porque se asocia directamente con la contaminación atmosférica, los árboles tienen una gran importancia ya que pueden retener material particulado en sus hojas y corteza, además son captadores naturales de gases de efecto invernadero como el CO₂ y otros gases como NO_x, SO_x, partículas de cadmio, níquel y plomo, por lo que ayudan a limpiar el aire mejorando su calidad (Martins, 2017)

Colombia es el tercer país de Sudamérica con más superficies de bosques y tiene aproximadamente 8.5 millones de hectáreas de bosque primario, sin embargo, la deforestación es un problema latente en el país, se debe a diferentes factores como la industria ganadera, cultivos ilegales, tala ilegal de árboles, explotación minera, incendios forestales y al crecimiento poblacional, las zonas más afectadas son: el norte de los Andes, la Región Caribe y la Amazonía (Romero, 2013)

En el año 2017 según el IDEAM Colombia tuvo las cifras más altas de deforestación, ya que se perdieron alrededor de 220 mil hectáreas, para el año 2020 se sufrió una pérdida

de 171.685 hectáreas, la deforestación nacional se centró en los departamentos: Meta, Caquetá, Putumayo, Guaviare y Antioquia sin embargo la mayor pérdida sucedió en el Amazonas perdiendo 109,000 hectáreas en el año 2020

7.2.2 Contaminación del aire en la ciudad de Bogotá

7.2.2.1 Crecimiento demográfico en la ciudad de Bogotá

Entre 1998 y 2017 el crecimiento poblacional de la ciudad de Bogotá aumento a 2 millones en términos netos, Bogotá por ser una de las ciudades más grandes de Colombia, es receptora de migrantes e inmigrantes por lo que el crecimiento demográfico va en aumento, esto sucede porque es considerada la ciudad del desarrollo por percepción de las personas, ya que existen mayores oportunidades de empleo, educación y salud (Landaeta, 2018), sin embargo, el crecimiento acelerado de una población empieza a generar expansión urbana, esto crea conflicto por el uso del suelo, aumenta la demanda por bienes y servicios y genera la afectación al medio ambiente (López, 2017)

El crecimiento demográfico ha causado la sobreexplotación de los recursos naturales con el fin de satisfacer las necesidades de la población, lo anterior tiene una incidencia directa con la contaminación atmosférica, ya que se aumenta el consumo de bienes y servicios, por lo cual aumentan las industrias, el comercio, el parque automotor, los residuos sólidos y por ende se aumentan las emisiones y concentraciones de contaminantes a la atmosfera (Earthgonomic, 2015)

7.2.2.2 Cómo ha cambiado el aire de la ciudad de Bogotá a través del tiempo

En el año 1997 el aire de la ciudad de Bogotá se vio afectada principalmente por el incremento en la concentración máximas por hora de NO₂, por lo que gran parte de la ciudad tenía concentraciones de más del 50% del valor normativo. Se identifico que las principales causas de este aumento eran las fuentes móviles, también existía contaminación por material particulado, ozono y dióxido de azufre (Rincón, 2007)

En el año 2014 se generó un incendio aproximadamente de 600.000 llantas acumuladas en una bodega ubicada en Fontibón, este incendio duro 3 días y genero una de las peores crisis de contaminación atmosférica en la ciudad, que según estudios equivalían a las emisiones causadas por un millón de vehículos en tránsito, el incendio ocasiono una

nube de humo negro, que alcanzo 6 localidades (Chapinero, Fontibón, Puente Aranda, Barrios Unidos, Kennedy y Teusaquillo), los habitantes de estas localidades reportaron algunas dificultades en su respiración, en sus ojos (Irritación), vomito, mareo por el humo que contenía sustancias toxicas y hasta cancerígenas (El Tiempo, 2014)

Para el año 2016, se generó un incendio en los cerros orientales de Bogotá, los vientos para ese tiempo eran fuertes, lo que ayudaba a que la quema de los cerros se extendiera, la secretaria de ambiente decreto alerta amarilla, ya que el humo se extendió hasta la parte central de la ciudad, los habitantes del barrio aguas claras al estar cerca de los cerros tuvieron que utilizar pañuelos y otro tipo de accesorios para cubrir su nariz ya que el humo causaba tos y dificultad para respirar, se registraron más de 40 hectáreas afectadas por el incendio (El Tiempo, 2016)

Bogotá tiene un elevado índice de contaminación atmosférica, en el año 2020 hubieron más de 3900 personas fallecidas por contaminación en el aire (Greenpeace, 2020). Los lugares más contaminados de la ciudad de Bogotá son: Kennedy, Puente Aranda, Usme, Ciudad Bolívar y Bosa, esto se debe a que en estos lugares se encuentran la mayoría de industrias y con ellos el tráfico pesado (Cardona, 2021)

El aire en la ciudad de Bogotá no es homogéneo, por lo que la minoría de personas gozan de una buena calidad de aire y la mayoría no tienen más opción que respirar el aire que les ofrece la ciudad, se evidencia una inequidad, ya que, por lo general en los sectores con niveles socioeconómicos bajos, se ubican las industrias, por lo que la concentración de contaminantes es mayor (Rocha, 2021)

En el año 2020, la contaminación del aire en Bogotá se redujo significativamente, esto debido al cese de actividades comerciales, industriales y de movilidad, en ese año se hicieron muchas restricciones por motivos de la pandemia, sin embargo, con la reactivación de estas actividades para el año 2021 la contaminación del aire volvió a aumentar, registrando valores de 34,4 microgramos por metro cubico de PM2.5 valores ligeramente parecidos a los del año 2019 (El Espectador, 2021)

La alcaldía distrital de Bogotá, indico que en muchas ocasiones el deterioro del aire en la ciudad, se debía a que la meteorología de ese momento, no permitía que los

contaminantes se dispersaran y que existían factores como incendios forestales que ayudan a deteriorar la calidad del aire que se respira en la ciudad (Morales, 2019)

La secretaria de medio ambiente de Bogotá, para el año 2019 indico que las fuentes móviles terrestres son responsables de generar más de la mitad de las emisiones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el aire, por lo que el deterioro del aire en la ciudad se debe principalmente a las fuentes móviles (Vargas, 2019)

A partir de estudios realizados por la secretaria Distrital de Ambiente, se evidencio que las industrias están aportando el 60% en las emisiones de material particulado y las fuentes móviles un 40%, la exposición a estas emisiones es más perjudiciales para una comunidad si vienen de las fuentes móviles ya que la exposición es frecuente como en el caso de personas que usan las bicicletas como transporte, los peatones y conductores (Rojas, 2007)

7.3 ¿Cómo enfrentar la contaminación atmosférica?

7.3.1 Directrices de la OMS

Colombia es un país que va en crecimiento constante, por lo que la contaminación del aire es uno de los problemas que más preocupan, ya que esto afecta la salud del medio ambiente, en la medida en que aumenta el crecimiento poblacional, aumenta la contaminación del aire, por lo que se hace necesario empezar a proteger la salud de las personas y el medio abiótico.

Colombia se guía por directrices de la OMS y se encuentra en el objetivo intermedio 3, permitiendo que la concentración máxima de PM_{10} en 24 horas sea $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y anual sea de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la concentración máxima permitida de $PM_{2.5}$ en 24 horas es de $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y anual de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En la Figura 17 se detalla la concentración máxima permitida en un tiempo de exposición para contaminantes criterio como el SO_2 , O_3 , CO , NO_2 .

Figura 17 Concentración máxima permitida para contaminantes

SO ₂	•La concentración maxima permitida son 50 µg/m ³ en 24 horas y 100 µg/m ³ en una hora.
O ₃	•La concentración maxima permitida es 100 µg/m ³ en 8 horas
CO	•La concentración maxima permitida es 5.000 µg/m ³ en 8 horas y 35.000 en una hora.
NO ₂	•La concentración maxima permitida es 60 µg/m ³ anual y 200 en una hora.

Modificado a partir de (Ministerio de ambiente y desarrollo, 2017)

La OMS para el año 2021 tuvo unas modificaciones en cuanto las directrices de los contaminantes criterio para el PM_{2.5}, PM₁₀, Ozono, Nitrógeno y monóxido de carbono ya que son uno de los contaminantes más peligrosos para la salud de las personas y animales, en la figura 18 se indican los cambios realizados en el año 2021 por la OMS en las directrices de algunos contaminantes.

Figura 18 Actualización de las directrices de contaminación del aire por la OMS

PM _{2.5}	•La nueva actualización de la OMS recomienda que el PM _{2.5} anualmente no debería superar los 5 µg/m ³ y en 24 horas no debe sobrepasar los 15 µg/m ³
PM ₁₀	•La nueva actualización de la OMS recomienda que el PM ₁₀ anualmente no debe superar los 15 µg/m ³ y en 24 horas no debe pasar de 45 µg/m ³
O ₃	•La nueva actualización de la OMS recomienda que el ozono en la temporada alta debe ser de 60 µg/m ³ y cada 8 horas no superar los 100 µg/m ³
NO ₂	•La nueva actualización de la OMS recomienda que el dióxido de nitrógeno anualmente no debe superar 10 µg/m ³ y en 24 horas no superar los 25 µg/m ³
SO ₂	•La nueva actualización de la OMS recomienda que el SO ₂ en 24 horas no supere los 40 µg/m ³
CO	•La nueva actualización de la OMS recomienda que el monóxido de carbono en 24 horas no supere los 4 µg/m ³

Modificado a partir de (Organización Mundial de la Salud, 2021)

7.3.2 Normativa nacional

Para empezar a cuidar el aire en Colombia se empezaron a crear leyes, directivas, acuerdos, decretos para regular la contaminación del aire, en el anexo 1 se podrá observar la normativa nacional que rige actualmente, por consiguiente se hablará de una de las resoluciones más importantes, es la resolución 2254 creada el 1 de noviembre de 2017 esta resolución indica las máximas concentraciones de los contaminantes tóxicos permitidos en el aire, niveles para prevenir, alertar y dar emergencia, áreas que son fuentes de contaminación, índice de calidad de aire y concentraciones máximas de contaminantes criterio para un tiempo de exposición determinado.

En la Figura 19 se indican las concentraciones máximas permitidas en los contaminantes criterio.

Figura 19 Contaminantes criterio

PM ₁₀	•La concentración máxima permitida en los años de 2010 al 2017 en 24 horas era 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y anualmente de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ esto cambia a partir del 1 de julio del año 2018 las concentraciones maximas permitidas, a 24 horas son 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y anualmente 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM _{2.5}	•La concentración máxima permitida en los años de 2010 al 2017 en 24 horas era 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y anualmente de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ esto cambia a partir del 1 de julio del año 2018 las concentraciones maximas permitidas, a 24 horas son 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y anualmente 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO ₂	•La concentración permitida en 24 horas es de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en una hora lo maximo permitido es 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO ₂	•La concentración máxima permitida anualmente es de 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en una hora lo maximo permitido es 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
O ₃	•La concentración máxima permitida en ocho horas es de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CO	•La concentración permitida en ocho horas es de 5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en una hora lo maximo permitido es 35.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Modificado a partir de (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2017)

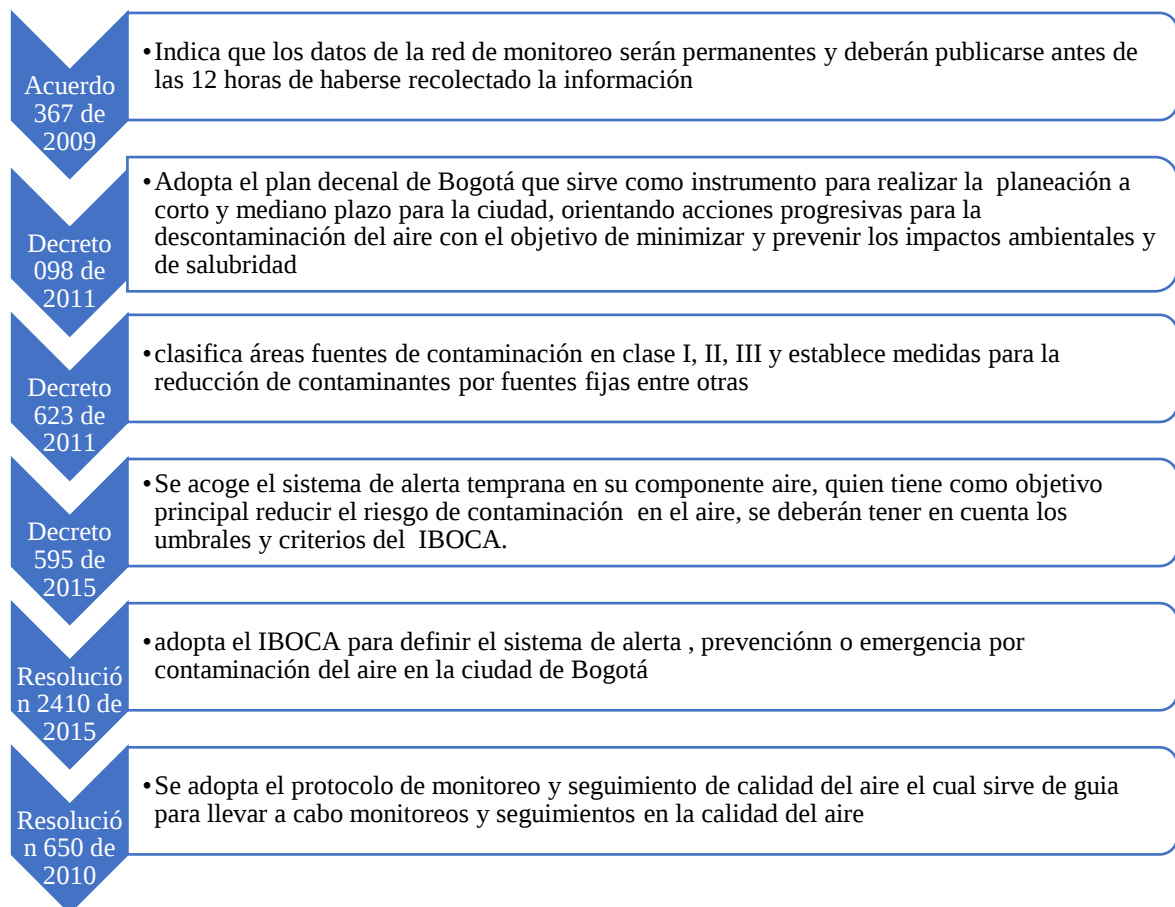
La resolución 909 de 2008 indica las concentraciones admisibles en el aire emitidas por fuentes fijas de actividades industriales, centrales térmicas, industrias textiles, fábricas de productos provenientes de la refinación del petróleo, fabricas productoras de cemento y concretos entre muchas otras (MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO, 2008)

La resolución 910 de 2008 indica los niveles permitidos de emisión por fuentes móviles terrestres, en esta resolución se podrá encontrar las emisiones máximas permitidas por vehículos que usen gasolina, gas natural ect, la vigilancia, control y clasificación de las fuentes móviles y otras disposiciones relacionadas con este tipo de fuente (MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO, 2008)

7.3.3 ¿Qué está haciendo Bogotá para reducir la contaminación atmosférica?

Bogotá ha destacado negativamente por la calidad del aire en la ciudad, sin embargo, ha creado y/o adoptado diferentes políticas públicas para contrarrestar el problema de la contaminación atmosférica, unas de las más conocidas son: La ciclo ruta, proyectos de mitigación para el control de fuentes fijas, planes de peatonalización, implementación de proyectos de educación ambiental etc. (Rincón, 2007). En la figura 20 se hace una compilación de las leyes, directivas y acuerdos que rigen Bogotá actualmente.

Figura 20 Normativa



Se crea un plan para el año 2020-2024 que tiene como nombre “Un Nuevo Contrato Social y Ambiental para la Bogotá del siglo XXI”: instrumento de planeación que dispone de lineamientos administrativos para la ciudad de Bogotá, en este plan se trazan metas para reducir el promedio ponderado del material particulado

Iniciando el año 2020 se crea un plan llamado: Unidos por un nuevo aire, este plan invita a toda la sociedad bogotana a tener conciencia sobre los malos hábitos que generan contaminación en el aire, con este plan se quiere lograr la reducción de un 10% en la concentración del material particulado (Castillo, 2021)

El Plan Aire 2030 es un instrumento que proporciona estrategias integrales, inversiones y medidas específicas con el fin de cumplir con la meta de disminuir la concentración de material particulado menor a 2.5 micras en un 16% y el material particulado menor a diez micras en un 14,2 % para el año 2030, este plan invita a cualquier tipo de organización y/o persona natural a que contribuyan de manera positiva con el aire, ya sea por medio de cambios de hábitos o con buenas prácticas ambientales en sus organizaciones (Villamil, 2021)

Para el año 2021 la alcaldesa de Bogotá indico mejoras frente al tema de calidad de aire, adquirió nuevos equipos y puso más estaciones de monitoreo para la contaminación atmosférica, esto para tener más información de cómo van esos lugares claves donde están las estaciones y para que los habitantes puedan acceder a esta información fácilmente (Castiblanco, 2021)

Bogotá promueve la justicia ambiental por medio de su sistema de red de monitoreo de calidad del aire que opera desde 1967, esta red de monitoreo tiene 20 estaciones de monitoreo ubicadas en diferentes puntos de la ciudad, recolectando datos diarios con el fin de cuidar la salud de las personas, por medios de alertas tempranas, se asegura que conforme pasa el tiempo irán mejorando y actualizando el sistema de red de monitoreo de calidad del aire (Ramirez, 2021)

8 METODOLOGIA

La Metodología que se propone para realizar la identificación de la fuente de emisión predominante en la ciudad de Bogotá y la postulación de estrategias de mitigación apropiadas para estas fuentes de emisión, es el análisis de las tendencias aplicado a los contaminantes criterio durante un periodo de tiempo que para este trabajo es de 10 años, ver Figura 21.

Figura 21 Metodología



La metodología expuesta en la Figura 21 permitirá alcanzar el objetivo propuesto, en 5 fases, las cuales se explican a continuación:

1. Fase 1 Delimitación de zona de estudio: La selección del área de estudio se basó principalmente en dos factores:
 - Lugar con variación y gran asociación de los Contaminantes criterio
 - Datos disponibles y actualizados para realizar su correspondiente análisis.

2. Fase 2 Recolección de datos: Las estaciones seleccionadas son Sevillana, Kennedy, Guaymaral, Fontibón, Ministerio de Medio Ambiente, Puente Aranda, Las Ferias, San Cristóbal, Tunal, Usaquén, Centro de Alto Rendimiento y Suba.

Los datos de los contaminantes a estudiar se obtuvieron de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de la Ciudad de Bogotá (RMCAB), desde la opción “Reporte de Estación”. En el periodo escogido fue primero de enero de 2010 hasta el 31 de diciembre de 2020, se tomaron los datos tipo “Forward Corrido Max” en tiempos de 24 horas.

3. Fase 3 Diagnóstico: El diagnóstico se realizará en base a los análisis realizados en la tercera fase, con los contaminantes: O_3 , SO_2 , NO_2 , $PM_{2.5}$ y PM_{10} para identificar las fuentes de mayor contaminación y los contaminantes más predominantes en la ciudad de Bogotá.
4. Fase 4 Análisis de datos: Los datos serán procesados, para luego ser graficados y de esta manera permitan comprender más fácilmente el comportamiento de los diferentes contaminantes durante los diez años, facilitando la identificación de tendencias o comportamientos inusuales.
5. Fase 5 Estrategias: Las estrategias se diseñarán en base a los resultados obtenidos en el diagnóstico, las cuales permitirán servir de soporte e incidir en decisiones gubernamentales para la mitigación de la contaminación del aire en la ciudad.

9 RESULTADOS

9.1 Delimitación de la zona de estudio

La selección del área de estudio se basó principalmente en dos factores:

- Lugar con variación y gran asociación de los Contaminantes criterio
- Datos disponibles y actualizados para realizar su correspondiente análisis

Bogotá cumple con estos dos factores, La ciudad frecuentemente se encuentra expuesta a diferentes contaminantes en la atmosfera, como por ejemplo el $PM_{2.5}$ y PM_{10} , el NO_2 , SO_2 , CO y O_3 , contaminantes que se encuentran regulados por leyes, decretos que regulan las emisiones al aire, que en varias ocasiones no se cumplen en diferentes localidades de Bogotá como no lo indica (Morales, 2019), por otra parte Bogotá dispone de gran cantidad de datos e información con respecto a las variables de estudio $PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_2 , CO y O_3 en especial el material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) ya que estas partículas de 10 y 2.5 micras son las más peligrosas para la salud humana (Morales, 2019)

La ciudad de Bogotá está ubicada en el país de Colombia siendo la capital del país se encuentra sobre en la cordillera oriental de los Andes, tiene una altitud de 2630 msnm y posee un área total de 1776 km², se encuentra limitado al sur con el Meta y huila, al norte con chía, al oeste con el Rio Bogotá y por el oeste con municipios como la Calera, Chipaque, Gutiérrez, Choachí, Une y los cerros orientales. Bogotá se encuentra rodeada por montañas en donde se encuentra los cerros de Monserrate y Guadalupe (Posada, 2018)

9.1.1 Variables meteorológicas

9.1.1.1 Microclimas

El relieve de Bogotá es montañoso, por lo que se pueden encontrar diferentes latitudes en la ciudad, los microclimas pueden varían según la altitud de algunas zonas un ejemplo de esto es el punto más alto de Bogotá, el cerro de Monserrate, tiende hacer un poco más frio que otras zonas de la ciudad, existen otras variables que pueden crear microclimas como por ejemplo edificios altos y seguidos, estos crean sombra y además hacen que los vientos se desvíen y en algunas ocasiones los vientos encuentran salidas muy cerca al nivel de las calles de la ciudad creando microclimas más fríos (Botero, 2020)

9.1.1.2 Clima

El clima en la ciudad de Bogotá es frío y seco, antes de que empezara a notarse el cambio climático, en Bogotá se podía diferenciar claramente los meses de verano donde los días eran calurosos, soleados en los primeros tres meses de cada semestre y en invierno sus días eran muy fríos, lluviosos y nublados, sin embargo, según el IDEAM ahora las estaciones climáticas serán más cortas y cambiarán sus temporadas de más y menos lluvias con días mayormente nublados (Ramírez, 2021)

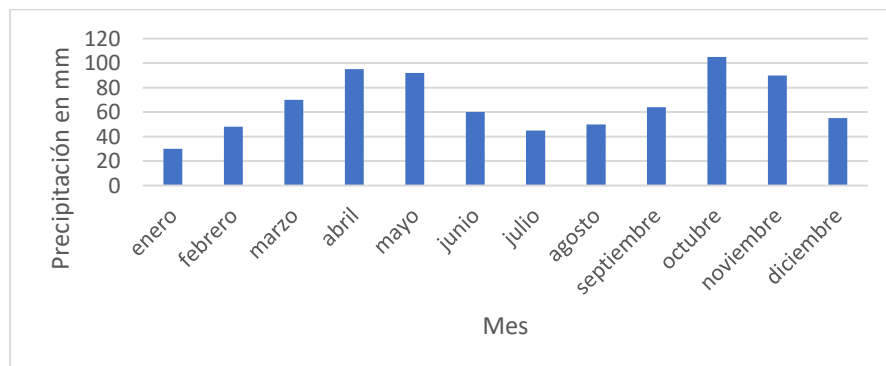
9.1.1.3 Temperatura

La temperatura promedio de la ciudad de Bogotá es de 13.1 °C, en horas del mediodía la temperatura varía entre 18 y 20 °C, en la madrugada, la temperatura mínima puede llegar hasta 8 y 10 °C, en meses predominantes secos las temperaturas pueden llegar a ser menores de 5 °C (IDEAM, 2012)

9.1.1.4 Precipitación

El promedio anual de lluvias para Bogotá es de 797 mm, existen 2 temporadas en el año con poca lluvia y con mucha lluvia, denominadas temporadas secas y lluviosas, los meses secos son: enero, febrero, julio y agosto, la temporada de lluvias predomina a finales del mes de marzo hasta inicios de junio y vuelve a retomar desde finales de septiembre hasta inicios de diciembre, en los meses de mayor lluvia, puede llover alrededor de 18 días por mes y en los meses predominantes secos, puede llover alrededor de 8 días por mes (IDEAM, 2012). En la figura 22 se observa la precipitación de Bogotá y los meses con más lluvias.

Figura 22 Precipitación de Bogotá



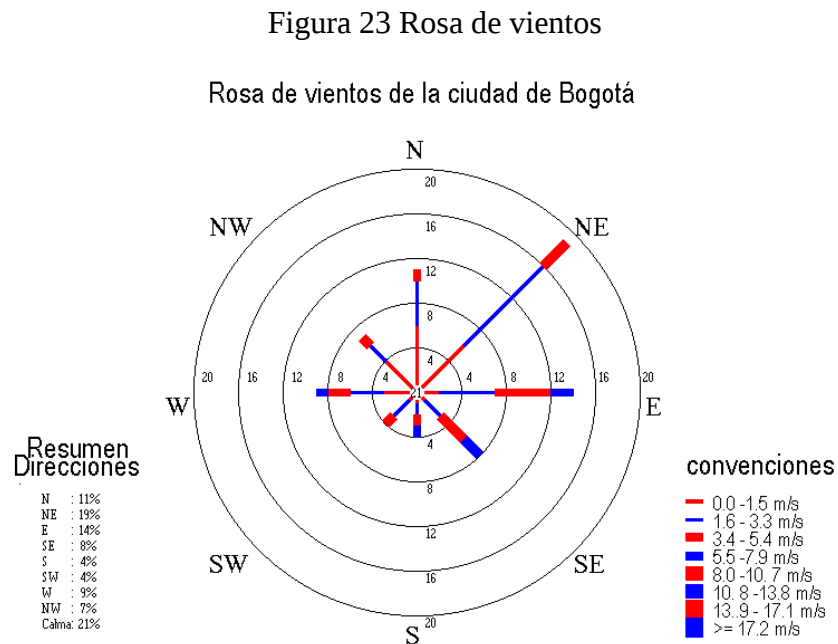
Modificado a partir de (IDEAM, 2012)

9.1.1.5 Viento

El viento en Bogotá, tiende a prevalecer en la parte este de la ciudad, por lo que el viento se dirige desde los cerros orientales hacia la parte del occidente, en los meses con mayores lluvias (abril, mayo, octubre y noviembre) cambia la dirección del viento de la sabana hacia la zona urbana de la ciudad, los meses con los vientos más fuertes son mayo y agosto y los meses con vientos más intensos son julio y agosto llegando a velocidades de 13,8 m/s (IDIGER, 2019)

La dirección del viento puede variar en cada localidad, en la estación de Usaqué y Puente Aranda predominan vientos del sursureste llegando a velocidades de 8 m/s y 4 m/s, en la estación de Guaymaral inciden vientos del este y llegan a velocidades de 4/ms, suba esta influenciada por vientos del nornoreste llegando a velocidades de 8 m/s, en la estación las ferias predominan vientos del noreste y puede llegar a velocidades de 4 m/s, la estación ministerio de ambiente y san Cristóbal predominan vientos del este, la estación Centro de Alto rendimiento presenta mayor incidencia de vientos del oeste con velocidades de hasta 6 m/s (Aragon, 2019)

En la figura 23 se observa la rosa de vientos de la ciudad de Bogotá



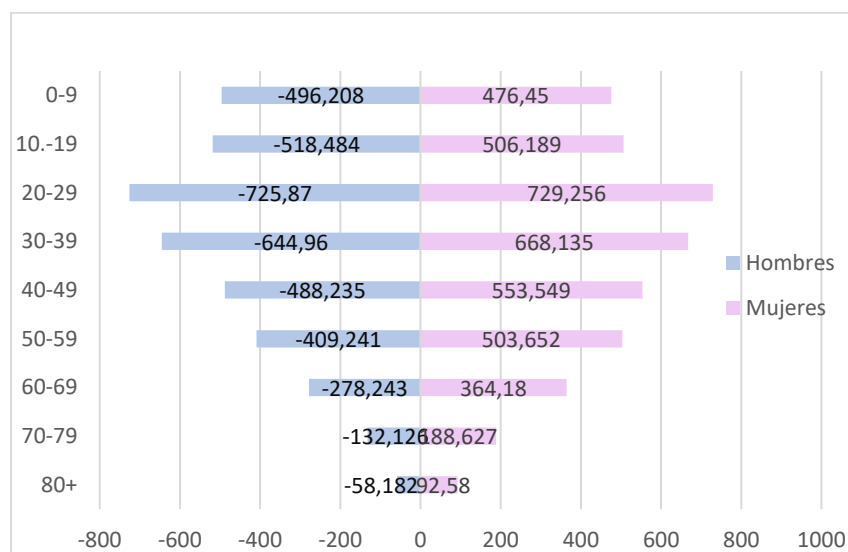
Modificado a partir de (IDEAM, 2015)

9.1.2 Variables sociodemográficas

En la ciudad de Bogotá hay más mujeres que hombres, ya que según un análisis hecho por el observatorio de Bogotá Salud data, para el año 2022 por cada 92 hombres existen 100 mujeres, los hombres representan el 47.89% (3.783.875 habitantes) y las mujeres representan el 52.11% (4.117.778 habitantes). La población vulnerable en Bogotá representa a las personas de la tercera edad y a los niños, se estima que en el año 2022 esta población llega a los 2.086.596 habitantes (adultos mayores de 60 años representan 1.113.938 habitantes y los niños menores de 9 años representan 972.658 habitantes).

En la Figura 24 se observa la población proyectada por rango de edad y sexo para el año 2022.

Figura 24 Distribución por sexo y rango de edades en la ciudad de Bogotá



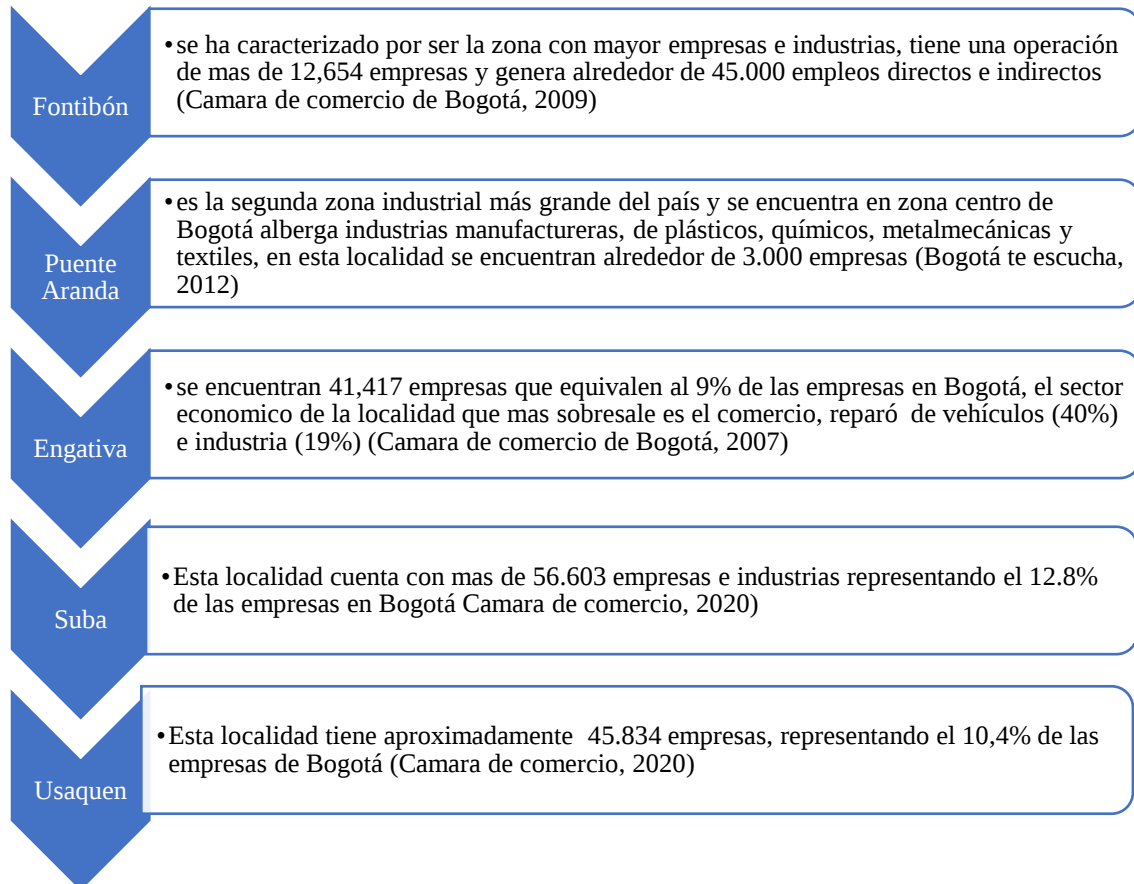
Modificado a partir de (Secretaria de salud, 2022)

9.1.3 Variables socioeconómicas

La actividad económica de la ciudad de Bogotá se concentra en la industria, el comercio y la prestación de servicios empresariales esta última brinda el 50% PIB de la ciudad, la economía de la ciudad aporta la cuarta parte del PIB nacional. En la ciudad de Bogotá se destacan algunas localidades por tener la mayor concentración de empresas e industrias, estas localidades son: Suba, Puente Aranda, Usaquén, Engativá, Fontibón (Cámara de comercio, 2020)

En la Figura 25 se observa la cantidad de empresas que existen en las localidades con mayor concentración industrial y comercial.

Figura 25 Localidades con mayor número de empresas e industrias

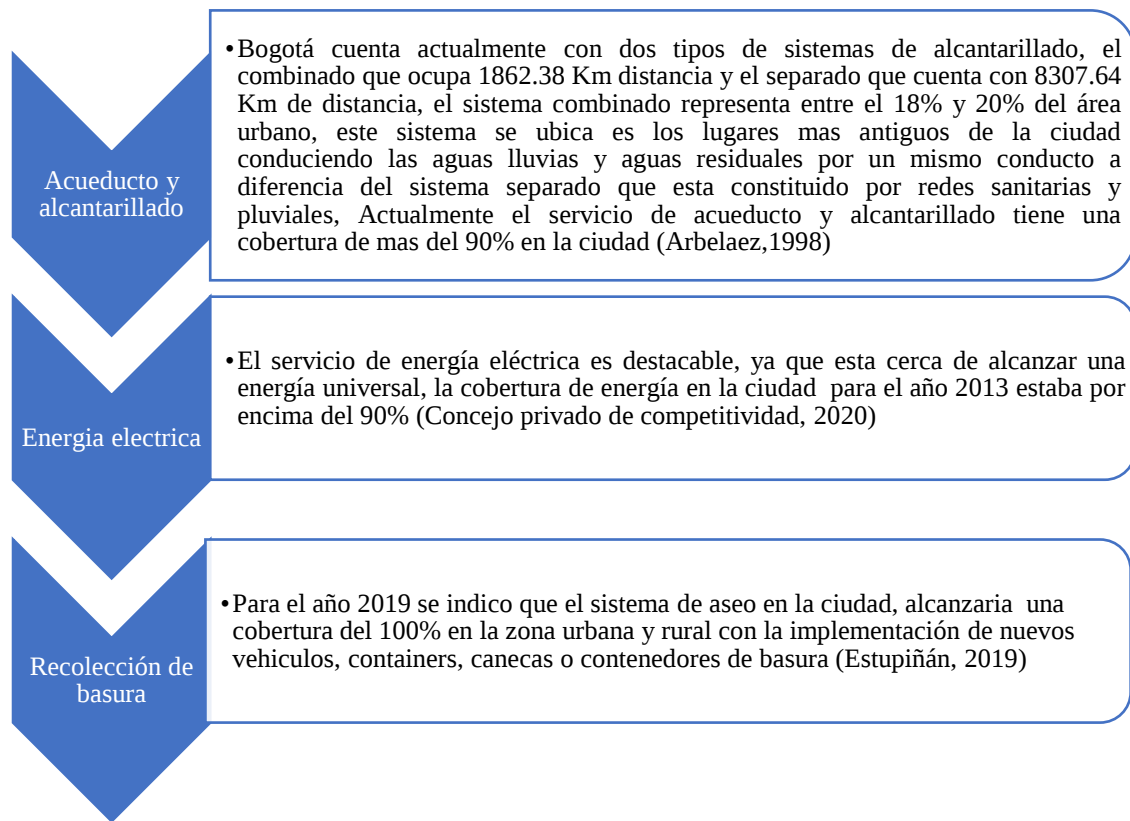


9.1.3.1 Prestación de servicios

Los servicios básicos son muy importantes para el buen desarrollo económico y social de una ciudad, Bogotá cuenta actualmente con una cobertura de servicios básicos de más del 90% (Arbelaez,1998)

En la Figura 26 se indican los diferentes servicios públicos básicos en la ciudad de Bogotá

Figura 26 Prestación de servicios básicos



9.1.3.2 Infraestructura vial

Según las cifras del Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá (IDU), a para el año 2014 la maya vial de la ciudad de Bogotá se encontraba en un 40% en buen estado, el 40% en mal estado y el 20% en un estado regular, para el año 2021 las vías principales de la ciudad tienen un 54% de pavimento en buen estado, un 41% regular y el 5% destruido sin embargo los 6.131 km de vías locales que componen las calles de los barrios el 21% se encuentran en mal estado por su falta de pavimentación y su deterioro (Semana, 2021)

Existen barrios constituidos legalmente que carecen de una buena infraestructura vial, estos son algunos de los barrios que tienen dificultades en la movilización por el deterioro de sus calles: barrio nueva Gloria ubicado en la localidad de San Cristóbal, el barrio San Bernardino y villa Emma de la localidad de bosa, barrio Alfonso López en la localidad de Usme. La falta de pavimentación en las calles de estos barrios favorece la creación de material particulado por el alza de polvo en la calle, si es una avenida principal

de bastante flujo de carros puede ocasionar el deterioro del aire y de la salud humana (Chavez, 2016)

9.1.4 Estructura ecológica principal

La estructura ecológica es muy importante en la planeación y el ordenamiento territorial de Bogotá, ya que permite que se conserve, se restaure y mejore la biodiversidad y la calidad de vida de la población. En la Figura 27, se evidencia algunas áreas naturales que constituyen el área forestal distrital, parques ecológicos de montaña y humedales.

Figura 27 Estructura ecológica principal



Modificado a partir de (Díaz, 2013)

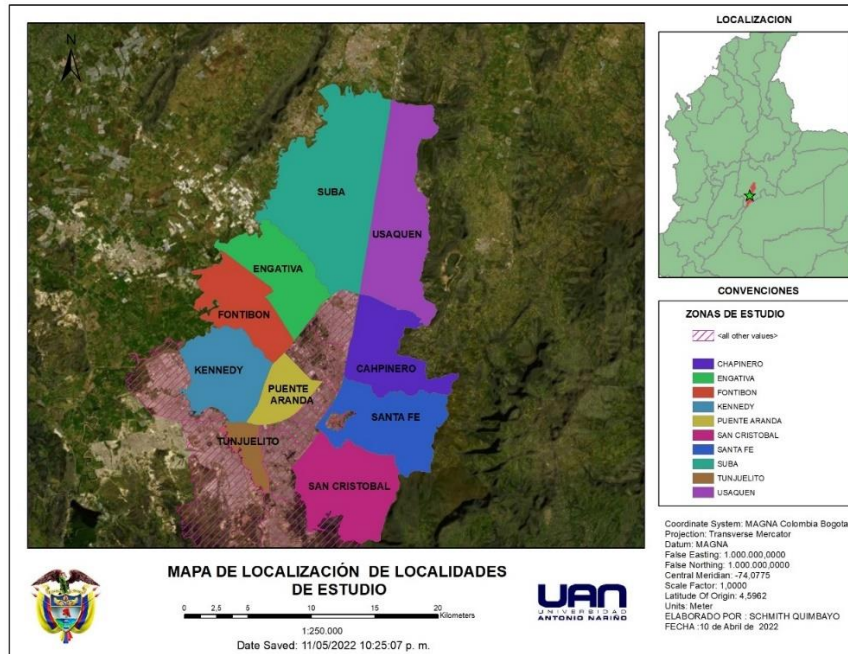
9.1.5 Recolección de datos y estaciones de monitoreo seleccionadas

Los datos de los contaminantes a estudiar se obtuvieron de la Red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Bogotá (RMCAB), desde la opción “reporte de estación” el periodo que se escogió es el 1 de enero de 2010 hasta el 31 de diciembre de 2020, se tomaron los datos tipo “Forward corrido max” en tiempos de 24 horas.

Las estaciones de monitoreo de las cuales se recolectaron los datos son: Bogotá Sevillana, Kennedy, Guaymaral, Fontibón, Ministerio de Medio Ambiente, Puente Aranda,

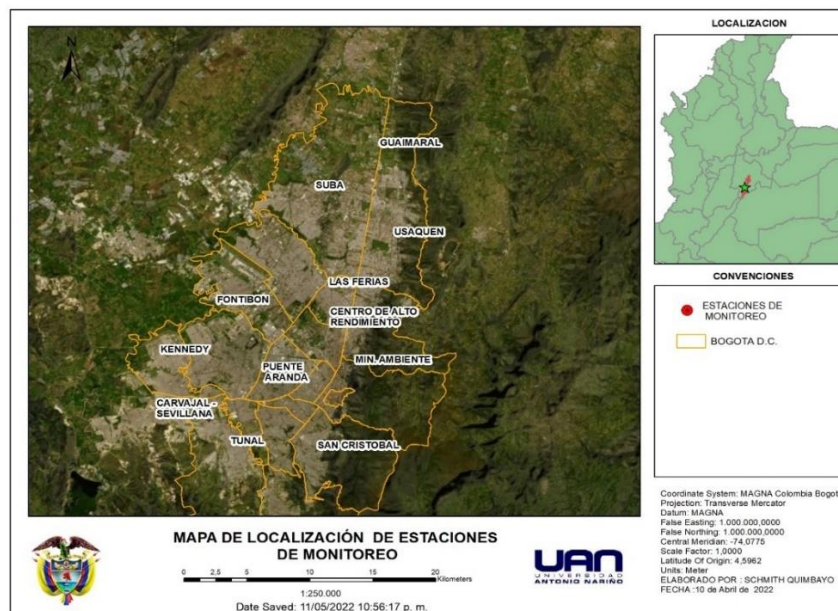
las ferias, San Cristobal, Tunal, Usaquen, Centro de alto rendimiento y Suba. En la Figura 28 se observa la localización de las localidades a estudiar.

Figura 28 Mapa de localización de localidades de estudio



En la Figura 299 se observa la localización de las estaciones de monitoreo a estudiar.

Figura 29 Mapa de localización de las estaciones de monitoreo



9.2 Análisis de tendencias

Se realizó el análisis de cinco contaminantes criterio en esta investigación los cuales se describen a continuación

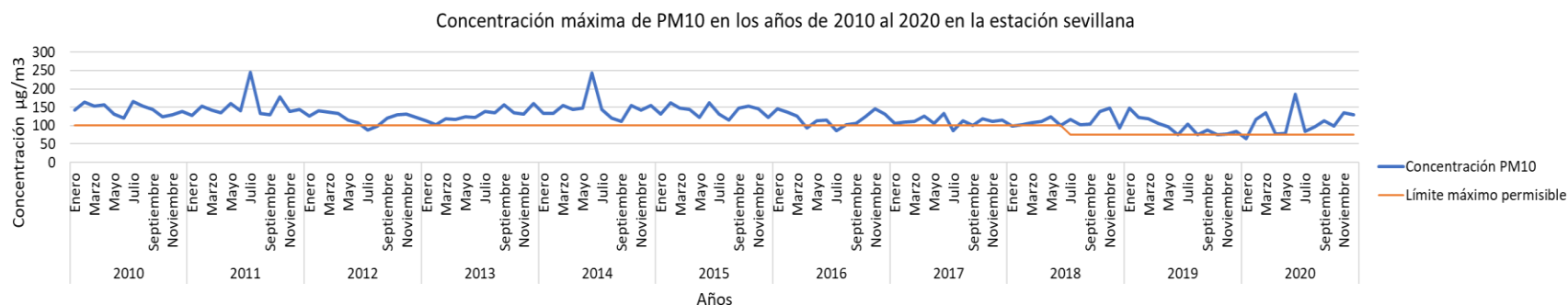
9.2.1 Material Particulado de 10 micras (PM₁₀)

El PM₁₀ ha tenido durante el periodo de estudio modificaciones en el límite permisible establecido por la ley 2254 de 2017 del IDEAM, ver Figura 18, en la cual indica que antes del 1 de julio de 2018 estaba designado la concentración máxima de PM₁₀ para 24 horas 100 µg/m³ y a partir de esta misma fecha la concentración máxima cambio a 75 µg/m³.

El presente estudio recopiló la información de las concentraciones máximas reportadas en las estaciones de monitoreo de calidad del aire de Bogotá (Sevillana, Kennedy, Guaymaral, Fontibón, Ministerio de Medio Ambiente, Puente Aranda, Las Ferias, San Cristóbal, Tunal, Usaquén, Centro de alto rendimiento y Suba)

En la Figura 30 se observa la concentración máxima de PM₁₀ durante 10 años en la estación de monitoreo la Sevillana

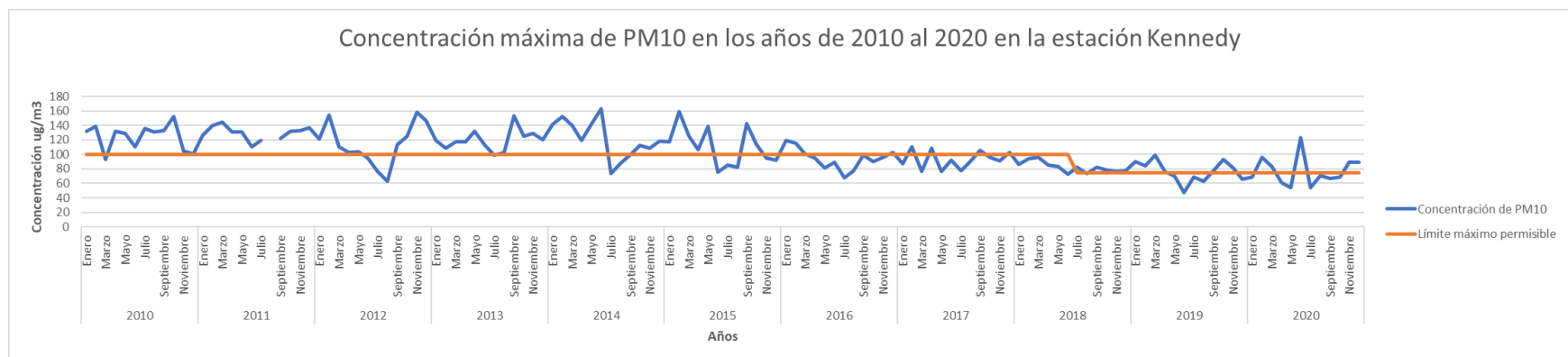
Figura 30 Concentración máxima de PM₁₀ en la estación de Sevillana



En la estación de la sevillana ver Figura 30 se observa que el 85% de los datos sobrepasan el límite máximo permisible, mostrando que las concentraciones de PM₁₀ son altas en todos los periodos del año sobresaliendo los meses de junio y julio , lo cual se debe al alto trafico de vehiculos en la estación sevillana, como lo señala el observatorio de movilidad de la ciudad de Bogotá, donde se resalta la autopista sur y la calle 80 como focos de alta concentración de vehículos que aumentan el PM₁₀ en la zona por combustión de disel y gasolina (Giraldo, 2005). En los meses de abril y mayo las concentraciones de material particulado PM₁₀ tienden a ser mas bajas ya que existen mayores precipitaciones, la lluvia contribuye a disminuir las concentraciones de material particulado menor a 10 micras ya que realiza un lavado de la atmosfera y hace que el PM₁₀ aumente su peso y caiga al suelo o se quede pegado en las hojas de las plantas (Bañuelos, 2011)

En la Figura 31 se observa la concentración máxima de PM₁₀ durante 10 años en la estación de monitoreo la Kennedy

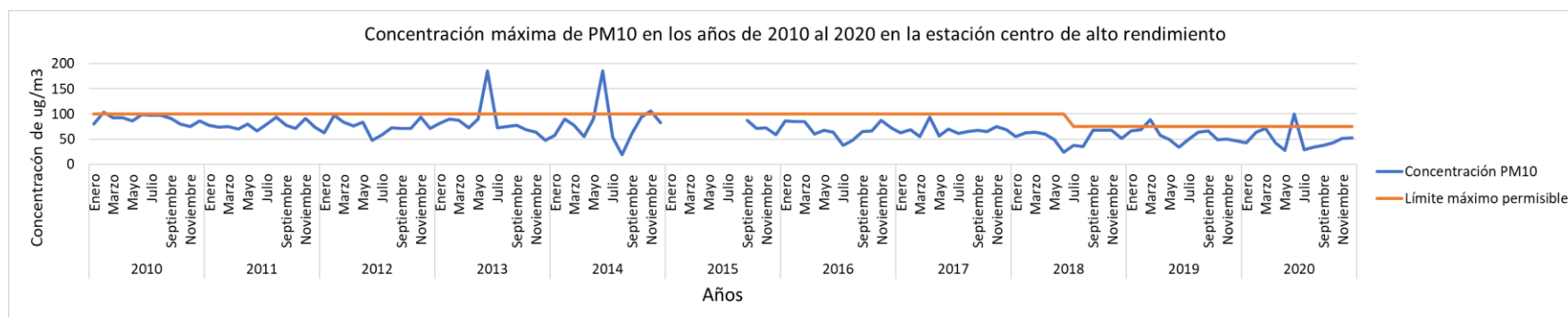
Figura 31 Concentración máxima de PM₁₀ en la estación de Kennedy



En la estación Kennedy Figura 30 se observa que el 51% de los datos sobrepasan el límite máximo permisible y se evidencia que del año 2010 al 2015 las concentraciones de material particulado PM_{10} fueron las mas altas, luego de este periodo se estabilizaron gracias a las medidas impuestas en la zona, las concentraciones mas altas estuvieron en junio de 2014 sobrepasando el límite máximo permisible con $62.7 \mu g/m^3$ seguida de diciembre de 2012 con $57.9 \mu g/m^3$, la contaminación por material particulado en la estación de Kennedy esta relacionada con las fuentes moviles que transitan por la calle 80 hacia la central Corabastos , entre otras vías de alto flujo como la Avenida villavicencio, Avenida ciudad de Cali, por otra parte, el viento y su dirección ver Figura 23 inciden en el arrastre de material particulado PM_{10} de otras localidades cercanas como Puente Aranda (zona industrial), (Gil, 2020).

En la Figura 32 se observa la concentración máxima de PM_{10} durante 10 años en la estación de monitoreo Centro de alto rendimiento

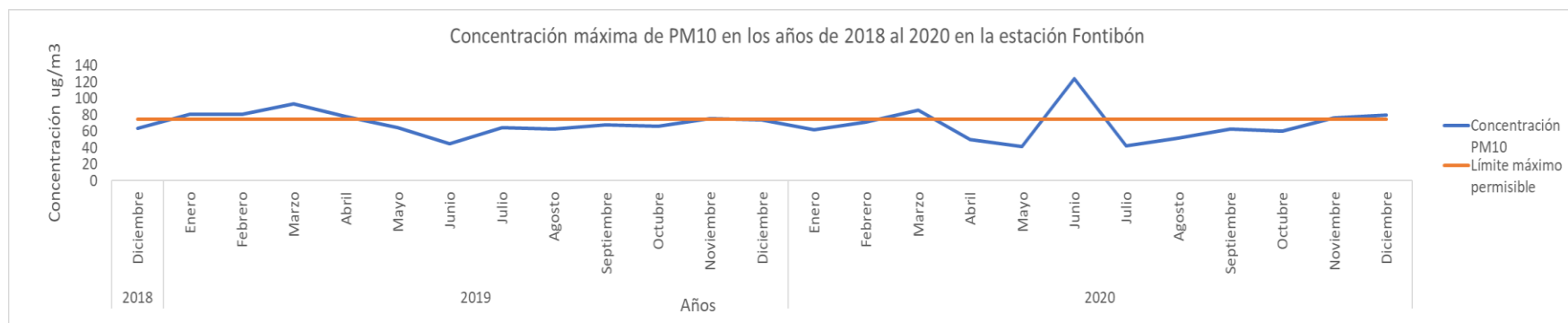
Figura 32 Concentración máxima de PM_{10} en la estación de Centro de alto rendimiento



En la estación centro de alto rendimiento ver Figura 32 se observa que el 4% de los datos sobrepasan el límite máximo permisible, el pico más alto se presentó en junio de 2013 y 2014 sobrepasando el límite permisible con $85,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, esto se asocia a una intrusión atípica del polvo del sahara, una simulación hecha por Hysplit confirmó lo dicho (Mendez, 2017), la estación se encuentra ubicada en Calle 63 # 59A-06, cerca al parque Simón Bolívar y distrital del salitre, esta zona tiene muchas áreas verdes, que ofrecen servicios ecosistémicos como la purificación del aire favoreciendo la reducción de PM_{10} (Sierra, 2020), como se evidencia en la Figura 32 es una de las estaciones que menos reporte concentraciones altas de material particulado

En la Figura 33 se observa la concentración máxima de PM_{10} durante 10 años en la estación de monitoreo Fontibón

Figura 33 Concentración máxima de PM_{10} en la estación de Fontibón



En la estación Fontibón ver Figura 33 se observa que el 4% de los datos sobrepasan el límite máximo permisible, los datos obtenidos para esta estación, se encuentran en el periodo de diciembre de 2018 hasta diciembre de 2020, se evidencia que la concentración más alta se presenta en Junio del 2020 pasando el límite máximo permisible con $49.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, este pico se asocia a la nube

del polvo del sahará traído por grandes masas de viento a la ciudad de Bogotá (La FM, 2020), ya que en esa época Bogotá se encontraba en un confinamiento total por causa de la pandemia del covid 19. Este comportamiento también se evidencia en todas las estaciones estudio donde muestran un pico alto para junio del 2020.

En la Figura 34 se observa la concentración máxima de PM_{10} durante 10 años en la estación de monitoreo Guaymaral

Figura 34 Concentración máxima de PM_{10} en estación de Guaymaral

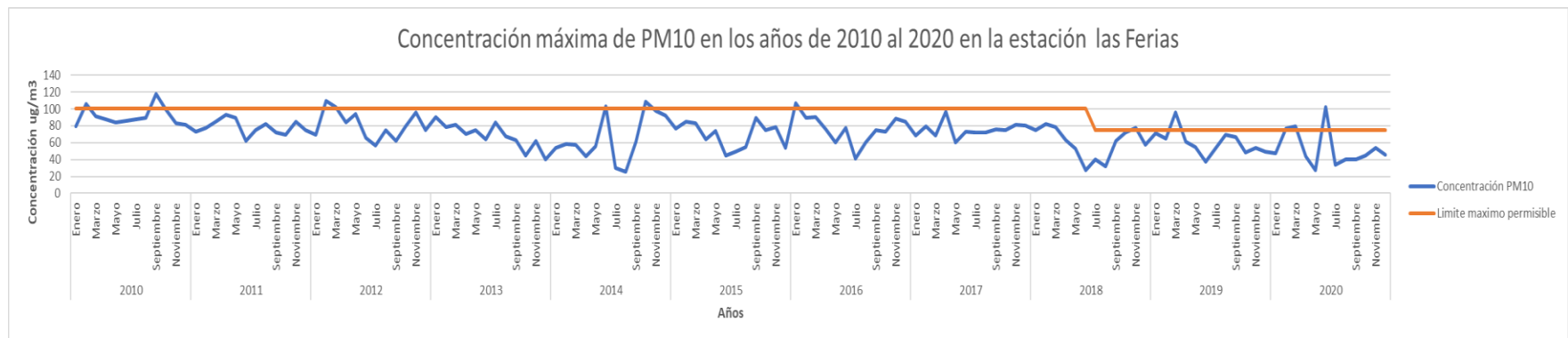


En la estación Guaymaral ver Figura 34, se observa que el 4% de los datos pasan el límite máximo permisible, aunque la estación está próxima a la autopista norte, zona de alto flujo vehicular (vehículos de carga pesada, públicos y privados) se cumple en la mayoría de los años la normativa, esto se relaciona con la cantidad de zonas verdes que se encuentran en el lugar y el beneficio que provoca la cobertura vegetal, además se debe tener en cuenta que la estación está cerca al humedal guaymaral y a los cerros orientales que hacen parte de la estructura ecológica de la ciudad (Sierra, 2020), se evidencia que los picos más altos se presentaron en junio del 2014 y del 2020, esto se asocia a temporadas vacacionales, muchas personas entran y salen de la ciudad, también se relaciona con la nube de polvo

del Sahara que llego a Bogotá para junio del 2014 y 2020 por una corriente de viento que provenia de África Occidental (Ministerio de Ambiente, 2016)

En la Figura 35 se observa la concentración máxima de PM₁₀ durante 10 años en la estación de monitoreo las Ferias

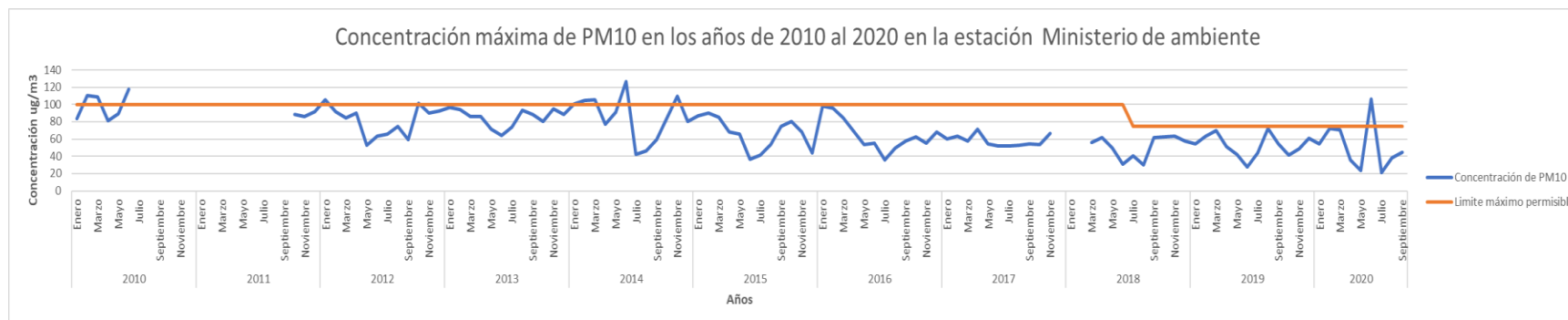
Figura 35 Concentración máxima de PM₁₀ en estación las Ferias



En la estación las ferias ver Figura 35 se observa que el 6% de los datos sobrepasan el limite maximo permisible, la concentración mas alta, se presenta en el mes de junio del año 2020, aunque durante este periodo Bogotá se encontraba en un confinamiento total por causa del problema de salud publica que ocasiono el covid 19, sucedió un evento natural denominado nube de polvo del sahara, este polvo se genera de diversas masas de aire cálido que contienen partículas de arena. Las nubes de polvo resultantes de este evento, recorren la región africana hasta el continente de europa y america, llegando a colombia y posteriormente a Bogotá (La FM, 2020)

En la Figura 36 se observa la concentración máxima de PM₁₀ durante 10 años en la estación de monitoreo Ministerio de ambiente

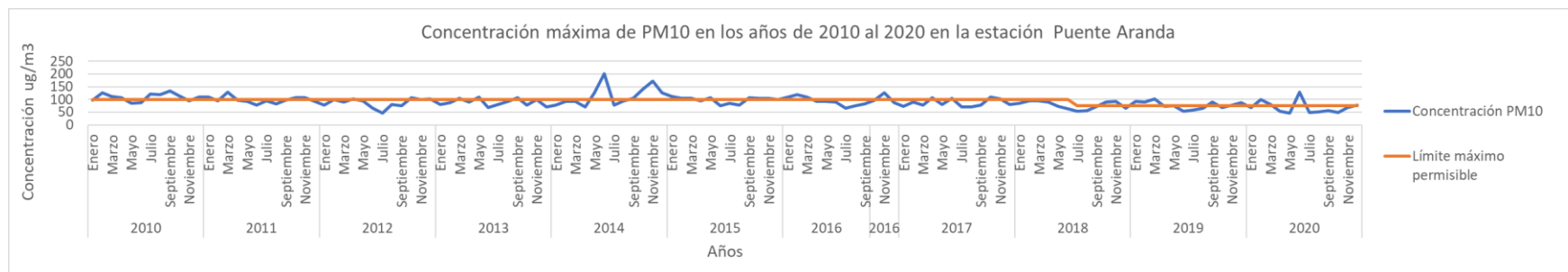
Figura 36 Concentración máxima de PM₁₀ en estación Ministerio de Ambiente



En la estación ministerio de ambiente ver Figura 36, se observa que el 9% de los datos pasan el límite máximo permisible, esta estación esta cerca a el parque nacional y tiene gran cobertura vegetal en sus alrededores, lo que explica por que el PM₁₀ en la mayoría de los años no sobrepasa el límite máximo permisible (Sierra, 2020), las concentraciones mas altas se presentaron en junio de 2014 y 2020 con 26.6 ug/m³ y 31.7 ug/m³, este incremento en las concentraciones de PM₁₀ se relaciona con la intrusión de la nube de polvo del sahara que fue arrastrada a la ciudad por vientos del este (Ministerio de Ambiente, 2016)

En la Figura 37 se observa la concentración máxima de PM₁₀ durante 10 años en la estación de monitoreo Puente Aranda

Figura 37 Concentración máxima de PM₁₀ en estación de Puente Aranda



Se observa que en la estación Puente aranda ver Figura 37, el 33% de las las concentraciones de PM₁₀ sobrepasan el límite máximo permisible, la concentración más alta se presenta en junio de 2014 sobrepasando el límite con 101.8 ug/m³ y junio de 2020 con 54.2 ug/m³, esta elevación en las concentraciones se debe a la intrusión de polvo del sahara, este polvo se genera de diversas masas de aire cálido que contienen partículas de arena. Las nubes de polvo resultantes de este evento, recorren la región africana hasta el continente de europa y america, llegando a colombia y posteriormente a Bogotá (La FM, 2020). Las concentraciones de PM₁₀ para los diez años de estudio, no tienen variaciones bruscas.

En la Figura 38 se observa la concentración máxima de PM₁₀ durante 10 años en la estación de monitoreo San Cristóbal

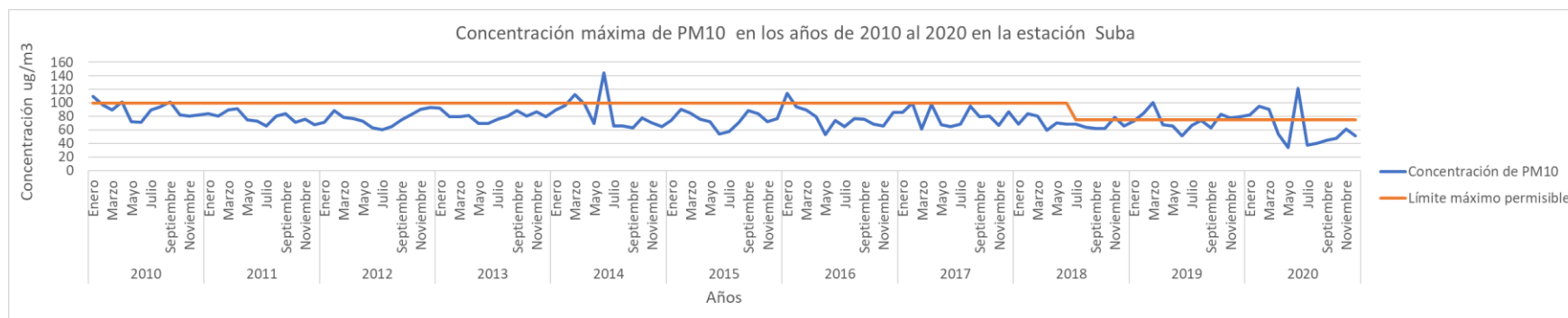
Figura 38 Concentración máxima de PM₁₀ en estación de San Cristóbal



Se observa que en la estación San Cristobal ver Figura 38, el 7% de las las concentraciones de PM₁₀ sobrepasan el límite máximo permisible, la concentración más alta se presenta en junio de 2014 sobrepasando el límite con 117.7 ug/m³ y junio de 2020 con 38.1 ug/m³, esta elevación en las concentraciones se asocia a un evento de transporte de material particulado proveniente del desierto del Sahará, por acción de los vientos, logro llegar a Bogotá y a medellin, incrementando las concentraciones para esta fecha en todas las estaciones de monitoreo de la ciudad, esto fue observado por medio del satelite Terra e indican que este evento pudo haberse originado en Mauritania, Senegal y el Sahara Occidental y posteriormente llegar por acción de los vientos a Bogotá (Ministerio de Ambiente, 2016). De enero a septiembre del año 2010 no se obtuvieron datos.

En la Figura 39 se observa la concentración máxima de PM₁₀ durante 10 años en la estación de monitoreo Suba

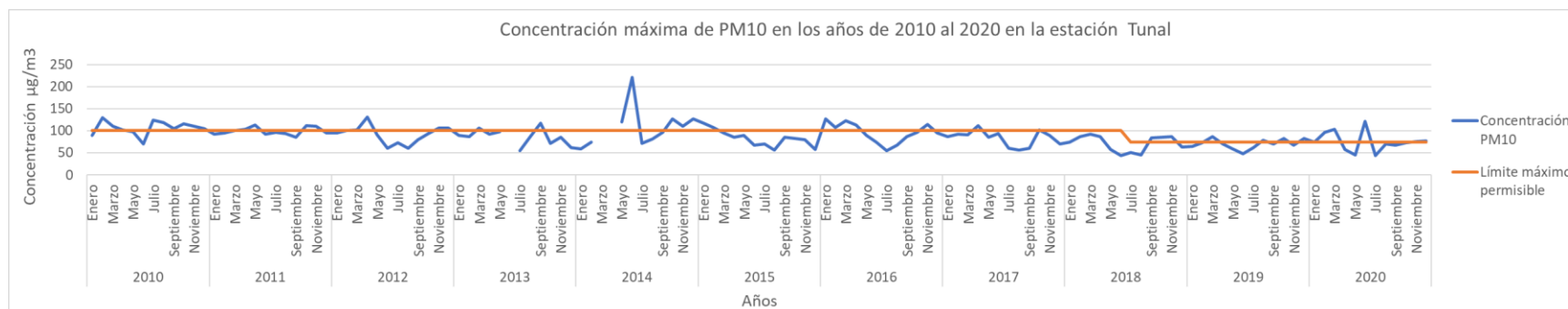
Figura 39 Concentración máxima de PM₁₀ en estación de Suba



En la estación suba ver Figura 39 se observa que solo el 6% de los datos sobrepasan el límite máximo permisible, por lo que el 94% de las concentraciones estan por debajo de límite permisible, esto se relaciona con la cantidad de zonas verdes que se encuentran en el lugar como por ejemplo la reserva Thomas Van Der Hammen, la cobertura contribuye a la purificación del aire (Sierra, 2020), las concentraciones de PM₁₀ durante el periodo de estudio no tuvieron variaciones bruscas en su comportamiento a exepción del mes de junio de 2014 y mes de julio de 2020 que sobrepasaron el límite máximo permisible con 43.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 46.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ esto se asocia a un evento de transporte de material particulado proveniente del desierto del Sahará, por acción de los vientos del este, logro llegar a la ciudad de Bogotá (Ministerio de Ambiente, 2016)

En la Figura 40 se observa la concentración máxima de PM₁₀ durante 10 años en la estación de monitoreo Tunal

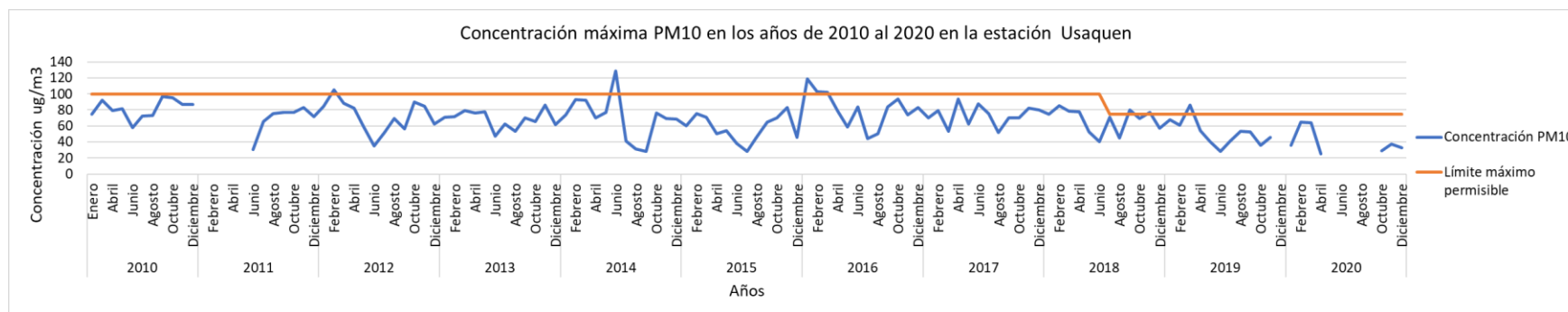
Figura 40 Concentración máxima de PM₁₀ en estación de Tunal



En la estación Tunal ver Figura 40 se observa que el 28% de los datos sobrepasan el límite máximo permisible, se se evidencia que la concentración más alta se presento en junio de 2014 sobrepasando el límite con 120.7 ug/m³, esto se asocia a un evento de transporte de material particulado proveniente del desierto del Sahará que por acción de los vientos, logro llegar a Bogotá, incrementando las concentraciones para esta fecha en todas las estaciones de monitoreo de la ciudad, esto fue observado por medio del satellite Terra e indican que este evento pudo haberse originado en Mauritania, Senegal y el Sahara Occidental y posteriormente llegar por acción de los vientos a Bogotá (Ministerio de Ambiente, 2016)

En la Figura 41 se observa la concentración máxima de PM₁₀ durante 10 años en la estación de monitoreo Usaquéen

Figura 41 Concentración máxima de PM₁₀ en estación de Usaquéen



En la estación Usaquéen ver Figura 41, se observa que el 4% de los datos sobrepasan el límite máximo permisible, se evidencia que la concentración más alta se presentó en junio de 2014 sobrepasando el límite con 28.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, esto se asocia a un evento de transporte de material particulado proveniente del desierto del Sahara que por acción de los vientos, logró llegar a Bogotá, incrementando las concentraciones para esta fecha en todas las estaciones de monitoreo de la ciudad, esto fue observado por medio del satélite Terra e indican que este evento pudo haberse originado en Mauritania, Senegal y el Sahara Occidental y posteriormente llegar por acción de los vientos a Bogotá (Ministerio de Ambiente, 2012)

Según el análisis de material particulado menor a 10 micras en todas las estaciones se evidencia que los picos más altos se han presentado en junio de 2014 y 2020 esto se debe principalmente a eventos naturales como lo son la nube del polvo del Sahara, también se identificó que existe una relación con la concentración de PM₁₀ y la precipitación puesto que en los meses de mayor lluvia como abril, mayo, octubre y noviembre las concentraciones son menores, esto se debe a que la lluvia realiza un lavado en la atmósfera haciendo que

las partículas de PM_{10} se mezclan con el agua y aumenten su peso, logrando que estas caigan al suelo o se queden adheridas a la vegetación (ARCINIÉGAS, 2011)

En los años 2010, 2011 y 2012 se presentó el fenómeno de la niña en la ciudad, lo que indica que hay mayor presencia de lluvias en meses como abril, mayo, octubre y noviembre, este fenómeno natural contribuye a bajar las concentraciones de material particulado PM_{10} por medio de un lavado de la atmósfera. El año 2015 fue un año predominantemente seco y los meses con menores lluvias en casi todos los años son enero, febrero, julio y agosto, por lo que las concentraciones de material particulado PM_{10} no se ven reducidas por la precipitación (IDEAM, 2013)

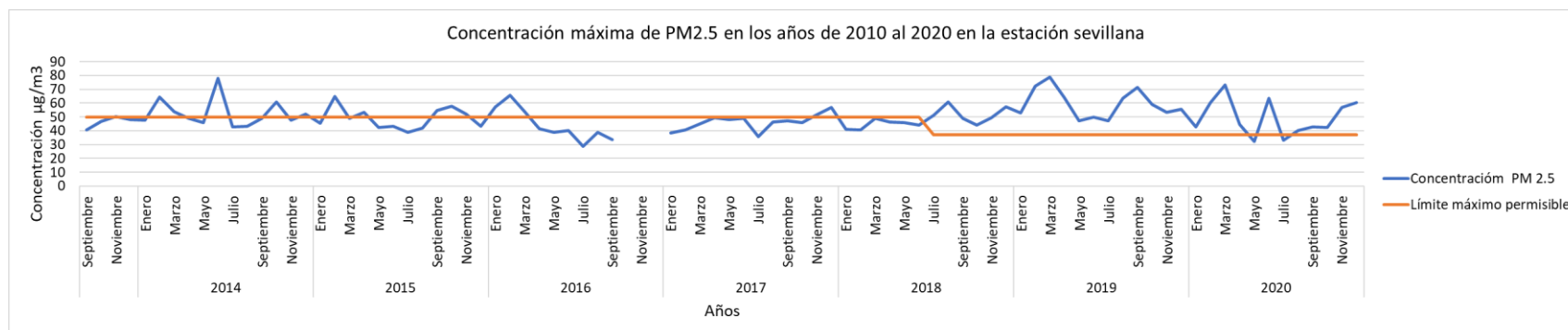
9.2.2 Material Particulado de 2.5 micras ($PM_{2.5}$)

El $PM_{2.5}$ ha tenido durante el periodo de estudio modificaciones en el límite permisible establecido por la ley 2254 de 2017 del IDEAM, ver Figura 19, en la cual indica que antes del 1 de julio de 2018 estaba designado la concentración máxima de $PM_{2.5}$ para 24 horas $50 \mu g/m^3$ y a partir de esta misma fecha la concentración máxima cambió a $37 \mu g/m^3$.

El presente estudio recopiló la información de las concentraciones máximas reportadas en las estaciones de monitoreo de calidad del aire de Bogotá (Sevillana, Kennedy, Guaymaral, Fontibón, Ministerio de Medio Ambiente, Puente Aranda, Las Ferias, San Cristóbal, Tunal, Usaquén, Centro de Alto Rendimiento y Suba)

En la Figura 42 se observa la concentración máxima de PM_{2.5} durante 10 años en la estación de monitoreo la Sevillana

Figura 42 Concentración máxima de PM_{2.5} en la estación Sevillana



En la estación de la sevillana ver Figura 42 se observa que el 38% de los datos sobrepasan el límite máximo permisible, esto se asocia al flujo vehicular, ya que esta ubicada en la autopista sur y cerca a ella la calle 80, estas son transitadas diariamente por todo tipo de vehículos que contribuyen al aumento de concentraciones de material particulado (Giraldo, 2005).

Las concentraciones de PM_{2.5} de marzo de 2019 fueron las mas altas, sobrepasaron el límite con 42 µg/m³, esto se debe a que hubieron incendios en el Guaviare, los vientos provenientes del este del país, llegaron a la ciudad de Bogotá arrastrando consigo el humo y el material particulado provocando alertas amarillas en la ciudad (Garcia, 2019)

En el año 2020 se realizaron confinamientos finalizando marzo a causa de la pandemia del covid 19, sin embargo se observó que en junio existe una concentración alta que sobrepasa el límite con 37 µg/m³, esto se asocia a la nube de polvo del sahará que llego por acción de los vientos a la ciudad de Bogotá para el ese periodo (La FM, 2020).

En la Figura 43 se observa la concentración máxima de PM_{2.5} durante 10 años en la estación de monitoreo Kennedy

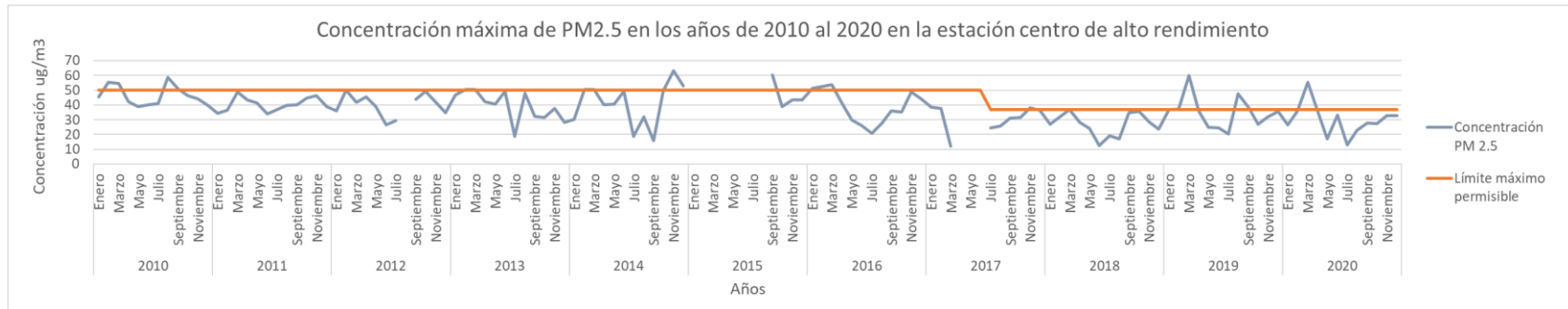
Figura 43 Concentración máxima de PM_{2.5} en la estación Kennedy



En la estación Kennedy ver Figura 43 se observa que el 50% de los datos sobrepasan el límite máximo permisible, la contaminación por PM_{2.5} se relaciona con fuentes móviles que transitan por la calle 80 hacia la central Corabastos, entre otras vías de alto flujo vehicular como la Avenida villavicencio, Avenida ciudad de Cali (Gil, 2020), también se relaciona con los incendios forestales que por acción de los vientos arrastran parte del material particulado, un ejemplo de esto son los incendios forestales que sucedieron en el Guaviare en marzo de 2019, los vientos provenientes del este del país llegaron a la ciudad de Bogotá arrastrando consigo el humo y el material particulado provocando alertas amarillas en la ciudad (Garcia, 2019)

En la Figura 44 se observa la concentración máxima de PM_{2.5} durante 10 años en la estación de monitoreo Centro de alto rendimiento

Figura 44 Concentración máxima de PM_{2.5} en la estación Centro de alto rendimiento

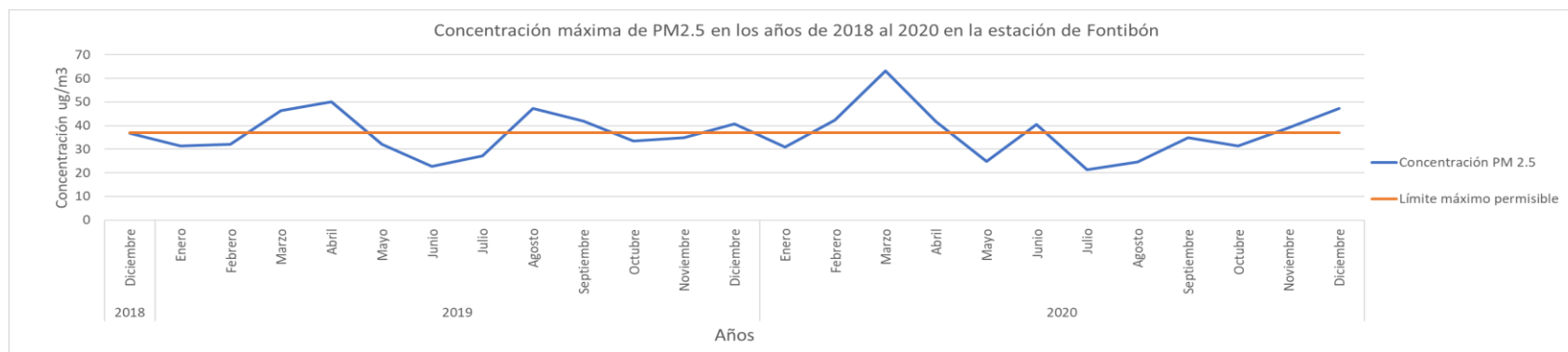


En la estación centro de alto rendimiento ver Figura 44 se observa que el 12% de los datos sobrepasan el limite maximo permisible. La estación se encuentra ubicada en Calle 63 # 59A-06, cerca al parque Simon bolivar y distrital del salitre esta zona tiene muchas areas verdes que ofrecen servicios ecosistemicos como por ejemplo la purificación del aire, la cobertura vegetal favore la reducción de PM_{2.5} por medio de la incorporación del contaminante en las hojas de los arboles (Sierra, 2020).

La concentración más alta se presenta en marzo de 2019, esto se asocia con los incendios forestales en el guaviare y en venezuela para ese periodo, el viento arrastro el material particulado hasta la ciudad de Bogotá generando alertas amarillas en la ciudad (Garcia, 2019), como se evidencia en la Figura 44 es una de las estaciones que menos reporta concentraciones altas de PM_{2.5}. De diciembre de 2014 hasta agosto de 2015 no se obtuvieron datos.

En la Figura 45 se observa la concentración máxima de PM_{2.5} durante 10 años en la estación de monitoreo Fontibón

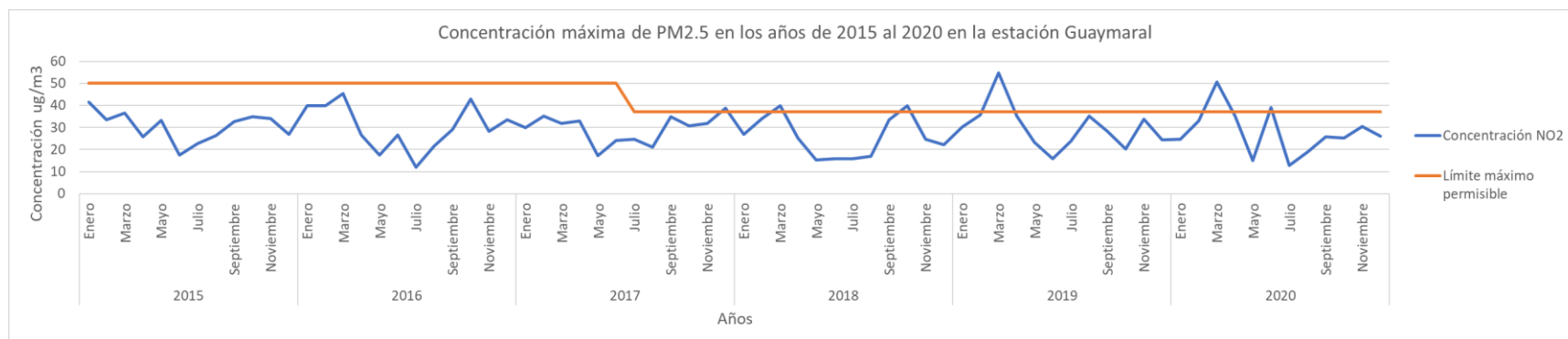
Figura 45 Concentración máxima de PM_{2.5} en la estación Fontibón



En la estación Fontibon ver Figura 45 se observa que el 8% de los datos sobrepasan el limite maximo permisible, los datos obtenidos para esta estación, se encuentran en el periodo de diciembre de 2018 hasta diciembre de 2020, se evidencia que el pico mas alto se presenta en marzo de 2020 pasando el límite máximo pemisible con 26.1 ug/m³, esto se asocia a un incendio forestal en el humedal Meandro del Say que se presento durante este periodo (Semana, 2020).

En la Figura 46 se observa la concentración máxima de $PM_{2.5}$ durante 10 años en la estación de monitoreo Guaymaral

Figura 46 Concentración máxima de $PM_{2.5}$ en la estación Guaymaral



En la estación Guaymaral ver Figura 46 se observa que el 3% de los datos pasan el límite máximo permisible, aunque la estación esta proxima a la autopista norte, zona de alto flujo vehicular (vehiculos de carga pesada, publicos y privados) se cumple en la mayoria de los años la normativa, esto se relaciona con la cantidad de zonas verdes que se encuentran en el lugar y el beneficio que provoca la cobertura vegetal, ya que los arboles pueden incorporar en sus hojas el $PM_{2.5}$, ademas se debe tener en cuenta que la estación esta cerca al humedal guaymaral y a los cerros orientales que hacen parte de la estructura ecologica de la ciudad (Sierra, 2020)

Se evidencia que la concentración mas alto se presentó en marzo de 2019, sobrepasando el limite maximo permitisble con 55 ug/m^3 , esto se asocia a los incendios que hubieron en el guaviare, los vientos provenientes del este del pais llegaron a la ciudad de bogota arrastrando consigo el humo y el material particulado $PM_{2.5}$ provocando alertas amarillas en la ciudad (Garcia, 2019)

En la Figura 47 se observa la concentración máxima de PM_{2.5} durante 10 años en la estación de monitoreo Las Ferias

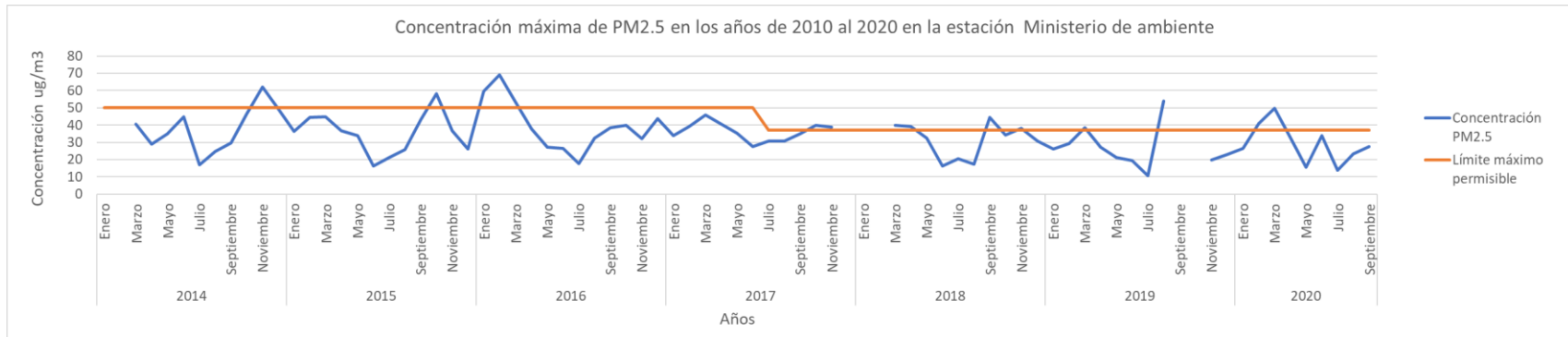
Figura 47 Concentración máxima de PM_{2.5} en la estación Las Ferias



En la estación las ferias ver Figura 47, el 5% de las concentraciones sobrepasan el límite máximo permisible, el pico más alto se presenta en el mes de marzo del año 2019 y 2020 sobrepasando el límite permisible con 23.4 ug/m³ y 21 ug/m³, para estos meses se presentaron incendios forestales en diferentes lugares de país y sus alrededores principalmente en los llanos orientales, la orinoquia y Venezuela los vientos de estos lugares tienen dirección hacia la ciudad de Bogotá por lo que arrastraron el material particulado generando alertas amarillas para ese periodo (García, 2019). De mayo de 2012 a julio de 2013 no se obtuvieron datos

En la Figura 48 se observa la concentración máxima de PM_{2.5} durante 10 años en la estación de monitoreo Ministerio de ambiente

Figura 48 Concentración máxima de PM_{2.5} en la estación Ministerio de Ambiente

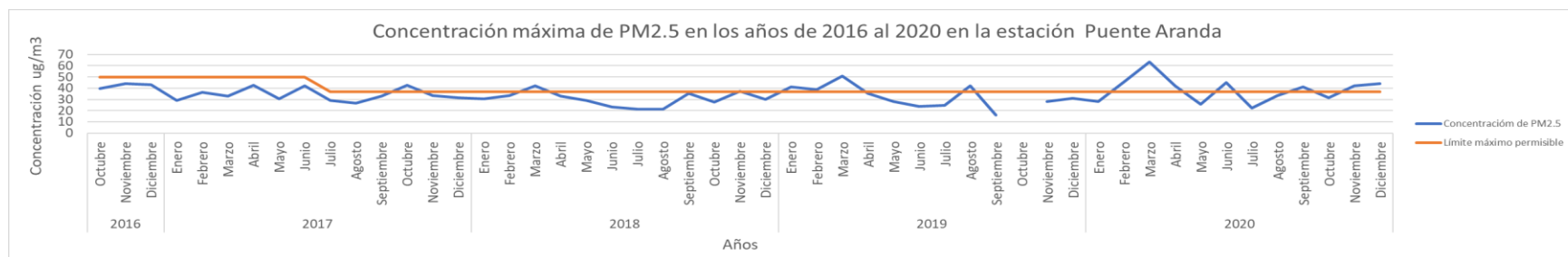


En la estación ministerio de ambiente ver Figura 48, se observa que el 5% de los datos pasan el límite máximo permisible, esta estación esta cerca al parque nacional y tiene gran cobertura vegetal en sus alrededores, lo que podría explicar por que el PM_{2.5} en la mayoría de los años cumple con el límite máximo permisible (Sierra, 2020), el pico más alto se presenta en febrero 2016 sobrepasando el límite permisible con 16.2 ug/m³, esto se relaciona con los incendios forestales en los llanos orientales y la orinoquia, la fuerza de los vientos provenientes del oriente que tienen mayor intensidad han provocado la llegada del material particulado y otros componentes en el aire a la ciudad de Bogotá (Secretaría de Salud, 2020). Se observa que desde enero a febrero de 2014, diciembre del 2017 a febrero de 2018 y de septiembre a octubre de 2019 no se obtuvieron datos.

En la

Figura 49 se observa la concentración máxima de PM_{2.5} durante 10 años en la estación de monitoreo Puente Aranda

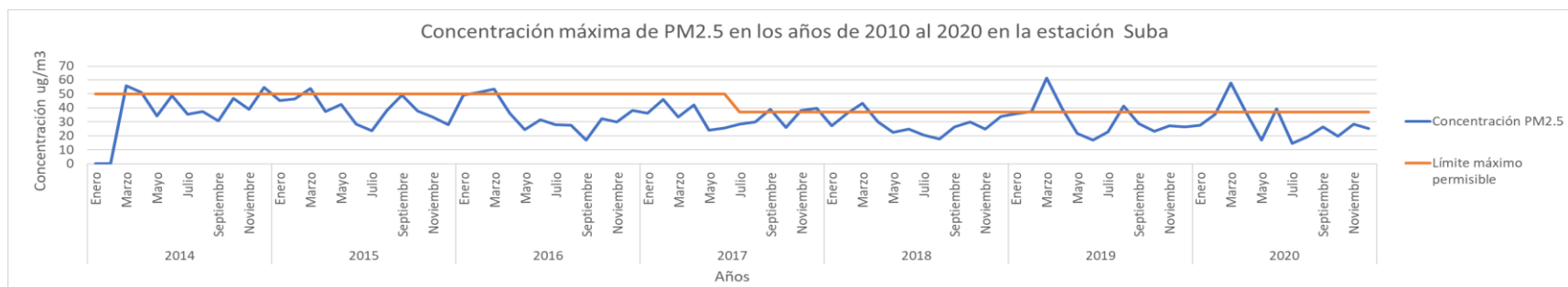
Figura 49 Concentración máxima de PM_{2.5} en la estación Puente Aranda



En la estación Puente Aranda ver Figura 49, el 4% de los datos sobrepasan el límite máximo permisible, las concentraciones más altas se presentaron en marzo del año 2019 y 2020, sobrepasando el límite permisible con 13.6 ug/m³ y 26.5 ug/m³, para estos meses se presentaron incendios forestales en diferentes lugares de país y sus alrededores principalmente en los llanos orientales, la orinoquia y Venezuela los vientos de estos lugares tienen dirección hacia Bogotá por lo que arrastraron el material particulado a la ciudad generando alertas amarillas (García, 2019).

En la Figura 50 se observa la concentración máxima de PM_{2.5} durante 10 años en la estación de monitoreo Suba

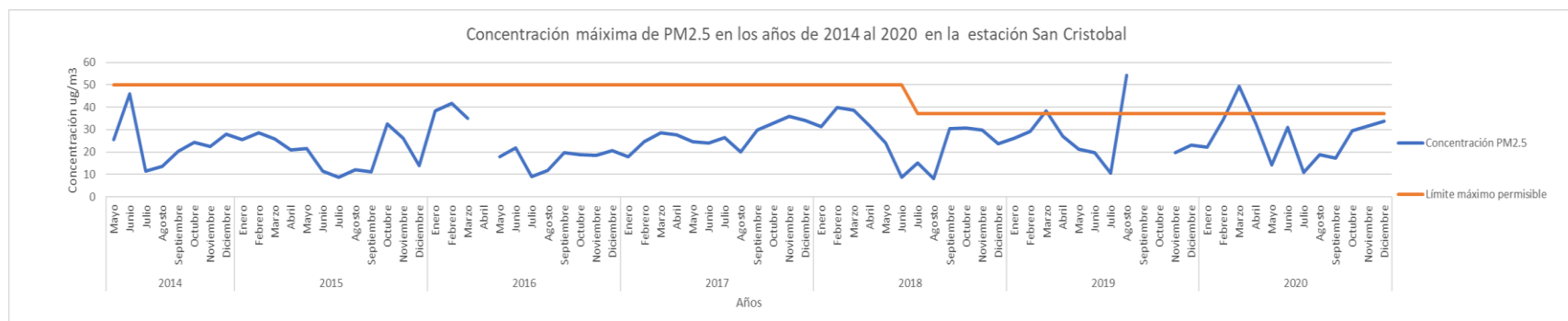
Figura 50 Concentración máxima de PM_{2.5} en la estación de Suba



En la estación suba ver Figura 50, se observa que el 10% de los datos sobrepasan el limite maximo permisible, el pico mas alto se presenta en el mes de marzo del año 2019 y 2020 sobrepasando el límite permisible con 24.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 20.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para estos meses se presentaron incendios forestales en diferentes lugares de pais y sus alrededores principalmente en los llanos orientales, la orinoquia y venezuela los vientos de estos lugares tiene dirección hacia Bogotá por lo que arrastraron el material particulado a la ciudad generando alertas amarillas (Garcia, 2019).

En la Figura 51 se observa la concentración máxima de PM_{2.5} durante 10 años en la estación de monitoreo San Cristobal

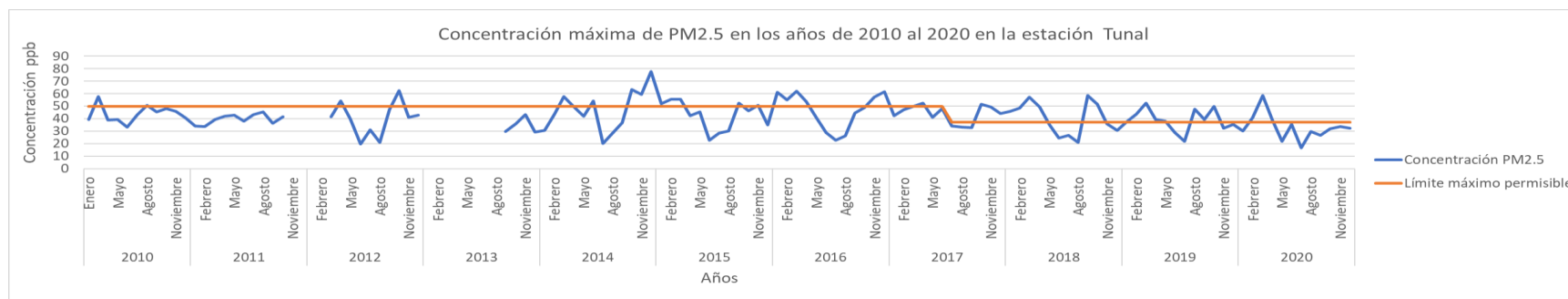
Figura 51 Concentración máxima de PM_{2.5} en la estación de San Cristóbal



En la estación San cristobal se observa que el 1% de los datos pasan el limite maximo permisible, el pico mas alto se presento en agosto del 2019 sobrepasando límite permisible con 17.1 ug/m³ este comportamiento tiene una relación con el viento y los incendios registrados en el amazonas, los vientos del sur, transportaron material particulado de los incendios forestales del amazonas (Secretaria distrital de ambiente, 2019)

En la Figura 52 se observa la concentración máxima de $PM_{2.5}$ durante 10 años en la estación de monitoreo Tunal

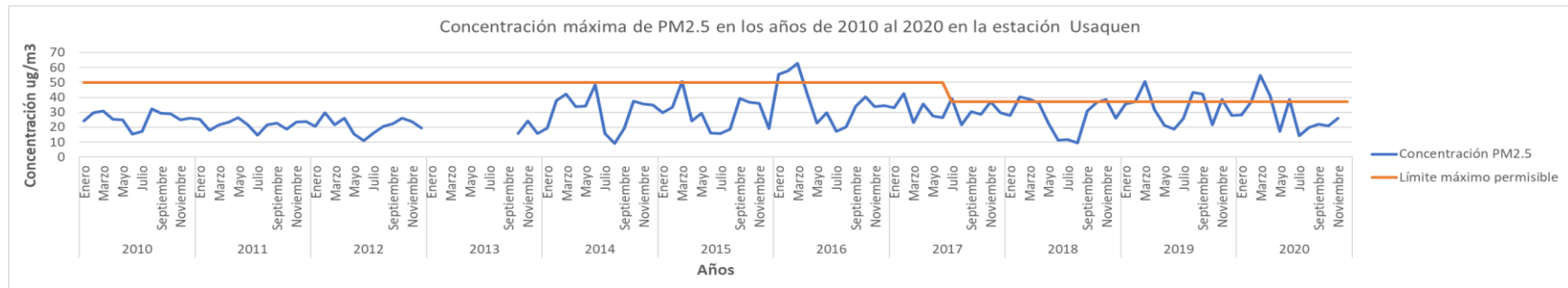
Figura 52 Concentración máxima de PM_{2.5} en la estación del Tunal



En la estación Tunal, se observa que el 21% de los datos pasan el límite máximo permisible, el pico mas alto se presenta en diciembre del 2014 sobrepasando el limite permisible con 27.8, esto se p No se obtuvieron datos desde noviembre del 2011 hasta febrero del 2012 y de enero del hasta agosto del 2013

En la Figura 53 se observa la concentración máxima de PM_{2.5} durante 10 años en la estación de monitoreo Usaqué

Figura 53 Concentración máxima de PM_{2.5} en la estación Usaquén



En la estación Usaquén se observa que el 5% de los datos pasan el límite máximo permisible, el mes con mayor concentración de PM_{2.5} es marzo de 2016 sobrepasando el límite con 12,7 ug/m³, esto se relaciona con los incendios forestales que hubieron en los cerros orientales de la ciudad para ese mes, la dirección y fuerza de los vientos, arrastraron material particulado y otros componentes por toda la ciudad, afectando principalmente las localidades mas cercanas como usaquén y san cristobal. De enero a septiembre no se obtuvieron dato

Según el analisis de material particulado PM_{2.5} en todas las estaciones, los meses con mayor concentracion por este contaminante son marzo de 2019 y 2020 esto se debe principalmente a incendios forestales que han sucedido dentro y fuera de Bogotá, se evidencia que en los meses con menos precipitaciones como enero y febrero las concentraciones de PM_{2.5} tienden a ser altas, lo opuesto sucede en los meses de mayor lluvia como abril, mayo, octubre y noviembre las concentraciones son menores, esto se debe a que la lluvia realiza un lavado en la atmosfera haciendo que las particulas de PM_{2.5} se mezclen con el agua y aumenten su peso, logrando que estas caigan al suelo o se queden adheridas a la vegetación (ARCINIÉGAS, 2011)

En los años 2010, 2011 y 2012 se presento el fenomeno de la niña en la ciudad , lo que indica que hay mayor presencia de lluvias sobre todo en meses como abril, mayo, octubre y noviembre este fenomeno natural contribuye a bajar las concentraciones de material particulado PM₁₀ por medio de un lavado de la atmosfera. (IDEAM, 2013)

9.2.3 Analisis del contaminante Ozono

El ozono tiene un limite maximo permisible establecido por la ley 2254 de 2017 del IDEAM, ver Figura 19, en la cual indica que esta designado la concentración maxima de O₃ para 8 horas de 100 µg/m³ lo que es igual a 51,04379 ppb.

El presente estudio recopilo la informacion de las concentraciones maximas reportadas en las estaciones de Sevillana , kennedy , guaymaral , Fontibon, ministerio de medio ambiente, Puente Aranda, las ferias, San Cristobal, Tunal, Usaquen, Centro de alto rendimiento y Suba

En la figura 54 se observa la concentración máxima de O₃ durante 10 años en la estación de monitoreo de monitoreo la Sevillana

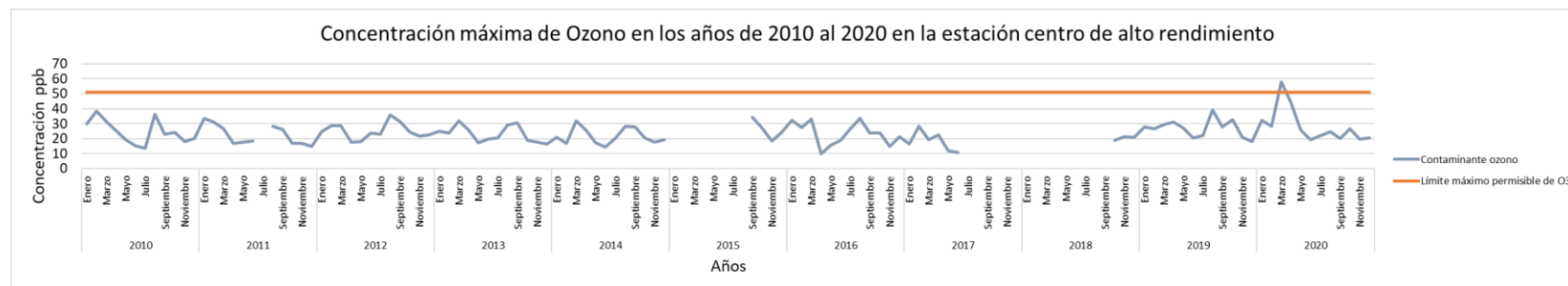
Figura 54 Concentración máxima de Ozono en la estación Sevillana



Las concentraciones de ozono en la estación de sevillana se mantiene por debajo del límite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017 durante el periodo de los 10 años, se identifican concentraciones altas de enero a marzo en casi todos los años, esto se debe a que la radiación solar es mucho mas alta en estos meses con valores de 8 a 9 IUV, son meses de menor lluvia y vientos por lo que las condiciones meteorologicas favorecen la creación de ozono troposferico (El Espectador, 2022). No se obtuvieron datos para el mes de julio a diciembre en el año 2016.

En la Figura 55 se observa la concentración máxima de O₃ durante 10 años en la estación de monitoreo Centro de alto rendimiento

Figura 55 Concentración máxima de Ozono en la estación Centro de alto rendimiento



Las concentraciones de ozono en la estación de Centro de alto rendimiento se mantiene por debajo del límite maximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017 a exepción de marzo de 2020 que sobrepaso el límite con 6.7 ppb, para este periodo hubieron incendios forestales dentro de la ciudad y fuera de ella, estos incendios generan contaminantes como oxidos de nitrogenos precursores del ozono, las condiciones meteorologicas de enero a marzo favorecen la creación del ozono por tener alta radiación, pocas lluvias y vientos debiles (Castiblanco, 2020). No se obtuvieron datos de enero a julio de 2015 y de julio de 2017 a agostp de 2018

En la Figura 56 se observa la concentración máxima de O₃ durante 10 años en la estación de monitoreo Guaymaral

Figura 56 Concentración máxima de Ozono en la estación Guaymaral



Las concentraciones de ozono en la estación de guaymaral se mantiene por debajo del límite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017 durante el periodo de los 10 años, sin embargo se observa una tendencia de elevación en las concentraciones de ozono en los meses de enero a marzo en todos los años, esto se asocia a los incendios forestales dentro de la ciudad y fuera de ella, estos incendios generan contaminantes como oxidos de nitrogens precursores del ozono, las condiciones meteorologicas de enero a marzo favorecen la creación del ozono por tener alta radiación, cielo despejado, pocas lluvias y vientos debiles (Castiblanco, 2020).

En la Figura 57 se observa la concentración máxima de O₃ durante 10 años en la estación de monitoreo Kennedy

Figura 57 Concentración máxima de Ozono en la estación Kennedy



Las concentraciones de ozono en la estación de Kennedy se mantiene por debajo del límite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017 durante el periodo de los 10 años. Sin embargo, se evidencia que en los meses de enero a marzo las concentraciones se elevan, esto se asocia directamente con los incendios forestales dentro de la ciudad y fuera de ella, estos incendios generan contaminantes como óxidos de nitrógenos precursores del ozono, las condiciones meteorológicas de enero a marzo favorecen la creación del ozono por tener alta radiación, pocas lluvias, cielos despejados y vientos débiles (Castiblanco, 2020). No se obtuvieron datos de enero de 2011 a septiembre de 2014.

En la Figura 58 se observa la concentración máxima de O_3 durante 10 años en la estación de monitoreo las Ferias

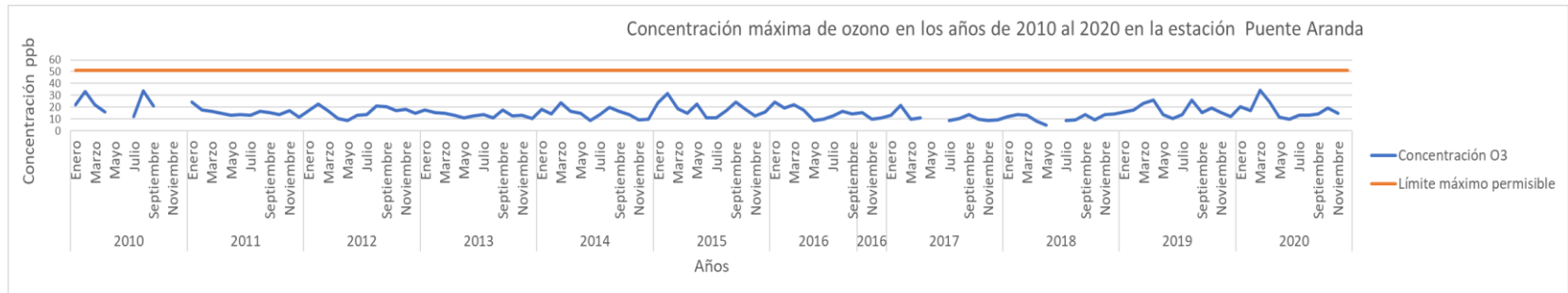
Figura 58 Concentración máxima de Ozono en la estación las Ferias



Las concentraciones de ozono en la estación de las ferias se mantiene por debajo del límite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017 durante el periodo de los 10 años, se observa una tendencia de aumento en las concentraciones del contaminante ozono en los meses de enero a marzo, para este periodo hubieron incendios forestales dentro de la ciudad y fuera de ella, estos incendios generan contaminantes como oxidos de nitrógeno precursores del ozono, las condiciones meteorológicas de enero a marzo favorecen la creación del ozono por tener alta radiación, pocas lluvias y vientos debiles (Castiblanco, 2020). No se obtuvieron datos de febrero a julio de 2016.

En la Figura 59 se observa la concentración máxima de O₃ durante 10 años en la estación de monitoreo Puente Aranda

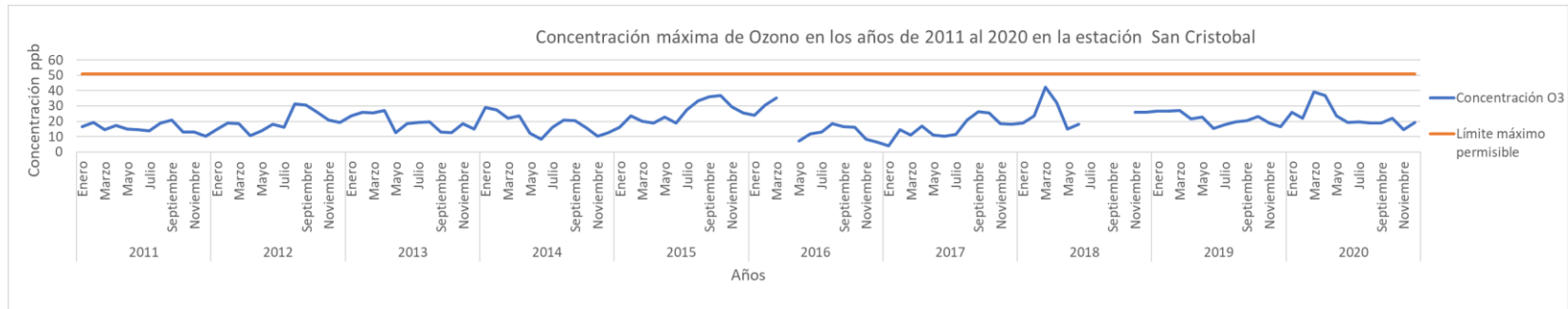
Figura 59 Concentración máxima de Ozono en la estación Puente Aranda



Las concentraciones de ozono en la estación de Puente Aranda se mantienen por debajo del límite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017 durante el periodo de los 10 años, el pico mas alto se presenta en marzo de 2020, se esperaria que las cocentraciones de contaminantes para el ese año fueran menores, por las diferentes restricciones que causó la pandemia del covid 19, sin embargo, hubieron eventos como incendios forestales dentro de la ciudad y fuera de ella, que generaron contaminantes como oxidos de nitrogeno precursores del ozono, las condiciones meteorologicas de enero a marzo favorecen la creación del ozono por tener alta radiación, pocas lluvias y vientos debiles (Castiblanco, 2020). No se obtuvieron datos para mayo y diciembre de 2010, para mayo de 2016 y junio de 2017.

En la Figura 60 se observa la concentración máxima de O₃ durante 10 años en la estación de monitoreo San Cristóbal

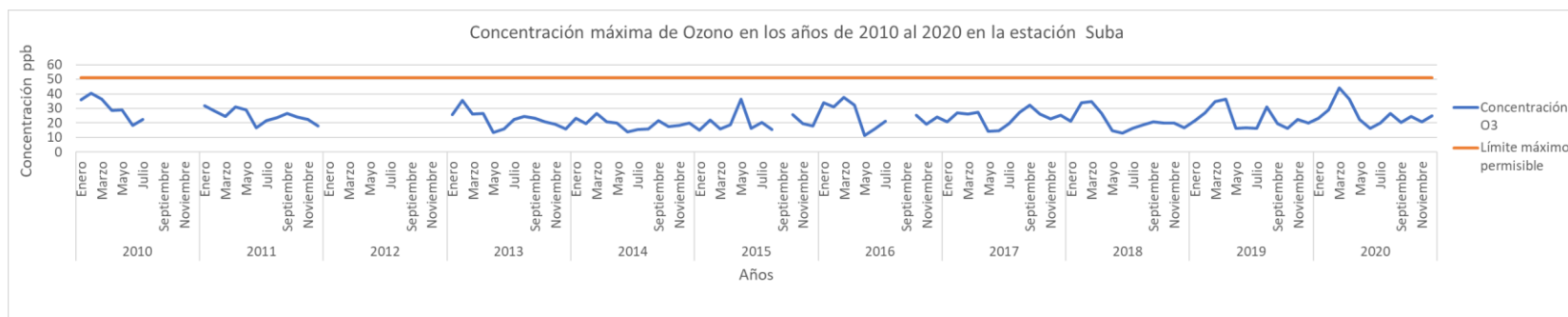
Figura 60 Concentración máxima de Ozono en la estación San Cristóbal



Las concentraciones de ozono en la estación de San Cristobal se mantiene por debajo del límite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017 durante el periodo de los 10 años, se observa que el pico mas alto se presenta en marzo de 2018, en los primeros meses del año por lo general se presentan diferentes incendios forestales dentro de la ciudad y en otros lugares como el amazonas, la orinoquia, estos incendios generan contaminantes como oxidos de nitrogeno precursores del ozono que son arrastrados a la ciudad, las condiciones meteorologicas de enero a marzo favorecen la creación del ozono por tener alta radiación, pocas lluvias y cielos despejados (Castiblanco, 2020). No se obtuvieron datos de marzo a abril de 2016 y de julio a octubre de 2018

En la Figura 61 se observa la concentración máxima de O₃ durante 10 años en la estación de monitoreo Suba

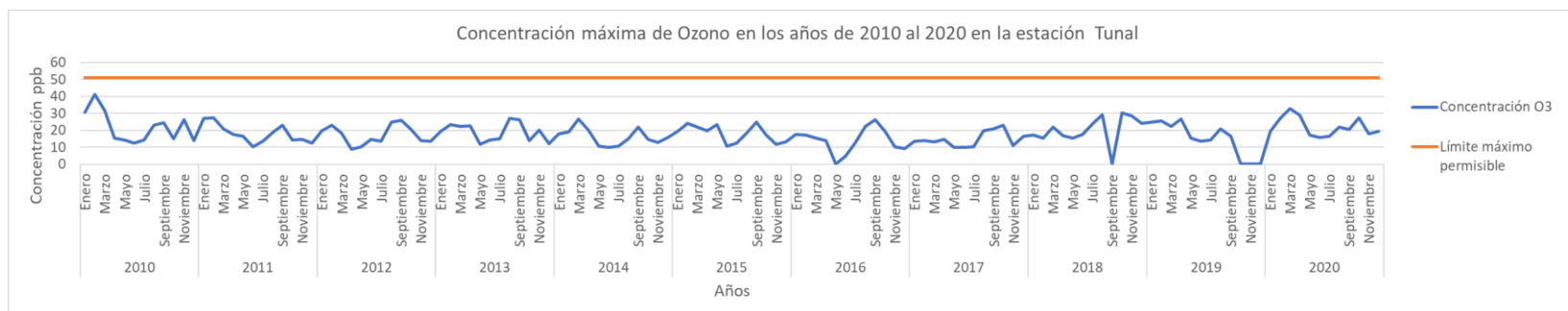
Figura 61 Concentración máxima de Ozono en la estación Suba



Las concentraciones de ozono en la estación de Suba se mantiene por debajo del límite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017 durante el periodo de los 10 años con concentraciones que se acercan al límite, se observa una tendencia de aumento en las concentraciones del contaminante ozono en los meses de enero a marzo, la concentración mas alta ocurrio en marzo de 2020, para este periodo hubieron incendios forestales dentro de la ciudad y fuera de ella, estos incendios generan contaminantes como oxidos de nitrogeno precursores del ozono, las condiciones meteorologicas de enero a marzo favorecen la creación del ozono por tener alta radiación, pocas lluvias y cielos despejados (Castiblanco, 2020). No se obtuvieron datos de agosto a diciembre de 2010, enero y septiembre de 2012, y de agosto a septiembre de 2016

En la Figura 62 se observa la concentración máxima de O₃ durante 10 años en la estación de monitoreo Tunal

Figura 62 Concentración máxima de Ozono en la estación Tunal



Las concentraciones de ozono en la estación de Tunal se mantiene por debajo del límite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017 durante el periodo de los 10 años. Se observa que en los meses de enero a marzo las concentraciones tienden a ser mas altas, el pico mas alto se presento en enero de 2010, en los primeros meses del año por lo general, se presentan diferentes incendios forestales dentro de la ciudad y en otros lugares como el amazonas, la orinoquia, estos incendios generan contaminantes como oxidos de nitrógeno precursores del ozono que son arrastrados a la ciudad, las condiciones meteorologicas de enero a marzo favorecen la creación del ozono por tener alta radiación, pocas lluvias y cielos despejados (Castiblanco, 2020)

se evidencia que durante los diez años la concentración de ozono no supero los limites permisible establecido por la norma, sin embargo se nota un aumento considerable en todas la estaciones de monitoreo en el año 2020 y se visualiza que en la estación del centro de alto rendimiento se sobrepasa el limite permisible en el mes de marzo del 2020, este fenomeno se ve influenciado debido al aumento de la radiación solar la cual a venido en aumento desde la decada de los 80 por el deterioro progresivo de la capa de ozono, lo cual genera el aumento del ozono troposferico en la ciudad de bogota, dado que el ozono troposferico se genera de la reaccion fotoquimica de componentes primarios como el NO₂, NO al aumentar la radiacion genera que estos se descompogan y lo cual genera ozono troposferico (O₃),

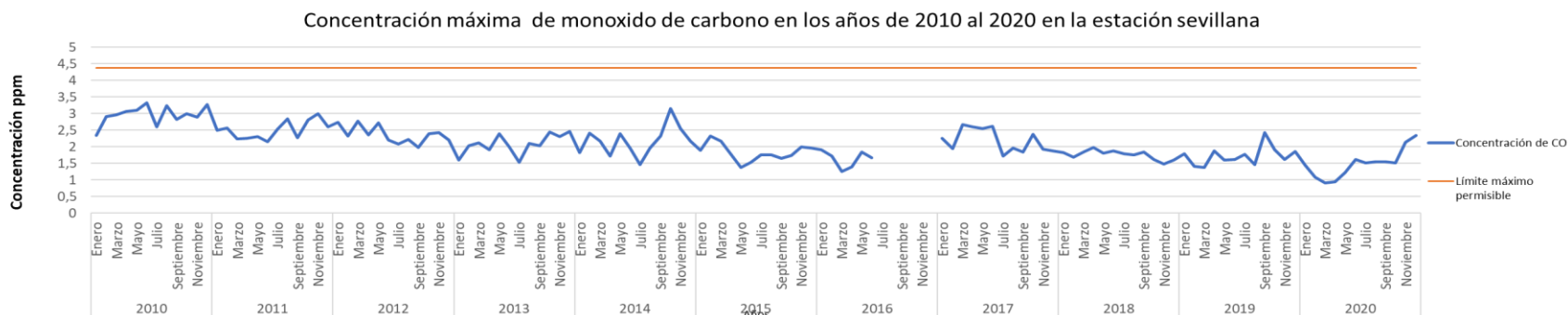
9.2.4 Analisis del contaminante monoxido de carbono (CO)

El monoxido de carbono tiene un limite maximo permisible establecido por la ley 2254 de 2017 del IDEAM, ver Figura 19, en la cual indica que esta designado la concentración maxima de CO para 8 horas de 5000 µg/m³ lo que es igual a 4,373438058 ppm.

El presente estudio recopilo la informacion de las concentraciones maximas reportadas en las estaciones de monitoreo de calidad del aire de Bogotá (Sevillana , kennedy , guaymaral , Fontibon, ministerio de medio ambiente, Puente Aranda, las ferias, San Cristobal, Tunal, Usaquen, Centro de alto rendimiento y Suba)

En la Figura 63 se observa la concentración máxima de CO durante 10 años en la estación de monitoreo Sevillana

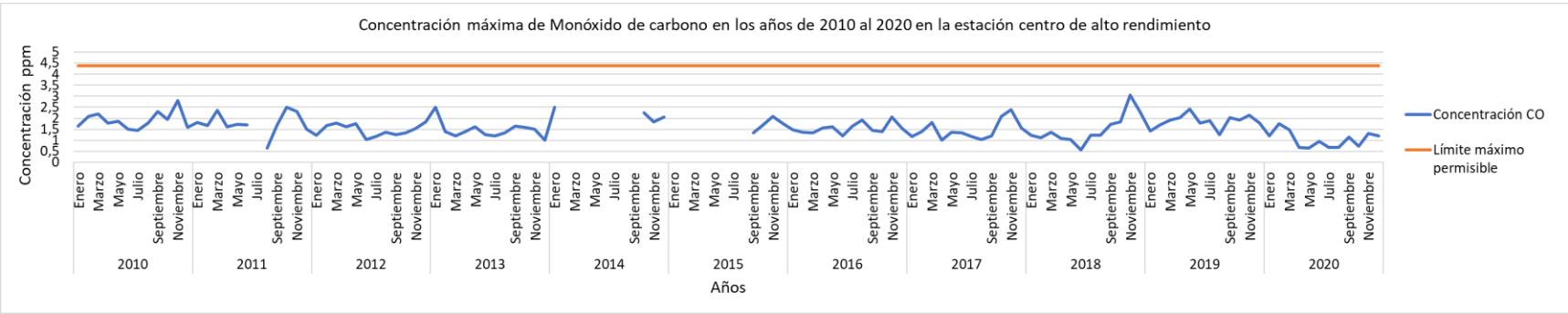
Figura 63 Concentración máxima de CO en la estación de Sevillana



Se observa que el monóxido de carbono en la estación sevillana, no sobrepasa el límite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017, la concentración más elevada y que no sobrepasa el límite se presenta en Junio del año 2010, con 3.32 ppm. No se presentaron datos de julio a noviembre de 2016. En los últimos 4 años se ve que el monóxido se comporta más estable por las diferentes restricciones y el cambio del parque automotor.

En la Figura 64 se observa la concentración máxima de CO durante 10 años en la estación de monitoreo Centro de alto rendimiento

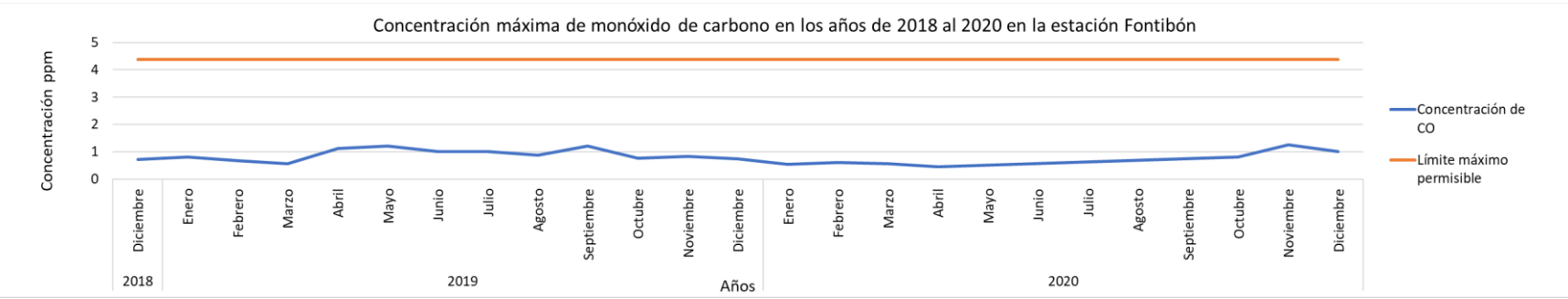
Figura 64 Concentración máxima de CO en la estación de Centro de alto rendimiento



Se observa que el monóxido de carbono en la estación Centro de alto rendimiento no sobrepasa el límite máximo permisible durante el periodo de los diez años, tuvo el pico mas alto con 3.04 ppm en el mes de noviembre. No se obtuvieron datos para junio de 2011, de febrero a septiembre del año 2014 y de febrero a agosto del 2015

En la Figura 65 se observa la concentración máxima de CO durante 10 años en la estación de monitoreo Fontibón.

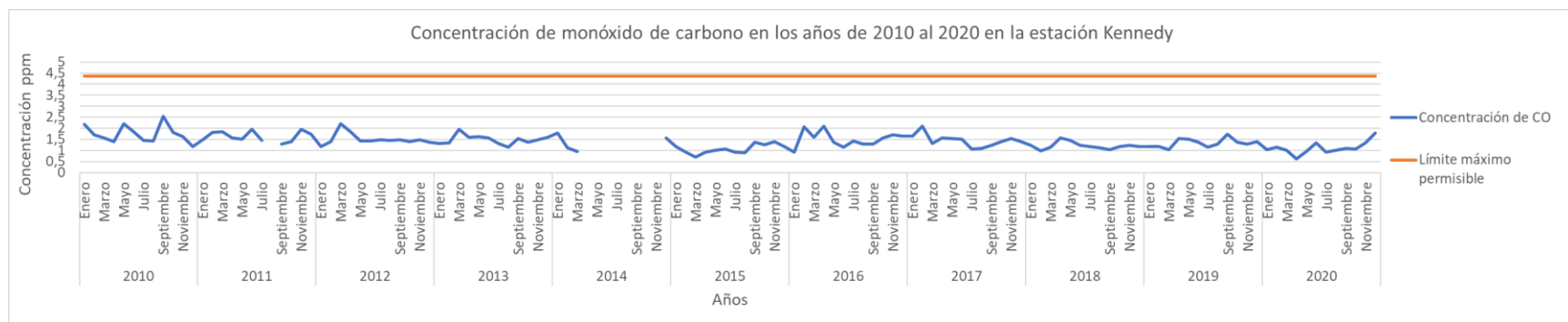
Figura 65 Concentración máxima de CO en la estación de Fontibón



El monóxido de carbono en la estación de Fontibón se mantuvo con niveles bajos y no tuvo picos altos, no sobrepasó el límite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017 en los 10 años. No se obtuvieron datos desde enero de 2010 hasta noviembre de 2028

En la Figura 66 se observa la concentración máxima de CO durante 10 años en la estación de monitoreo Kennedy

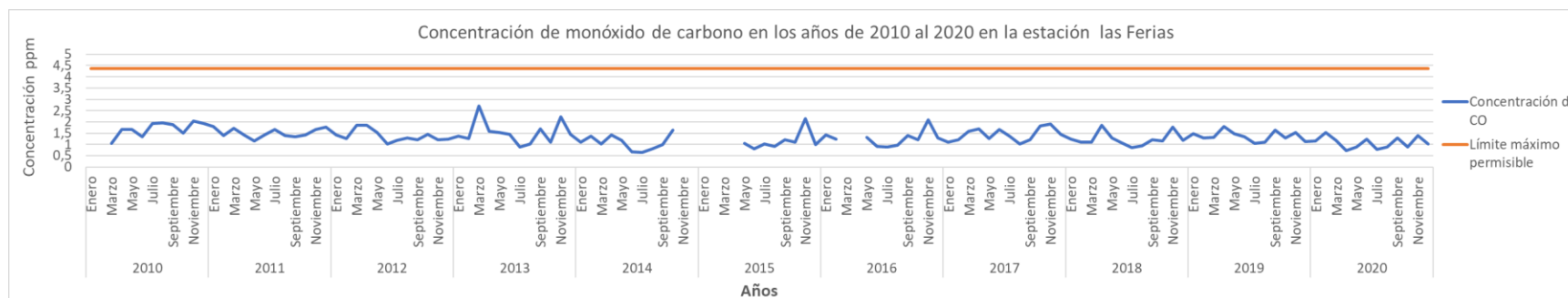
Figura 66 Concentración máxima de CO en la estación de Kennedy



El monóxido de carbono en la estación Kennedy no sobrepasa el límite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017, del año 2018 a 2020 se observa que el monóxido de carbono tiene tendencia a incrementar en los meses de marzo esto sucede por que en los meses de enero a marzo se generan incendios forestales por ser meses de pocas lluvias y de alta radiación solar (Castiblanco, 2020). No se obtuvieron datos para el mes de abril a noviembre del año 2014 y agosto del 2011

En la Figura 67 se observa la concentración máxima de CO durante 10 años en la estación de monitoreo las Férias

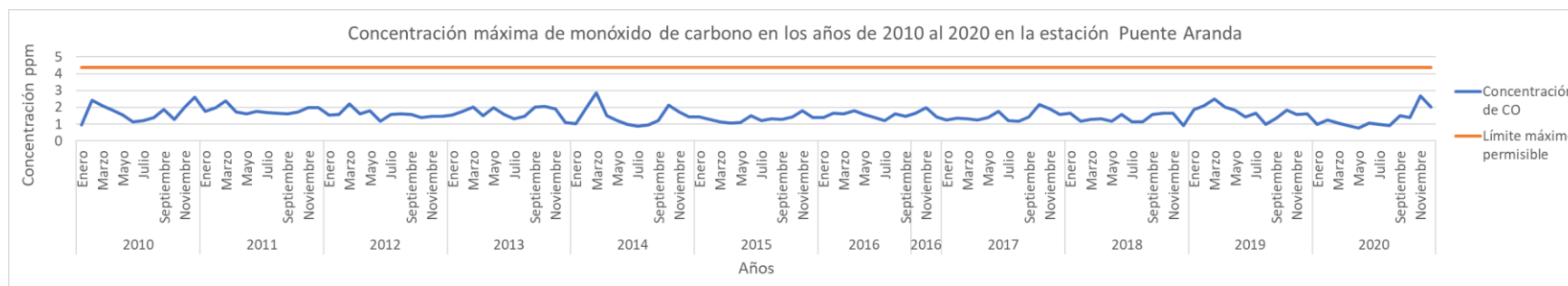
Figura 67 Concentración máxima de CO en la estación de Las Férias



Las concentraciones de monóxido de carbono en la estación las Férias no sobrepasa el límite máximo permisible durante el periodo de estudio. La concentración más alta se presentó en marzo, esto se asocia con los incendios que hubieron en la ciudad de Bogotá y en lugares como el Meta, Casanare, Boyacá, los meses de enero a marzo son los más secos y con más alta radiación por lo que son propensos a registrar incendios forestales, los vientos contribuyen al arrastre de contaminantes de otras zonas de la ciudad (Briseño, 2011). No se obtuvieron datos para el mes de enero y febrero del año 2010.

En la Figura 68 se observa la concentración máxima de CO durante 10 años en la estación de monitoreo Puente Aranda

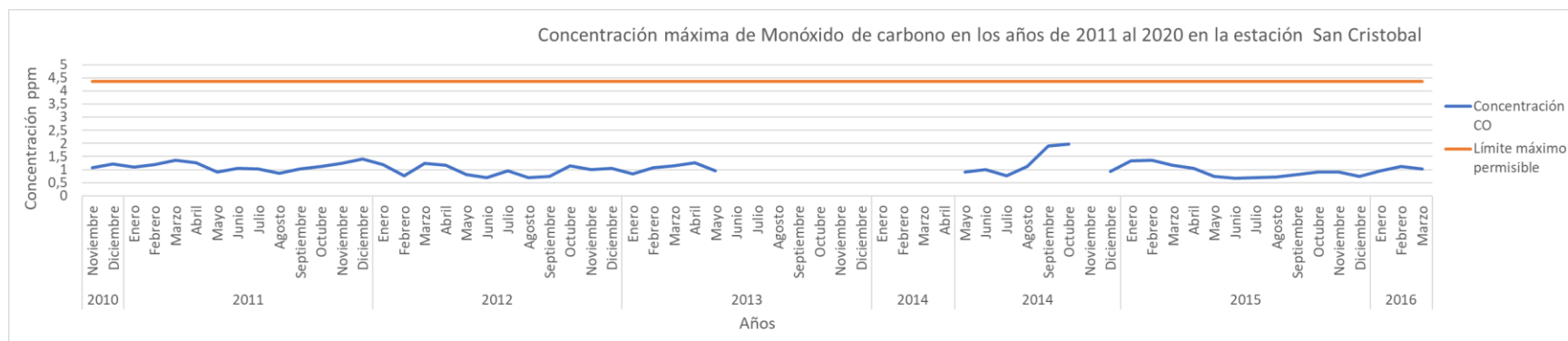
Figura 68 Concentración máxima de CO en la estación de Puente Aranda



Las concentraciones de monóxido de carbono en la estación de puente aranda no sobrepasa el límite máximo permisible durante el periodo de estudio, la concentración mas alta y sin sobrepasar el limite permisible, se presento en marzo de 2014 con 2.86 ppm este comportamiento se asocia a los incendios que hubieron en la ciudad de Bogotá y en lugares como el Meta registrando 801.5 hectáreas de sabanas y pastizales quemados, seguido del Casanare con 627.5 hectáreas quemadas y Boyacá con 335.5 hectáreas, por acción de los vientos se arrastraron contaminantes de otra zonas a la ciudad (Briseño, 2011)

En la Figura 69 se observa la concentración máxima de CO durante 10 años en la estación de monitoreo San Cristóbal

Figura 69 Concentración máxima de CO en la estación de San Cristóbal



Se observa en la estación de monitoreo San cristobal, que las concentraciones de monoxido de carbono no sobrepasan el límite maximo permisible durante el periodo de estudio y no se presentan comportamientos bruscos en las concentraciones de monoxido de carbono. No se obtuvieron datos en los meses de enero a octubre de 2010 y de junio de 2013 a abril de 2014

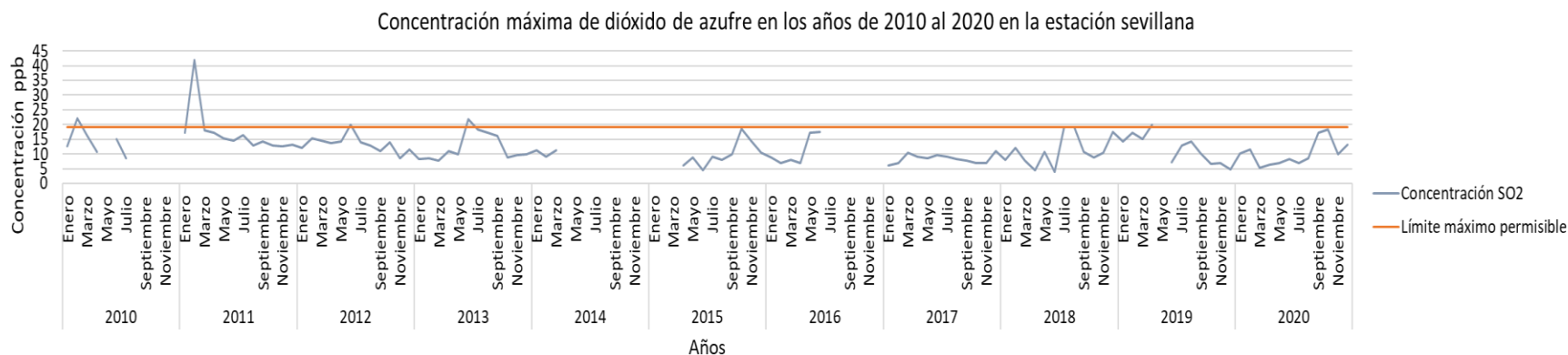
9.2.5 Análisis del contaminante dióxido de azufre (SO₂)

El dióxido de azufre tiene un límite máximo permisible establecido por la ley 2254 de 2017 del IDEAM, ver Figura 19, en la cual indica que esta designado la concentración maxima de SO₂ para 24 horas de 50 µg/m³ lo que es igual a 19,1209 ppb.

El presente estudio recopilo la informacion de las concentraciones maximas reportadas en las estaciones de monitoreo de calidad del aire de Bogotá (Sevillana , kennedy , guaymaral , Fontibon, ministerio de medio ambiente, Puente Aranda, las ferias, San Cristobal, Tunal, Usaquen, Centro de alto rendimiento y Suba)

En la Figura 70 se observa la concentración máxima de SO₂ durante 10 años en la estación de monitoreo Sevillana

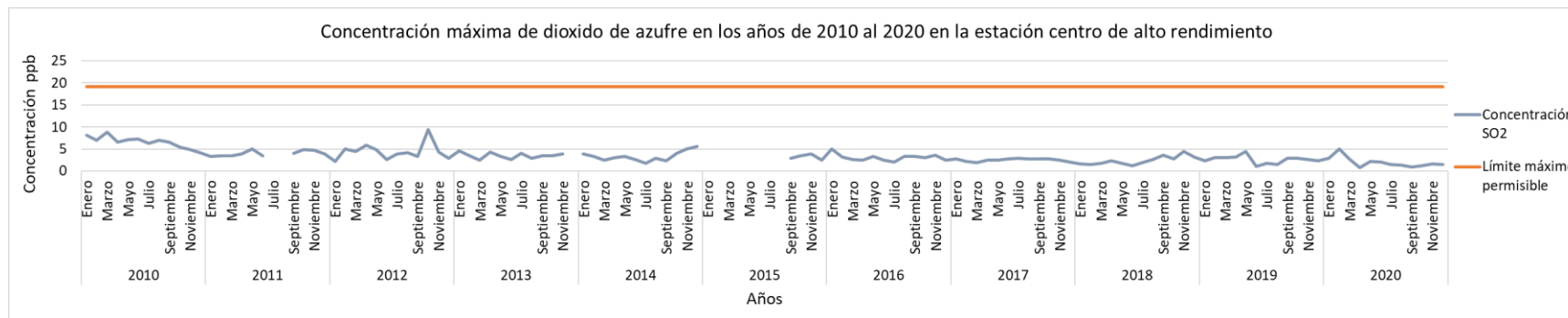
Figura 70 Concentración máxima de SO₂ en la estación de Sevillana



Se evidencia que durante los diez años en la estación sevillana la concentración de dióxido de azufre no sobrepasa el límite máximo permisible indicado por la norma a excepción del mes de febrero de 2011 que sobrepasó el límite con 22.80 ppb, este comportamiento se asocia a los incendios que hubieron en la ciudad de Bogotá y en lugares como el Meta registrando 801.5 hectáreas de sabanas y pastizales quemados, seguido del Casanare con 627.5 hectáreas quemadas y Boyacá con 335.5 hectáreas, por acción de los vientos se arrastraron contaminantes de otras zonas a la ciudad (Briseño, 2011)

En la Figura 71 se observa la concentración máxima de SO₂ durante 10 años en la estación de monitoreo Centro de alto rendimiento

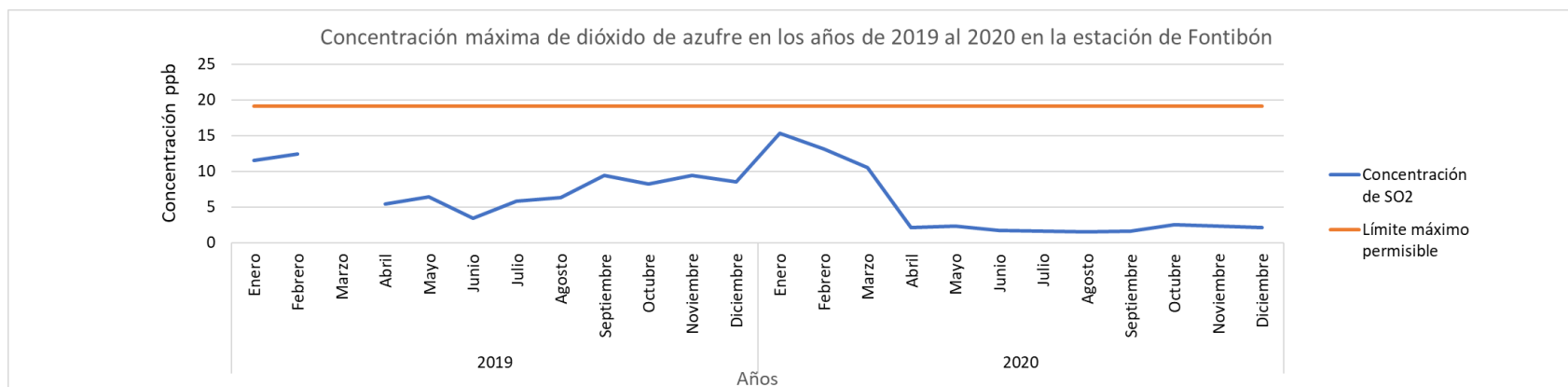
Figura 71 Concentración máxima de SO₂ en la estación de Centro de alto rendimiento



El dióxido de azufre en la estación de monitoreo Centro de alto rendimiento no sobrepasa el límite máximo permisible durante los 10 años ver figura, se observa que las concentraciones no tienen cambios bruscos en el transcurso de los años. No se obtuvieron datos de julio a agosto del año 2011, en diciembre del año 2013 y de enero a agosto del año 2015.

En la Figura 72 se observa la concentración máxima de SO₂ durante 10 años en la estación de monitoreo Fontibón

Figura 72 Concentración máxima de SO₂ en la estación de Fontibón



En la estación de monitoreo de fontibon, el dióxido de azufre no sobrepasa el límite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017, la concentración más alta y sin sobrepasar la norma se presenta en enero de 2020 con 15.3 ppb, esto se relaciona con incendios forestales que se presentaron en Bogotá y en la sabana de Bogotá más exactamente en Tenjo, Tabio y Zipaquirá, los vientos trajeron material particulado, dióxidos de nitrógeno a la ciudad provocando que aumentaran la concentración (El Tiempo, 2020). No se obtuvieron datos de febrero a marzo de 2019.

En la Figura 73 se observa la concentración máxima de SO₂ durante 10 años en la estación de monitoreo Kennedy

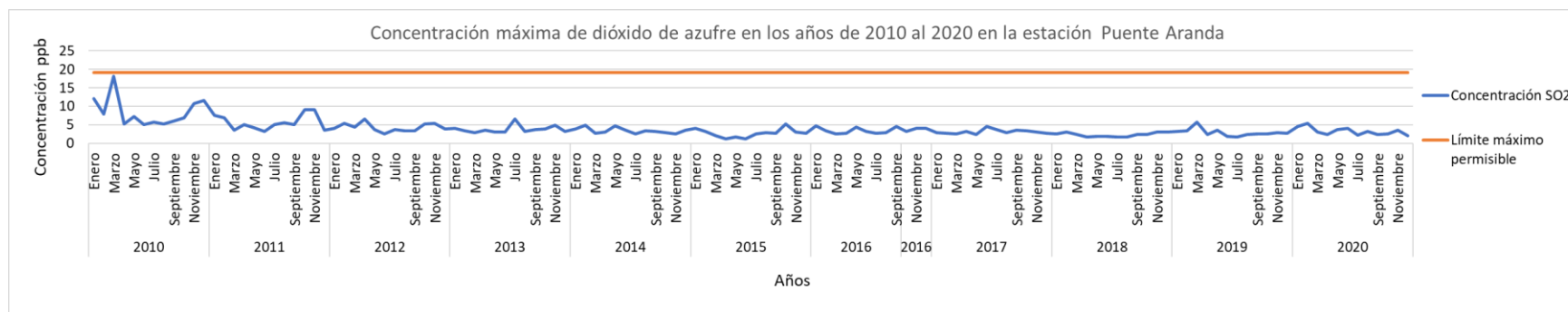
Figura 73 Concentración máxima de SO₂ en la estación Kennedy



La concentración de Dioxido de azufre en la estación de Kennedy durante los diez años no sobrepasa el límite maximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017, ver figura, la concentración maxima se presento en octubre de 2012 con 14.95 ppb. No se obtuvieron datos en el mes de julio de 2011 a febrero de 2012 ,en junio de 2012, diciembre de 2013 y de julio a noviembre de 2014

En la Figura 74 se observa la concentración máxima de SO₂ durante 10 años en la estación de monitoreo Puente Aranda

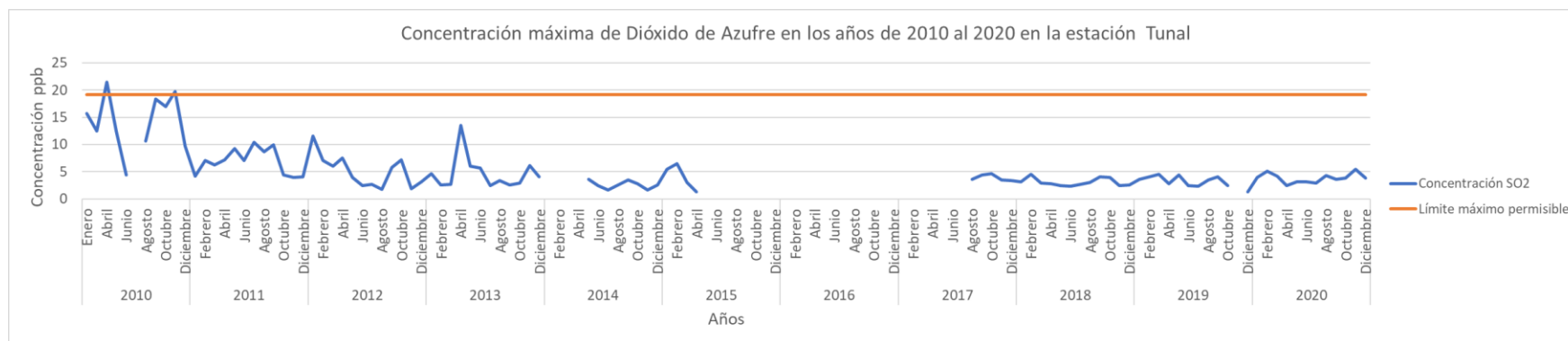
Figura 74 Concentración máxima de SO₂ en la estación Puente Aranda



La concentración de Dioxido de azufre en la estación de monitoreo de Puente Aranda durante los 10 años no sobrepasan el límite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017, la concentración mas alta y sin sobrepasar el límite se presenta en marzo de 2010 con 18.05 ppb, se observa que en los ultimos 4 años la concentración de dioxido de azufre es menor a los años anteriores, esto se relaciona con el cambio del parque automotor

En la Figura 75 se observa la concentración máxima de SO₂ durante 10 años en la estación de monitoreo Tunal

Figura 75 Concentración máxima de SO₂ en la estación Tunal



La concentración del dióxido de azufre en la estación del tunal sobre pasa el límite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017 solo en el mes de abril y diciembre de 2010 con 21,46 ppb y 19.803 en el resto de los años se observa que las concentraciones descienden y cabe resaltar que en el periodo de 2017 al 2020 son bajas y se mantienen mas estables. No se obtuvieron datos desde Junio de 2015 a junio de 2

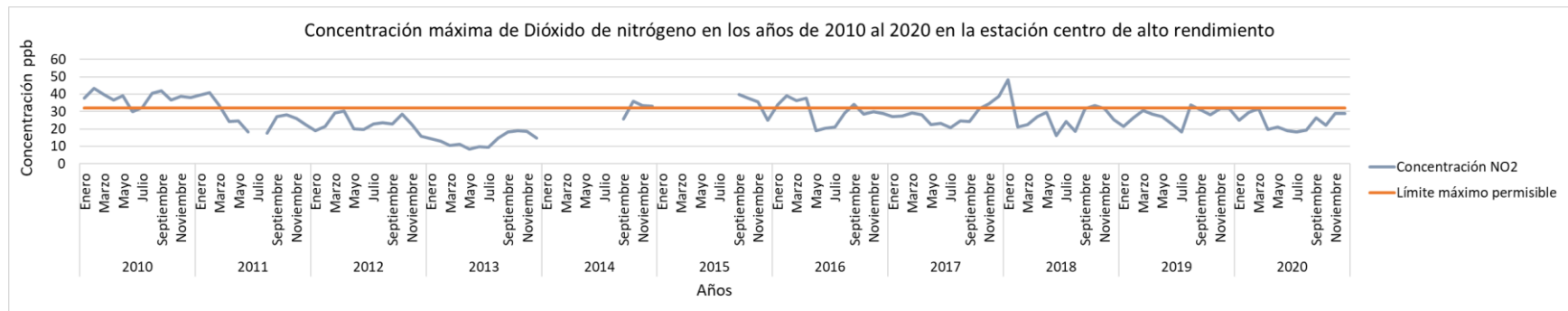
9.2.6 Análisis del contaminante dióxido de nitrógeno (NO₂)

El dióxido de nitrógeno tiene un límite máximo permisible establecido por la ley 2254 de 2017 del IDEAM, ver Figura 19, en la cual indica que esta designado la concentración máxima de NO₂ anual de 60 µg/m³ lo que es igual a 31,9527 ppb.

El presente estudio recopiló la información de las concentraciones máximas reportadas en las estaciones de monitoreo de calidad del aire de Bogotá (Sevillana, Kennedy, Guaymaral, Fontibón, Ministerio de Medio Ambiente, Puente Aranda, Las Ferias, San Cristóbal, Tunal, Usaquén, Centro de alto rendimiento y Suba).

En la Figura 76 se observa la concentración máxima de NO₂ durante 10 años en la estación de monitoreo Centro de alto rendimiento.

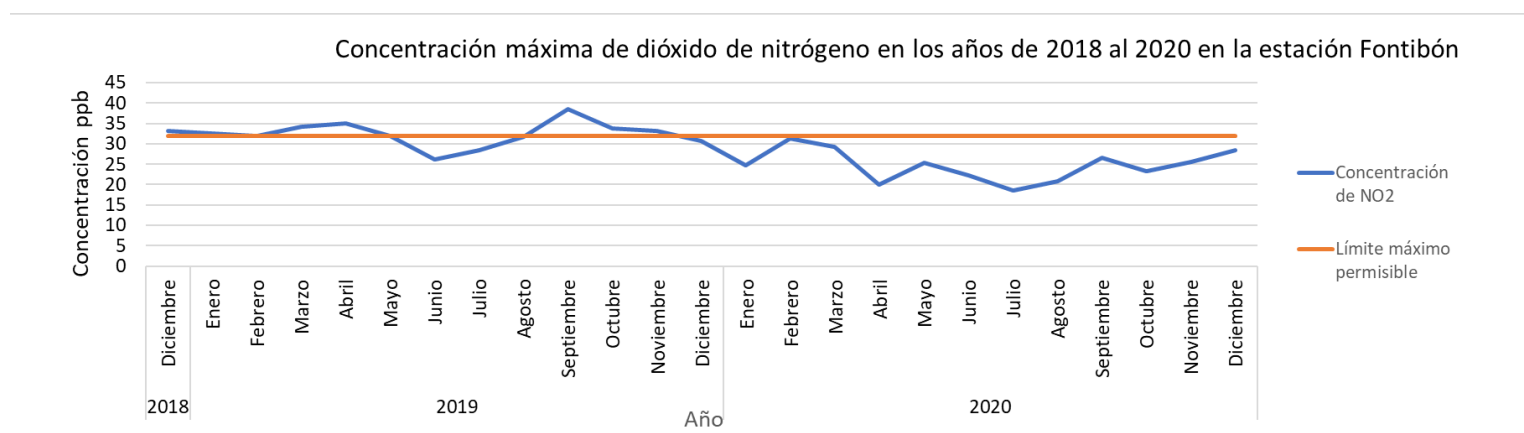
Figura 76 Concentración máxima de NO₂ en la estación Centro de alto rendimiento



En la estación centro de alto rendimiento se observa que el 23% de los datos pasan el limite maximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017, la concentración mas alta se presenta en enero de 2018, sobrepasando el limite permisible con 16.574 ppb. No se obtuvieron datos de marzo a julio de 2014 y febrero a julio de 2015.

En la Figura 77 se observa la concentración máxima de NO₂ durante 10 años en la estación de monitoreo Fontibón

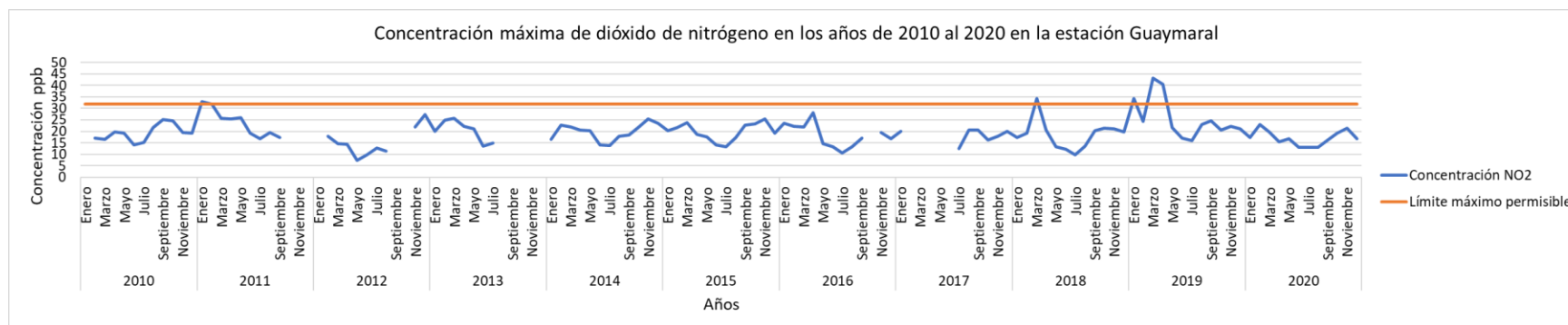
Figura 77 Concentración máxima de NO₂ en la estación Fontibón



En la estación Fontibon se observa que el 28% de los datos pasan el limite maximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017, el pico mas alto se presenta en septiembre de 2019 sobrepasando el limite con 6.6443 ppb. No se obtuvieron datos desde enero de 2010 a noviembre de 2018

En la Figura 78 se observa la concentración máxima de NO₂ durante 10 años en la estación de monitoreo Guaymaral

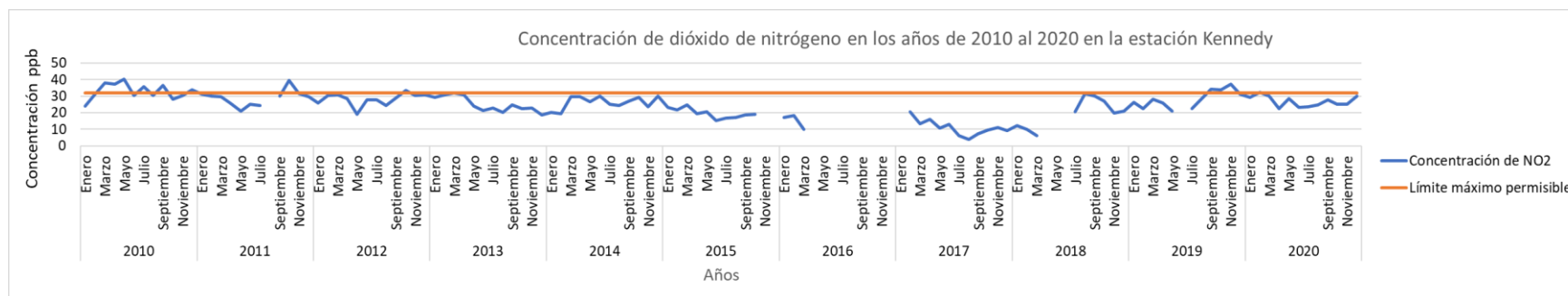
Figura 78 Concentración máxima de NO₂ en la estación Guaymaral



En la estación guaymaral ver Figura 78 se observa que el 18% de los datos pasan el límite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017, el pico más alto se presenta en marzo de 2019 sobrepasando el límite con 11.20 ppb. Esto se asocia con los incendios forestales de la ciudad de Bogotá y sus alrededores, contribuyendo con el aumento de la concentración de dióxidos de nitrógeno (Castiblanco, 2020). No se obtienen datos de octubre a diciembre de 2011, de agosto a diciembre del año 2013 y de febrero a junio del 2017.

En la Figura 79 se observa la concentración máxima de NO₂ durante 10 años en la estación de monitoreo Kennedy

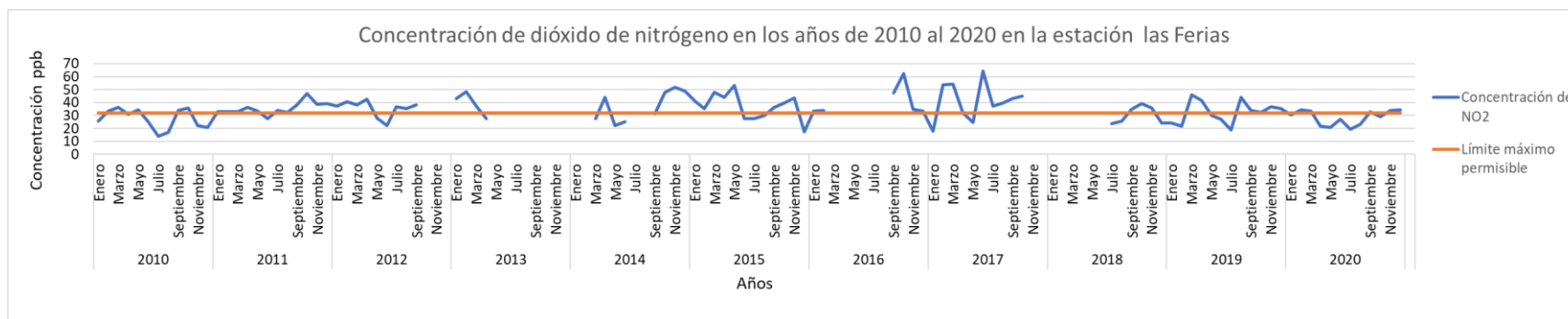
Figura 79 Concentración máxima de NO₂ en la estación Kennedy



En la estación Kennedy ver figura 79 se observa que el 10% de los datos pasan el límite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017, la concentración más alta se presenta en el mes de mayo de 2010 sobrepasando el límite con 8.39 ppb, Bogotá y diferentes regiones son propensas a incendios forestales para los meses de enero a marzo, ya que son meses de poca lluvia y alta radiación solar, para ese periodo se generaron incendios en diferentes partes del país, los vientos arrastraron a la ciudad de Bogotá contaminantes como el dióxido de nitrógeno aumentando las concentraciones del contaminante. No se obtuvieron datos de abril de 2016 a enero de 2017, de 2011, de abril a julio de 2018 a diciembre del año 2013 y junio de 2019.

En la Figura 80 se observa la concentración máxima de NO₂ durante 10 años en la estación de monitoreo las Ferias

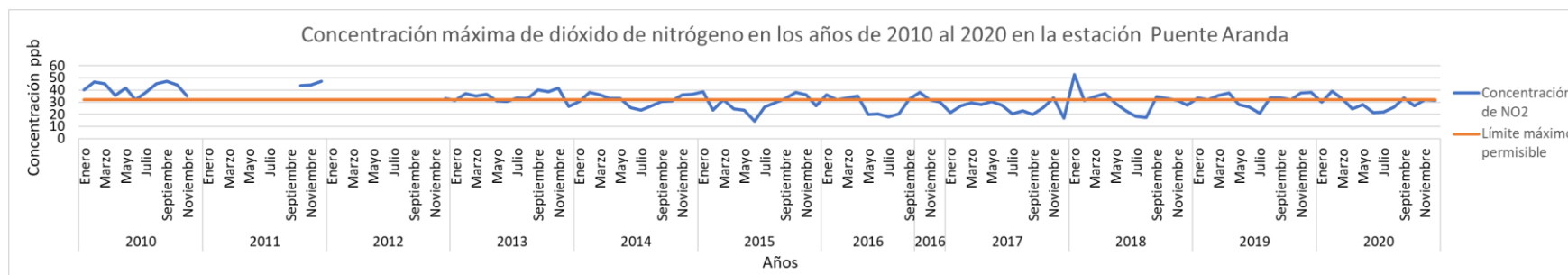
Figura 80 Concentración máxima de NO₂ en la estación las Ferias



En la estación las ferias ver Figura 80 se observa que el 50% de los datos pasan el limite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017, el pico mas alto se presenta en junio de 2017 sobrepasando el limite con 32.347 ppb. Las altas concentraciones de dióxido de nitrógeno en esta estación pueden relacionarse con la cercanía a la calle 80 y a estaciones de trasmilenio ya que cabe recordar que su fuente principal es la combustión a altas temperaturas por parte de fuentes móviles y fijas (Secretaria Distrital de Ambiente, 2017). No se obtuvieron datos de abril de 2016 a enero 2017, de abril a julio de 2018 a diciembre del año 2013.

En la Figura 81 se observa la concentración máxima de NO₂ durante 10 años en la estación de monitoreo Puente Aranda

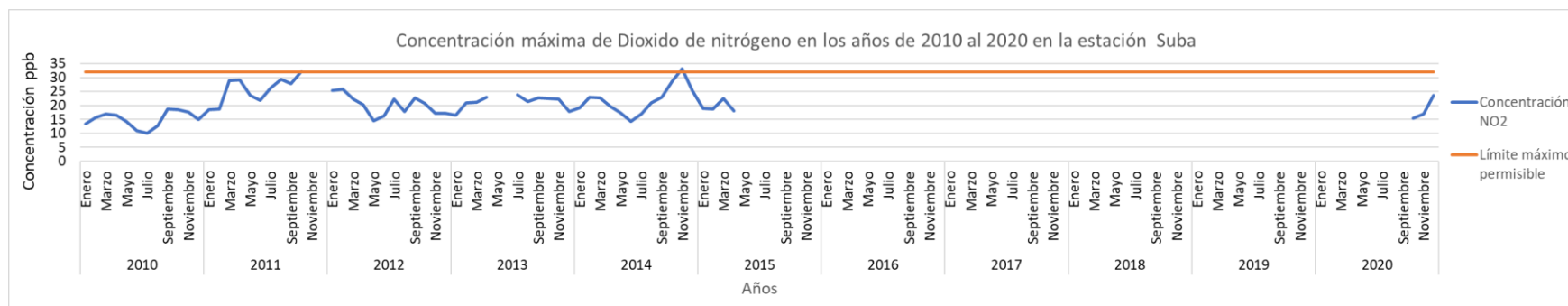
Figura 81 Concentración máxima de NO₂ en la estación Puente Aranda



En la estación Puente aranda ver Figura 81, se observa que el 42% de los datos pasan el límite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017, esto se debe a que la estación esta cerca a la avenida Americas, a estaciones de trasmilenio y es una zona industrial y comercial. La concentración mas alta se presenta en enero de 2018 sobrepasando el límite con 20.709 ppb. Esto se asocia con el alto flujo vehicular, y con factores como lo son las variables meteorológicas ya que se tienen temperaturas bajas en horas de la madrugada y temperaturas altas durante el día esto hace que las concentraciones de contaminantes como el dióxido de nitrógeno no se dispersen y se acumulen, el segundo factor son los incendios forestales que tienden a aparecer en los meses de enero a marzo por ser temporadas secas y de alta radiacion. No se obtuvieron datos de diciembre 2010 a septiembre 2011, de enero a noviembre de 2012.

En la Figura 82 se observa la concentración máxima de NO₂ durante 10 años en la estación de monitoreo Suba

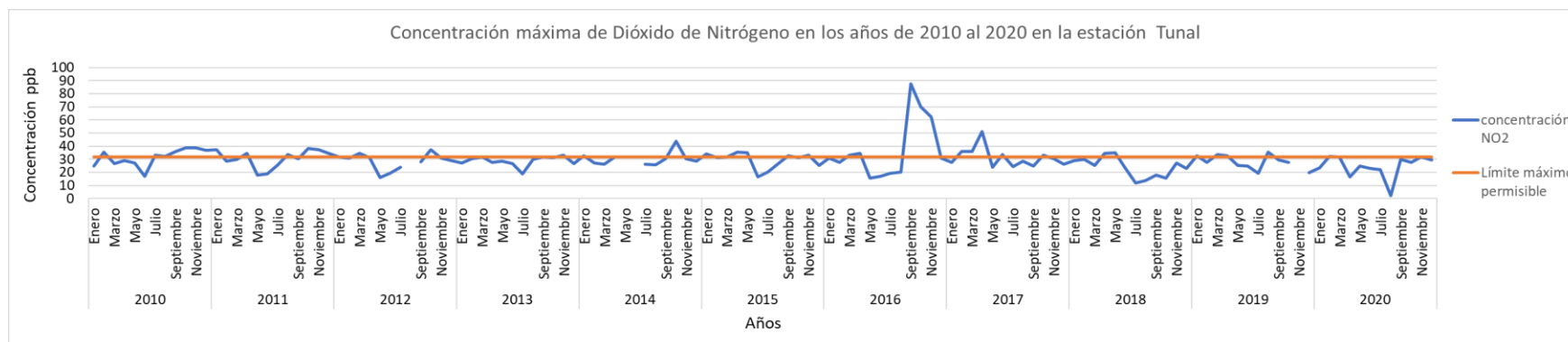
Figura 82 Concentración máxima de NO₂ en la estación Suba



En la estación de Suba ver Figura 82 la mayoría de las concentraciones están por debajo del límite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017, el pico más alto se presenta en octubre esto se asocia a no se obtuvieron datos de noviembre a diciembre de 2011, de mayo a junio de 2013 y de mayo a 2015 a septiembre de 2020

En la Figura 83 se observa la concentración máxima de NO₂ durante 10 años en la estación de monitoreo Tunal

Figura 83 Concentración máxima de NO₂ en la estación Tunal



En la estación Tunal ver Figura 83 se observa que el 30% de los datos pasan el límite máximo permisible de acuerdo a la resolución 2254 de 2017, el pico mas alto se presenta en septiembre de 2018 sobrepasando el limite con 55,818 ppb. No se obtuvieron datos en agosto 2012 y de mayo y junio 2014.

El dióxido de nitrógeno en la mayoría de estaciones ha estado sobrepasando el nivel máximo permisible, esto se debe a la combustión de fósiles a altas temperaturas e incendios forestales (Ibarlucía, 2017)

9.3 Estrategia

Se evidencia en el analisis, que los contaminantes que siempre han sobrepasado el limite maximo permisible indicado por la normativa, son los contaminantes PM_{10} , $PM_{2.5}$, y NO_2 las estaciones que estan mas afectadas por este material particulado son Sevillana y Kenndey, la contaminación en estos lugares se debe principalmente a las fuentes moviles, ya que se ubican en vias principales importantes (autopista sur, calle 80) por donde diariamente pasan vehiculos de carga pesada, vehiculos publicos y privados, estas estaciones se comparan con estaciones como Guaymaral en esta estación pasa la autopista norte, que tambien es una zona de alto flujo vehicular, sin embargo, la diferencia entre estas zonas, es la vegetación, en la estación guaymaral hay amplias zonas verdes que brindan a la zona beneficios ecosistematicos como la purificación del aire.

A partir del analisis se plantean diferentes estrategias que pueden contribuir a la reducción de contaminantes como material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y dióxido de nitrógeno (NO_2), de estas, se escogieran la estrategia que este al alcance de la población, que se pueda realizar a corto plazo, en la tabla 2 se observa las ventajas y desventajas de estrategias como la plantación de arboles maduros, uso de musgo y cambio de combustible fosil a energia electrica.

Tabla 1 Estrategias

Estrategias	Ventajas	Desventajas
Plantar arboles	Contribuyen a bajar la temperatura, aumenta la tasa de humedad e influyen en la circulación del aire y embellecen el paisaje (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Mexico, 2018)	Se deben plantar árboles maduros para poder asegurar el correcto funcionamiento del árbol en la zona.
		Bogotá no cuenta con el área suficientes en la zona urbana para plantar árboles.
	Absorben contaminantes como CO ₂ NO ₂ SO ₂ además de que pueden retener en sus hojas PM ₁₀ y PM _{2.5} (Martins, 2016)	Los costos son un limitante ya que se debe considerar de donde se va a traer el árbol, el costo del árbol, el transporte y la mano de obra.
		Sembrar semillas o árboles en la primera etapa de crecimiento no tendrá mayor beneficio ya que será una estrategia a largo plazo.
Cambio de combustible fósil a energía eléctrica	Dejan de emitirse contaminantes como material particulado, dióxido de nitrógeno y otros por combustión incompleta (Diaz, 2021)	No todas las personas cuentan con el dinero para cambiar un auto convencional por un carro eléctrico (Peña 2020)
		Cambiar el parque automotor de transporte publico dependerá netamente de los socios de la organización y de leyes impuestas por el estado.
	Un vehículo eléctrico necesita menos energía que un vehículo que utiliza combustible fósil (Rodríguez, 2018)	Al usar energía proveniente de fuentes no renovables se contamina mucho más con dióxido de carbono (Diaz, 2021)
		Es una estrategia a largo plazo.
Red de musgo	Contribuyen a bajar la temperatura, aumenta la tasa de humedad y embellece el paisaje	Se requiere entre diez a once millones de pesos para el mantenimiento de una red de musgo (Ybarra, 2019)
	Absorben contaminantes como CO ₂ NO ₂ PM ₁₀ y PM _{2.5} (Peñas, 2019)	
	El musgo tiene la capacidad de absorber 250 gramos por día de material particulado (PM ₁₀ y PM _{2.5}) y 240 toneladas por año de dióxido de carbón (Ybarra, 2019)	
	Una estructura de musgo de 4 metros de altura, 3 metros de ancho y 2,20 metros de profundidad Tienen un rendimiento ecológico como lo harían 275 árboles adultos (Peñas, 2019)	La población puede dañar la estructura de musgo.
	Puede reducir la contaminación del aire en un área de 50 m ² (Peñas, 2019)	
	Se inserta biodiversidad en la zona urbana sin ocupar tanta área (Ybarra, 2019)	El musgo deberá ser cultivado
	Se puede trabajar en conjunto con las comunidades y además es una estrategia a corto plazo.	
		Necesita buena humedad para mantenerse vivo (Ybarra, 2019) sin embargo hay algunas especies que se adaptan mas facilmente a areas soleadas

A partir del analisis de las concentraciones de contaminantes en la ciudad de Bogotá, la estrategia que se plantea para reducir la contaminación del aire en los lugares mas afectados por PM_{2.5} PM₁₀ y NO₂ es el uso de plantas briofitas, tambien conocidas como musgo, ya que es una estrategia que se puede implementar a corto plazo con ayuda de la población, no demanda grandes cantidades de dinero para su implementación, ademas de esto posee variedad de características positivas, estas plantas tiene alrededor de 24,000

especies y constituye el 5% de las plantas de todo el planeta, estas plantas viven en lugares húmedos o cerca al agua, sin embargo son muy versátiles y pueden adaptarse en diferentes ambientes, son capaces de absorber 20 veces su peso en agua para en tiempos de sequía ir liberándolo lentamente (Aguirre, 2010). Los musgos son muy importantes para los ecosistemas ya que pueden mantener la humedad, detener la erosión del suelo, interceptar la lluvia, absorber los contaminantes del aire y favorecer al desarrollo de muchas plantas y animales.

El musgo ha sido utilizado como un bioindicador de contaminantes del aire por su capacidad de absorción y retención, el primer congreso de calidad del aire organizado por Europa mencionaba el uso de musgo especialmente la especie criptógamas epífitas como bioindicadores de la contaminación atmosférica (Poblano, 2013), en la actualidad se crea una biotecnología en Alemania, basada en las capacidades de los musgos para la absorción de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), dióxido de nitrógeno, dióxido de carbono.

El musgo purifica el aire, ya que este es capaz de absorber diversidad de contaminantes y crear oxígeno, esto sucede gracias a que el musgo carece de raíces por lo que para su supervivencia absorbe los nutrientes del aire, algunos estudios realizados durante el año de 2018 indican que el nivel de dióxido de carbono disminuye en un 225% en presencia del musgo (Daily, 2019)

El árbol urbano o también llamado muro de la vida, es una pared móvil que está compuesta por diferentes tipos de musgo, según su cofundador Liang Wu los musgos escogidos para crear la pared son los que mejor se adaptan a diferentes climas y adsorben más contaminantes, el árbol urbano tiene la capacidad de absorber 250 gramos por día de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), 240 toneladas por año de dióxido de carbono, también absorbe dióxido de nitrógeno y otros contaminantes (Ybarra, 2019)

El árbol urbano absorbe contaminantes como lo harían 275 árboles adultos, puede reducir la contaminación del aire en un área de 50 metros, el material particulado se adhiere al musgo por atracción electrostática, luego el musgo lo metaboliza, es decir lo convierte en su alimento, este muro de vida tiene 4 metros de altura, 3 metros de ancho y 2,20 metros de profundidad, (Peñas, 2019)

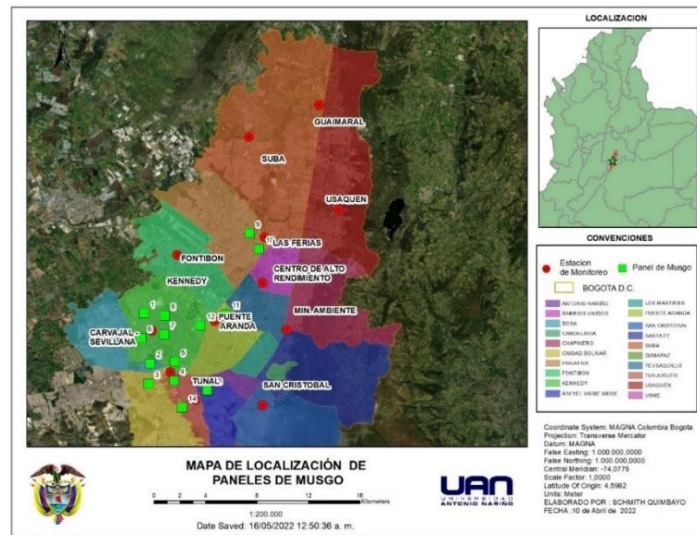
La ciudad de Londres, Inglaterra invirtió en tecnologías como Citytree en sus zonas más contaminadas, dos estructuras fueron instaladas en una estación de buses cerca a la estación del metro Leytonstone, en este lugar se produce altos niveles de Dioxido de nitrógeno, cada estructura tiene 5 torres de musgo y cada una de ellas tiene la capacidad de absorber contaminantes como lo harían 275 árboles, es decir que tener una sola pared de musgo es equivalente a la función de 1375 árboles (BERRIL, 2020)

El muro de musgo puede enfriar la temperatura 4°C, reduce el 53% de contaminación por polvo fino en sus inmediaciones, la estructura es capaz de filtrar 5000 m³ de aire por hora lo que corresponde a la respiración de diez mil personas, esta estructura se implementó en Putney, Wandsworth, su implementación fue positiva ya que según datos en diez semanas desde la implementación de la estructura se purificó 1,3 millones de metros cúbicos de aire. Este volumen equivale a 519 piscinas olímpicas (Wandsworth, 2021) Este muro de musgo se ha implementado en 25 ciudades de países desarrollados como Oslo-Noruega, Hong Kong-Japón, Glasgow-Escocia, Vitoria-España, Berlín-Alemania, París-Francia, Londres-Inglaterra, entre otros, por su eficiencia en la absorción de contaminantes (Rodríguez, 2018)

Para implementar paredes de musgo en Bogotá será necesario estudiar las especies que más se adapten a las variables meteorológicas de la ciudad, posteriormente las paredes de musgo se ubicarán en las estaciones más contaminadas por material particulado como Sevilla y Kennedy y en estaciones afectadas por dioxido de nitrógeno como Las Ferias, Puente Aranda y El Tunal. En la estación de Sevilla se plantea ubicar 4 paredes de musgo y en la estación Kennedy 3, según estudios realizados por Greencity Solutions las paredes de musgo con dimensiones de 4 m de alto y 2 m de ancho pueden absorber contaminantes como lo harían 275 árboles además de ser una forma de introducir diversidad de vegetación sin ocupar tanta área en zonas urbanas (Ybarra, 2019)

En la Figura 84 se observa la ubicación de las paredes de musgo en las 5 localidades más afectadas por contaminantes como el material particulado y el dióxido de nitrógeno

Figura 84 Ubicación de paredes de musgo



En la figura 85 se observa un muro hecho de musgo propuesto por la empresa Greencitysolutions que tiene como medidas 4 metros de altura, 3 metros de ancho y 2.20 metros de profundidad, esta estructura esta conformada por 5 torres de musgo que consumen material particulado, dióxido de nitrógeno, dióxido de carbono como si fueran 1.375 árboles (BERRIL, 2020)

Figura 85 Estructura de un muro de vida



Tomado de (EcoInventos, 2017)

Tabla 2 Planteamiento de estrategia

[illegible]

10 CONCLUSIONES

- A partir del análisis, se evidencio que el 85% de los datos registrados en la estación Sevillana sobrepasan el límite máximo permisible de material particulado menor a 10 micras, la estación sevillana es la zona más contaminada por PM_{10} y las fuentes que más influyen en la contaminación del aire en la zona, son las fuentes móviles más exactamente el transporte de carga pesada ya que se encuentra cercana a la autopista sur, una importante vía de alto flujo vehicular.
- La estación de monitoreo Kennedy, registro que el 51% de los datos sobrepasan el límite máximo permisible de PM_{10} y es la segunda localidad con más contaminación por material particulado menor a 10 micras, las fuentes que más influyen en la contaminación del aire en la zona, son las fuentes móviles más exactamente el transporte de carga pesada, debido a que se encuentra cerca de zonas de alto flujo vehicular como Corabastos, la calle 80, la Villavicencio y las Américas.
- El analisis del material particulado menor a 2.5 micras en la estación sevillana y kennedy evidencia que el 38% y 50 % de los datos registrados sobrepasan el límite máximo permisible, siendo las zonas con mayor contaminación por $PM_{2.5}$. Esto se debe a la ubicación de las dos estaciones, puesto que estan ubicadas en avenidas importantes por donde fluyen variedad de vehiculos, camiones, buses entre otras.
- El dióxido de nitrógeno tiene concentraciones que tienden a sobrepasar el límite máximo permisible en las zonas del Tunal, Puente Aranda y las Ferias, por medio del análisis se evidencio que el 30%, 42% y 50% de los datos registrados no cumplían la normativa. se recomienda controlar las emisiones de NO_2 ya que el dióxido de Nitrógeno es precursor de otros contaminantes como el ozono

- El monóxido de carbono, dióxido de azufre y ozono en la mayoría del tiempo se mantienen por debajo del límite máximo permisible por lo que estos contaminantes no representan un riesgo actual de contaminación para la ciudad.
- Se identificó que el comportamiento del viento (velocidad y dirección) influye en la concentración de los contaminantes, un ejemplo de esto son los incendios forestales en lugares como el Guaviare y Venezuela, la fuerza de los vientos y su dirección trajeron a la ciudad de Bogotá material particulado y humo provocando alerta amarilla en la ciudad. (Garcia, 2019)
- Se identificó una relación entre la reducción de concentración de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) ya que en los meses con menos precipitaciones como enero y febrero las concentraciones de material particulado tienden a ser altas, lo opuesto sucede en los meses de mayor lluvia como abril, mayo, octubre y noviembre, las concentraciones de estos contaminantes son menores, esto se debe a que la lluvia realiza un lavado en la atmósfera haciendo que las partículas se mezclan con el agua y aumenten su peso, logrando que estas caigan al suelo o se queden adheridas a la vegetación (ARCINIÉGAS, 2011)
- Se observa que para julio de 2020 y julio de 2014 la mayoría de las estaciones de monitoreo tuvieron excedencias en las concentraciones de material particulado menor a diez micras, estos comportamientos se deben a eventos naturales como la nube de polvo del sahara que con ayuda de vientos del este, arrastraron a la ciudad el material particulado (Ministerio de Ambiente, 2016)
- Bogotá cuenta con veinte estaciones de monitoreo en la actualidad, sin embargo para el presente trabajo se analizaron solo doce estaciones, las cuales fueron: Seviliana, Kennedy, Guaymaral, Fontibón, Ministerio de Medio Ambiente, Puente Aranda, Las Ferias, San Cristóbal, Tunal, Usaquén, Centro de Alto Rendimiento y

Suba ya que en las demas estaciones no se encontraron datos registrados para el periodo de estudio.

- A partir del diagnostico y el analisis de los contaminantes, se planteo la estrategia de implementar muros de musgo ya que son capaces de purificar el aire, por medio de la absorción de contaminantes, la pared de musgo se han implementado en paises desarrollados como Noruega Francia, Alemania, Japon entre otros. (CUSPOCA, 2020)

11 BIBLIOGRAFÍA

- Earthgonomic. (2015). Obtenido de <http://earthgonomic.com/noticias/poblacion/>
- Acosta, B. (2019). *Que es un contaminante atmosferico*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/que-es-un-contaminante-atmosferico-2090.html>
- Aguirre, F. (2010). *Importancia De Los Musgos Para El Medio Ambiente Y La Navidad*. Obtenido de <https://www.acrlatinoamerica.com/201012133461/noticias/lo-verde/importancia-de-los-musgos-para-el-medio-ambiente-y-la-navidad.html>
- Angel, M. L. (2004). *La lluvia ácida: un fenómeno fisicoquímico*. Obtenido de http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/190/1/67_72%20lluvia%20acida.pdf
- Aragon, J. (2019). *Estudio climatológico de los vientos para la ciudad de Bogotá en*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/entra/v15n2/1900-3803-entra-15-02-286.pdf>
- Arora, N. (2020). *Nueva Delhi, la capital más contaminada del mundo por tercer año consecutivo: estudio IQAir*. Obtenido de <https://www.reuters.com/article/india-contaminacion-idESKBN2B81J2>
- Barrios, M. (2014). *egún Corpocesar, en La Jagua de Ibirico y El Paso se exceden los indicadores de partículas suspendidas en el aire, lo que afecta la salud*. Obtenido de <https://www.elheraldo.co/region/contaminacion-minera-en-cesar-supera-niveles-permitidos-163943>
- Blakemore, E. (2019). *Desastre de Chernóbil: qué ocurrió y sus concecuencias a largo plazo*. Obtenido de <https://www.nationalgeographic.es/historia/2019/05/el-desastre-de-chernobil-que-ocurrio-y-sus-consecuencias-largo-plazo>
- Bogota cómo vamos*. (2018). Obtenido de <https://bogotacomovamos.org/quienes-somos/>

Botero, E. U. (2020). *La arquitectura urbana y el clima*. Obtenido de <https://cpnaa.gov.co/la-arquitectura-urbana-y-el-clima-en-bogota/>

CEDINS. (2020). *Campaña sivate por el aire*. Obtenido de <https://cedins.org/index.php/2020/07/23/campana-sivate-por-el-aire/>

Chavez, G. (2016). *Los barrios de Bogotá que las alcaldías olvidaron*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16623255>

Compartir por una sociedad mas equitativa. (2017). *Los ocho municipios de Colombia mas contaminados*. Obtenido de <https://fundacioncompartir.org/noticias/ocho-municipios-de-colombia-mas-contaminados>

Congreso de Colombia. (1979). Obtenido de https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf

Congreso de Colombia. (2010). Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=39180#:~:text=Todo%20conductor%20de%20veh%C3%ADculo%20de,horarios%2C%20seg%C3%BAn%20sea%20el%20caso.>

Congreso de la republica. (2012). Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=45322>

Congreso de la Republica Colombiana. (1985). Obtenido de https://www.redjurista.com/Documents/ley_30_de_1990_congreso_de_la_republica.aspx#/

Congreso de la Republica Colombiana. (1992). Obtenido de http://www.ideam.gov.co/documents/24024/26915/C_Users_JGomez_Documents_ley_29_1992.pdf/7258708f-515d-4021-8fff-99e8cba0e0f6

CUSPOCA, J. N. (2020). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA ELMEJORAMIENTO DE CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ*. Obtenido de

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/26370/1/TG%20An%c3%a1lisis%20comparativo%20de%20nuevas%20tecnolog%c3%adas.pdf>

Díaz, D. M. (2013). *Impactos de la estructura ecológica principal de Bogotá*. Obtenido de http://www.fuac.edu.co/recursos_web/documentos/ing.ambiental/ESTRUCTURA_ECOLOGICA_PRINCIPAL_DE_BOGOTA_2.pdf

EcoInventos. (2017). *CityTree, un 'árbol' urbano autónomo que limpia tanto aire contaminado como un bosque entero*. Obtenido de <https://ecoinventos.com/citytree/>

Egger, A. (2003). *La Atmósfera de la Tierra*. Obtenido de <https://www.visionlearning.com/es/library/Ciencias-de-la-Tierra/6/La-Atmosfera-de-la-Tierra/107>

El Espectador. (2020). *Capturan a dos personas por deforestación ilegal, en los Cerros Orientales de Bogotá*. Obtenido de <https://www.elespectador.com/bogota/capturan-a-dos-personas-por-deforestacion-ilegal-en-los-cerros-orientales-de-bogota-article/>

El Espectador. (2021). *Contaminación del aire en Bogotá volvió a niveles pre pandémicos, según informe*. Obtenido de <https://www.elespectador.com/bogota/contaminacion-del-aire-en-bogota-volvio-a-niveles-prepandemicos-segun-informe/>

El Espectador. (2021). *Contaminación del aire en Bogotá volvió a niveles pre pandémicos, según informe*. Obtenido de <https://www.elespectador.com/bogota/contaminacion-del-aire-en-bogota-volvio-a-niveles-prepandemicos-segun-informe/>

El Tiempo. (2008). *Ráquira, un pueblo que huele ma*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-3995750>

El Tiempo. (2014). *Las tres medidas que tomó el Distrito por quema de llantas en Fontibón*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-14801435>

El Tiempo. (2016). *Ascienden a 18 las hectáreas consumidas por el fuego en los cerros*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16497842>

- El Tiempo. (2020). *Mas de tres incendios forestales por día en Cundinamarca y Bogotá*. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/bogota/incendios-forestales-en-cundinamarca-y-bogota-durante-enero-de-2020-450744>
- Envira. (11 de 02 de 2021). *Contaminantes primarios y secundarios*. Obtenido de <https://enviraiot.es/contaminantes-primarios-y-secundarios-mas-peligrosos/>
- Fagan, B. (2017). *Cuando la niebla de Londres mató a 12.000 personas*. Obtenido de https://elpais.com/elpais/2017/09/22/ciencia/1506088787_993438.html
- Figuerola, E. V. (2015). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN 8 ZONAS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ*. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=ing_ambiental_sanitaria
- Gaitan, M. (2007). *Analisis del estado de la calidad del aire* . Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n26/n26a11.pdf>
- Giraldo, L. F. (2004). Obtenido de http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/190/1/67_72%20lluvia%20acida.pdf
- Gobierno de Chile. (08 de 2018). *Guia de calidad del aire y educación ambiental*. Obtenido de <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-para-Docentes-Sobre-Calidad-del-Aire-003.pdf>
- Gobierno Nacional de Colombia. (1974). Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1551#:~:text=%2D%20El%20Gobierno%20procurar%C3%A1%20evitar%20o,all%C3%A1%20de%20la%20jurisdicci%C3%B3n%20territorial.>
- Gomez, J. L. (2019). *LOS EFECTOS DE LA POLUCIÓN AMBIENTAL POR MICROPARTICULAS PM10 Y PM2.5*. Obtenido de http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/5283/TESIS_BETETA%20G%C3%93MEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Greenpeace. (2020). *La contaminación del aire en Bogotá provocó 3900 muertes en lo que va del año.* Obtenido de <https://www.greenpeace.org/colombia/noticia/uncategorized/la-contaminacion-del-aire-en-bogota-provoco-3900-muertes-en-lo-que-va-del-ano/>

Guajardo, C. (2019). *Contaminación ambiental y su impacto económico.* Obtenido de <https://www.imef-universitario.com/post/contaminaci%C3%B3n-ambiental-y-su-impacto-econ%C3%B3mico>

Henry Glynn, G. H. (1999). Episodios de contaminación del aire. En G. H. Henry Glynn, *Ingeniería Ambiental* (pág. 494). Mexico: Prentice Hall.

Henry Glynn, G. H. (1999). Episodios de contaminación del aire. En G. H. Henry Glynn, *Ingeniería Ambiental* (pág. 493). Mexico: Prentice Hall.

Henry Glynn, G. H. (1999). Episodios de contaminación del aire. En G. H. Henry Glynn, *Ingeniería Ambiental* (pág. 494). Mexico: Prentice Hall.

Hernandez, M. L. (2004). *La lluvia acida: un fenómeno fisicoquímico.* Obtenido de http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/190/1/67_72%20lluvia%20acida.pdf

Ibarlucía, D. G. (2017). *Determinación del NO₂ atmosférico en las ciudades de Tandil mediante muestreadores pasivos y una técnica espectrofotométrica.* Obtenido de <https://www.ridaa.unicen.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/1442/TEISIS%20Daniela%20Ibarlucia2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

IDEAM. (2012). *CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE CIUDADES PRINCIPALES.* Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc#:~:text=El%20promedio%20de%20lluvia%20total%20anual%20es%20de%201881%20mm,y%205%20d%C3%ADas%2>

- IDIGER. (2019). *Caracterización climatológica de Bogotá como un aporte al fortalecimiento de la red hidrometeorológica de Bogotá*. Obtenido de <https://www.idiger.gov.co/documents/20182/558631/Caract+Climatol%C3%B3gica+-+Bogot%C3%A1+%281%29.pdf/b5dbcea1-d291-40a0-8ee8-71ca322edcab>
- Lallanilla, M. (2020). *El desastre de Seveso*. Obtenido de <https://www.tree-hugger8.net/briefing-the-seveso-disaster-1708806>
- Landaeta, A. V. (2018). *Crecimiento poblacional, ¿riesgo para la calidad de vida?* . Obtenido de <https://www.eltiempo.com/bogota/crecimiento-de-poblacion-en-bogota-237688>
- López, M. A. (2017). *Análisis del crecimiento en Bogotá y su impacto a la calidad de*. Obtenido de <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1486&context=economia>
- Lozano, A. (2017). *Zonas de minería en la sabana de Bogotá*. Obtenido de <https://angelicalozano.co/zonas-mineria-la-sabana-bogota/#:~:text=Es%20importante%20resaltar%20que%20en,zona%20rural%20de%20Ciudad%20Bol%C3%ADvar>.
- Martins, A. (2017). *El sorprendente valor de los árboles para combatir la contaminación en el aire de las ciudades*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-39195220>
- Mendez, J. F. (2017). *Estudio de una intrusión de polvo sahariano en la atmósfera de Colombia*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/750/75058047002/html/index.html>
- Ministerio de Ambiente. (1997). Obtenido de https://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Resolucion619_19970707.htm

Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo. (2008). Obtenido de https://www.redjurista.com/Documents/resolucion_910_de_2008_ministerio_de_ambiente,_vivienda_y_desarrollo_territorial.aspx#/

Ministerio de ambiente y desarrollo. (2017). *Resolución 2254 del 01/11/2017*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/2.+Resoluci%C3%B3n+2254+de+2017+-+Niveles+Calidad+del+Aire..pdf/c22a285e-058e-42b6-aa88-2745fafad39f#:~:text=Par%C3%A1grafo%20%3A%20A%20partir%20del,y%2037%20ug%2Fm%20respectivamente.&text=promedio%20de%20c>

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2017). *Resolución 2254 del 2017*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/2.+Resoluci%C3%B3n+2254+de+2017+-+Niveles+Calidad+del+Aire..pdf/c22a285e-058e-42b6-aa88-2745fafad39f>

Ministerio de Ambiente, V. y. (2011). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527650/Resolucion+909+de+2008.pdf/a3bcdf0d-f1ee-4871-91b9-18eac559dbd9>

Ministerio de Ambiente, V. y. (2017). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/2.+Resoluci%C3%B3n+2254+de+2017+-+Niveles+Calidad+del+Aire..pdf/c22a285e-058e-42b6-aa88-2745fafad39f>

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO. (2008). *Resolución 909 de 2008*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527650/Resolucion+909+de+2008.pdf/a3bcdf0d-f1ee-4871-91b9-18eac559dbd9>

Ministerio de Ammbiente, V. y. (2013). Obtenido de https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambienteds_1111_2013.htm

Ministerios de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2008). *MANUAL PARA LA ELABORACION DE PLANES DE GESTIÓN AMBIENTAL*. Obtenido de [http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527540/Manual+para+la+Elaboraci%C3%B3n+de+Planes+de+Gesti%C3%B3n+de+la+Calidad+del+Aire.pdf/27cbbaaf-0ecf-4d86-b0dc-18a2402d694e#:~:text=PLANES%20DE%20GESTION%20DE%20LA%20CALIDAD%20DEL%20AIRE%20\(PGCA\)%3A,un%20marco%](http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527540/Manual+para+la+Elaboraci%C3%B3n+de+Planes+de+Gesti%C3%B3n+de+la+Calidad+del+Aire.pdf/27cbbaaf-0ecf-4d86-b0dc-18a2402d694e#:~:text=PLANES%20DE%20GESTION%20DE%20LA%20CALIDAD%20DEL%20AIRE%20(PGCA)%3A,un%20marco%20)

Núñez, A. M. (2013). *Análisis de las estrategias de mitigación y adaptación del sector transporte en la ciudad de Mexicali*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-69612013000200004#:~:text=Se%20entiende%20por%20estrategias%20de,el%20posterior%20planteamiento%20de%20soluciones.

Organización Mundial de la Salud. (2021). *Contaminación del aire ambiente (exterior)*. Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Ortega, O. (2019). *¿Por qué las partículas PM 2.5 son tan peligrosas para tu salud?* Obtenido de <https://www.elfinanciero.com.mx/nacional/enfermedades-respiratorias-cardiovasculares-y-cancer-los-riesgos-de-la-contingencia/>

Pell, H. (2019). *Three Mile Island: On the 1979 Accident and Its Decommissioning Forty Years Later*. Obtenido de <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/ex-libris-universum/three-mile-island-1979-accident-and-its>

Peñas, E. (2019). *Paneles de musgo para devorar la contaminación*. Obtenido de <https://red2030.com/paneles-de-musgo-para-devorar-la-contaminacion/>

Poblano, J. (2013). *USO DE BRIOFITAS COMO INDICADORES ATMOSFÉRICOS*. Obtenido de https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/089/45089744.pdf

Posada, A. (2018). *EL ENTORNO DE LA CIUDAD, UN ASUNTO DE RELACIONES. CASO BOGOTÁ - COLOMBIA*. Obtenido de

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262018000100207&lng=es&nrm=iso

Procuraduría General de la Nación. (2011). Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=21739>

Ramírez, C. (2013). *Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia*. Obtenido de <https://prosperityfund.uniandes.edu.co/site/wp-content/uploads/Caracterizaci%C3%B3n-de-la-contaminaci%C3%B3n-atmosf%C3%A9rica-en-Colombia.pdf>

Ramírez, J. (2021). *Bogotá promueve la justicia ambiental en calidad del aire*. Obtenido de <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/red-de-monitoreo-de-calidad-del-aire-bogota-uno-de-los-mas-robustos>

Real, J. D. (2019). *Conoce los cinco países de América Latina con peor calidad del aire. ¡entérate!* Obtenido de <https://www.expoknews.com/paises-mas-contaminados-en-america-latina/>

República Colombiana. (2000). Obtenido de <https://corponarino.gov.co/expedientes/juridica/2000decreto1552.pdf>

República, C. d. (2019). Obtenido de <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%201964%20DEL%2011%20DE%20JULIO%20DE%202019.pdf>

Rincón, M. d. (2007). *Políticas distritales frente a la contaminación atmosférica*. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/9739/u302880.pdf?sequence=1>

Rocha, J. O. (09 de 2021). *Solo 10 % de los habitantes de la capital respira aire de buena calidad. Estudio de Los Andes*. Obtenido de <https://uniandes.edu.co/es/noticias/ingenieria/la-desigualdad-de-la-calidad-del-aire-en-bogota>

- Rodriguez, A. (2018). *MODELIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE OVIEDO MEDIANTE LOS ENFOQUES PSO-SMV*. Obtenido de file:///C:/Users/lenovo/Downloads/Tesis%20Alejandro%20Rodr%C3%ADguez%20Miranda.pdf
- Rodríguez, J. D. (2019). Obtenido de <https://medioambiente.uexternado.edu.co/ley-1972-del-2019-por-medio-de-la-cual-se-establece-la-proteccion-de-los-derechos-a-la-salud-y-al-medio-ambiente-sano-estableciendo-medidas-tendientes-a-la-reduccion-de-emisiones-contaminante/>
- Romero, H. G. (2013). *Deforestación en Colombia: Retos y perspectivas*. Obtenido de https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/337/KAS%20SOLA_Deforestacion%20en%20Colombia%20retos%20y%20perspectivas.pdf?sequence=2&isAllowed=#:~:text=En%20Colombia%20las%20principales%20causas,presi%C3%B3n%20por%20el%20crecimiento%2
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Mexico. (2018). *Fuentes de Contaminación Atmosférica*. Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/fuentes-de-contaminacion-atmosferica>
- Secretaria de salud. (2022). *Demografia y salud*. Obtenido de <https://saludata.saludcapital.gov.co/osb/index.php/datos-de-salud/demografia/piramidepoblacional/>
- Semana. (2018). *Medellín: ¿Por qué respirar aire contaminado es tan peligroso para la salud?* Obtenido de <https://www.semana.com/impacto/articulo/medellin-por-que-respirar-aire-contaminado-es-tan-peligroso-para-la-salud/39650/#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20en%20la%20capital,material%20particulado%20a%20la%20atm%C3%B3sfera.>
- Semana. (2021). *¡Indignante! Cerca de 2.174 kilómetros de vías en Bogotá están destruidas y llenas de huecos*. Obtenido de <https://www.semana.com/bogota/articulo/indignante-cerca-de-2174-kilometros-de-vias-en-bogota-estan-destruidas-y-llenas-de-huecos/202138/>

ShareAmerica . (2020). *La contaminación atmosférica de China perjudica a sus ciudadanos y al mundo*. Obtenido de <https://share.america.gov/es/la-contaminacion-atmosferica-de-china-perjudica-a-sus-ciudadanos-y-al-mundo/#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica%20de%20China%20perjudica%20a%20sus%20ciudadanos%20y%20al%20mundo,-Por&text=La%20Rep%C3%BAblica%20P>

Siete días boyaca. (2019). *Así luce Raquira, el municipio con el aire más contaminado de Boyaca*. Obtenido de <https://boyaca7dias.com.co/2019/03/19/galeria-asi-luce-raquira-el-municipio-con-el-aire-mas-contaminado-de-boyaca/>

Solis, A. (2021). *Estos son los 10 países que más contaminan el planeta*. Obtenido de <https://forbes.co/2021/04/22/actualidad/estos-son-los-10-paises-que-mas-contaminan-el-planeta/>

Sputnik. (2021). *Los 9 países con mayor contaminación del aire en América Latina*. Obtenido de <https://mundo.sputniknews.com/20211006/los-9-paises-con-mayor-contaminacion-del-aire-en-america-latina-1116825201.html>

Taylor, A. (2014). *Bhopal: The World's Worst Industrial Disaster, 30 Years Later*. Obtenido de <https://www.theatlantic.com/photo/2014/12/bhopal-the-worlds-worst-industrial-disaster-30-years-later/100864/>

UniR. (2021). *Que es la planificación*. Obtenido de <https://mexico.unir.net/ingenieria/noticias/planificacion-proyecto/>

Universidad de los Andes. (2013). *Marco Teórico de contaminación atmosférica en Colombia*. Obtenido de <https://prosperityfund.uniandes.edu.co/site/wp-content/uploads/Caracterizaci%C3%B3n-de-la-contaminaci%C3%B3n-atmosf%C3%A9rica-en-Colombia1.pdf>

Urbano, M. C. (2008). Obtenido de https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Nu_mero_25/MANUELA_CORDOBA_URBANO01.pdf

- Vargas, F. J. (2019). *Contaminación ambiental en Bogotá: Responsables notorios y soluciones tentativas*. Obtenido de <http://revistasupuestos.com/desarrollo/2019/5/8/contaminacin-ambiental-en-bogot-responsables-notorios-y-soluciones-tentativas#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20Secretar%C3%ADa%20de%20Medio,de%20la%20contaminaci%C3%B3n%20en%20Bogot%C3%A1>.
- Vidal, A. (25 de 06 de 2020). *¿Que es la calidad del aire?* Obtenido de <https://www.carder.gov.co/calidad-del-aire/>
- Villamil, E. (2021). *¿Cuál es el plan del Distrito para mejorar la calidad del aire de Bogotá?* Obtenido de <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/plan-estrategico-para-la-gestion-integral-de-la-calidad-del-aire>
- Westreicher, G. (2021). *Recolección de datos*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/recoleccion-de-datos.html>
- Ybarra, T. (2019). *Un árbol de musgo para descontaminar ciudades*. Obtenido de https://www.arquitecturaydiseno.es/pasion-eco/arbol-ciencia-que-absorbe-contaminacion_991
- Zarza, N. (2022). *Política ambiental*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/politica-ambiental-que-es-y-ejemplos-42.html>

12 ANEXO 1: MARCO NORMATIVO NACIONAL

- Decreto 2811 de 1974 Se reglamente el código nacional de recursos naturales renovables y de protección del medio ambiente y se aplica el artículo 74 donde se prohíbe y restringe la descarga de polvo, humo, gases y cualquier otro contaminante en el aire, que pase el nivel permitido y represente peligro para las personas y el medio ambiente (Gobierno Nacional de Colombia, 1974)
- Ley 9 de 1979: Indica las medidas sanitarias aplicables para el país y se aplica en el contexto de aire el artículo 44 donde se prohíbe la descarga de contaminantes en el aire superiores a la permitida por la norma, artículo 45 se indica que cuando los niveles permitidos de contaminantes sean sobrepasados por una fuente de emisión se debe aplicar un sistemas de tratamiento para poder cumplir con lo establecido en la norma, artículo 49 por el cual se prohíbe el uso de combustibles que contengan sustancias que sobrepasen lo permitido por la norma (Congreso de Colombia, 1979)
- Ley 30 de 1990 Se aprueba el convenio de Viena para la protección de la capa de ozono y se incluye en la norma ambiental Colombiana (Congreso de la Republica Colombiana, 1985)
- Ley 29 de 1992 Se aprueba el protocolo de Montreal para las sustancias capaces de agotar la capa de ozono (Congreso de la Republica Colombiana, 1992)
- Decreto 948 y 2107 de 1995 se indica la protección del aire y el control y prevención de la contaminación atmosférica
Modifica parcialmente el reglamento de protección de la calidad del aire del decreto 948
- Resolución 619 de 1997 Indica las situaciones en que las fuentes fijas que requieren permisos para emisiones atmosféricas (Ministerio de Ambiente, 1997)

- Decreto 1552 de 2000 modificación parcial del decreto 948 de 1995 en la prohibición de las emisiones por parte de fuentes móviles que utilicen ACPM (Republica Colombiana, 2000)
- Ley 769 de 2002 se expide el código nacional de tránsito terrestre para el país, los artículos aplicables en el contexto aire son: artículo 50 por la cual se indican las condiciones mecánicas, seguridad y medio ambiente, artículo 51 y 52 revisiones de los vehículos, artículo 53 el cual indica que deben ir a centros donde se haga el diagnóstico del vehículo, artículo 103 indica los niveles permisibles de emisiones a la atmosfera por fuentes móviles (Congreso de la Republica Colombiana 2002)
- Resolución 910 de 2008 indica los niveles máximos permitidos de emisión para fuentes móviles terrestres. (Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo, 2008)
- Ley 1383 de 2010 realiza la reforma de la ley 769 de 2002 y se aplica los artículos del 4 al 28 (Congreso de Colombia, 2010) (Ministerio de Ambiente, 2011)
- Resolución 935 de 2011 indica métodos para realizar evaluaciones de las emisiones provenientes de fuentes fijas
- Decreto 19 de 2012: se aplican el decreto 201 que indica que se debe realizar revisiones periódicas a los automotores, artículo 202 se indica que se debe realizar la primera revisión del vehículo y el artículo 203 indica que los automotores deben pasar por un diagnostico (Congreso de la republica, 2012)
- Resolución 1111 de 2013 se realiza la modificación de la resolución 910 de 2008 que indicaba niveles permisibles de emisión de los contaminantes (Ministerio de Ammbiente, 2013)
- Decreto 1076 de 2016 se expide el reglamento del sector ambiente y desarrollo sostenible
- Resolución 2254 de 2017 Se legaliza la normatividad ambiental sobre el aire y se crean disposiciones para el recurso aire y así dar garantía de un ambiente

sano y disminuir el riesgo en la salud humana (Ministerio de Ambiente, 2017)

- Ley 1964 de 2019 promueve el uso de vehículos eléctricos (republica, 2019)
- Ley 1972 de 2019 indica medidas para la reducción de emisiones que contaminan el aire proveniente de fuentes móviles (Rodríguez, 2019)
- Ley 2 del 2020: se crea la región metropolitana de Bogotá con el objetivo de garantizar la ejecución de planes y programas de desarrollo sostenible
- Directiva 7 de 2005 indica lineamientos para garantizar la conservación del medio ambiente y acoge planteamientos del Decreto 456 de 2008, mediante el cual se adopta el Plan de Gestión Ambiental (Procuraduría General de la Nación, 2011)
- Decreto 596 de 2011 Indica la gestión, para mejorar la salud ambiental de la ciudad, contando con una línea de intervención que tiene relación con la contaminación atmosférica y el impacto de salud publica
- Resolución 651 de 2020 se crea el subsistema información sobre calidad del aire Sisair (IDEAM,2020)