



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## DIRECCIÓN DE POSGRADO

### MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL CON MENCIÓN EN DESARROLLO SOSTENIBLE

#### MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**Título:**

---

**“DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN A LA  
ATMÓSFERA POR EMISIONES DE CO EN EL DISTRITO  
METROPOLITANO DE QUITO”**

---

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Gestión  
Ambiental con Mención en Desarrollo Sostenible.

**Autor:**

Juan Diego Burgos Tatés Ing.

**Tutor:**

Daza Guerra Óscar Rene MSc.

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2023**

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor de Titulación "Determinación de los niveles de contaminación a la atmósfera por emisiones de CO en el Distrito Metropolitano de Quito" presentado por Ing. Juan Diego Burgos Tatés, para optar por el título Magíster en Gestión Ambiental con Mención en Desarrollo Sostenible.

## CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y meritorios suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, junio, 22, 2023



.....  
Msc. Óscar Rene Daza Guerra  
CC: 0400689790

---

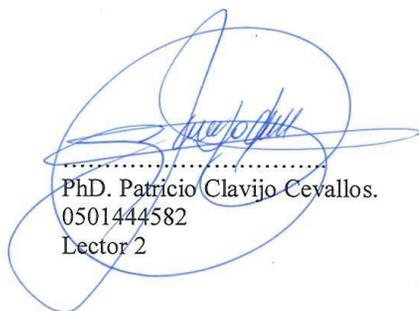
## APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: "Determinación de los niveles de contaminación a la atmósfera por emisiones de CO en el Distrito Metropolitano de Quito", ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Gestión Ambiental con Mención en Desarrollo Sostenible; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, junio, 22, 2023



.....  
PhD. José Antonio Andrade Valencia.  
0502524481  
Presidente del tribunal



.....  
PhD. Patricio Clavijo Cevallos.  
0501444582  
Lector 2



.....  
M.Sc. Isaac Eduardo Cajas Cayo  
0502205164  
Lector 3

## DEDICATORIA

"A mi amada esposa Janeth Delgado, quien ha sido mi compañera de vida y mi roca durante todo este proceso de estudio. Gracias por estar a mi lado en los momentos más difíciles y por ser mi motivación constante para seguir adelante.

A mis queridos padres, Aquiles y Glorita quienes han sido mi fortaleza a lo largo de este proceso. Su amor incondicional, su sabiduría y su constante apoyo han sido pilares fundamentales en mi camino hacia la realización de mis sueños. Gracias por siempre estar ahí, animándome y brindándome su amor inquebrantable

Mi más sincero agradecimiento a mis hermanos Hernán y Michelle, quienes siempre me ha dado ánimos para seguir adelante. Su apoyo incondicional han sido un motor en mi camino hacia el éxito. Gracias por creer en mí y por estar siempre presente en cada etapa de mi vida.

También quiero agradecer a mis sobrinas Amelia y Constanza, quienes me han llenado de alegría y han sido una gran fuente de inspiración. Sus sonrisas y su amor han sido mi fuerza para superar los obstáculos en el camino.

Este logro no habría sido posible sin ustedes. Les dedico mi tesis de maestría con todo mi corazón."

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios por su constante guía y fortaleza durante mi trayectoria en la maestría.

A mi amada esposa, a mis padres y a mis hermanos, les agradezco su incondicional apoyo y ánimo, que fueron fundamentales para culminar esta etapa de mi formación académica.

De manera especial, agradezco a mi tutor por su orientación y aliento constante para completar exitosamente el trabajo de titulación.

También quiero agradecer a la Universidad Técnica de Cotopaxi por brindarme la oportunidad de realizar mi preparación profesional y por hacer realidad este importante logro en mi vida.

¡Gracias a todos por su apoyo!

Juan Diego Burgos Tatés

## **RESPONSABILIDAD DE AUTORIA**

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación.

Latacunga, junio, 22, 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'J. D. Burgos Tatés', enclosed within a blue oval shape.

.....  
Ing. Juan Diego Burgos Tatés  
CC: 1717998932

## RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, junio, 22, 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'J. D. Burgos Tatés', enclosed within a blue oval shape.

.....  
Ing. Juan Diego Burgos Tatés  
CC: 1717998932

## **AVAL DEL PRESIDENTE**

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: "Determinación de los niveles de contaminación a la atmósfera por emisiones de CO en el Distrito Metropolitano de Quito", contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los miembros del tribunal en la predefensa.

Latacunga, junio, 22, 2023



PhD. José Antonio Andrade Valencia.  
C.C: 0502524481  
Presidente del tribunal

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL CON MENCIÓN EN  
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**Título:** “Determinación de los niveles de contaminación a la atmósfera por emisiones de CO en el Distrito Metropolitano de Quito”.

**Autor:** Ing. Burgos Tatés Juan Diego

**Tutor:** Msg. Ing. Óscar Daza

**RESUMEN**

Se realizó una investigación con el propósito de analizar la calidad del aire en el Distrito Metropolitano de Quito y comparar con la normativa actual vigente con base en la información recogida por las estaciones de monitoreo de la Secretaria de Ambiente Quito para los años 2018, 2019, 2020 y 2021, en donde se aplicó el diseño de investigación cuantitativo descriptivo, con la revisión de bibliografía, sistematización de los datos y posterior análisis estadístico, se utilizó como referencia el Índice Quiteño de Calidad del Aire para determinar la condición de contaminación y la posible afectación a la salud. Los resultados evidenciaron que en para los años 2018 y 2019 la condición fue Aceptable en alrededor de 281 días al año, manteniéndose esta misma condición para los años 2020 y 2021 pero con la concentración de CO más baja; además se encontró que la estación con concentración Muy Alta es la de El Camal de donde va disminuyendo hacia las afueras de la ciudad. Por lo tanto, se concluye que las fuentes móviles aportan con el 90% de los contaminantes que se encuentran en el aire, lo cual se redujo considerablemente durante las restricciones de movilidad que se implementaron durante el 2020, teniendo un ligero ascenso durante el 2021, por lo cual la implementación de medidas para reducir la carga de contaminantes al aire es esencial para prevenir y proteger la salud de los habitantes del Distrito Metropolitano de Quito.

**PALABRAS CLAVE:** CO; IQCA; fuentes móviles; calidad del aire; Distrito Metropolitano de Quito.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL CON MENCIÓN EN DESARROLLO  
SOSTENIBLE

**Topic:** "Pollution levels determination to the atmosphere by CO emissions in the Quito Metropolitan District".

**Author:** Burgos Tatés Juan Diego

**Tutor:** Msg. Ing. Óscar Daza

**ABSTRACT**

It was made a research with the purpose at analyzing the air quality in the Quito Metropolitan District and comparing with the current regulations into based on the collected information by the monitoring stations from Quito Environment Secretariat for the 2018, 2019, 2020 and 2021 years, where it was applied the descriptive quantitative research design, with the review of bibliography, data systematization and subsequent statistical analysis, it was used as a reference the Quiteño Air Quality Index to determine the pollution condition and the possible health affectation. The results evidenced, which in the 2018 and 2019 years, the condition was Acceptable on around 281 days a year, keeping this same condition for the 2020 and 2021 years, but with the lowest CO concentration; further, it was found, what the station with Very High concentration is, which from El Camal, where it goes to diminishing towards the outskirts from city. Therefore, it is concluded, what mobile sources contribute pollutants 90% that are found in the air, which considerably, was reduced during the mobility restrictions, that were implemented during 2020, having a slight ascent during 2021, that is why, the measures implementation for reducing the air pollutants load is essential to prevent and protect the inhabitants health from Quito Metropolitan District.

**KEYWORDS:** CO; IQCA; mobile sources; air quality

Yo, Marco Paúl Beltrán Semblantes con cédula de identidad número: 0502666514 Magíster en Lingüística Aplicada en la enseñanza del Idioma Inglés como Lengua Extranjera con número de registro de la SENESCYT ; 1020-2021-2354162: **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: "**DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN A LA ATMÓSFERA POR EMISIONES DE CO EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**" de: **Burgos Tatés Juan Diego**, aspirante a Magíster en Gestión Ambiental . Mención Desarrollo Sostenible.

Atentamente,

Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes

**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC**

CC: 0502666514



Latacunga, Junio del 2023

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN</b> .....	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>x</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
Justificación.....	3
Planteamiento del Problema.....	4
Pregunta de Investigación .....	4
Objetivos de la Investigación .....	5
Objetivo General .....	5
Objetivos Específicos.....	5
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>8</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>8</b>
1.1. Fundamentación Teórica .....	8
1.1.1. Contaminación Atmosférica y Salud .....	8
1.1.2. Convenios Internacionales .....	9
1.1.3. Ciclo Biogeoquímico del Carbono.....	14
1.1.4. Normativa que se aplica para Ecuador acerca del cambio climático y ambiente .....	16
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>24</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>24</b>
1.1. Ubicación Geográfica del Área de Estudio .....	24

1.2.	Definición del Problema.....	25
1.3.	Objeto de Investigación.....	25
1.4.	Tipo de Investigación.....	25
1.4.1.	Descriptiva.....	25
1.4.2.	Cuantitativo.....	25
1.4.3.	Exploratorio.....	26
1.5.	Fuente de Datos.....	26
1.6.	Métodos, Técnicas, E Instrumentos.....	30
1.6.1.	Materiales.....	30
1.6.2.	Métodos.....	30
<b>CAPITULO III.....</b>		<b>42</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN POR OBJETIVO ESPECÍFICO.....</b>		<b>42</b>
3.1.	Objetivo específico 1:.....	42
3.2.	Objetivo específico 2:.....	45
3.2.1.	Temperatura.....	45
3.2.2.	Contaminantes.....	47
3.3.	Objetivo específico 3:.....	53
3.4.	Objetivo específico 4:.....	55
3.4.1.	Propuesta.....	55
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>71</b>
4.1.	CONCLUSIONES.....	71
4.2.	RECOMENDACIONES.....	72
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>73</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Matriz resumen de objetivos Matriz resumen de objetivos .....	5
<b>Tabla 2.</b> Concentraciones de contaminantes criterio que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire.....	17
<b>Tabla 3.</b> Ubicación de las estaciones de la REMMAQ.....	1919
<b>Tabla 4.</b> Estaciones de monitoreo de Distrito Metropolitano de Quito y los contaminantes monitoreados.....	27
<b>Tabla 5.</b> Basada en la Tabla 9 Secretaria de Ambiente, 2014.....	28
<b>Tabla 6.</b> Medición de parámetros meteorológicos. Basada en la tabla 1.13 de Secretaria de Ambiente, 2014.....	29
<b>Tabla 7.</b> Concentraciones de contaminantes criterio que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire.....	32
<b>Tabla 8.</b> Concentraciones de contaminantes criterio que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire.....	334
<b>Tabla 9.</b> Ejemplo de la información de las estaciones de monitoreo en el 1 de enero del 2018, concentración de CO en 24 horas en mg/m <sup>3</sup> .....	3737
<b>Tabla 10.</b> Información de las estaciones de monitoreo del año 2018, concentración de CO en el año 2018 en mg/3.....	38
<b>Tabla 11.</b> Análisis general de la calidad del aire en el DMQ para el año 2018. ....	4242
<b>Tabla 12.</b> Análisis general de la calidad del aire en el DMQ para el año 2019 .....	43
<b>Tabla 13.</b> Análisis general de la calidad del aire en el DMQ para el año 2020. ....	44
<b>Tabla 14.</b> Análisis general de la calidad del aire en el DMQ para el año 2021. ....	44
<b>Tabla 15.</b> Acciones de mejora propuestas para el sistema de movilidad de la ciudad de Quito.....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ciclo biogeoquímico del Carbono	15
..... ¡Error! Marcador no definido.	
<b>Figura 2.</b> Mapa de ubicación del Distrito Metropolitano de Quito	2424
<b>Figura 3.</b> Mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo en el Distrito Metropolitano de Quito y su área de influencia.	28
<b>Figura 4.</b> Calculo del Índice Quiteño de calidad de aire (IQCA)	3333
<b>Figura 5.</b> Categorías IQCA y valores límites para cada contaminante y código de colores correspondiente.	3333
<b>Figura 6.</b> Perfiles de temperatura correspondientes al año 2021.	46
<b>Figura 7.</b> Monóxido de Carbono analizado con datos correspondientes al año 2018.	48
.....	
<b>Figura 8.</b> Monóxido de Carbono analizado con datos correspondientes al año 2019.	49
.....	
<b>Figura 9.</b> Monóxido de Carbono analizado con datos correspondientes al año 2020.	50
.....	
<b>Figura 10.</b> Monóxido de Carbono analizado con datos correspondientes al año 2021.	51
.....	
<b>Figura 11.</b> Mapa de concentración de Monóxido de Carbono en el DMQ	52
<b>Figura 12.</b> Mapa de concentración de Monóxido de Carbono en el DMQ por estación de monitoreo.	54
<b>Figura 13.</b> Tendencia de emisión de contaminantes del DMQ	62
<b>Figura 14.</b> Densidad de líneas de buses urbanos, Inter parroquiales e Inter cantónales en aglomeración en Quito.	64
<b>Figura 15.</b> Pasos de un plan de mejoras	66
<b>Figura 16.</b> Tendencia de la relación volumen/ capacidad y velocidad promedio en la red vial principal del DMQ – 2025	67

**Título del Proyecto:** Determinación de los niveles de contaminación a la atmósfera por emisiones de CO en el Distrito Metropolitano de Quito”.

**Línea de investigación:** Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local. - Sostenibilidad ambiental.

**Proyecto de investigación asociado:** Desarrollo de la conservación de los recursos naturales y la sostenibilidad ambiental en comunidades de la Zona 3 del Ecuador.

**Grupo de Investigación:** Sostenibilidad ambiental

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la contaminación ambiental en especial del aire es un problema grave en todo el mundo, debido a que se encuentra presente de forma marcada en las grandes urbes y que se ha extendido a pequeñas ciudades sin importar su nivel socioeconómico ya que afecta en gran medida a la salud de las personas (OMS 2018).

Para el año 2016, la Organización Mundial de la Salud determinó que los índices de contaminación del aire en las zonas urbanas y rurales estuvieron en niveles elevados representando un riesgo para la salud humana originando con mayor frecuencia enfermedades cardiovasculares y respiratorias, que de acuerdo a las estadísticas producen 4.2 millones de muertes por año alrededor del mundo (OMS 2022), especialmente en grupos vulnerables como: niños, adultos mayores, mujeres embarazadas y personas con afecciones respiratorias.

Se proyecta que las muertes prematuras asociadas a la contaminación atmosférica para el año 2060 estaría entre los 6 y 9 millones por año, lo que añadiría un costo del 1% al PIB (OECD, 2016). Además, la contaminación del aire también tiene graves consecuencias para la biodiversidad y el clima, ya que puede afectar negativamente la calidad del agua, el suelo y los ecosistemas en general.

Por otro lado, en América Latina es una región que también se enfrenta a importantes desafíos en términos de calidad del aire. Según la (OMS), la región tiene algunos de los niveles más altos de contaminación del aire en el mundo. Las principales fuentes de contaminación del aire en LATAM son la industria, el transporte, la agricultura y la quema de combustibles fósiles para la generación de energía. En las zonas urbanas, el tráfico vehicular es una de las principales fuentes de emisiones de gases contaminantes, como el dióxido de nitrógeno y el material particulado, la quema de biomasa para la cocción y la calefacción también es una fuente importante de emisiones en zonas rurales y semiurbanas.

Para el caso de Ecuador, la calidad del aire es un tema de preocupación para la salud pública y el medio ambiente. En las ciudades más grandes del país, como Quito y Guayaquil, la contaminación del aire ha alcanzado niveles preocupantes debido a la actividad industrial y el alto tráfico vehicular.

Ello, ya que de acuerdo con la Secretaría de Ambiente de Quito, el tráfico vehicular es responsable del 65% de las emisiones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y el 41% de las emisiones de material particulado fino (PM<sub>2.5</sub>) en la ciudad (Secretaria de Ambiente, 2021a). Estas partículas finas pueden penetrar en los pulmones y el torrente sanguíneo y causar problemas de salud graves, como enfermedades cardiovasculares y respiratorias.

No obstante, el gobierno ecuatoriano ha implementado algunas políticas para abordar la problemática de la contaminación del aire, todavía hay mucho por hacer. La normativa actual en el país establece límites permisibles para las emisiones de contaminantes, pero estos límites aún no se aplican de manera efectiva. Además, el monitoreo de la calidad del aire en Ecuador es limitado y no siempre es confiable.

Además, la contaminación del aire en Ecuador también tiene un impacto significativo en la salud pública. Según la OMS, la exposición prolongada a la contaminación del aire puede provocar enfermedades graves, como cáncer de pulmón, enfermedades cardiovasculares y respiratorias, y daño cerebral. En Ecuador, estas enfermedades son una causa importante de mortalidad y morbilidad, especialmente en las zonas urbanas.

Por otra parte, en el caso de la ciudad de Quito, la contaminación atmosférica es una problemática que afecta la salud de sus habitantes y el medio ambiente en general. Según el informe de la Secretaría de Ambiente de Quito (Secretaria de Ambiente, 2021a), el transporte y la industria son las principales fuentes de emisiones contaminantes en la ciudad.

En este contexto, es importante monóxido de carbono destacar que la determinación de los niveles de contaminación por emisiones de CO en el Distrito Metropolitano de Quito de forma permanente puede tener una gran relevancia, ya que permitiría tener un

registro de línea base y establecer metas específicas de reducción de emisiones, a través de políticas públicas y programas de gestión ambiental con mayor detalle.

Además, estos datos podrían utilizarse para realizar comparaciones en el tiempo y entre diferentes ciudades, lo que permitiría obtener información útil para la toma de decisiones en la gestión ambiental y para el diseño de medidas específicas para reducir la contaminación en Quito.

### **Justificación**

La presente investigación tiene como objetivo determinar los niveles de contaminación por las emisiones de monóxido de carbono (CO) que se emiten a la atmósfera en el cantón Quito, provincia de Pichincha. Esto debido a que dicho compuesto es uno de los mayores contaminantes que son lanzados al ambiente, en donde los vehículos son la principal fuente de producción seguido de los procesos industriales, debido al uso de combustibles fósiles como diésel y gasolina.

En grandes ciudades como Quito, la capital del Ecuador, el modelo de desarrollo urbano que mantiene a priorizado la expansión horizontal hacia los extremos y a los valles, formando una extensa mancha urbana, lo cual ha obligado a su población a realizar viajes más largos para acceder a servicios o trabajo, por lo que la alternativa de transporte más utilizado es el vehículo particular que le ha ido ganando en espacio al transporte público.

Con estos antecedentes y ante la creciente necesidad de disminuir la contaminación del aire en la ciudad, además de las múltiples consecuencias que ha provocado y las que se podrían producir en el futuro, lo cual ha motivado la ejecución del presente estudio con el fin de analizar la calidad del aire en el Distrito Metropolitano de Quito y comparar con la normativa actual con base en la información obtenida de las estaciones de monitoreo de la Secretaria de Ambiente, con el fin de obtener un diagnóstico de calidad del aire y con ello identificar los sectores con mayor concentración de Monóxido de Carbono a fin de elaborar una propuesta de mejoras para reducir los niveles de contaminación.

Por otra parte, los principales beneficiarios de este trabajo de investigación serán los ciudadanos que viven en opacidad de Quito, ya que se buscará incrementar la calidad de aire favoreciendo a la vida. Al mismo tiempo la propuesta diseñada será de gran utilidad para las autoridades de Quito, ya que tendrán información válida para poder solucionar los problemas de contaminación del aire de la ciudad.

### **Planteamiento del Problema**

La problemática presente en la movilidad del DMQ radica en su geografía que, por ser una ciudad de tipo longitudinal, las opciones de solución se ven limitadas a mejorar los sistemas de transporte masivo y a implementar en corto plazo sistemas que lo potencialicen; como es el ejemplo del Metro para la ciudad de Quito.

A pesar que el principal problema de la contaminación del aire son los vehículos en más del 90%. Un estudio reciente de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito reveló que, desde mediados de marzo hasta finales de junio del 2020, los niveles de contaminación atmosférica se redujeron considerablemente. El resultado del estudio arrojó que, entre los meses de abril y junio el porcentaje de contaminación de NO<sub>2</sub> (dióxido de nitrógeno) disminuyó en un 70% (Primicias, 2020).

El principal problema que presenta la ciudad de Quito es la elevada contaminación del aire, ello debido a la gran cantidad de vehículos que circulan diariamente por la ciudad, lo que genera emisiones constantes de dióxido de carbono que contamina el aire afectando la salud de las personas que viven o visitan esta ciudad.

### **Pregunta de Investigación**

¿Cuáles son los niveles de contaminación a la atmósfera por las emisiones de CO en el Distrito Metropolitano de Quito?

## Objetivos de la Investigación

### Objetivo General

- Analizar la calidad del aire en el Distrito Metropolitano de Quito y compararlos con la normativa actual vigente con base en la información de las estaciones de monitoreo de la Secretaria de Ambiente, con el fin de obtener un diagnóstico y proponer estrategias para mejorar la calidad de aire en la ciudad.

### Objetivos Específicos

- Determinar el nivel de contaminación del aire en la ciudad de Quito,
- Sistematizar la información de las estaciones de monitoreo de calidad del aire del Distrito Metropolitano de Quito en el periodo 2018-2021, para establecer los niveles de contaminación por emisiones de CO.
- Realizar un mapa de la calidad del aire en el Distrito Metropolitano de Quito, con la información de la red de monitoreo que mantiene la Secretaria de Ambiente, con el fin de establecer geográficamente los sectores con mayor contaminación de CO.
- Elaborar una propuesta de plan de mejoras para el sistema de movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito donde priorizará la reducción los niveles de concentración de Monóxido de Carbono emitido por los automotores.

*Tabla 1. Matriz resumen de objetivos*

Objetivos	Actividades	Metodología	Resultado
a. Determinar si el índice de calidad del aire del Distrito Metropolitano	Recolección e interpretación de la información de	Revisión del portal web de la Secretaria de Ambiente ( <a href="http://www.quitoambiente.gob.ec">www.quitoambiente.gob.ec</a> ).	Selección de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire en donde se

<p>Quito se encuentra dentro de los límites permisibles enmarcados en las normativas nacionales referentes al Monóxido de Carbono.</p>	<p>informes anuales de calidad de aire en el D.M.Q.</p>	<p>registren los siguientes contaminantes: CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>.</p>	
<p>b. Sistematizar la información de las estaciones de monitoreo de calidad del aire del Distrito Metropolitano de Quito en el periodo 2018-2021, para establecer los niveles de contaminación por emisiones de CO.</p>	<p>Selección de las estaciones de monitoreo de en donde se mida el contaminante de CO, entre los años 2018 a 2021.</p>	<p>Mediante el análisis estadístico en donde se calcula la mediana con el fin de equilibrar los sesgos generados por los datos extremos.</p>	<p>Análisis del comportamiento de la temperatura, precipitación, y monóxido de Carbono para los años 2018, 2019, 2020 y 2021.</p>
<p>c. Realizar un mapa de la calidad del aire en el Distrito Metropolitano de Quito, con la información de la red de monitoreo</p>	<p>Selección de una muestra de datos recogidos para los años 2018 hasta 2021 de las estaciones de</p>	<p>Procesamiento de la información, mediante el promedio de los datos anuales de contaminación dentro del periodo de análisis.</p>	<p>Mapa de calidad del aire comprendido entre los años 2018 y 2021 para el D.M.Q.</p>

que mantiene la monitoreo  
 Secretaria de que tengan  
 Ambiente, con el como  
 fin de establecer parámetros de  
 geográficamente medición el  
 los sectores con CO.  
 mayor  
 contaminación de  
 CO.

d.	Elaborar una propuesta de plan de mejoras para el sistema de movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito donde priorizará la reducción de niveles de concentración de Monóxido de Carbono emitido por automotores.	Análisis de los resultados obtenidos respecto a la calidad del aire del Distrito Metropolitano de Quito entre los años 2018 – 2021 y el diseño de un Plan de mejoras para el sistema de movilidad en el DMQ.	Diseño del Plan de mejoras para el sistema de movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito.	Plan de mejoras para el sistema de movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito.
----	--	--	--	---

*Nota: esta tabla muestra los objetivos específicos que se plantearon para cumplir con el objetivo general, en la cual se resumen la actividad principal, metodología y resultado obtenido por objetivo. Fuente: Elaboración propia.*

## **CAPÍTULO I.**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **1.1. Fundamentación Teórica**

##### **1.1.1. Contaminación Atmosférica y Salud**

La contaminación atmosférica es el mayor riesgo ambiental para la salud humana y una de las principales causas evitables de muertes y enfermedades en todo el mundo, responsable de aproximadamente 6,5 millones de muertes prematuras en todo el mundo (en 2016) atribuidas a la contaminación atmosférica en interiores y al aire libre. En los países en desarrollo, este tipo de contaminación afecta de manera desproporcionada a las mujeres, los niños y los ancianos, y en particular a las poblaciones de bajos ingresos que a menudo están expuestas a altos niveles de contaminación del aire en interiores y en espacios abiertos resultante de los métodos de cocina y calefacción que utilizan leña y queroseno. La contaminación atmosférica es un problema mundial que tiene repercusiones de largo alcance debido a su vasta propagación, y porque, si no se produce una intervención agresiva, el número de muertes causadas por la contaminación del aire en espacios abiertos va camino de aumentar en más de un 50 por ciento antes de 2050 (Naciones Unidas, 2020)

La sociedad tiene que soportar los elevados costos de esta contaminación ya que tiene impacto negativo sobre la economía, la productividad laboral, los costos de atención sanitaria y el turismo, entre otros. Por lo tanto, no podemos subestimar los beneficios que supondría invertir en el control de dicha contaminación y, que existe también una justificación económica para actuar y disponemos de soluciones eficaces en función de los costos para hacer frente a la contaminación atmosférica (Naciones Unidas, 2020)

Casi toda la población mundial (el 99%) respira un aire que supera los límites de calidad del aire establecidos por la Organización Mundial de la Salud y que pone en peligro nuestra salud, según los resultados de la actualización 2022 de su base de datos sobre la calidad del aire. De acuerdo con la nueva información, presentada en vísperas del Día Mundial de la Salud, un número récord de más de 6000 ciudades de 117 países vigilan ya la calidad del aire, 2000 más que en la última actualización de 2018, lo que un aumento de casi seis veces desde que la base de datos se puso en marcha en 2011 Y, sin embargo, los habitantes de esas ciudades siguen respirando niveles insalubres de partículas finas y de dióxido de nitrógeno. Los más expuestos son los habitantes de los países de ingresos bajos y medios. Estos resultados han llevado a la Organización Mundial de la Salud a subrayar la importancia de frenar el uso de combustibles fósiles y tomar otras medidas tangibles para reducir los niveles de contaminación atmosférica (Naciones Unidas, 2022)

### **1.1.2. Convenios Internacionales**

#### **1.1.2.1. Declaración de Río Sobre el Medio Ambiente y Desarrollo**

La Declaración sobre Medio Ambiente y Desarrollo fue aprobada por la Asamblea General durante la Cumbre de Río en 1992. La declaración se basa en una declaración anterior sobre desarrollo sostenible adoptada en Estocolmo en 1972. El propósito de la declaración es promover nuevas formas de cooperación entre países, industrias y pueblos. Entre sus 27 principios, abarca temas como la protección del medio ambiente; relaciones entre desarrollo económico sostenible y desarrollo ambiental; cooperación entre países para proteger, mantener y restaurar la "salud" y los recursos naturales del

planeta y leyes ambientales efectivas sobre responsabilidad nacional, participación ciudadana en la protección del medio ambiente, entre otros principios (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo., 1992).

#### 1.1.2.2. Protocolo de Kioto

El Protocolo de Kioto se aprobó el 11 de diciembre de 1997 y comenzó a implementarse el 16 de febrero de 2005. Actualmente, 192 países que forman parte de este Protocolo, el cual pone en acción la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático al pedir a los países desarrollados que reduzcan y limiten sus emisiones de gases de efecto invernadero de acuerdo con los objetivos individuales acordados. El Protocolo de Kioto es una adición a la Convención, utilizando sus directrices y principios. Pide a los países que implementen políticas y medidas de mitigación, y que informen sobre su progreso a intervalos establecidos. Simplemente vincula a los países desarrollados bajo el principio de "responsabilidades comunes pero diferenciadas y capacidades respectivas" y les impone una carga más pesada, ya que reconoce que son los principales responsables de los altos niveles actuales de emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. En su Anexo B, el Protocolo de Kioto establece objetivos vinculantes de reducción de emisiones para 36 países industrializados y la Unión Europea. En conjunto, estos objetivos suponen una reducción media de las emisiones del 5 % en comparación con los niveles de 1990 durante el período de cinco años 2008-2012 (el primer período de compromiso) (United Nations Climate Change, 2022).

Los GEI considerados por el Protocolo de Kioto son los 6 gases que se piensa son los mayores responsables del incremento de la temperatura global y los disturbios en los patrones de clima son:

- Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>): Gas natural liberado como un producto de la combustión de combustibles fósiles, algunos procesos industriales y cambios en el manejo de usos de suelo. Se considera para el CO<sub>2</sub> el valor base del GWP igual a 1.

- Metano (CH<sub>4</sub>): Gas emitido en la minería de carbón, rellenos sanitarios, ganadería y extracción de gas y petróleo. El CH<sub>4</sub> tiene un GWP igual a 21 (21 veces más potente que el CO<sub>2</sub>).
- Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O): Gas emitido durante la elaboración de fertilizantes y combustión de combustibles fósiles donde el sector transporte es usualmente el contribuyente más significativo. N<sub>2</sub>O tiene un GWP igual a 296 (296 veces más potente que el CO<sub>2</sub>).
- Hidrofluorocarbonos (HFCs). Se emite algunos procesos industriales y frecuentemente es usado en refrigeración y equipos de aire acondicionado. HFCs tiene un GWP igual a 1.300 (1.300 veces más potente que el CO<sub>2</sub>).
- Perfluorocarbonados (PFCs). Similar a los HFCs. PFCs fueron desarrollados e introducidos como una alternativa para los gases CFCs y HCFCs que destruían la capa de ozono. Estos gases son emitidos en una variedad de procesos industriales. PFCs tiene un GWP que va de 6.500 a 9.200.
- Hexafluoruro de Azufre (SF<sub>6</sub>). Aunque este gas es lanzado en muy pocos procesos industriales representa el más potente GEI. El GWP de SF<sub>6</sub> es igual 22.000. Es emitido durante la producción de magnesio y se aplica en algunos equipos eléctricos (Eguren, 2004).

La segunda fase del protocolo, conocida como el segundo período de compromiso, fue establecida por la Enmienda de Doha en 2012 y se extenderá desde 2013 hasta 2020. Las enmiendas refuerzan el compromiso cuantificado de los países desarrollados de limitar o reducir las emisiones, estableciendo una meta de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en un 18 por ciento con respecto a los niveles de 1990. Según los datos del período 1990-2018, una evaluación de la información más reciente recibida de las Partes que han contraído compromisos en el marco de la Enmienda de Doha (Partes del anexo B) muestra que las emisiones totales de gases de efecto invernadero en 2018 fueron un 25,3 % inferiores a las de 1990. Además, si el promedio anual actual de las emisiones de las Partes del anexo B (que asciende a 5 696 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>eq en el período 2013-2018) se mantiene a este nivel en 2019 y

2020, el objetivo de reducción de las emisiones del 18 % podría superarse aún más (United Nations Climate Change, 2020).

### **1.1.2.3.El Acuerdo de París**

El Acuerdo de París es un tratado internacional adoptado en el 2015 durante la COP21 de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) que busca reforzar el compromiso de los distintos gobiernos frente al cambio climático. Este es un acuerdo histórico pues, por primera vez, se estableció una meta global: mantener la temperatura por debajo de los 2 °C y hacer el mayor esfuerzo para que no sobrepase los 1,5 °C (WWF, 2018).

El Acuerdo de París habla de la visión de llevar a cabo plenamente el desarrollo y la transferencia para mejorar la resiliencia al cambio climático y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Establece un marco tecnológico para proporcionar una orientación general al Mecanismo Tecnológico. El mecanismo está acelerando el desarrollo y la transferencia de tecnología a través de sus subdivisiones de política y aplicación. No todos los países en desarrollo tienen capacidad suficiente para hacer frente a muchos de los desafíos que plantea el cambio climático. Por ello, en el Acuerdo de París hace gran hincapié en el fomento de la capacidad relacionada con el clima en los países en desarrollo, y se pide a todos los países desarrollados que aumenten su apoyo a las medidas de fomento de la capacidad para aquellos países menos adelantados (United Nations Climate Change, 2021)

Desde 2017, a partir de la ratificación del Acuerdo de París, el país trabajó en la formulación de su Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), la cual fue presentada en marzo de 2019 ante la Convención Marco de Naciones Unidas frente al Cambio Climático y declarada como política de Estado en agosto del mismo año, a través del Decreto Ejecutivo 840. Desde esa fecha se ha venido trabajando en la formulación del Plan de Implementación para contribuir a la lucha contra el cambio climático en un contexto de equidad, desarrollo sostenible y erradicación de la pobreza, respetando el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas, y en

concordancia con las capacidades del país. Ecuador presentó el Plan de Implementación de la Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional del Ecuador (PI-NDC) herramienta que tiene como objetivo guiar la puesta en marcha de acciones a escala nacional, sectorial y local que promuevan la reducción de gases de efecto invernadero y el aumento de sumideros de carbono, así como, el incremento de la capacidad adaptativa y reducción del riesgo ante los efectos adversos del cambio climático en los sectores priorizados de la Estrategia Nacional de Cambio Climático 2012-2025. Para el Ecuador, el cumplimiento de las metas planteadas constituye una prioridad que aporta a un objetivo global, que es la lucha contra el cambio climático, por esta razón el Plan de Implementación de la NDC constituye la guía para alcanzar el compromiso del país en el marco de los acuerdos nacionales e internacionales en materia climática ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) (Ministerio de Ambiente, 2021a).

Ecuador es signatario de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático y ha ratificado el Acuerdo de París como parte de los compromisos adquiridos ha remitido la Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés). Bajo este marco de apoyo del CAEP, la asistencia técnica proporcionada por la Agencia Internacional de Energías Renovables – IRENA incluye el cálculo automático de los inventarios nacionales de GEI para la generación de electricidad con el apoyo técnico de los ministerios designados. Regulación de la energía y los recursos naturales no renovables. La herramienta informática ayudará a las agencias a generar informes de países. Es el primer paso para calcular un inventario de GEI, con la esperanza de integrar información de otras actividades y sectores. Para la automatización se extrae información de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, que procesa los datos en una plataforma desarrollada, utiliza modelos matemáticos y genera resultados anuales. Esto reduce el error humano (Ministerio de Ambiente, 2021b).

Ecuador entrega de manera oficial ante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, el documento mediante el cual nuestro país establece sus

metas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, medidas y acciones para manejar los impactos del cambio climático en el país, en cumplimiento al Acuerdo de París. Desde 2017, el proceso de identificación de iniciativas y medidas se realiza de manera consensuada entre los sectores público, privado, sociedad civil y académico. Ecuador se ha fijado como meta reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 9% en los sectores de energía, procesos industriales, residuos y agricultura; además, en el sector de uso de suelo y cambio de uso de suelo en un 4%, que incluye la deforestación y degradación de suelo como un compromiso nacional. Además, con el apoyo de la gestión de alianzas y cooperación internacional, se puede lograr una reducción total del 20,9% y 20%, respectivamente. El compromiso del país con el cambio climático incluye medidas a implementarse en el período 2020-2025, para lograr estas medidas se requerirá de todas las entidades nacionales, alianzas público-privadas, cooperación en la gestión de recursos tecnológicos y de la cooperación internacional (Ministerio de Ambiente, 2019).

### **1.1.3. Ciclo Biogeoquímico del Carbono**

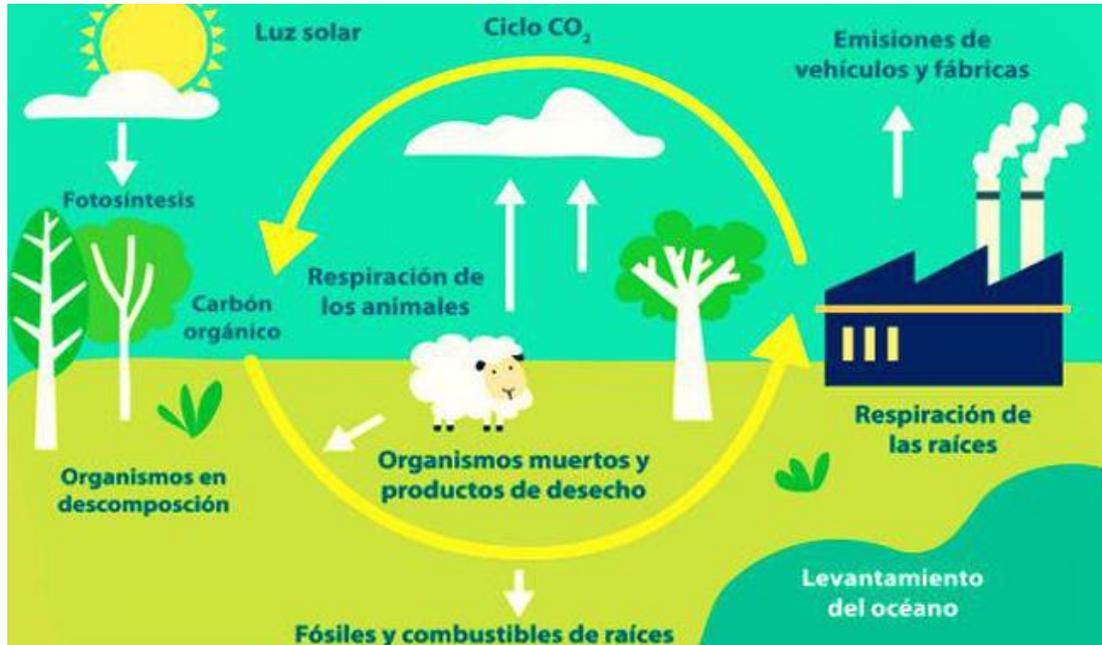
El ciclo del carbono es el sistema de las transformaciones químicas de compuestos que contienen carbono en los intercambios entre la atmósfera, hidrosfera y litosfera. Es un ciclo biogeoquímico de gran importancia para la regulación del clima de la Tierra, y en él se ven implicadas actividades básicas para el sostenimiento de la vida (Iroz et al., 2018).

Para Eguren (2004) el ciclo biológico del Carbono: Este ciclo se considera como el más rápido, ya que, según los estudios, la renovación de la cantidad de carbono en la atmósfera sucede cada veinte años.

*Figura 1. Ciclo biogeoquímico del Carbono*

**Figura 2.**

*Ciclo biogeoquímico del Carbono*



Nota: La figura representa el Ciclo del Carbono y su función en la naturaleza.

Fuente:(Iroz et al., 2018)

El flujo del dióxido de carbono sucede mediante la respiración y la fotosíntesis, La fotosíntesis es la encargada de absorber el CO<sub>2</sub> y la energía solar para producir oxígeno e hidratos de carbono que les permitirán a las plantas crecer, la respiración es llevada a cabo por los humanos, animales y plantas que carbohidratos utilizan para los obtener energía y emitir CO<sub>2</sub>, Los descomponedores también liberan compuestos orgánicos y dióxido de carbono cuando degradan organismos muertos y productos de desecho, en conjunto, descomposición orgánica producida por la hongos y bacterias, permiten devolver el carbono a la atmósfera, en el ciclo biológico del dióxido de carbono también se incluyen los incendios naturales; ya que estos producen CO<sub>2</sub> al provocar el fallecimiento de las plantas y seres vivos que terminan descomponiéndose (Iroz et al., 2018).

La intoxicación por monóxido de carbono sucede cuando se acumula monóxido de carbono en el torrente sanguíneo. Cuando hay demasiado monóxido de carbono en el aire, el cuerpo reemplaza el oxígeno en los glóbulos rojos con monóxido de carbono. Esto puede generar un daño grave en el tejido, o incluso la muerte, el monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro, insípido producido mediante la combustión de gasolina, madera, propano, carbón y otros combustibles. Los aparatos eléctricos y los motores que no se ventilan de forma adecuada, en particular en espacios cerrados o sellados herméticamente, pueden generar que el monóxido de carbono se acumule hasta alcanzar niveles peligrosos(Bolaños Morera & Chacón Araya, 2017).

#### **1.1.4. Normativa que se aplica para Ecuador acerca del cambio climático y ambiente**

La constitución del Ecuador en el Art. 66 numeral 27 habla sobre el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza. en el Art. 414 El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo (Constitución de La República Del Ecuador, 2008)

El 7 de junio de 2011, se publicó en el Registro Oficial, la reformar a la Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión, constante en el Anexo 4 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, y que forma parte del conjunto de normas técnicas ambientales para la prevención y control de la contaminación. Esta norma técnica se emite al amparo de la "Ley de Gestión Ambiental" y el "Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental". El principal objetivo de la norma es proteger la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y el medio ambiente en su conjunto. Para lograr este objetivo, esta norma especifica los límites máximos permisibles para los contaminantes en el aire ambiente del suelo. La norma también

proporciona métodos y procedimientos para determinar la concentración de contaminantes en el aire ambiente (Ministerio de Ambiente, 2011a).

Esta norma establece los límites máximos permisibles de concentraciones de contaminantes criterio y contaminantes no convencionales, a nivel de suelo en el aire ambiente. La norma establece la presente clasificación:

*Tabla 2. Concentraciones de contaminantes criterio que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire.*

<b>Contaminante y Período de Tiempo</b>	<b>Alerta</b>	<b>Alarma</b>	<b>Emergencia</b>
<b>Monóxido de Carbono Concentración promedio en ocho horas (mg/m<sup>3</sup>)</b>	15	30	40
<b>Ozono Concentración promedio en ocho horas (mg/m<sup>3</sup>)</b>	0.1	0.4	0.6
<b>Dióxido de Nitrógeno Concentración promedio en una hora (mg/m<sup>3</sup>)</b>	1	2	3
<b>Dióxido de Azufre Concentración promedio en veinticuatro horas (mg/m<sup>3</sup>)</b>	0.2	1	1.8
<b>Material particulado PM 10 Concentración en veinticuatro horas (mg/m<sup>3</sup>)</b>	0.25	0.4	0.5
<b>Material Particulado PM 2.5 Concentración en veinticuatro horas (mg/m<sup>3</sup>)</b>	0.15	0.25	0.35

*Nota: esta tabla muestra los contaminantes criterio y su periodo de concentración promedio, de lo cual se determina el nivel de alerta, de acuerdo con la Norma de Calidad del Aire Ambiente. Fuente: Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2022b)*

**En Nivel de Alerta:**

- Informar al público mediante los medios de comunicación del establecimiento del Nivel de Alerta.
- Restringir la circulación de vehículos, así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de alerta para uno o más contaminantes específicos.

- Estas últimas acciones podrán consistir en limitar las actividades de mantenimiento de fuentes fijas de combustión, tales como soplado de hollín, o solicitar a determinadas fuentes fijas no reiniciar un proceso de combustión que se encuentre fuera de operación (Ministerio de Ambiente, 2011a)

**En Nivel de Alarma:**

- Informar al público del establecimiento del Nivel de Alarma.
- Restringir inclusive prohibir la circulación de vehículos, así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de alarma (Ministerio de Ambiente, 2011a)

**En Nivel de Emergencia:**

- Informar al público del establecimiento del Nivel de Emergencia.
- Prohibir la circulación y el estacionamiento de vehículos, así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de emergencia.
- Se deberá considerar extender estas prohibiciones a todo el conjunto de fuentes fijas de combustión, así como vehículos automotores, presentes en la región bajo responsabilidad de la Autoridad Ambiental de Aplicación responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental (Ministerio de Ambiente, 2011a)

La Dirección de Cambio Climático es la encargada de Liderar, coordinar y dar seguimiento a la implementación de la Estrategia al Cambio Climático y el Plan de Acción Climático de Quito. Su labor consiste en contribuir en la formulación de políticas integrales que garanticen la implementación de medidas adecuadas, transversales y equitativas de adaptación y mitigación del cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito. Así mismo es la unidad encargada de incentivar la investigación para generar y gestionar información y conocimiento sobre las causas e impactos del cambio climático en el DMQ, que servirá para la toma de decisiones. A su vez buscan sensibilizar y concientizar a la población sobre el cambio climático, fomentando la participación ciudadana, en todas las actividades relacionadas con esta

problemática y sus implicaciones en la vida de las personas, así como sobre la producción y consumo sustentable y las buenas prácticas ambientales (Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2022a).

La Secretaria de Ambiente (2022a) se encuentra a cargo de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ) tiene como finalidad producir datos confiables sobre la concentración de contaminantes atmosféricos en el territorio del Distrito Metropolitano de Quito que sirvan como insumo para la planificación, formulación, ejecución y evaluación de políticas y acciones orientadas al mejoramiento de la calidad del aire y difundir esta información en condiciones comprensibles para el público en general, son nueve estaciones remotas de monitoreo con capacidad para analizar continua y automáticamente los siguientes contaminantes comunes del aire:

- Monóxido de carbono (CO);
- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>);
- Óxidos de nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub> y NOX);
- Ozono (O<sub>3</sub>); y,
- Material particulado fino o de diámetro menor a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>) y menor a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>)

*Tabla 3. Ubicación de las estaciones de la REMMAQ*

<b>Nombre</b>	<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Dirección</b>
<b>Cotocollao</b>	277	Museo Cotocollao (Santa Teresa #70-121 entre Ignacio Loyola y Alfonso del Hierro)
<b>Carapungo</b>	2851	Edificio Andinatel Carapungo (Super Manzana B, el Verjel S/N)
<b>Belisario</b>	2835	Terraza del Edificio Administrativo del Colegio San Gabriel (Av. América 3541)
<b>Jipijapa</b>	2781	Patio de la Dirección Metropolitana Ambiental (Río Coca 1731 e Isla Fernandina)
<b>El Camal</b>	2840	Terraza del Hosp. Patronato Municipal San José del Sur (Adrián Navarro 1660 e Hinostroza)
<b>Centro</b>	2820	Terraza de la Radio Municipal (ex Hogar Javier, García Moreno 751 y Sucre)

<b>Guamaní</b>	2887	Patio de la Escuela Julio Enrique Moreno (Patricio Romero S/N y Lucía Alban)
<b>Tumbaco</b>	2331	Terraza de Andinatel (Gaspar de Carvajal)
<b>Los Chillos</b>	2453	Terraza de Andinatel (Av. Ilaló, Vía a El Tingo)

*Nota: en esta tabla se visualiza la ubicación exacta de la estación de monitoreo de calidad de aire distribuidas en toda la ciudad.*

*Fuente: (Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2022b).*

La exposición a altos niveles de contaminación del aire puede causar una variedad de resultados adversos a la salud. La contaminación del aire puede aumentar el riesgo de infecciones respiratorias, enfermedades cardíacas, accidentes cerebrovasculares y cáncer de pulmón. Tanto la exposición a corto como a largo plazo a los contaminantes del aire se ha asociado con impactos adversos en la salud. Los impactos más severos afectan a las personas que ya están enfermas. Los niños, los ancianos y los pobres son más susceptibles. Los contaminantes más nocivos para la salud, estrechamente asociados con la mortalidad prematura excesiva, son partículas finas PM<sub>2,5</sub> que penetran profundamente en los conductos pulmonares. Si bien en general, la calidad del aire en los países de altos ingresos ha mejorado en las últimas décadas, los efectos adversos de la contaminación del aire ambiental exterior en la salud por partículas (PM por sus siglas en inglés) siguen siendo un problema mundial de salud pública, incluso a niveles relativamente bajos (Organización Panamericana de la Salud, 2018).

La acumulación de gases en la atmósfera también genera problemas ambientales con consecuencias tristemente conocidas: lluvia ácida, agotamiento de la capa de ozono, calentamiento global, efecto invernadero, etc. La concentración de estos gases en la atmósfera, principalmente dióxido de carbono, aumenta en promedio en un 1% al año. Este fenómeno se debe a las propiedades de ciertos gases (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, ozono y clorofluorocarbonos) para atrapar el calor del sol en la atmósfera, evitando que regrese al espacio después de ser reflejado por la Tierra. La contaminación del aire contribuye a la formación de lluvia ácida, la precipitación atmosférica en forma de lluvia, escarcha, nieve o niebla, que se liberan durante la combustión de los combustibles fósiles y se transforman por contacto con el vapor de agua en la atmósfera. La lluvia ácida afecta la cantidad de químicos en los suelos y el

agua dulce, afectando las cadenas alimenticias (Ministerio del Ambiente de Perú, 2021).

Las emisiones de los vehículos automotores son el resultado de la combustión o de la evaporación del combustible. Los combustibles más comunes para el transporte son la gasolina (con o sin plomo) para vehículos livianos (como los automóviles) y el diésel para los vehículos pesados (como los autobuses y los camiones). Se utilizan también otros combustibles comerciales en los vehículos livianos, como los alcoholes (el etanol y el metanol), mezclas de gasolina y alcohol, gas natural comprimido (GNC) y gas licuado de petróleo (GLP). Los vehículos pesados utilizan también otros combustibles, como la gasolina, el GNC y el GLP. Las emisiones procedentes de los vehículos con motores de encendido por chispa (por ejemplo, los vehículos de gasolina) son emitidas por el escape, el cárter y el sistema de combustible (carburador, líneas y tanque de combustible). El CO<sub>2</sub> y el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), los principales productos de la combustión, son liberados en los gases por el escape del vehículo.

Los mayores contaminantes emitidos por los vehículos de gasolina son CO, HC, NO<sub>x</sub> y plomo. También, SO<sub>2</sub> puede estar presente en los gases del escape. El sistema de aire acondicionado, los neumáticos, los frenos y otros componentes del vehículo también producen emisiones (Ministerio del Ambiente de Colombia, 2018)

#### 1.1.4.1. Monóxido de Carbono

El CO que se absorbe por los pulmones reduce la capacidad sanguínea para transportar el oxígeno disponible a los tejidos. El CO se une a la hemoglobina para formar carboxihemoglobina (COHb), que reduce el nivel de oxígeno en la sangre. Dado que se requiere más sangre para abastecer a los tejidos de la misma cantidad de oxígeno, el corazón debe trabajar más. La relación entre las concentraciones de CO en el aire y los niveles de COHb en la sangre depende principalmente de la duración de la exposición y del pulso de la persona expuesta (es decir, la intensidad del esfuerzo físico). El tamaño corporal, la condición pulmonar y la presión barométrica también afectan la ingesta de CO. (Romieu citado por Ministerio del Ambiente de Colombia, 2018) comenta que El

nivel normal de COHb es de 1,2% a 1,5%, pero puede llegar a un nivel de 4% a 7% en las personas que fuman un paquete de cigarrillos al día. Cuando el nivel de COHb llega a alrededor del 5% comienza a inducir efectos nocivos para la salud. Algunos estudios han demostrado que comienza a afectarse la capacidad de raciocinio a niveles de COHb comprendidos entre 3,2% y 4,2%. La ingesta de CO afecta la percepción y el pensamiento, desacelera los reflejos, y puede causar mareos, angina, inconsciencia o la muerte. La exposición de gestantes al CO se ha vinculado a un bajo peso al nacer de sus hijos y a un retraso en el desarrollo posnatal. (MARC Citado por Ministerio del Ambiente de Colombia, 2018) dicen que el efecto sinérgico del CO con otros contaminantes provoca enfermedades en personas con problemas respiratorios. Además, la mayor concentración de CO está vinculada a una menor productividad de los trabajadores y a un malestar general. Una exposición a concentraciones de 45 mg/m<sup>3</sup> de CO durante más de dos horas afecta la capacidad de raciocinio de una persona. Entre dos y cuatro horas de exposición a 200 mg/m<sup>3</sup> se eleva el nivel de COHb en la sangre entre 10% y 30% y aumenta la posibilidad de padecer jaquecas. La exposición a 1.000 mg/m<sup>3</sup> de CO eleva el nivel de COHb en la sangre a más de 30% y causa un rápido incremento del pulso, lo que provoca coma y convulsiones. Una a dos horas de exposición a 1.830 mg/m<sup>3</sup> resulta en un 40% de COHb en la sangre, lo que puede provocar la muerte.

#### 1.1.4.2. Dióxido de Nitrógeno

El NO<sub>2</sub> es un gas irritante que se absorbe en la membrana mucosa de las vías respiratorias. El efecto del NO<sub>2</sub> más adverso para la salud se produce en la intersección de las vías respiratorias y la región de intercambio gaseoso de los pulmones. Las vías superiores se ven menos afectadas porque el NO<sub>2</sub> no es muy soluble en superficies acuosas. La exposición al NO<sub>2</sub> está vinculada a una mayor susceptibilidad a las infecciones respiratorias, una mayor resistencia de las vías respiratorias en los asmáticos y una disminución de la función pulmonar. La exposición breve al NO<sub>2</sub> se ha vinculado a una amplia gama de enfermedades de las vías respiratorias inferiores en los niños (tos, descarga nasal y dolor de garganta son las más comunes) así como a una

mayor sensibilidad al polen y al polvo de las zonas urbanas. Los efectos para la salud de la exposición al NO<sub>2</sub> por razones laborales abarcan desde la inflamación de la membrana mucosa del árbol traqueobronquial a la bronquitis, la bronconeumonía y el edema pulmonar agudo. Después de la exposición al NO<sub>2</sub> hay presencia de ácidos nítrico y nitroso o sus sales en la sangre y en la orina (Romieu citado por Ministerio del Ambiente de Colombia, 2018). La función pulmonar se ve afectada por una exposición de 30 minutos a una concentración de NO<sub>2</sub> de 560 µg/m<sup>3</sup> con ejercicio, 940 µg/m<sup>3</sup> en personas asmáticas y más de 1.300 µg/m<sup>3</sup> en una exposición de 10 a 15 minutos en personas sanas. En 11 estudios epidemiológicos de exposición a largo plazo se encontró que un incremento de 30 µg/m<sup>3</sup> en las concentraciones de NO<sub>2</sub> en interiores debido a cocinas de gas provoca un incremento de las enfermedades respiratorias del 20% en los niños menores de 12 años orina (Romieu citado por Ministerio del Ambiente de Colombia, 2018). No obstante, no se ha demostrado coherentemente a partir de los estudios epidemiológicos que exista una relación entre la exposición de NO<sub>2</sub> en exteriores y efectos graves para la salud, debido a que intervienen otros factores, como la exposición a otros contaminantes, el hábito de fumar y la presencia de NO<sub>2</sub> en interiores. En un estudio se encontró que la exposición a una concentración media diaria de NO<sub>2</sub> de 244 µg/m<sup>3</sup> provocaba dolores de garganta en personas adultas (Schwartz & Zeger, 1990).

## CAPITULO II.

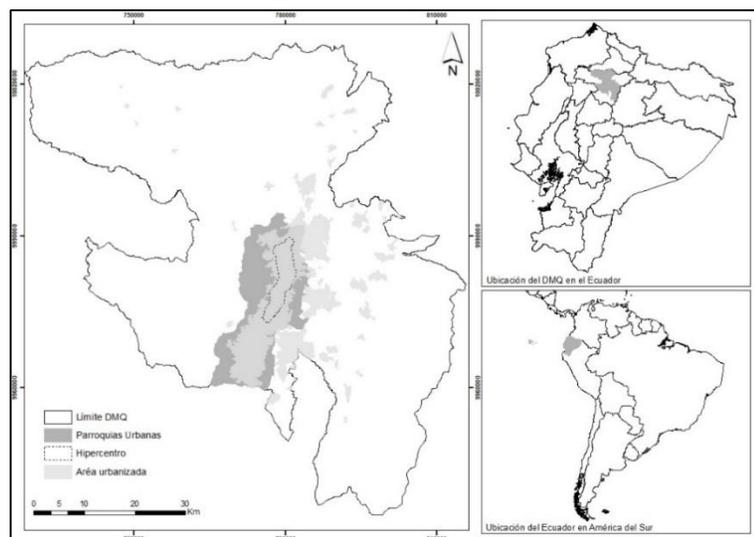
### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 1.1. Ubicación Geográfica del Área de Estudio

Esta investigación se desarrolló en el Distrito Metropolitano de Quito, perteneciente al cantón Quito, provincia de Pichincha, ubicado en las siguientes coordenadas UTM: X=781739,98, Y=9979663,59.

#### *Figura 3.*

*Mapa de ubicación del Distrito Metropolitano de Quito*



**Nota:** en este mapa se muestra la ubicación geográfica del Distrito Metropolitano de Quito con respecto a la provincia de Pichincha, país Ecuador y su posición en Latinoamérica.

*Fuente: Elaboración propia.*

## **1.2. Definición del Problema**

El problema de estudio de esta investigación es realizar un diagnóstico de la calidad de aire que mantiene el Distrito Metropolitano de Quito, mediante el análisis de los datos emitidos por las estaciones de monitoreo distribuidas en toda la ciudad, cuyo ente regulador es la Secretaria de Ambiente, con el fin de plantear propuestas de mejora.

## **1.3. Objeto de Investigación**

Esta investigación sigue los objetivos planteados en la sección de Objetivos, los cuales describen los lineamientos de trabajo.

## **1.4. Tipo de Investigación**

### **1.4.1. Descriptiva**

El tipo de investigación de este estudio es descriptiva debido a que busca establecer un diagnóstico de la calidad de aire que se mantiene en el Distrito Metropolitano de Quito, referente al Monóxido de Carbono (CO), mediante la recolección, organización y análisis de las concentraciones que recogen las estaciones de monitoreo y con ello calcular un índice con el que se pueda contrastar con los límites permisibles establecidos en las normativas nacionales.

### **1.4.2. Cuantitativo**

Los datos recogidos de las estaciones de monitoreo que se encuentran distribuidas en todo el DM de Quito, son cuantitativos los cuales se pueden procesar y emitir resultados mediante tablas y cálculos estadísticos, lo cual permite analizar el comportamiento de los contaminantes en el aire en un periodo señalado y contrastar con la Norma de Calidad del aire.

### **1.4.3. Exploratorio**

Este estudio permite reconocer las variables de investigación explorando el problema que aún no está totalmente conocido en un entorno particular. Las estaciones de monitoreo están programadas para recoger datos de diferentes contaminantes que se encuentran en el aire; sin embargo, se analiza descriptivamente el Monóxido de Carbono con la finalidad de reconocer la variación de la concentración en un periodo determinado.

### **1.5. Fuente de Datos**

La información requerida para el estudio se obtiene de las siguientes fuentes:

Los valores de calidad del aire del Distrito Metropolitano de Quito fueron tomados de los reportes anteriores comprendidos entre 2018 a 2021; emitidos por la Secretaria de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito.

La información necesaria para la elaboración de los mapas de la calidad del aire del Distrito Metropolitano de Quito, se obtuvo de la plataforma virtual del mismo, con el fin de trabajar sobre la información que es validada por la Alcaldía.

Se realizó el análisis de la normativa internacional y la normativa nacional: Plan nacional de la Calidad del Aire y la normativa de calidad del aire ecuatoriano, la cual determina los valores máximo permisibles.

Se toma la información de las estaciones de monitoreo de calidad del aire que se encuentran distribuidas en la ciudad de Quito, y bajo el control y seguimiento de la Secretaria de Ambiente.

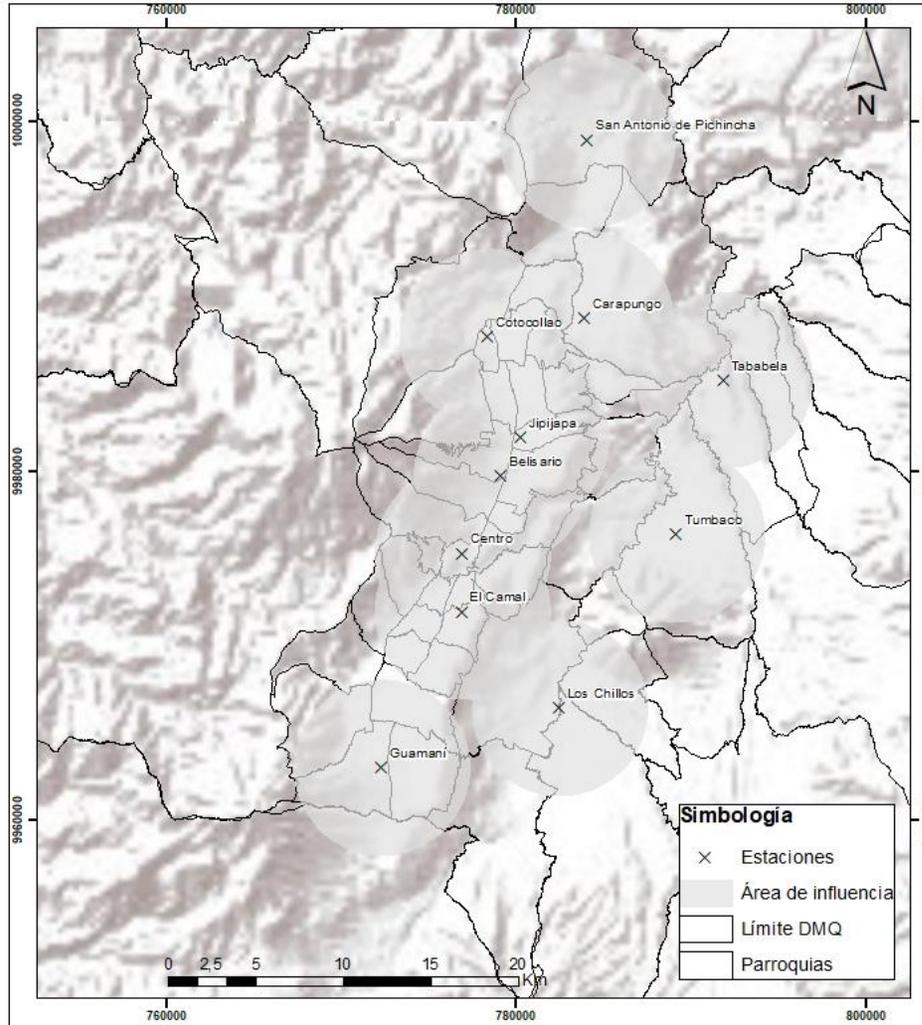
*Tabla 4. Estaciones de monitoreo de Distrito Metropolitano de Quito y los contaminantes monitoreados.*

Estación	Coordenadas		Contaminantes				
	X	Y	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PM 2,5 $\mu$	PM 10 $\mu$
<b>Carapungo</b>	783916	9988754	X	X	X	X	X
<b>Cotocollao</b>	778346	9987709	X	X	X	X	
<b>Jipijapa</b>	780264	9981931	X	X	X	X	X
<b>Belisario</b>	779150	9979719	X	X	X	X	
<b>Centro</b>	776922	9975294	X	X	X	X	
<b>El Camal</b>	776921	9971975	X	X	X	X	
<b>Guamaní</b>	772309	9963033	X	X			X
<b>Los Chillos</b>	782469	9966441	X	X	X		
<b>Tumbaco</b>	789174	9976398		X	X		X
<b>Tababela</b>	791876	9985211					X
<b>San Antonio de Pichincha</b>	784072	9998973				X	X

*Nota: en esta tabla se muestra las coordenadas geográficas de ubicación por estación de monitoreo y de los contaminantes de los cuales se recoge información. Fuente: Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2022b)*

**Figura 4.**

*Mapa de ubicación de las estaciones de monitoreo en el Distrito Metropolitano de Quito y su área de influencia.*



Nota: en este mapa se muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo con su área de influencia de 5 Km a la redonda. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5. Medición de contaminantes. Basada en la Tabla 9 Secretaria de Ambiente, 2014.**

Estaciones	Contaminantes	Marca y Modelo	Método de medición
Tumbaco, Guamaní, Carapungo	PM10	Termo Scientific/FH62C14	Atenuación de rayos beta (Método equivalente para PM10 EPA No. EQPM- 1102-150)

Belisario, Camal, Centro, Cotocollao, Carapungo	PM 2.5	Thermo Andersen / FH62C14	Atenuación de rayos beta (Método equivalente para PM10 EPA No. EQPM- 1102-150)
Belisario, Camal, Centro, Tumbaco, Cotocollao, Carapungo, Chillogallo	SO2	Thermo 43C / 43i	Fluorescencia por pulsos de luz ultravioleta (Método equivalente EPA No. EQSA-0486-060)
Belisario, Camal, Centro, Tumbaco, Chillogallo, Cotocollao, Carapungo, Guamaní.	O3	Thermo 49C / 49i	Absorción de luz ultravioleta (Método equivalente EPA No. EQOA-0880-047)
Belisario, Camal, Centro, Cotocollao, Carapungo, Guamaní, Chillogallo	NOx	Thermo 42C / 42i	Quimiluminiscencia (Método de referencia EPA No. RFNA-1289-074)
Belisario, Camal, Centro, Cotocollao, Carapungo, Guamaní	CO	Thermo / 48C / 48i	Absorción infrarroja no dispersiva (Método de referencia EPA No. RFCA0981-054)

*Nota: En esta tabla se muestra los equipos con los cuales se realiza la medición de los contaminantes normados para cada uno, información con la cual se puede establecer el nivel de confianza de los datos obtenidos. Fuente: Basada en la tabla 9 Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2022b)*

**Tabla 6. Medición de parámetros meteorológicos.**

Parámetro meteorológico	Tipo de equipo utilizado	Marca y modelo
Temperatura y humedad relativa	Sensor Pt100 para temperatura y sensor capacitivo para HR / Clase II	Thies Clima / 1.1005.54.161

<b>Precipitación pluvial</b>	Báscula oscilante / Clase II	Thies Clima / 5.4032.007
<b>Velocidad del viento</b>	Anemómetro de 3 copas y encoder para generación de pulsos de voltaje de frecuencia proporcional a la velocidad de viento / Clase II	MetOne / 010C
<b>Dirección del viento</b>	Veleta y potenciómetro con señal de voltaje proporcional a la dirección de viento / Clase II	MetOne / 020C

*Nota: en esta tabla se muestra el equipo y método de recolección de información para los 5 parámetros meteorológicos principales. Fuente: Basada en la tabla 1.13 de Secretaria de Ambiente del Municipio de Quito. (2022b)*

Los datos usados en el presente trabajo son públicos a nivel de usuario los cuales se obtuvieron de la página web de la Secretaria de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, es por esta razón que no es posible proporcionar información sobre niveles de incertidumbre en las mediciones, más que las provistas de la misma institución a la que se hace referencia. Los datos con los cuales se trabaja son promedios horarios, tanto para los contaminantes como para las variables meteorológicas.

## **1.6. Métodos, Técnicas, E Instrumentos**

### **1.6.1. Materiales**

- Fuentes de información como: internet, documentos virtuales, libros digitales, anuarios de las estaciones de monitoreo.
- Equipos de oficina: Computador, impresora, escáner, red de internet.
- Medios de almacenamiento: Memory USB y discos externos
- Consumibles de oficina: hojas, esferos, entre otros.

### **1.6.2. Métodos**

#### **1.6.2.1. Diseño de investigación para el objetivo específico 1:**

*“Determinar si el índice de calidad del aire del Distrito Metropolitano de Quito se encuentra dentro de los límites permisibles enmarcados en las normativas nacionales referentes al Monóxido de Carbono.”*

Mediante este estudio descriptivo se realiza los siguientes pasos: revisión bibliográfica de informes anuales de los índices de calidad de aire para los años 2018, 2019, 2020 y 2021 en el Distrito Metropolitano de Quito con el fin de establecer el nivel de calidad de aire respecto al Monóxido de Carbono, comparado con los límites permisibles establecidos en la normativa vigente.

### **Selección y tamaño de muestra**

Para este estudio se recabo una muestra de los informes de índice de calidad de aire para los años 2018, 2019, 2020 y 2021 de las 9 estaciones automáticas en línea de monitoreo distribuidas a lo largo del Distrito Metropolitano de Quito.

### **Recolección de datos**

Con la finalidad de alcanzar el objetivo propuesto se toma los informes anuales de calidad de aire en el D.M.Q., para el año 2018 hasta 2021, que se encuentran en el portal web de la Secretaria de Ambiente ([www.quitoambiente.gob.ec](http://www.quitoambiente.gob.ec)), en donde se toman en consideración los datos de todas las estaciones de monitoreo de los siguientes contaminantes: CO (Concentración máxima de promedio de 8 horas, mg/m<sup>3</sup>), O<sub>3</sub> (concentración máxima de promedio de 8 horas, µg/m<sup>3</sup>), NO<sub>2</sub> (concentración máxima en 1 hora, µg/m<sup>3</sup>), SO<sub>2</sub> (promedio en 24 horas, µg/m<sup>3</sup>), PM<sub>2.5</sub> (promedio en 24 horas, µg/m<sup>3</sup>) y PM<sub>10</sub> (promedio en 24 horas, µg/m<sup>3</sup>).

En dichos informes el índice de calidad de aire es expresado en categorías de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7. Concentraciones de contaminantes criterio que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire.

CONTAMINANTE Y PERIODO DE TIEMPO	ALERT A	ALARM A	EMERGENCI A
Monóxido de Carbono Concentración promedio en ocho horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	15000	30000	40000
Ozono Concentración promedio en ocho horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	200	400	600
Dióxido de Nitrógeno Concentración promedio en una hora ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	1000	2000	3000
Dióxido de Azufre Concentración promedio en veinticuatro horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	200	1000	1800
Material particulado PM10 Concentración promedio en veinticuatro horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	250	400	500
Material particulado PM2,5 Concentración promedio en veinticuatro horas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	150	250	350
Contaminante no convencional	Nombre, referencia y descripción		
	<b>Nombre:</b> Espectrometría de Absorción Atómica		
	<b>Referencia:</b> Method IO3.2. Determination of metals in ambient particulate		
<b>Todos los valores de concentración expresados en microgramos por metro cubico de aire, a condiciones de 25 °C y 760 mm Hg.</b>			

*Nota: en esta tabla se muestra la concentración de los contaminantes criterio para definir la calidad de aire en un determinado sector. Fuente: Ministerio del Ambiente (2011b, p. 6)*

### Interpretación de los informes anuales de calidad de aire

De los resultados obtenidos, los cuales se mencionan en los Informes Anuales son complementados con tres categorías adicionales a las que se mencionan en la Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire, las cuales forman parte del índice Quiteño de la Calidad del Aire (IQCA), la cual es: “una escala numérica entre 0 y 500, con rangos intermedios expresados también en diferentes colores. Mientras más alto es el valor IQCA, mayor es el nivel de contaminación atmosférica y, consecuentemente, los

peligros para la salud de las personas” (Secretaria de Ambiente, 2020). Tal como se presenta en la siguiente figura.

**Figura 5.**

*Cálculo del Índice Quiteño de calidad de aire (IQCA)*

Contaminante	Expresiones matemáticas para cada rango de concentración			
CO, concentración máxima de promedio de 8 horas, mg/m <sup>3</sup>	0 < CI ≤ 10 IQCA = 10CI	10 < CI ≤ 15 IQCA = 20CI - 100.00	15 < CI ≤ 30 IQCA = 6.67CI + 100.00	30 < CI IQCA = 10CI
O <sub>3</sub> , concentración máxima de promedio de 8 horas, µg/m <sup>3</sup>	0 < CI ≤ 100 IQCA = CI	100 < CI ≤ 200 IQCA = CI	200 < CI ≤ 600 IQCA = 0.5CI + 100.00	600 < CI IQCA = 0.5CI + 100.00
NO <sub>2</sub> , concentración máxima en 1 hora, µg/m <sup>3</sup>	0 < CI ≤ 200 IQCA = 0.50CI	200 < CI ≤ 1 000 IQCA = 0.125CI + 75.00	1 000 < CI ≤ 3 000 IQCA = 0.1CI + 100	3 000 < CI IQCA = 0.1CI + 100
SO <sub>2</sub> , promedio en 24 horas, µg/m <sup>3</sup>	0 < CI ≤ 62.5 IQCA = 0.8CI	62.5 < CI ≤ 125 IQCA = 1.333CI - 66.667	125 < CI ≤ 200 IQCA = 0.125CI + 175.00	200 < CI IQCA = 0.125CI + 175.00
PM <sub>2.5</sub> , promedio en 24 horas, µg/m <sup>3</sup>	0 < CI ≤ 50 IQCA = 2.00CI	50 < CI ≤ 250 IQCA = CI + 50	250 < CI IQCA = CI + 50.00	
PM <sub>10</sub> , promedio en 24 horas, µg/m <sup>3</sup>	0 < CI ≤ 100 IQCA = CI	100 < CI ≤ 250 IQCA = 0.6667CI + 33.333	250 < CI ≤ 400 IQCA = 0.6667CI + 33.33	400 < CI IQCA = CI - 100

CI: Concentración de un determinado contaminante.

Nota: en esta figura se muestra el método de cálculo para determinar el IQCA por contaminante criterio. Fuente: Secretaria de Ambiente (2020, p. 14)

**Figura 6.**

*Categorías IQCA y valores límites para cada contaminante y código de colores correspondiente.*

Rango	Categoría	CO <sup>a</sup>	O <sub>3</sub> <sup>b</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>c</sup>	SO <sub>2</sub> <sup>d</sup>	PM <sub>2.5</sub> <sup>e</sup>	PM <sub>10</sub> <sup>f</sup>
0-50	Nivel deseable	0-5000	0-50	0-100	0-62.5	0-25	0-50
51-100	Nivel aceptable	5001-10000	51-100	101-200	63.5-125	26-50	51-100
101-200	Nivel de precaución	10001-15000	101-200	201-1000	126-200	51-150	101-250
201-300	Nivel de alerta	15001-30000	201-400	1001-2000	201-1000	151-250	251-400
301-400	Nivel de alarma	30001-40000	401-600	2001-3000	1001-1800	251-350	401-500
401-500	Nivel de emergencia	>40000	>600	>3000	>1800	>350	>500

Nota: a=Concentración máxima de promedio en 8 horas; b=Concentración máxima de promedio en 5 horas; c=Concentración máxima de promedio en 1 hora; d=Concentración a de promedio en 24 horas. Fuente: Secretaria de Ambiente (2020, p. 14)

Por lo que a nivel de salud pública se puede interpretar de la siguiente manera:

**Tabla 8. Concentraciones de contaminantes criterio que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire.**

Rangos	Condición	Condición desde el punto de vista de la salud
0 - 50	Deseable	La calidad del aire se considera satisfactoria y la contaminación ambiental tiene poco o ningún riesgo para la salud.
50 - 100	Aceptable	La calidad del aire es aceptable. Sin embargo, podría haber pequeños efectos en la salud para individuos sumamente sensibles a contaminación ambiental.
100 - 200	Precaución	No saludable para individuos (enfermos crónicos y convalecientes)
200 - 300	Alarma	No saludable para la mayoría de la población.
300 - 400	Alerta	No saludable para la mayoría de la población y peligrosa para individuos sensibles.
400 - 500	Emergencia	Peligrosa para toda la población.

*Nota: en esta tabla se muestra el código de colores de acuerdo con la condición de la calidad del aire y sus posibles afectaciones a la salud. Fuente: Secretaría de Ambiente (2020, p. 15)*

1.6.2.2. Diseño de investigación para el objetivo específico 2:

*“Sistematizar la información de las estaciones de monitoreo de calidad del aire del Distrito Metropolitano de Quito en el periodo 2018-2021, para establecer los niveles de contaminación por emisiones de CO.”*

Siendo esta investigación cuantitativa descriptiva se somete a las siguientes etapas: revisión bibliográfica, diagnóstico del estado actual, recolección, procesamiento y análisis de datos y con ello determinar los niveles de contaminación por emisiones de CO en la ciudad de Quito.

### **Selección y tamaño de muestra**

Para este estudio se seleccionó una muestra de datos recogidos para los años 2018 hasta 2021 de las estaciones de monitoreo que tengan como parámetro de medición el CO, para lo cual están las siguientes: Belisario, Carapungo, Centro, Cotocollao, El Camal, Guamaní y Los Chillos.

## **Recolección de datos**

Para alcanzar el objetivo secundario se escogieron estaciones que poseen la información necesaria con el contaminante atmosférico escogido, por lo cual se deja afuera de esta investigación a las estaciones: Condado, Turubamba y Chillogallo ya que no poseen información completa del contaminante CO.

También se escogieron variables meteorológicas como la dirección de viento, la velocidad del viento, la temperatura y la precipitación ya que la influencia de la contaminación puede ser medida a través de estas variables.

También se escogió el parámetro PM 2.5 para determinar la concentración de contaminación excepto en las estaciones Condado, Turubamba y Chillogallo debido que no tienen datos para su análisis, el parámetro de PM 2.5 es importante ya que también proviene de estas partículas pueden provenir de los automóviles, camiones, fábricas, quema de madera y otras actividades (California Office of Environmental Health Hazard Assessment, 2021).

## **Análisis Estadístico**

En este estudio se descarta el promedio como medida de tendencia central, en cambio se usará la mediana ya que permite equilibrar los sesgos generados por datos extremos o datos desviados de la distribución normal. La información de calidad del aire del Distrito Metropolitano de Quito fue sistematizada de las estaciones de monitoreo del 2018 al 2021.

Para determinar la contaminación en el Distrito Metropolitano de Quito, se realizó mediante la sistematización de los datos históricos publicados en la web de la Secretaria de Ambiente de las estaciones de monitoreo. Las tendencias de contaminación se determinarán mediante el procesamiento manual de los datos obtenidos en función del tiempo en cada estación, pasando la información necesaria para el análisis de las medianas mensuales (Romero & Topón, 2021)

La información será organizada en tablas de tal manera que podamos obtener los datos de las medias mensuales y anuales, agrupando los datos y utilizando la totalidad de los datos válidos con excepción de la precipitación.

En el caso de la precipitación, esta se presenta en periodos específicos y cortos de tiempo la mayor parte de los registros son iguales a cero, esto causa que las medianas calculadas también sean iguales a cero, por lo tanto, las variables de las medianas se calcularon solamente utilizando los registros positivos, con el fin de generar gráficos que permitan distinguir el comportamiento aproximado de las precipitaciones a lo largo del día.

### **Cálculo de medianas**

Los datos correspondientes a cada hora del día (medias horarias) y agrupando los datos en forma mensual y anuales utilizando la totalidad de los datos, esto se realiza con el fin de generar gráficos que permitan observar el comportamiento a lo largo del mes.

**Tabla 8. Ejemplo de la información de las estaciones de monitoreo en el 1 de enero del 2018, concentración de CO en 24 horas en mg/m<sup>3</sup>**

	BELISARIO CARAPUNGO CENTRO		COTOCOLLAO EL CAMAL		GUAMANI		LOS CHILLOS
FECHA	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>
1/1/2018 0:00	0,23	0,71	0,94	0,85	1,35	2,46	0,75
1/1/2018 1:00	0,48	0,42		0,78			
1/1/2018 2:00	0,51	0,3	0,9	0,8	0,72	0,95	0,51
1/1/2018 3:00	0,32	0,31	0,69	0,52	0,77	0,63	0,44
1/1/2018 4:00	0,17	0,27	0,42	0,46	0,35	0,58	0,47
1/1/2018 5:00	0,26	0,13	0,34	0,43	0,38	0,52	0,37
1/1/2018 6:00	0,15	0,17	0,33	0,41	0,44	0,54	0,37
1/1/2018 7:00	0,15	0,2	0,41	0,49	0,5	0,5	0,4
1/1/2018 8:00	0,19	0,21	0,44	0,46	0,5	0,45	0,48
1/1/2018 9:00	0,13	0,12	0,49	0,51	0,59	0,47	0,45
1/1/2018 10:00	0,12	0,17	0,56	0,56	0,46	0,69	0,44
1/1/2018 11:00	0,23	0,17	0,54	0,55	0,54	0,67	0,39
1/1/2018 12:00	0,29	0,24	0,55	0,47	0,63	0,59	0,4
1/1/2018 13:00	0,48	0,21	0,62	0,48	0,71	0,91	0,45
1/1/2018 14:00	0,33	0,16	0,69	0,56	0,74	0,88	0,51
1/1/2018 15:00	0,29	0,27	0,76	0,46	0,61	0,76	0,54
1/1/2018 16:00	0,33	0,41	0,69	0,45	0,72	0,75	0,59
1/1/2018 17:00	0,45	0,48	0,72	0,56	0,86	0,8	0,55
1/1/2018 18:00	0,7	0,71	0,89	0,74	1,06	1,15	0,75
1/1/2018 19:00	0,78	0,98	1,22	1,17	1,5	1,47	1,05
1/1/2018 20:00	0,89	1,35	1,24	1,56	1,75	1,7	1,4
1/1/2018 21:00	0,88	1,4	1,15	2,06	1,64	1,6	1,33
1/1/2018 22:00	0,84	1,26	0,82	1,48	1,86	1,05	1,22
1/1/2018 23:00	0,64	1,36	0,99	1,05	1,51	1,22	1,17

*Nota: en esta tabla se muestra un ejemplo de la presentación de datos recogidos para 1 de enero del año 2018 de CO por estación de monitoreo. Fuente: Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2022b)*

**Tabla 9. Información de las estaciones de monitoreo del año 2018, concentración de CO en el año 2018 en mg/m3**

	2018 BELISARIO	CARAPUNGO	CENTRO	COTOCOLLAO	EL CAMAL	GUAMANILLOS	CHILLOS
	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3	mg/m3
<b>Enero</b>	0,4	0,41	0,63	0,59	0,73	0,68	0,52
<b>Febrero</b>	0,46	0,32	0,67	0,48	0,65	0,68	0,51
<b>Marzo</b>	0,48	0,4	0,66	0,56	0,76	0,7	0,64
<b>Abril</b>	0,7	0,44	0,64	0,65	0,78	0,6	0,63
<b>Mayo</b>	0,75	0,5	0,74	0,59	0,88	0,74	0,61
<b>Junio</b>	0,65	0,43	0,65	0,52	0,65	0,48	0,63
<b>Julio</b>	0,56	0,46	0,57	0,51	0,64	0,47	0,54
<b>Agosto</b>	0,47	0,41	0,38	0,48	0,49	0,41	0,56
<b>Septiembre</b>	0,54	0,5	0,52	0,59	0,68	0,55	0,6
<b>Octubre</b>	0,68	0,48	0,65	0,55	0,81	0,67	0,62
<b>Noviembre</b>	0,76	0,48	0,77	0,39	0,84	0,73	0,52
<b>Diciembre</b>	0,62	0,42	0,6	0,49	0,7	0,61	0,57

*Nota: en esta tabla se muestra los datos recogidos por mes del año 2018 y por estación de monitoreo. Fuente: Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2022b)*

### 1.6.2.3. Diseño de investigación para el objetivo específico 3:

*“Realizar un mapa de la calidad del aire en el Distrito Metropolitano de Quito, con la información de la red de monitoreo que mantiene la Secretaria de Ambiente, con el fin de establecer geográficamente los sectores con mayor contaminación de CO.”*

El presente estudio al estar relacionado con una investigación cuantitativa descriptiva sigue los siguientes lineamientos para la construcción del mapa de la calidad del aire en el Distrito Metropolitano de Quito: análisis de variables, procesamiento de la información, diseño del mapa en el programa ArcGIS.

### **Selección y tamaño de muestra**

Para este estudio se seleccionó una muestra de datos recogidos para los años 2018 hasta 2021 de las estaciones de monitoreo que tengan como parámetros de medición el CO, para lo cual están las siguientes: Belisario, Carapungo, Centro, Cotocollao, El Camal, Guamaní y Los Chillos.

### **Análisis de variables**

- **Parroquias:** en las parroquias del DMQ se puede localizar la contaminación y diferenciar en cada una el contaminante más relevante o con mayor concentración.
- **Ubicación:** Las estaciones de monitoreo se encuentran distribuidas en todo el DMQ, siendo su área de afectación por poblado de 5 km a la redonda, de donde se obtienen los datos de contaminación.
- **Datos (promedio de los años 2018 a 2021):** estos datos muestran el promedio de 4 años consecutivos por contaminante obtenidos por la red de monitoreo de calidad de aire y compilados por la Secretaria de Ambiente del DMQ, estos datos son la base para establecer la calidad del aire por estación.

### **Construcción del mapa**

#### Procesamiento de la información

- A. Promediar los datos anuales de contaminación de los 4 años comprendidos entre 2018 y 2021.
- B. Se compilo una tabla en donde se distribuían los contaminantes por cada estación de monitoreo.
- C. A la tabla anterior se incluyó una coordenada (X; Y) para geolocalizar a cada estación y con ello se enlazan los datos de los contaminantes. Dicha tabla ya sirve como insumo para la construcción del mapa en el programa ArcGIS, de la siguiente forma:
  - a. Se carga la tabla del literal C en formato xls y se proyectan las coordenadas por estación.
  - b. Para visualizar los puntos, se va al menú del clic derecho encima del archivo xls y Display XY Data.
  - c. Se exporta dicha información en formato .shp y se visualiza la ubicación de cada estación asociado con los contaminantes.
  - d. Para la interpolación de los datos de contaminación entre estaciones de monitoreo, con la finalidad de generar la variación entre diferentes puntos, para lo cual se usa la herramienta IDW (ponderación de

distancia inversa), dentro del menú de ArcToolBox – Spatial Analyst Tools, seguido de la herramienta Interpolate y se selecciona IDW, para lo cual se añade el shapefile de los puntos de las estaciones y seleccionar el contaminante a mapear.

- e. Una vez completo el proceso anterior se delimita un rango en el cual se requiera presentar la contaminación, para este estudio se presentó en 5 categorías de contaminación van desde Muy bajo, Bajo, Medio, Alto y Muy Alto, para lo cual se asignó un color de acuerdo a la categoría.
- f. Finalmente se añadieron todos los elementos necesarios para la presentación de un mapa de calidad de aire.

1.6.2.4. Diseño de investigación para el objetivo específico d:

*“Elaborar una propuesta de plan de mejoras para el sistema de movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito donde priorizará la reducción los niveles de concentración de Monóxido de Carbono emitido por los automotores.”*

Para dar cumplimiento con el objetivo específico d, la presente investigación siguió los siguientes pasos: análisis de los resultados obtenidos respecto a la calidad del aire del Distrito Metropolitano de Quito entre los años 2018 – 2021 y el diseño de un Plan de mejoras para el sistema de movilidad en el DMQ.

### **Selección y tamaño de muestra**

El diseño de la propuesta tomó como base los resultados del procesamiento de los datos tomados en los monitores realizados por las estaciones y plasmados en los informes anuales de calidad de aire en el DMQ entre los años 2018-2021.

### **Diseño de la propuesta**

La propuesta de plan de mejoras se desarrolló bajo los siguientes lineamientos:

1. Título del proyecto
2. Objetivo de la propuesta
3. Contexto

4. Justificación
5. Objetivos
6. Análisis de factibilidad
7. Marco legal
8. Fundamentación teórica
9. Metodología

## CAPITULO III.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN POR OBJETIVO ESPECÍFICO

#### 3.1. Objetivo específico 1:

*“Determinar si el índice de calidad del aire del Distrito Metropolitano de Quito se encuentra dentro de los límites permisibles enmarcados en las normativas nacionales referentes al Monóxido de Carbono.”*

De acuerdo al informe de la calidad del aire para el año 2018 basado en la Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire (NECA), se reporta lo siguiente:

*Tabla 10. Análisis general de la calidad del aire en el DMQ para el año 2018.*

Condición	Días del año	NECA
Deseable	16%	Bajo el 25%
Aceptable	76%	Bajo el 50%
Precaución	8%	>=al valor

*Nota: en esta tabla se muestra que la calidad del aire para el año 2018 en el DMQ fue Aceptable, en donde podría haber pequeños efectos en la salud para individuos sumamente sensibles a contaminación ambiental. Fuente: Secretaria del Ambiente (2020a).*

Del análisis de la calidad del aire para el año 2018 en el DMQ, se desprende que alrededor de 277 días fue ACEPTABLE, los cuales estuvieron distribuidos en todos los meses; en tanto que solo 58 días tuvieron condición DESEABLE, en donde la calidad del aire se considera satisfactoria y la contaminación ambiental tiene poco o ningún riesgo para la salud.

De acuerdo al informe de la calidad del aire para el año 2019 basado en la Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire (NECA), se reporta lo siguiente:

*Tabla 11. Análisis general de la calidad del aire en el DMQ para el año 2019*

<b>Condición</b>	<b>Días del año</b>	<b>NECA</b>
Deseable	12%	Bajo el 25%
Acceptable	78%	Bajo el 50%
Precaución	10%	>=al valor

*Nota: en esta tabla se muestra que la calidad del aire para el año 2019 en el DMQ fue Acceptable, en donde podría haber pequeños efectos en la salud para individuos sumamente sensibles a contaminación ambiental. Fuente: Secretaria del Ambiente (2020b, p. 1).*

Del análisis de la calidad del aire para el año 2019 en el DMQ, se desprende que alrededor de 285 días fue ACEPTABLE, los cuales estuvieron distribuidos en todos los meses; en tanto que solo 44 días tuvieron condición DESEABLE, en donde la calidad del aire se considera satisfactoria y la contaminación ambiental tiene poco o ningún riesgo para la salud.

De acuerdo al informe de la calidad del aire para el año 2020 basado en la Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire (NECA), se reporta lo siguiente:

**Tabla 12 Análisis general de la calidad del aire en el DMQ para el año 2020.**

<b>Condición</b>	<b>Días del año</b>	<b>NECA</b>
Deseable	26%	Bajo el 25%
Acceptable	71%	Bajo el 50%
Precaución	3%	>=al valor

*Nota: se muestra que la calidad del aire para el año 2020 en el DMQ fue Acceptable.*

*Fuente: Secretaria del Ambiente (2021a).*

Cabe señalar que de acuerdo a la tabla 13, el aumento de los días con calidad de aire Deseable y de la misma forma la disminución de los días con Precaución, fue debido a todas las restricciones de movilidad implementadas debido a la pandemia del COVID – 19 por la propagación del virus, lo cual se ejecutó desde mediados del mes de marzo hasta diciembre del mismo año. En ese contexto, los contaminantes PM2.5 y NO2 registraron los valores más bajos de los últimos 15 años; sin embargo, se fueron elevando a raíz de la disminución de las restricciones y la conclusión del estado de emergencia en el país.

De acuerdo al informe de la calidad del aire para el año 2021 basado en la Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire (NECA), se reporta lo siguiente:

**Tabla 13 Análisis general de la calidad del aire en el DMQ para el año 2021.**

<b>Condición</b>	<b>Días del año</b>	<b>NECA</b>
Deseable	22%	Bajo el 25%
Acceptable	76%	Bajo el 50%
Precaución	2%	>=al valor

*Nota: en esta tabla se muestra que la calidad del aire para el año 2021 en el DMQ fue Acceptable. Fuente: Secretaria del Ambiente (2021b).*

Del análisis de los informes que se tomaron en cuenta para la este estudio se desprende que para los años 2018 (Tabla 11) y 2019 (Tabla 12) la condición de deseable se encuentra oscilando entre el 10% y 20%; sin embargo, para el 2020 (Tabla 13) y 2021 (Tabla 14) este porcentaje de días al año se incrementa, debido a proliferación del virus

del SarsCov-2 (COVID - 19) la cual obligo a tomar tanto medidas sanitarias como de movilidad para la rápida contención del virus, en consecuencia la calidad del aire en el DMQ mejoró sustancialmente y no solo de Quito sino de todo el mundo.

### **3.2. Objetivo específico 2:**

*“Sistematizar la información de las estaciones de monitoreo de calidad del aire del Distrito Metropolitano de Quito en el periodo 2018-2021, para establecer los niveles de contaminación por emisiones de CO.”*

#### **3.2.1. Temperatura**

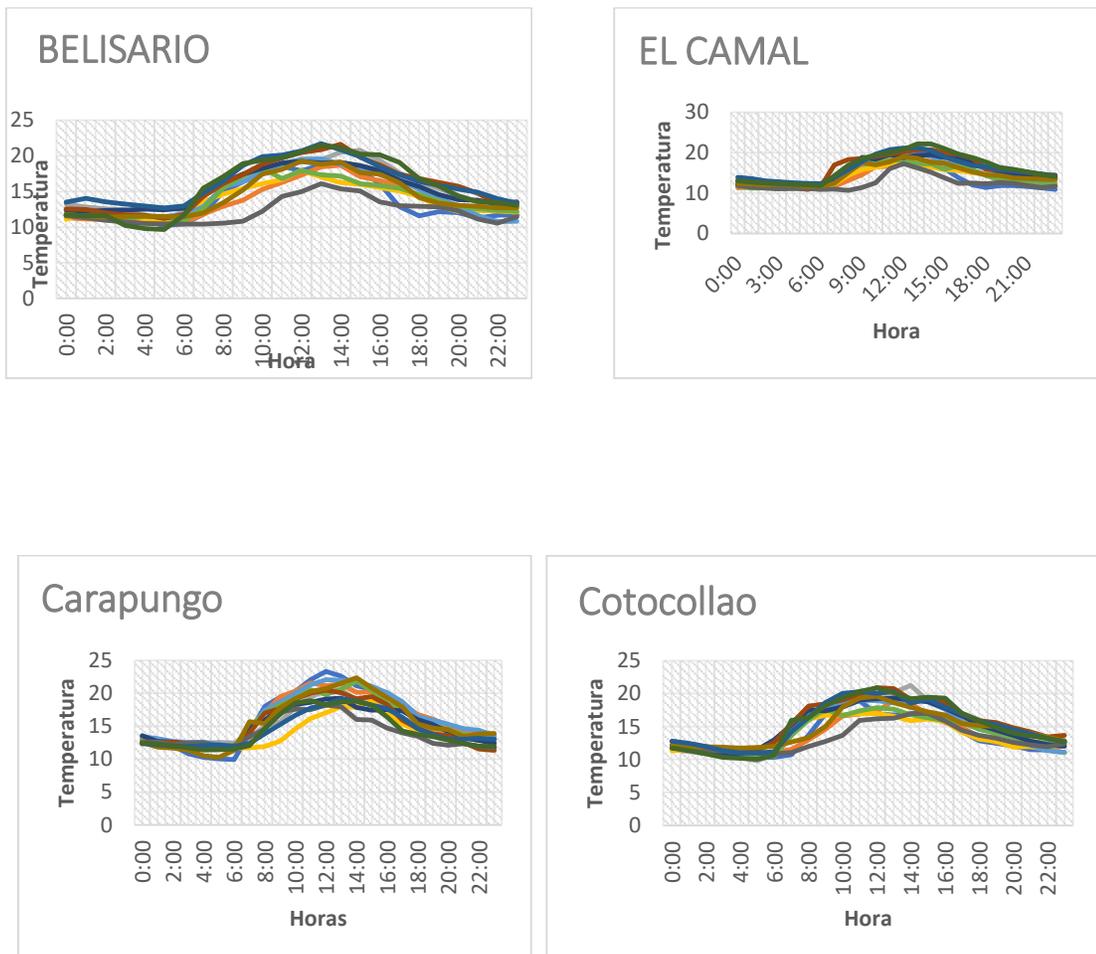
Se estima que, entre 1981-2005, la temperatura media anual se ha incrementado de manera tendencial entre 0,16 °C/década y 0,2 °C/década. Para el periodo 1981-2010, se observa una tendencia en el incremento de precipitaciones en el orden de +70 mm/década, +66 mm/década y +17 mm/década. Los cambios observados en los patrones climáticos de Quito, junto con el aumento en la intensidad y frecuencia de eventos climáticos extremos (inundaciones, movimientos en masa, vientos fuertes, olas de calor y sequias), al combinarse con altos niveles de vulnerabilidad y reducida capacidad de respuesta, han activado un total de 1 576 eventos adversos entre el 2005 y 2018, lo cual se ha ido incrementando año a año.(Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2020)

La temperatura es definida con la cantidad de calor que está presente en una masa de aire en un lugar determinado, una de las variables que influyen directamente con la temperatura es la altitud y la continentalidad (Romero & Topón, 2021). Los perfiles de temperatura correspondientes al 2021, representan los años analizados la dinámica observada está relacionada con la tendencia general las temperaturas descienden linealmente durante la madrugada y noche alcanzando el punto mínimo a las 06:00, desde las 07:00 hora que sale el sol sube la temperatura hasta presentar un máximo entre las 12:00 a 15:00 hora, desciende rápidamente hasta aproximadamente 21:00 horas, luego se ralentiza nuevamente.

La dispersión de la temperatura se muestra similar en todas las estaciones ya que existe una baja variabilidad en la temperatura por su situación geográfica. En Carapungo se presentan las temperaturas más elevadas especialmente a las horas de medio día, siendo esta la que mayor temperatura tiene.

**Figura 7.**

*Perfiles de temperatura correspondientes al año 2021.*



Nota: en esta figura 6 se muestra la concentración media de precipitación por mes, en las distintas zonas de análisis. *Fuente: Elaboración propia*

Según la figura 6, para que se produzca la precipitación, tiene que pasar ocurrir varios eventos, la humedad del aire tiene que exceder el punto de saturación, luego de este proceso sucede la condensación y se forman pequeñas gotas densas que dan origen a

las nubes que en su mayoría son de forma vertical. Las gotas en estado sólido aumentan de tamaño y gracias al baja de temperatura pasan de estado gaseoso a líquido y por efecto de la fuerza de gravedad empiezan a caer dando lugar a la lluvia (Romero & Topón, 2021)

Los datos sobre las precipitaciones tienen intensidades que van desde 2.7 a 2.9 mm/h en el norte de Quito: que pertenecen a los sectores de Cotacollao y Carapungo. Mientras que, en el Sur de Quito, estas lluvias doblan su valor, consiguiendo valores entre 4.0 a 4.2 mm/h en la estación de El Camal. Para el caso del sur oriente de la Ciudad de Quito las lluvias obtienen valores que van desde 3.7 a 3.9 mm/h en la estación de Los Chillos y de igual manera sucede en el sector de Belisario. En el lado oriental de Quito, se registran lluvias con intensidades de 3 a 3.2 mm/h en la estación de Tumbaco (Romero & Topón, 2021).

### **3.2.2. Contaminantes**

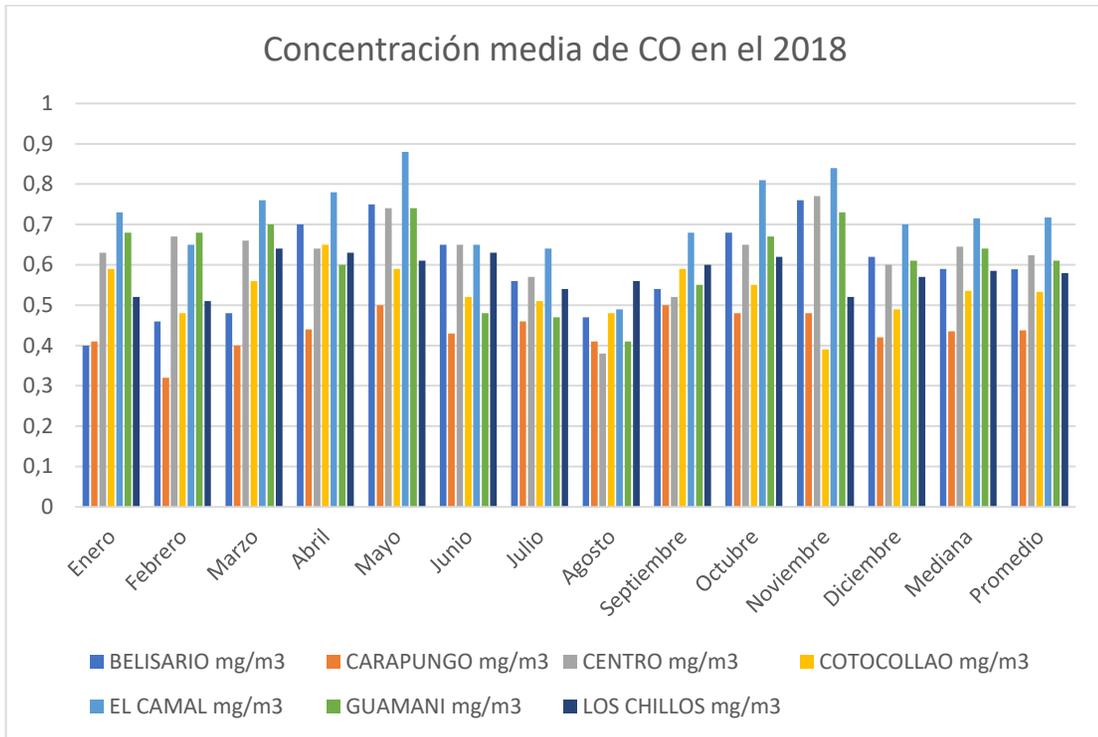
En calidad del aire descartamos el efecto climático de los gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , entre otros) y partículas con efecto invernadero, y nos concentramos en los problemas causados por los contaminantes regionales y urbanos / industriales / agrícolas ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ , monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ),  $\text{O}_3$ , COVs no metánicos,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ , metales, HAP, BC, UFP, entre otros) los cuales afectan directamente a la salud humana y los ecosistemas (Querol, 2018).

En la Figura 7 se presentan perfiles para el contaminante Monóxido de Carbono analizado con datos correspondientes al año 2018.

En diferentes estaciones de monitoreo en estas gráficas muestran las medias mensuales, se esperaría que los datos se encuentren compactados alrededor de cierto valor central. Perfiles para el resto de años analizados exhiben un comportamiento similar en todas las estaciones.

**Figura 8.**

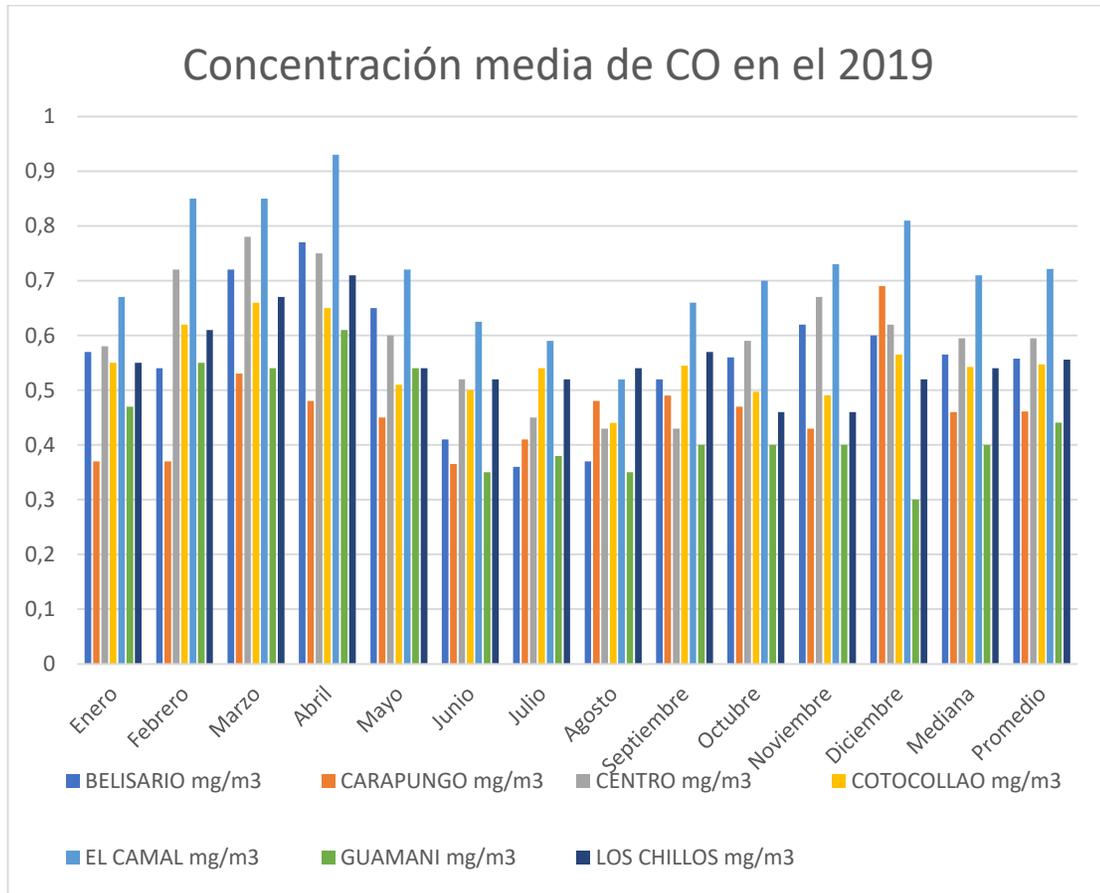
*Monóxido de Carbono analizado con datos correspondientes al año 2018.*



Nota: en esta figura se muestra la concentración media de CO por mes correspondiente al año 2018 y por estación de monitoreo, en donde se visualiza que mayo en la estación de El Camal la concentración fue mayor. Fuente: Elaboración propia.

**Figura 9.**

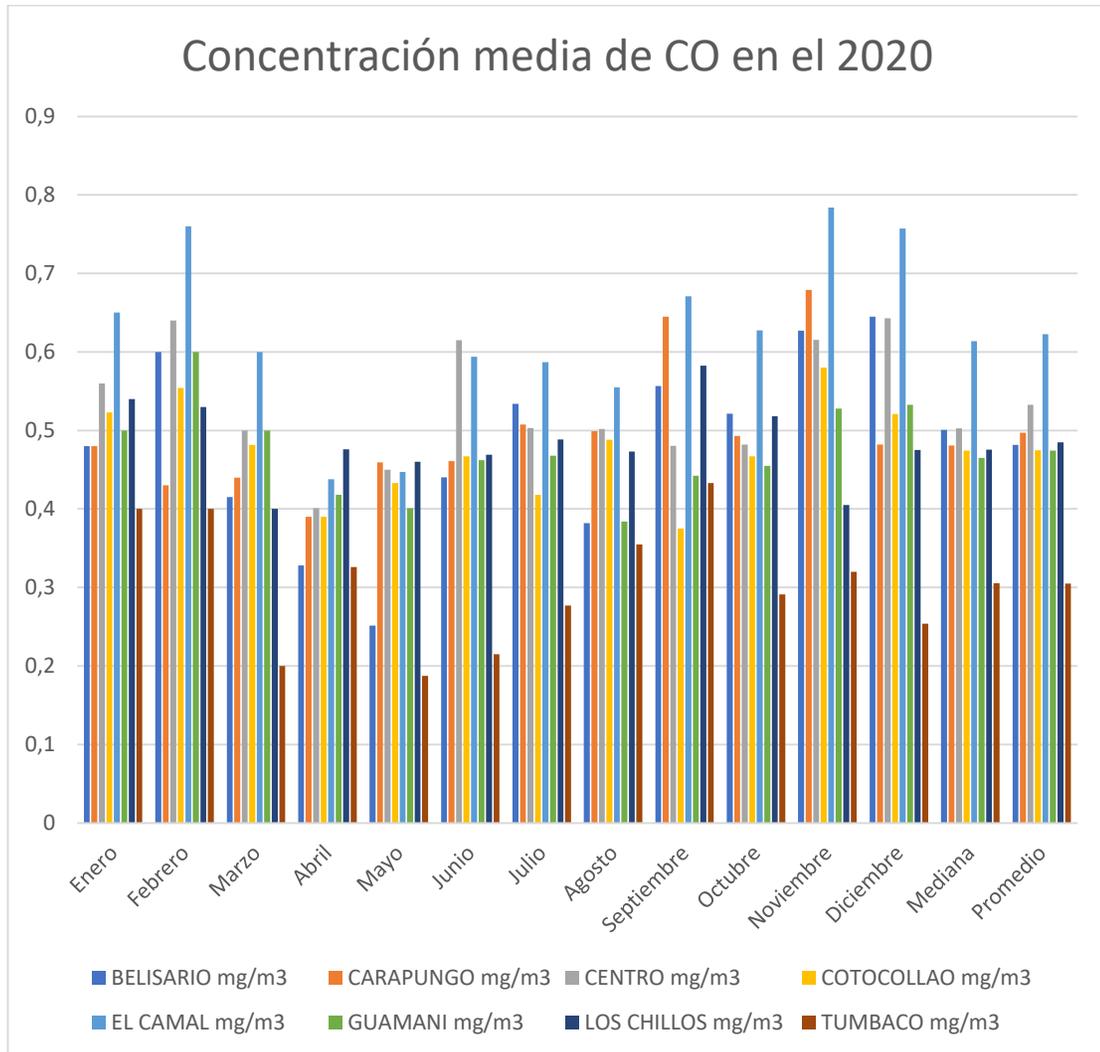
*Monóxido de Carbono analizado con datos correspondientes al año 2019.*



Nota: en esta figura se muestra la concentración media de CO por mes correspondiente al año 2019 y por estación de monitoreo, en donde se visualiza que en abril en la estación de El Camal la concentración fue mayor. Fuente: Elaboración propia

**Figura 10.**

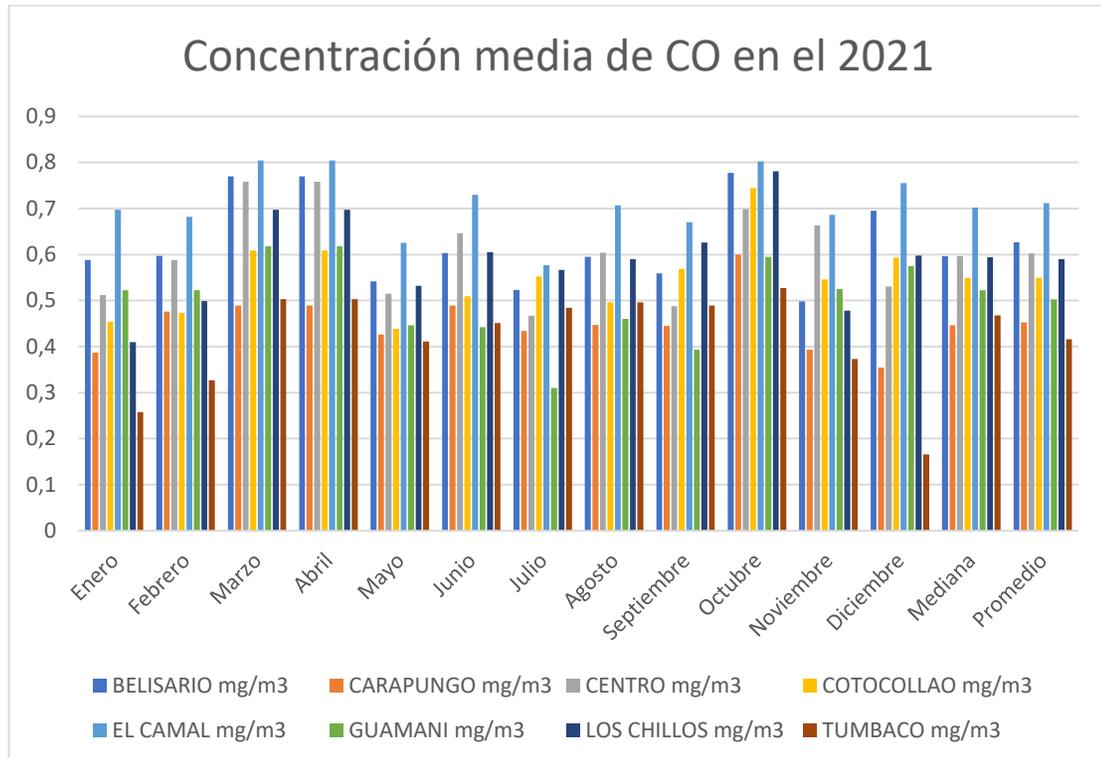
*Monóxido de Carbono analizado con datos correspondientes al año 2020.*



Nota: en esta figura 9 se muestra la concentración media de CO por mes correspondiente al año 2020 y por estación de monitoreo, en donde se visualiza que en noviembre en la estación de El Camal la concentración fue mayor, pero más baja en comparación con años anteriores. Fuente: *Elaboración propia.*

**Figura 11.**

*Monóxido de Carbono analizado con datos correspondientes al año 2021.*



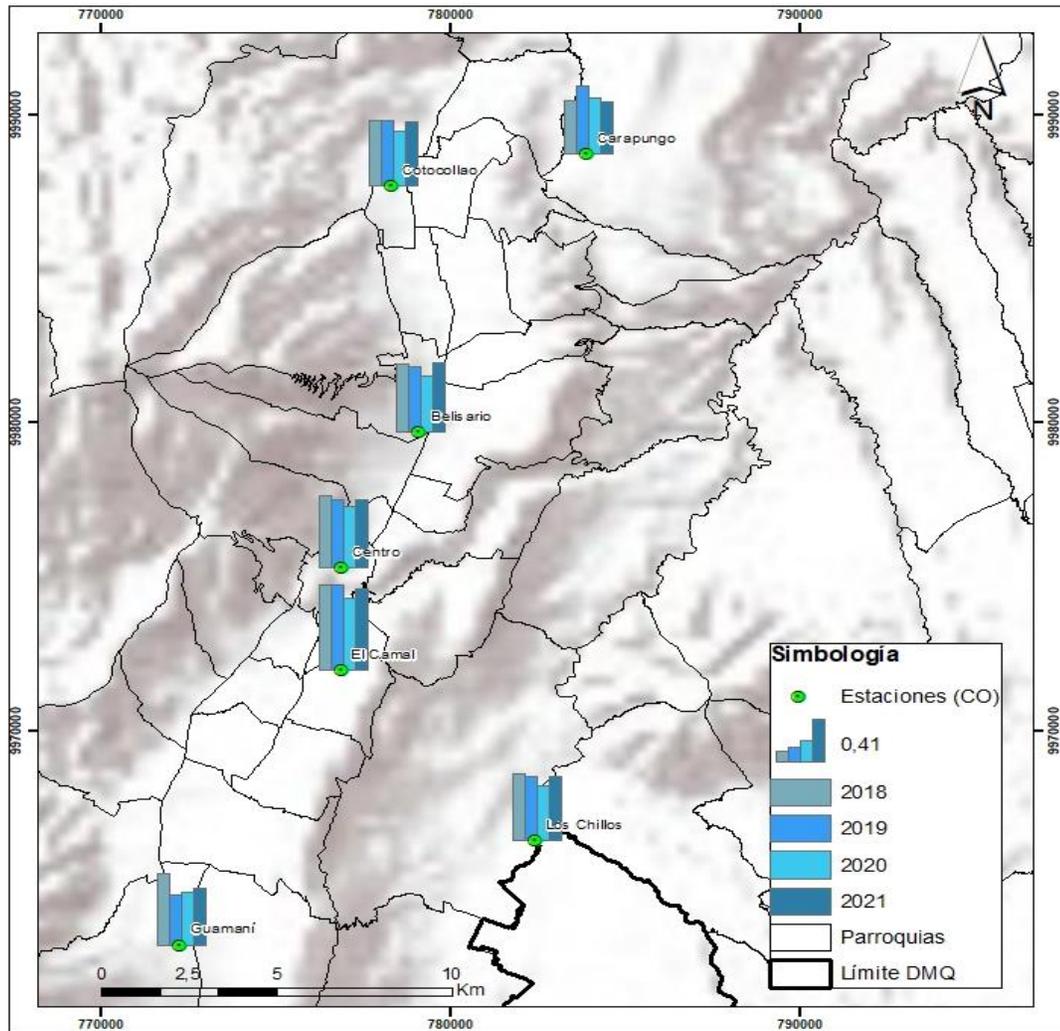
Nota: en esta figura se muestra la concentración media de CO por mes correspondiente al año 2018 y por estación de monitoreo, en donde se visualiza que para los meses de marzo, abril, octubre y diciembre la concentración estuvo más alta en las estaciones de El Camal seguido de la estación Los Chillos y Belisario. Fuente: *Elaboración propia*

De acuerdo a la tabla 2, en donde se señalan las concentraciones de contaminantes criterio que define los niveles de alerta, alarma y emergencia en la calidad del aire para el contaminante Monóxido de Carbono, se determina que con los datos analizados da como resultado el nivel de alerta el valor 15, por lo que todos los valores están dentro de la normativa y los valores son similares en los años estudiados, el valor más alto es de 0.71 (mg/m3) en la estación del Camal esto se debe al a alta carga vehicular la cual es la responsable del 96.9% del total de emisiones, las emisiones durante los días laborables y en horas pico (07h00 y las 20h00) son consistentes para la concentración de CO por el aumento del tráfico vehicular en especial en las estaciones de Cotocollao

y el Camal, en el resto de estaciones las situaciones son similares, esto es debido a que las concentraciones finales de los contaminantes no solamente son determinadas por los niveles de emisiones sino también por las condiciones meteorológicas, tal como se muestra en el siguiente mapa.

**Figura 12.**

*Mapa de concentración de Monóxido de Carbono en el DMQ*



Nota: en este mapa se visualiza el año en el que la concentración de CO estuvo más alta, de lo cual se desprende que para los años 2018 y 2019 la concentración de este contaminante cumple dicha condición disminuyendo para los años 2020 y 2021. Fuente: *Elaboración propia*

### **3.3. Objetivo específico 3:**

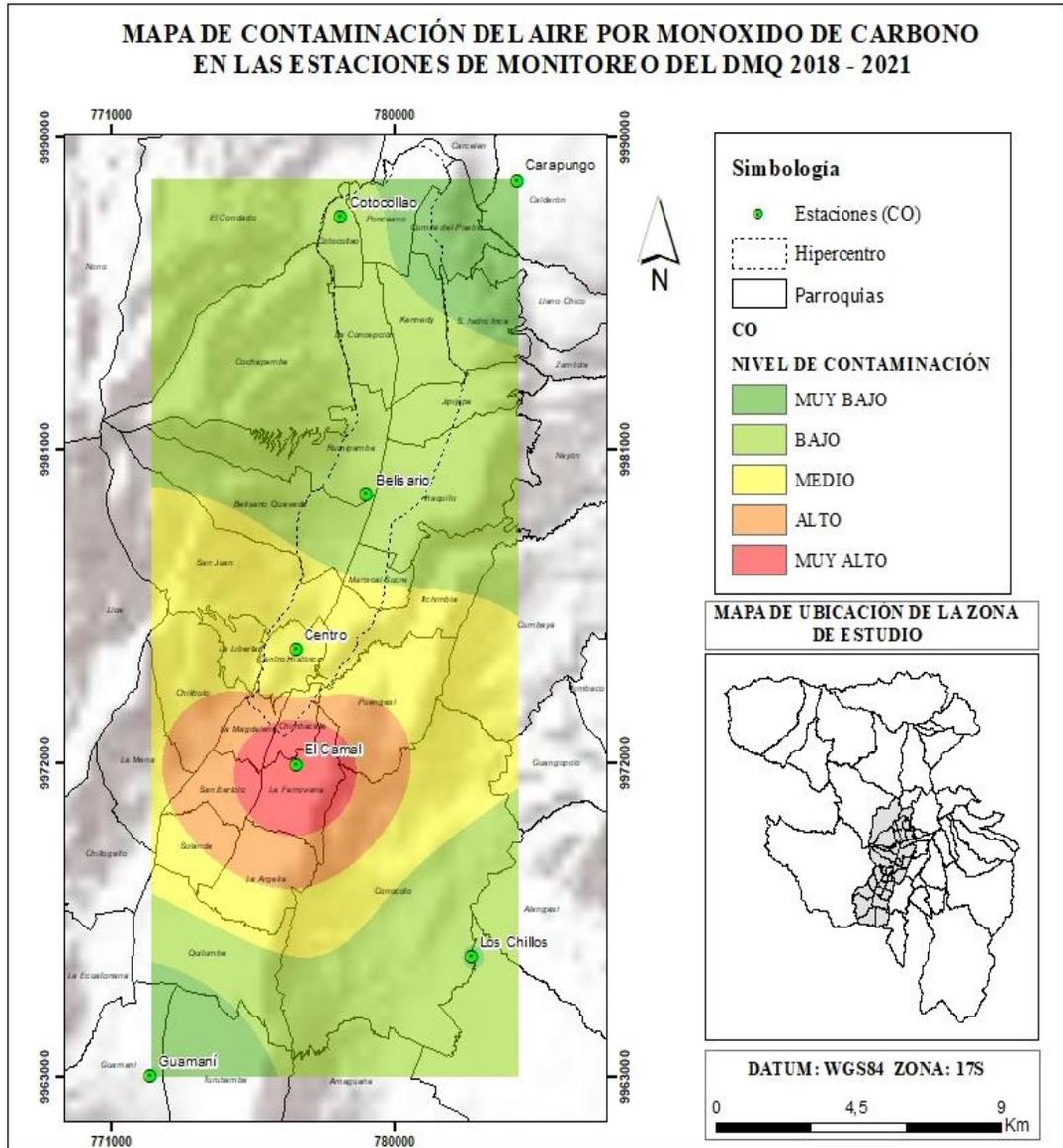
*“Realizar un mapa de la calidad del aire en el Distrito Metropolitano de Quito, con la información de la red de monitoreo que mantiene la Secretaria de Ambiente, con el fin de establecer geográficamente los sectores con mayor contaminación de CO.”*

De acuerdo al mapa realizado con el promedio de contaminación por CO, se puede observar que la contaminación más alta se encuentra en las parroquias aledañas a la estación El Camal, también se evidencia que en la estación Centro el nivel de contaminación es Medio debido a la concentración de altas cargas vehiculares en horas pico.

Por otro lado, las parroquias aledañas a las estaciones Carapungo (52 ppm), Belisario (69 ppm) y Cotocollao al Norte (51 ppm) y al Sur con Guamaní (72 ppm) y Los Chillos (47 ppm) mantienen un nivel de contaminación de Bajo a Muy Bajo.

**Figura 13.**

*Mapa de concentración de Monóxido de Carbono en el DMQ por estación de monitoreo.*



Nota: en este mapa se visualiza el nivel de contaminación en el DMQ para los años 2018, 2019, 2020 y 2021, de lo cual se desprende que en el área de influencia de la estación El Camal es donde es Muy Alto diseminándose hacia las afueras del hipercentro. Fuente: *Elaboración propia*

### **3.4. Objetivo específico 4:**

*“Elaborar una propuesta de plan de mejoras para el sistema de movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito donde priorizará la reducción los niveles de concentración de Monóxido de Carbono emitido por los automotores.”*

#### **3.4.1. Propuesta**

##### 3.4.1.1. Título del proyecto

Plan de mejoras para reducir la contaminación del aire en el Distrito Metropolitano de Quito.

##### 3.4.1.2.Contexto de la Propuesta

La contaminación del aire es ahora uno de los principales problemas ambientales en las áreas urbanas de todo el mundo, por igual en los países desarrollados, debido a los altos volúmenes de producción industrial y la diversificación del tráfico de vehículos. En los países en desarrollo y en otros lugares, esto se debe al desarrollo industrial no planificado, el uso de tecnología obsoleta en la producción, los servicios y el transporte, la mala calidad del saneamiento básico y el crecimiento urbano no planificado.

La ciudad de Quito está ubicada en la provincia de Pichincha, se encuentra dentro de la Cordillera de los Andes a su lado Occidental a una altura de 2830 m.s.n.m., cuenta con una superficie de 4.183 km<sup>2</sup> (con más de 80 km de largo y 5 km de ancho) y con 2.2 millones de habitantes. Está dividida en cinco sectores: zona norte, centro norte, centro histórico, sur y valles aledaños. El DMQ forma parte de la articulación principal que cuenta el país debido a que conecta varias provincias, por diferentes motivos ya sean comerciales, infraestructura, servicios, y como capital política, administrativa y económica del país (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2014).

El fuerte crecimiento de la población y los patrones de desarrollo urbano en expansión geográfica durante las últimas décadas han resultado en la ocupación de grandes áreas escasamente pobladas lo que ha conducido a servicios, espacios verdes e infraestructura, movilidad ineficiente, condiciones ambientales que no conducen a la calidad económica y de vida adecuados para sus habitantes (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2014).

Con estas premisas y con los resultados obtenidos del estudio que se evidencian con la cantidad de emisiones de Monóxido de Carbono emitidos a la atmósfera, en donde la causa principal son las fuentes fijas y móviles que se encuentran directamente afectando a la salud de los quiteños.

El Municipio de Quito mantiene la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ), el cual fue financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo mediante un préstamo al Gobierno del Ecuador el 13 de octubre de 1994, con el cual se implementó los bienes y servicios para esta red. La REMMAQ formó parte de la CORPAIRE (Corporación para el Mejoramiento del Aire) desde el 1 de enero de 2004 hasta el 31 de diciembre de 2010, actualmente esta entidad se encuentra a cargo de la Secretaria de Ambiente del Municipio de Quito (Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2022b).

La REMMAQ tiene como fin generar datos confiables sobre la concentración de contaminantes atmosféricos en el DMQ, los cuales sirvan como insumo para motivar planes, programas y proyectos que modifican la política pública actual referente a la calidad del aire, además de publicar dichos datos de forma comprensible y dinámica para todos. Esta red mantiene nueve (9) estaciones remotas de monitoreo que pueden analizar de forma continua y automática los siguientes contaminantes comunes del aire:

- Monóxido de carbono (CO);
- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>);
- Óxidos de nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub> y NOX);
- Ozono (O<sub>3</sub>); y,

- Material particulado fino o de diámetro menor a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>) y menor a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>)

Con estos antecedentes, el objetivo de mejorar la gestión ambiental y aprovechar de manera más eficiente los datos obtenidos de la red de monitoreo, además de los resultados que lograron en este estudio, se propone un plan de mejoras para reducir la contaminación del aire en el Distrito Metropolitano de Quito, con el cual se delimitaran acciones con la finalidad de intervenir, prevenir y mejorar la calidad del aire y con ello resguardar la salud de los ciudadanos.

#### 3.4.1.3. Justificación de la Propuesta

Con base en los resultados observados en este estudio y haciendo referencia a las normas emitidas por el Ministerio del Medio Ambiente, se establece: “En la actualidad, las tres herramientas principales de evaluación de la calidad del aire son: monitoreo del aire ambiente, modelos, inventarios, y medición de emisiones” (Ministerio de Ambiente, 2012). Por lo cual se propone un Plan de mejoras para el sistema de movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito, con el fin de establecer medidas con las cuales se mitigue los impactos de la contaminación, de igual forma se disminuyan, considerando el constante crecimiento poblacional, las fuentes de emisión y de acuerdo a las actividades económicas que se ejecutan en la ciudad.

La REMMAQ genera mediciones diarias, las cuales son compiladas de forma mensual de todos los contaminantes antes mencionados, generando un registro anual con el fin de emitir un Informe de calidad del aire anual, esta información genera una tendencia con la cual se puede proyectar futuros escenarios. Con ello, el plan de mejoras para el sistema de movilidad ayudará a visualizar las variaciones en las emisiones y evaluar el impacto de las medidas propuestas en la calidad del aire de la ciudad.

#### 3.4.1.4. Objetivos de la Propuesta

##### **Objetivo General**

- Proponer estrategias para mejorar la calidad del aire en el D.M. Quito con el fin de reducir la carga de contaminantes emitidos al ambiente principalmente el Monóxido de Carbono y con ello proteger la salud de los habitantes.

##### **Objetivos Específicos**

- Analizar la factibilidad de la implementación de un Plan de mejoras para reducir la contaminación del aire en el Distrito Metropolitano de Quito.
- Representar la cobertura territorial de la red de monitoreo (REMMAQ) que actualmente está en operación con el fin de analizar la factibilidad de aumentar las estaciones de monitoreo.

#### 3.4.1.5. Análisis de Factibilidad

- **POLÍTICA**

Las medidas que se analicen como propuesta es factible debido a que el Municipio de Quito dispone de la Secretaria de Ambiente mantiene la competencia de poner en práctica y hacer el adecuado seguimiento, con el fin de agregar valor a la propuesta se pueden hacer varios convenios con universidades e institutos para fortalecer la investigación.

- **ORGANIZACIONAL**

La Secretaria de Movilidad puede ser parte del monitoreo de la calidad del aire al ser actor participe, al cual la información que genera la Secretaria de Ambiente a diario, les permitan desarrollar políticas y estrategias adecuadas con la realidad de la ciudad.

- **SOCIO CULTURAL**

En cuanto a la factibilidad del Plan de mejoras, es de vital importancia debido a que Quito es centro cultural además de ser uno de los sitios turísticos más visitados por propios y extranjeros; por tanto, el interés de las autoridades en mantener el turismo debe situarse en mejorar la calidad de vida de sus residentes y con ello de sus visitantes.

- **ECONÓMICA**

El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito se encargará de destinar los recursos necesarios para ejecutar la propuesta y de hacer el seguimiento oportuno, además de buscar el financiamiento externo con el fin de fortalecer la red de monitoreo.

#### 3.4.1.6. Marco Legal

##### **A. CONSTITUCIÓN POLÍTICA DEL ECUADOR (2008)**

Derecho de vivir en un ambiente sano:

- Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

El derecho al hábitat y vivienda:

- Art. 31.- Las personas tienen derecho al disfrute pleno de la ciudad, de sus espacios públicos, bajo los principios de sustentabilidad, justicia social, respeto a las diferentes culturas urbanas, al equilibrio entre lo urbano y lo rural. El ejercicio del derecho a la ciudad se basa en la gestión democrática de ésta, en la función social y ambiental de la propiedad y de la ciudad, en el ejercicio pleno de la ciudadanía.

- El Art. 66.- reconoce y garantiza a las personas el derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.
- El Art. 396.- plantea que el Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos.
- De acuerdo al Art. 397, en caso de daños ambientales, el Estado deberá actuar de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas, y deberá establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental.
- El Art. 399.- determina que el ejercicio integral de la tutela estatal sobre el ambiente y la corresponsabilidad de la ciudadanía en su preservación, se articulará a través de un sistema nacional descentralizado de gestión ambiental.

## **B. PLAN DE CREACIÓN DE OPORTUNIDADES (2021) -2025**

### **Eje transición ecológica**

Recursos naturales, conservación de los ecosistemas, deforestación y patrimonio natural.

- Objetivo 11. Conservar, restaurar, proteger y hacer un uso sostenible de los recursos naturales.

Este objetivo busca atender los requerimientos legales necesarios de la actividad humana en el marco de la transición ecológica, a través de una programación conductual que posibilite la protección del medio ambiente, la conservación del hábitat, el manejo efectivo de los recursos naturales y la restauración de los ecosistemas (Secretaría Nacional de Planificación, 2021).

## **C. CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE (2017)**

**CAPITULO V-CALIDAD DE LOS COMPONENTES ABIÓTICOS Y ESTADO DE LOS COMPONENTES BIÓTICOS**

- Art. 191.- Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto.

Se dictarán y actualizarán periódicamente las normas técnicas, de conformidad con las reglas establecidas en este Código.

Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción.

#### 3.4.1.7. Fundamentación Teórica

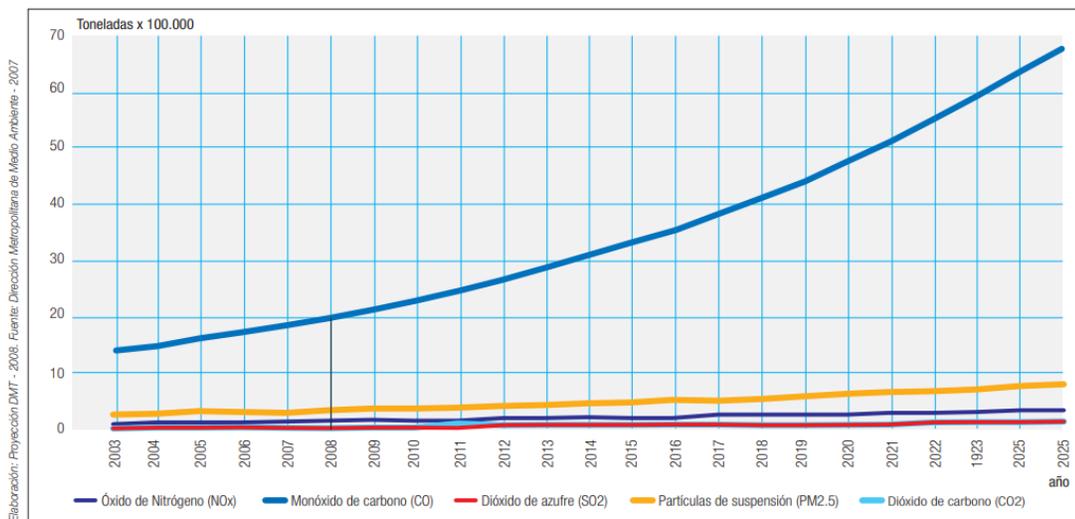
- **La contaminación ambiental de fuentes móviles**

El tráfico de automóviles emite contaminantes y genera altos niveles de ruido. Este problema global es una de las principales causas del cambio climático en nuestro planeta, y sus efectos devastadores impactan cada vez más en la vida humana (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2009)

En el DMQ anualmente se emiten alrededor de 2.740 toneladas de contaminantes a la atmósfera, de las cuales un 53% serían derivadas de los vehículos que circulan en la ciudad, de acuerdo a un análisis realizado en un promedio de tres años el material particulado fino (PM<sub>2.5</sub>), uno de los más peligrosos, se reflejó sobre la concentración máxima permitida en la Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire (15µg/m<sup>3</sup>) (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2009)

**Figura 14.**

*Tendencia de emisión de contaminantes del DMQ*



Nota: en esta figura se muestra la tendencia y proyección de la concentración de CO entre los años 2003 y 2025, en la cual se muestra un aumento significativo. Fuente: (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2009)

Con estas premisas, con el fin de controlar y disminuir la contaminación ambiental que se emite por el tránsito vehicular, en el DMQ, en el año 2003 se realizaron los Centros de Revisión Técnica Vehicular, a los cuales anualmente todo vehículo matriculado en la ciudad debe someterse a esta revisión obligatoria, con la implementación de esta medida se ha evidenciado en la disminución de las emisiones de los contaminantes

además de mejorar la condición mecánica del parque automotor. Sin embargo, con el continuo crecimiento vehicular esta medida ha resultado insuficiente, por lo cual se debe realizar otras medidas para controlar la contaminación

- **Funcionamiento del sistema de transporte**

Los sistemas de transporte son el motor de la movilidad. Gracias a él, la población puede trasladarse a las ciudades. Tiene su propia estructura y depende de otros subsistemas y otros factores (uso del suelo, distribución de la población, composición espacial urbana, condiciones económicas) (Demoraes, 2005).

Se considera los siguientes componentes:

- La Normativa legal e institucional que define las competencias de los distintos involucrados.

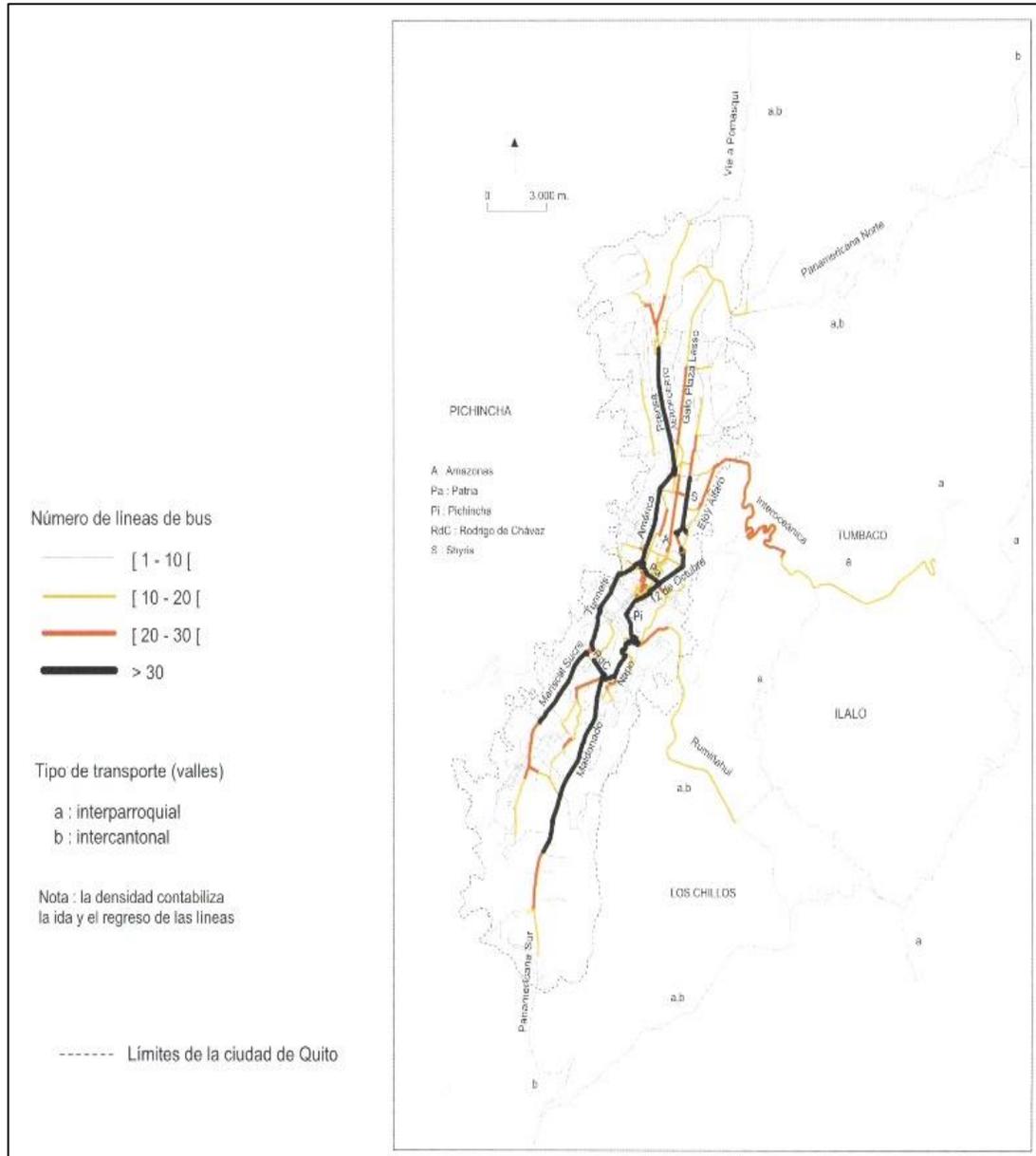
Los actores involucrados en la red vial de la ciudad se encuentran: La Empresa Metropolitana de Obras Públicas (EMOP-Q), Consejo Provincial de Pichincha y Ministerio de Obras Públicas. El sistema de actores involucrados en el tema vial en el DMQ se basa entonces en la complementariedad de las autoridades municipales, provinciales y centrales, con el sector privado jugando un papel cada vez más importante. Las concesiones de tramos de carreteras y las plazas de peaje ayudan a mejorar la calidad y el mantenimiento de las carreteras, pero dificultan cada vez más la gestión de los peajes, a menudo elevados, que imponen las empresas privadas, como en el caso de la Autopista Rumiñahui, lo que provoca conflictos (Demoraes, 2005).

El sistema ha sufrido muchos cambios en los últimos 15 años, ya que los cambios de circunstancias (especialmente las tarifas) han provocado crisis y hay que adaptarse cambiando la organización para conseguir la situación actual: un sistema integrado (Demoraes, 2005). Por lo que en la figura 3, se muestra la cantidad de líneas de buses que existen en la ciudad y las principales vías que usan para sostener el servicio.

**Figura 15.**

*Densidad*

*de líneas de buses urbanos, Inter parroquiales e Inter cantónales en aglomeración en Quito.*



Nota: en la figura se muestra en tono oscuro las líneas de buses urbanos con mayor concentración en la ciudad, notándose a las afueras que esta concentración disminuye.

Fuente: Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2009)

- La infraestructura vial (red, obras y equipamientos) en las cuales se fundamenta la movilidad.

La red vial de Quito consiste en una colección de caminos, calles y callejones, incluidos puentes y túneles. Las principales redes y vías en el centro de la ciudad están totalmente pavimentadas, pero en el sur de la ciudad, en los suburbios urbanos y espacios suburbanos, las redes no siempre están pavimentadas. Según el diagrama, hay tres tipos de caminos. Se consideró su principal función y frecuencia (especialmente los movimientos humanos) de la siguiente forma: ejes estructurales, caminos principales y caminos secundarios (Demoraes, 2005).

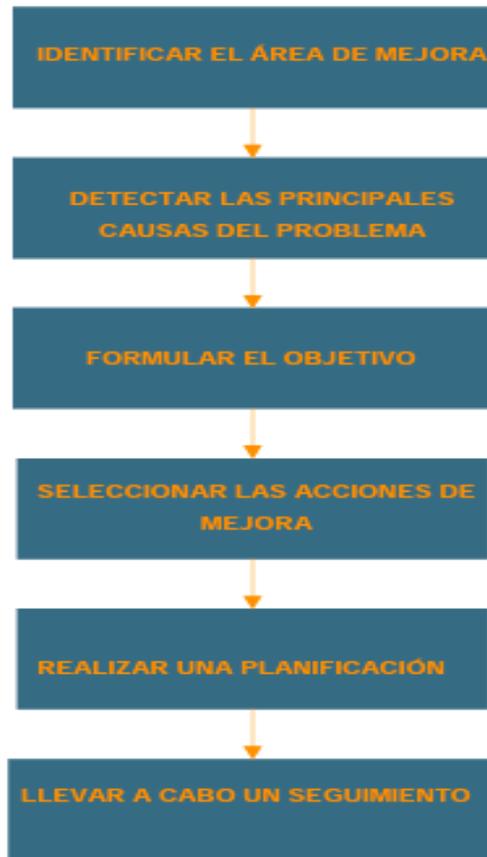
- La oferta de transporte (vehículos y redes) que posibilitan los desplazamientos. De acuerdo a la Secretaria de Movilidad el 75% de los quiteños utiliza el transporte de línea y sistema integrado. Por lo tanto, la Municipalidad ha estado trabajando en mejorar el sistema de transporte público, incentivar el uso de vehículos no motorizados y a la reducción del uso de vehículos con alta frecuencia en la ciudad (Revista Líderes, 2019).

#### 3.4.1.8. Metodología

La metodología se desarrolla con base en la formulación de un plan de mejoras, en donde los aspectos principales a ser tomados en se presentan en la figura 15.

**Figura 16.**

*Pasos de un plan de mejoras*



Nota: en esta figura se muestra los pasos para la elaboración de un plan de mejoras.

Fuente: (Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación, n.d.)

### **A. Identificar el área de mejora**

Una vez identificadas las estaciones de monitoreo con mayor concentración de Monóxido de Carbono, se evalúa las posibles causas que están generando este aumento, con el fin de proponer medidas que ayuden a disminuir dichos niveles.

### **B. Detectar las principales causas del problema**

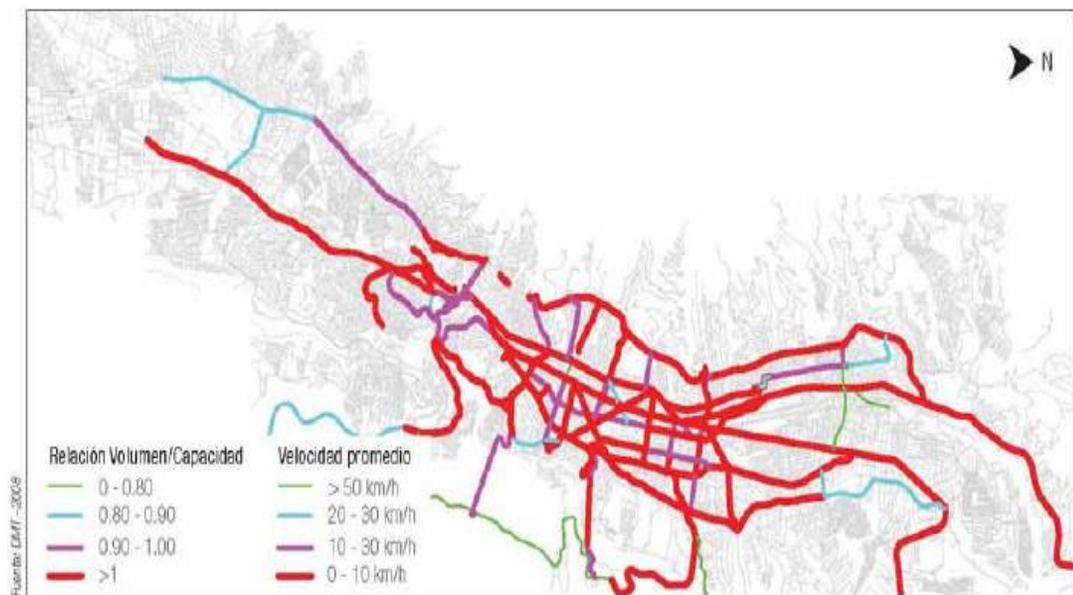
De acuerdo al análisis realizado por concentración de Monóxido de Carbono se pudo detectar que a mayor carga vehicular dentro del sistema vial principal de la ciudad la

concentración de CO aumenta, es decir, está directamente relacionado, tal como se muestra en la Figura 4.

Otra de las causas, es la cantidad de contaminante que se emite dentro de las industrias o fábricas, también conocidas como fuentes fijas, en donde todavía se usa combustibles fósiles como diésel o gasolina para su operación, lugares donde con procesos de mejora y monitoreo continuo se puede controlar hasta llegar a los límites permisibles establecidos en la normativa.

### Figura 17.

*Tendencia de la relación volumen/ capacidad y velocidad promedio en la red vial principal del DMQ - 2025*



Nota: en esta figura se muestra en notación oscura la relación Capacidad / Velocidad, de donde se desprende que entre mayor capacidad menor es la velocidad promedio de recorrido.

Fuente: Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (2009)

### C. Formular el objetivo

- Reducir progresivamente la concentración de Monóxido de Carbono de acuerdo a los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Ecuatoriana de la

Calidad del Aire mediante la implementación de mejoras sostenibles en el sistema de movilidad del Distrito Metropolitano de Quito.

#### **D. Seleccionar las acciones de mejora**

A continuación, se presenta las principales acciones de mejora que se pueden implementar en el sistema de movilidad con el fin de optimizar el transporte público y desincentivar el uso de vehículos particulares.

- Mejora continua de la Red de estaciones de monitoreo de contaminantes, con el fin de obtener datos confiables siempre.
- Ampliar las rutas de ciclo vías y estacionamientos de bicicletas para atraer a más personas a usar medios de transporte no motorizados para desplazarse en distancias cortas.
- Prevaler la movilidad peatonal mediante la regeneración urbana, es decir, mejoras en el espacio que usan los peatones que contenga el dimensionamiento apropiado, sea seguro y cómodo.
- Acondicionar estacionamientos seguros en lugares estratégicos con conexión al sistema de transporte público con el fin de facilitar la movilidad de los usuarios sin que los vehículos ingresen a zonas con mayor afluencia de vehículos y se generen aglomeraciones.
- Renovar las unidades de transporte público como son Ecovía, Trolebús y Metro que forman parte del Sistema de Transporte Público que es utilizado por una gran cantidad de personas a diario, por unidades más ecoeficientes debido a que muchas de estas ya han cumplido su vida útil y al tener muchos desperfectos mecánicos genera mayor contaminación ambiental.
- Dar incentivos o subvenciones por el cambio de vehículos convencionales a vehículos menos contaminantes como son los eléctricos o híbridos que ya están en el mercado con el fin de llegar al mínimo de emisiones con la utilización de estos automóviles.

- Ampliar el horario de la medida conocida como “Pico y Placa”, la cual restringe la movilidad de los automotores de acuerdo al último número de placa, medida que reduciría la carga vehicular y con ello la contaminación ambiental.

### **E. Realizar una planificación**

A continuación, se presenta una tabla en la cual se prioriza las acciones de mejora identificadas en el apartado anterior, la cual servirá como guía para identificar las acciones prioritarias a ser implementadas.

*Tabla 14 Acciones de mejora propuestas para el sistema de movilidad de la ciudad de Quito.*

<b>Nro.</b>	<b>Acciones de mejora a llevar a cabo</b>	<b>Dificultad</b>	<b>Plazo</b>	<b>Impacto</b>	<b>Priorización</b>
1	Mejora continua de la Red de estaciones de monitoreo de contaminantes, con el fin de obtener datos confiables siempre.	2	2	2	6
2	Ampliar las rutas de ciclovías y estacionamientos de bicicletas para atraer a más personas a usar medios de transporte no motorizados para desplazarse en distancias cortas.	2	3	3	8
3	Prevalecer la movilidad peatonal mediante la regeneración urbana, es decir, mejoras en el espacio que usan los peatones que contenga el dimensionamiento apropiado, sea seguro y cómodo.	3	3	3	9
4	Acondicionar estacionamientos seguros en lugares estratégicos con conexión al sistema de transporte público con el fin de facilitar la movilidad de los usuarios sin que los vehículos ingresen a zonas con mayor afluencia de vehículos y se generen aglomeraciones.	1	1	4	6

5	Renovar las unidades de transporte público como son Ecovía, Trolebús y Metro que forman parte del Sistema de Transporte Público que es utilizado por una gran cantidad de personas a diario, por unidades más ecoeficientes debido a que muchas de estas ya han cumplido su vida útil y al tener muchos desperfectos mecánicos genera mayor contaminación ambiental.	1	1	4	6
6	Dar incentivos o subvenciones por el cambio de vehículos convencionales a vehículos menos contaminantes como son los eléctricos o híbridos que ya están en el mercado con el fin de llegar al mínimo de emisiones con la utilización de estos automóviles.	2	2	3	7
7	Ampliar el horario de la medida conocida como “Pico y Placa”, la cual restringe la movilidad de los automotores de acuerdo al último número de placa, medida que reduciría la carga vehicular y con ello la contaminación ambiental.	4	2	4	10

*Nota: las acciones remarcadas son las que tiene mayor grado de priorización para ser implementados en el Sistema de Movilidad. Fuente: Tomado como referencia de Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (n.d.)*

## **F. Llevar a cabo un seguimiento**

La siguiente fase del plan de mejoras es la elaboración de un cronograma en el cual se planifica el seguimiento e implantación de las acciones de mejora antes propuestas de acuerdo al orden de priorización estableciendo plazos para el desarrollo de dichas acciones; sin embargo, para este caso este paso será desarrollado como segunda fase una vez que los entes de control, el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito implemente dichas medidas y puedan ser evaluadas a futuro.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. CONCLUSIONES**

La contaminación del aire en Quito se establece por uno de los principales problemas que son los vehículos, el 90% de los contaminantes del aire son producidos por el transporte público y automóviles los cuales emplean combustibles fósiles ya sea gasolina o diésel.

Los datos que fueron estudiados para el contaminante CO dan a notar una reducción baja en el 2020 esto puede ser debido a la pandemia y las restricciones de movilización en la ciudad, pero al igual que en el 2018 hasta el 2022 de este estudio cumple con la normativa ambiental vigente (Ministerio de Ambiente, 2012) - Tabla 1 siendo así las estaciones de monitoreo Cotocollao y el Camal las que presentan niveles altos de CO, pero cumplen con la normativa.

Del análisis de los informes de calidad de aire emitidos por la Secretaría de Ambiente que formaron parte de este estudio se desprende que para los años 2018 y 2019 la condición de deseable se encuentra oscilando entre el 10% y 20%; sin embargo, para el 2020 y 2021 este porcentaje de días al año se incrementa, debido a proliferación del virus del SarsCov-2 (COVID - 19) la cual obligo a tomar tanto medidas sanitarias como de movilidad para la rápida contención del virus, en consecuencia la calidad del aire en el DMQ mejoró sustancialmente y no solo de Quito sino de todo el mundo.

De acuerdo al mapa realizado con el promedio de contaminación por CO, se puede observar que la contaminación más alta se encuentra en las parroquias aledañas a la estación El Camal, también se evidencia que en la estación Centro el nivel de contaminación es Medio en las cuales la concentración es elevada debido a las altas cargas vehiculares en horas pico.

Por otro lado, las parroquias aledañas a las estaciones Carapungo (52 ppm), Belisario (69 ppm) y Cotocollao al Norte (51 ppm) y al Sur con Guamaní (72 ppm) y Los Chillos (47 ppm) mantienen un nivel de contaminación de Bajo a Muy Bajo.

La mala calidad del combustible y el excesivo parque automotor de la ciudad hace que cada año vaya aumentando la cantidad de CO. La capital al encontrarse a una altitud de más de los 2700 msnm hace que exista una mala combustión de los combustibles por su baja cantidad de oxígeno, y al encontrarse geográficamente cerca de las montañas impide que el aire fluya de una manera eficiente y que los contaminantes se dispersen hacia otras zonas.

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

Se recomienda a las autoridades de Quito la mejora en el sistema de transporte y el cambio de la matriz energética da una luz a la posible solución para la contaminación del aire en la ciudad.

Se recomienda a las autoridades de Quito promover el uso de bicicletas y transportes unipersonales eléctricos ayudan, pero si la calidad del combustible no mejora no se puede hablar de una solución.

Se recomienda a las autoridades de Quito promover en los habitantes de la ciudad una cultura ambiental amigable con el aire, por lo cual se deben cambiar su manera de transportarse y tratar de encontrar soluciones sustentables con el ambiente.

Se recomienda a las autoridades del cabildo quiteño llevar a cabo una correcta implementación del metro de Quito la cual promete ser la solución al tráfico y a la contaminación de la cual tanto nos aqueja.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación. (n.d.). *PLAN DE MEJORAS: Herramienta de trabajo*.  
[http://uantof.cl/public/docs/universidad/direccion\\_docente/15\\_elaboracion\\_plan\\_de\\_mejoras.pdf](http://uantof.cl/public/docs/universidad/direccion_docente/15_elaboracion_plan_de_mejoras.pdf)
- Bolaños Morera, P., & Chacón Araya, C. (2017). *REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA INTOXICACION POR MONOXIDO DE CARBONO*. 34(1).  
<https://www.scielo.sa.cr/pdf/mlcr/v34n1/2215-5287-mlcr-34-01-137.pdf>
- California Office of Environmental Health Hazard Assessment. (2021). *PM2.5*.  
<https://oehha.ca.gov/calenviroscreen/indicator/pm25#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20PM%202.5%3F,grosor%20de%20un%20cabello%20humano>.
- Código Orgánico Del Ambiente*. (2017). [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO\\_ORGANICO\\_AMBIENTE.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf)
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1992). *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*.  
<https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm>
- Constitución de la República del Ecuador, 449 Registro Oficial 25 (2008).  
<https://www.defensa.gob.ec/wp->

content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador\_act\_ene-2021.pdf

Demoraes, F. (2005). *Movilidad, elementos esenciales y riesgos en el distrito metropolitano de Quito*. [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers11-10/010039249.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-10/010039249.pdf)

Earthgonomig. (2020, September 9). *Medios de transporte alternativos ecológicos*. <https://earthgonomic.com/noticias/medios-de-transporte-alternativos-ecologicos/#:~:text=Bicicletas%2C%20patines%20y%20motocicletas%20el%20A9ctricas,sustentable%20la%20calidad%20de%20vida>.

Eguren, L. (2004). *El mercado de carbono en América Latina y el Caribe : balance y perspectivas* (Naciones Unidas & CEPAL, Eds.). [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.euroclima.org/images/Publicaciones/Ambiente/LAC\\_El\\_mercado\\_de\\_carbono\\_en\\_LAC.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.euroclima.org/images/Publicaciones/Ambiente/LAC_El_mercado_de_carbono_en_LAC.pdf)

Environmental Protection Agency. (2022, September 12). *Clean Air Act*. <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-air-act>

EPA. (2006). *Fuel Economy Labeling of Motor Vehicles: Revisions To Improve Calculation of Fuel Economy Estimates*. .

Espinosa Posso, A. (2020). *Emisión de gases de efecto invernadero en las opciones dominantes de movilidad del Distrito Metropolitano de Quito* [Tesis de Maestría, Universidad Andina Simón Bolívar]. <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/7972/1/T3453-MCCNA-Posso-Emission.pdf>

Gobierno del Ecuador. (2008). *LEY ORGÁNICA DE TRANSPORTE TERRESTRE TRÁNSITO Y SEGURIDAD VIAL*. <https://portovial.gob.ec/sitio/descargas/leyes/ley-organica-transporte-terrestre-transito-y-seguridad-vial.pdf>

- Iroz, N., Juambelz, L., Moyano, J. C., Muñoz, D., Sosa, J., Maceiras, R., Avila, E., Delozano, M., Aguirre, F., & Torres, M. (2018). *El ciclo biológico del Carbono*. <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/qcasis/com64cbiol.pdf>
- Ministerio de Ambiente. (2011a). *Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire*. [http://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria\\_Ambiente/red\\_monitoreo/informacion/norma\\_ecuato\\_calidad.pdf](http://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf)
- Ministerio de Ambiente. (2011b). *Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire*. [http://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria\\_Ambiente/red\\_monitoreo/informacion/norma\\_ecuato\\_calidad.pdf](http://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf)
- Ministerio de Ambiente. (2012). *Anexo 4 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente Norma de Calidad del Aire o Niveles de Inmisión*. <https://maeorellana.files.wordpress.com/2015/11/anexo-4-calidad-del-aire.pdf>
- Ministerio de Ambiente, A. y T. E. (2019). *Ecuador presenta ante Naciones Unidas su compromiso de reducir los gases de efecto invernadero*. <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-presenta-ante-naciones-unidas-su-compromiso-de-reducir-los-gases-de-efecto-invernadero/>
- Ministerio de Ambiente, A. y T. E. (2021a). *Ecuador presenta el Plan de Implementación de su Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional*. <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-presenta-el-plan-de-implementacion-de-su-primera-contribucion-determinada-a-nivel-nacional/>
- Ministerio de Ambiente, A. y T. E. (2021b). *Ecuador cuenta con un sistema informático de cálculo del inventario de Gases de Efecto Invernadero*. <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-cuenta-con-un-sistema-informatico-de-calculo-del-inventario-de-gases-de-efecto-invernadero/>

- Ministerio del Ambiente. (2010). *PLAN NACIONAL DE LA CALIDAD DE AIRE*.  
<https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>
- Ministerio del Ambiente de Perú. (2021). *Efectos de la contaminación del aire*.  
<https://infoaireperu.minam.gob.pe/efectos-de-la-contaminacion-del-aire/>
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2009). *Plan Maestro de Movilidad para el Distrito Metropolitano de Quito 2009 - 2025*.  
[https://biblio.flacsoandes.edu.ec/shared/biblio\\_view.php?bibid=118765&tab=opac](https://biblio.flacsoandes.edu.ec/shared/biblio_view.php?bibid=118765&tab=opac)
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2014). *Diagnóstico Territorio del DMQ*.
- Naciones Unidas. (2020). *Aire saludable, planeta saludable*.
- Naciones Unidas. (2022). El 99% de la población mundial respiramos aire contaminado. *Salud*.
- OECD. (2016). *The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution*. OECD.  
<https://doi.org/10.1787/9789264257474-en>
- Organización Mundial de la Salud. (2016). *Air quality database: Update 2016*.  
<https://www.who.int/data/gho/data/themes/air-pollution/who-air-quality-database/2016#:~:text=Air%20quality%20database%3A%20Update%202016&text=According%20to%20the%20latest%20urban,that%20percentage%20decreases%20to%2056%25>.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Contaminación atmosférica*.  
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/air-pollution>
- Organización Mundial de la Salud. (2022). *Contaminación del aire ambiente (exterior)*.  
[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)

- Organización Panamericana de la Salud. (2018). *Contaminación del aire ambiental exterior y en la vivienda: Preguntas frecuentes*.  
<https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire-salud/contaminacion-aire-ambiental-exterior-vivienda-preguntas-frecuentes#:~:text=La%20contaminaci%C3%B3n%20del%20aire%20puede,impactos%20adversos%20en%20la%20salud>.
- Páez Pérez, C. (2012). *Gestión de la contaminación atmosférica urbana: el caso de Quito*. 1–17.  
<https://flacsoandes.edu.ec/web/imagesFTP/10088.ContaminacionQuito.pdf>
- Primicias. (2020, March 14). *La contaminación del aire en Quito se redujo un 70% en el confinamiento*. <https://www.primicias.ec/noticias/tecnologia/contaminacion-aire-quito-redujo-confinamiento/>
- Querol, X. (2018). *La calidad del aire en las ciudades un reto mundial* (Fundación Gas Natural Fenosa, Ed.; 1era edición).
- Revista Líderes. (2019). *Tres alternativas para agilizar el tránsito*.  
<https://www.revistalideres.ec/lideres/tres-alternativas-agilizar-transito.html>
- Rodríguez-Guerra, A., & Cuvi, N. (2019). Air pollution and environmental justice in Quito, Ecuador. *Fronteiras*, 8(3), 13–46. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2019v8i3.p13-46>
- Romero, Y., & Topón, E. (2021). *Evaluación de los umbrales de precipitación extrema, sus conexiones con variables meteorológicas locales y tele conexiones con oscilaciones oceánicas en la ciudad de Quito*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/20824/1/UPS%20-%20TTS485.pdf>
- Schwartz, J., & Zeger, S. (1990). Passive Smoking, Air Pollution, and Acute Respiratory Symptoms in a Diary Study of Student Nurses. *American Review of Respiratory Disease*, 141(1), 62–67. <https://doi.org/10.1164/ajrccm/141.1.62>

- Secretaría de Ambiente. (2020a). *Informe anual de la calidad del aire - año 2018*.  
[www.quitoambiente.gob.ec](http://www.quitoambiente.gob.ec),
- Secretaría de Ambiente. (2020b). *Reporte anual de la calidad del aire en el DMQ - 2019*. [www.quitoambiente.gob.ec](http://www.quitoambiente.gob.ec)
- Secretaría de Ambiente. (2021a). *Informe de la calidad del aire en el DMQ No. 49-2020*. [www.quitoambiente.gob.ec](http://www.quitoambiente.gob.ec)
- Secretaría de Ambiente. (2021b). *Reporte Anual de la Calidad del Aire en el DMQ - 2021*. [www.quitoambiente.gob.ec](http://www.quitoambiente.gob.ec).
- Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2020). *Plan de Acción de Cambio Climático de Quito*.  
<https://www.quitoambiente.gob.ec>
- Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2022a). *Cambio Climático*. <http://www.quitoambiente.gob.ec/index.php/cambio-climatico>
- Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2022b). *Red de Monitoreo Atmosférico*. Políticas y Planeación Ambiental.  
<http://www.quitoambiente.gob.ec/index.php/politicas-y-planeacion-ambiental/red-de-monitoreo>
- Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2022c). *Red de Monitoreo Atmosférico*. Políticas y Planeación Ambiental.  
<http://www.quitoambiente.gob.ec/index.php/politicas-y-planeacion-ambiental/red-de-monitoreo>
- Secretaría Nacional de Planificación. (2021). *Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025*.  
[https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado\\_compressed.pdf](https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado_compressed.pdf)

Téllez, J., Rodríguez, A., & Fajardo, Á. (2006). Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental Ensayo/Essay. *Rev. Salud Pública*, 8(1), 108–117.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0124-00642006000100010](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-00642006000100010)

UN Environment Programme. (2023). *Protocolo de Montreal*.

United Nations Climate Change. (2020). *Todavía es posible alcanzar la segunda fase de reducción de emisiones de Kyoto pero es necesaria más ambición*.  
<https://unfccc.int/es/news/todavia-es-posible-alcanzar-la-segunda-fase-de-reduccion-de-emisiones-de-kyoto-pero-es-necesaria-mas#:~:text=La%20Enmienda%20reforz%C3%B3%20los%20compromisos,con%20los%20niveles%20de%201990>.

United Nations Climate Change. (2021). *El Acuerdo de París*.  
<https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris#:~:text=El%20Acuerdo%20de%20Par%C3%ADs%20habla,orientaci%C3%B3n%20general%20al%20Mecanismo%20Tecnol%C3%B3gico>.

United Nations Climate Change. (2022). *¿Qué es el Protocolo de Kyoto?*  
[https://unfccc.int/es/kyoto\\_protocol](https://unfccc.int/es/kyoto_protocol)

WWF. (2018, September 18). *Glosario ambiental: ¿Sabes qué se pactó en el Acuerdo de París?*  
[https://www.wwf.org.co/?uNewsID=334976&ads\\_cmpid=1376834772&ads\\_adid=112180048770&ads\\_matchtype=b&ads\\_network=g&ads\\_creative=494458598355&utm\\_term=cambio%20ambiental&ads\\_targetid=kwd-299763244522&utm\\_campaign=&utm\\_source=adwords&utm\\_medium=ppc&ttv=2&gclid](https://www.wwf.org.co/?uNewsID=334976&ads_cmpid=1376834772&ads_adid=112180048770&ads_matchtype=b&ads_network=g&ads_creative=494458598355&utm_term=cambio%20ambiental&ads_targetid=kwd-299763244522&utm_campaign=&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&ttv=2&gclid)

www.Quitoinforma.gob.ec. (2022, January 13). *Durante 2021 la calidad del aire tuvo buenas condiciones*. <http://www.quitoinforma.gob.ec/2022/01/13/durante-2021-la-calidad-del-aire-tuvo-buenas-condiciones/>

