



Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de impresión



Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
Fecha: 06 de Septiembre de 2021

C. Sonia de la Cruz Pérez Pérez

Pasante del Programa Educativo de Ingeniería Ambiental

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:
Análisis de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes móviles (vehículos automotores)

En la modalidad de: Curso Especial de Titulación

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Rubén Alejandro Vázquez Sánchez

Dr. Luis Alberto Ballinas Hernández

Dr. Juan Antonio Villanueva Hernández

Firmas:

[Firma]

[Firma]

[Firma]

Ccp. Expediente

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y
ARTES DE CHIAPAS**
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

CURSO ESPECIAL DE TITULACIÓN

TRABAJO DOCUMENTAL

**ANÁLISIS DE CONTAMINANTES
ATMOSFÉRICOS PROVENIENTES DE
FUENTES MÓVILES (VEHÍCULOS
AUTOMOTORES)**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTA:
SONIA DE LA CRUZ PÉREZ PÉREZ**

**DIRECTOR:
DR. JUAN ANTONIO VILLANUEVA HERNÁNDEZ**



TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

SEPTIEMBRE 2021

Dedicatoria:

Este trabajo se lo dedico especialmente a mis padres, por ser los mayores motores en mi vida, por creer y confiar en mí, por ser quienes me han apoyado y acompañado en todo momento y me impulsan a seguir adelante... por todo su amor, trabajo y sacrificio.

A mi hermano, porque a pesar de todo ha estado conmigo y me ha brindado su apoyo.

A todas las personas que han estado a mi lado, en especial, a quienes decidieron compartir momentos de su vida conmigo y me han inspirado y motivado a cumplir mis metas.

Gracias.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la vida y permitirme llegar hasta donde estoy, por poner a las personas indicadas en mi camino, permitirme disfrutar cada momento y compartirlo con quienes me rodean. Por todas las bendiciones, las experiencias que me ha brindado y sobre todo por ser mi fortaleza en los momentos más difíciles y de debilidad.

Gracias a mis padres por todo su apoyo, por estar en mis tropiezos y más aun en mis triunfos. En especial a mi padre, por enseñarme que con esfuerzo, trabajo y constancia puedo alcanzar mis metas. En especial a mi madre, por todo su amor, consejos y esfuerzo, por nunca dejarme caer y siempre sostener mi mano. Agradezco a mi hermano por su apoyo y cariño.

Agradezco a mis amigos, quienes me han acompañado a lo largo de estos años y han sido piezas fundamentales para complementarme como la persona que soy hoy en día.

En especial agradezco al Ing. José Luis, por su apoyo constante, ser un ejemplo y motivación en mi vida personal y profesional.

Agradezco a la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas por abrirme las puertas de su institución y brindarme las herramientas necesarias para mi educación y formación profesional. A cada uno de los docentes y personal académico, que a lo largo de mis estudios, me han brindado su tiempo y compartido sus enseñanzas para enriquecer mis conocimientos.

Gracias a mi reciente empleo laboral, que fue pieza clave para la culminación de este proceso, a mi jefe directo el Arq. Roberto Radames, por permitirme ser un miembro más de su empresa; gracias en especial a mi jefe inmediato, el Biólogo Luis Enrique, por confiar en mí, por la experiencia adquirida y permitirme demostrar mis habilidades. Gracias a cada uno de mis compañeros de los cuales aprendí cosas nuevas.

Gracias a quienes siempre han creído en mí, me impulsan a crecer y me motivan a salir adelante para ser mejor persona cada día.

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁG.
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	5
1. GENERALIDADES DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	6
1.1. Composición y Estructura de la Atmósfera	6
1.2. El Aire y la Contaminación Atmosférica	8
1.2.1. Calidad del Aire	9
1.2.2. Medición de la Calidad del Aire	10
1.3. Contaminantes Atmosféricos	12
1.3.1. Origen de los Contaminantes y sus Fuentes de Emisión	13
1.3.2. Clasificación de los Contaminantes	13
1.4. Factores que Influyen en el Transporte y Dispersión de los Contaminantes	15
2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR FUENTES MÓVILES	17
2.1. Fuentes Móviles	17
2.1.1. Parque Vehicular en México	17
2.2. Emisiones Contaminantes de los Vehículos Automotores	18
2.2.1. Programas de Verificación Vehiculares	20
2.3. Contaminantes Atmosféricos y sus Afectaciones	23
2.3.1. Afectaciones a la Salud de la población	26
2.3.2. Afectaciones al Medio Ambiente	27
2.4. Marco Normativo Aplicable	27
2.4.1. Normas de la Secretaría de Salud en Materia de Contaminantes	28
2.4.2. Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Fuentes Móviles	30
3. METODOLOGÍA	32
CONCLUSIONES	35
REFERENCIAS	37

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Gases de la atmósfera	6
Tabla 1.2 Índice Calidad AIRE Y SALUD	11
Tabla 1.3 Recomendaciones del Índice AIRE Y SALUD	12
Tabla 1.4 Descripción de los principales contaminantes atmosféricos y sus fuentes	14
Tabla 2.1 Marco Normativo aplicable.....	27
Tabla 2.2 Especificaciones técnicas de la normatividad vigente.....	29

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1.1 Capas que constituyen a la atmósfera.....	7
Imagen 1.2 Comparación de las características del índice de calidad del aire	10
Imagen 2.1 Estadísticas del parque automotor registrados en México.....	18
Imagen 2.2 Proceso de emisión en vehículos automotores	19
Imagen 2.3 Estados que cuentan con Programa de Verificación Vehicular.....	21
Imagen 3.1 Diagrama metodológico.....	34

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, la humanidad ha buscado disfrutar de una vida de mayor bienestar y comodidad. Sin embargo, esto ha ido acompañado del consumo masivo de los recursos naturales y energéticos, así como de la generación de una variedad enorme de residuos y emisiones a la atmósfera, causando una extensa degradación ambiental. Un buen ejemplo de problemas ambientales que tiene implicaciones tanto locales como globales son los atmosféricos, de los cuales los más importantes, por sus efectos sobre la salud de la población y los ecosistemas naturales son: la disminución de la calidad del aire, el fenómeno del cambio climático global y la reducción del espesor de la capa de ozono estratosférico (SEMARNAT, 2012).

La atmósfera es de suma importancia, en ella se cumplen funciones vitales para la existencia de todo ser vivo en la Tierra, como lo es: la regulación de la temperatura de la Tierra, filtrar la radiación ultravioleta nociva para la salud humana.

Dado a que las características de la atmósfera no son estables, esta depende del tipo de actividades que realizan los seres vivos que habitan la Tierra. Desde que el hombre se extiende por la faz del planeta, no hay actividad suya que no incida de una manera u otra sobre la atmósfera (Ataz & Morales, 2004).

Por estos motivos, la atmósfera se ha visto afectada por uno de los problemas ambientales que enfrenta el mundo actualmente, la llamada “contaminación atmosférica”.

La *Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de Calidad del aire y protección de la atmósfera*, define a la contaminación atmosférica como “la presencia en la atmósfera de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para la seguridad o la salud de las personas, en el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza” (BOE, 2017).

En el siglo pasado, el aumento de contaminantes atmosféricos fue condicionado por el crecimiento económico y la urbanización, asociada al desarrollo de diversas actividades como: la industria petrolera, los servicios, la agroindustria y el crecimiento de las unidades automotoras, generando como resultado un consumo intenso de combustibles fósiles; al mismo tiempo la práctica de actividades agropecuarias no apropiadas inciden en la generación de elevados volúmenes de contaminantes (Placeres et al., 2006).

Sin embargo, para que exista la contaminación atmosférica es necesario que se emitan sustancias nocivas a aire, ya sean producidas de forma natural o antropogénica. Las sustancias que se generan por el desarrollo de estas actividades pueden ser muy variadas, es a esto lo que podemos llamar como

“contaminantes”, esto se define según La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) define como “contaminante” a toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural (DOF, 2021).

Dentro de los principales contaminantes atmosféricos podemos nombrar a los más importantes debido a sus niveles de concentración en el aire y el impacto que estos tienen en los ecosistemas y la salud humana. Entre ellos podemos considerar los siguientes:

- Ozono (O_3)
- Material particulado (incluyendo a las PM_{10} y $PM_{2.5}$)
- Dióxido de azufre (SO_2)
- Dióxido de nitrógeno (NO_2)
- Monóxido de carbono (CO)
- Plomo.

Estos contaminantes son conocidos comúnmente como contaminantes criterio, por tratarse de contaminantes normados a los que se les ha establecido, al menos, un límite máximo permisible de concentración en el aire ambiente, con la finalidad de proteger la salud humana y asegurar el bienestar de la población (COFEPRIS, 2017). La exposición prolongada a estos contaminantes es de gran importancia especialmente en zonas urbanas, donde en algunas ciudades se han presentado concentraciones mayores a los límites establecidos.

Una vez en la atmósfera, los contaminantes no permanecen indefinidamente en ella, sino que experimentan complejos procesos de transporte, mezcla y transformación química, que dan lugar a una distribución variable de su concentración en el aire, tanto en el espacio como en el tiempo.

Aunque la atmósfera posee mecanismos de defensa que absorben los contaminantes y regresan el ambiente a su estado natural, por su cualidad de filtración, en la actualidad, el ser humano inyecta sustancias contaminantes a la atmósfera en mayores proporciones a su capacidad de absorción y regulación; esto repercute no solo en el medio ambiente, sino en todos los seres vivos que lo habitan (Ortíz Tamayo, 2015).

Es posible originar contaminación atmosférica por diversas fuentes, en la actualidad, la contaminación por la combustión de hidrocarburos como la gasolina, gas y diésel (de las fuentes móviles), es el primer

causante de la contaminación en las ciudades de los países industrializados (UNAM, 2014). Esto debido a que el proceso de urbanización en nuestro país ha crecido desmesuradamente desde el siglo XX y basado en las estadísticas, el uso de vehículos automotores proporciona uno de los índices de contaminación atmosférica más significativos.

Si bien, el crecimiento del sector transporte ha generado beneficios sociales, facilitando la apertura de mercados e incrementando el desarrollo del comercio, estos sin embargo, contrastan los beneficios con impactos no deseados como la congestión vial, el ruido, accidentes, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y contaminantes criterio, que tienen importantes impactos al medio ambiente y la salud de la población, hecho que motivó a una disminución en la calidad del aire (Elizondo & Hernández Amezcua, 2018).

Para la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación atmosférica representa un importante riesgo medioambiental para la salud, tanto en países desarrollados como aquellos en vías de desarrollo. Para el 2019 se tenía en cuenta que la contaminación ambiental del aire afectaba ya al 90% de la población mundial tanto en las ciudades como en zonas rurales, siendo la responsable de la muerte prematura de siete millones de personas cada año. En la medida en que el parque vehicular de las ciudades continúe creciendo a tasas elevadas, la calidad del aire seguirá deteriorándose (ONU-Habitat, 2017).

De acuerdo al Inventario Nacional de Emisiones de México, 2005 (SEMARNAT 2012), los vehículos en circulación generan el 41% de las emisiones de óxido de nitrógeno (NOx) y más del 90% de las emisiones de monóxido de carbono (CO) que se emiten a la atmósfera y, aunque el avance tecnológico en los motores de los vehículos ha hecho más eficiente la combustión, y el uso de tecnologías para el control de emisiones han logrado reducir la liberación de ciertos contaminantes, estas también dependen de factores como la edad, el uso y el mantenimiento del motor del vehículo.

Uno de los factores más importantes que influye en las emisiones de los vehículos, es su uso. Los taxis y los camiones tipo VAN de transporte público recorren mayor kilometraje que los vehículos de uso particular, en consecuencia el motor está sujeto a mayor desgaste, y cuando no existe un mantenimiento adecuado, las emisiones contaminantes aumentan. En el estudio de emisiones y actividad vehicular en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (2012), en las emisiones vehiculares por escape, se encontró que el promedio y la mediana de CO, HC y NOx son mayores en estos tipos de vehículos de transporte público que en los vehículos compactos y subcompactos de uso particular (INECC, 2012).

Se han implementado medidas para mitigar el impacto de estas emisiones e intentar reducir la cantidad de contaminantes atmosféricos que vaciamos al aire, una de ellas es el avance de diversas tecnologías en motores más eficientes y que generen menos emisiones. Gobiernos de varios países han establecido leyes y normas que limitan la cantidad de contaminantes que un vehículo puede generar, con la finalidad de reducirlos y llegar a niveles aceptables y necesarios para la salud pública.

Para abordar el tema, en el desarrollo de este documento se dará a conocer un panorama general sobre la contaminación atmosférica, para posteriormente profundizar o alcanzar una visión de conjunto que haga apreciar la complejidad del tema y la importancia de algo tan vital que es la atmósfera que nos rodea.

El propósito se centrará en identificar los principales contaminantes emitidos por fuentes móviles (que para fines de este documento nos referiremos a los vehículos automotores) realizando un análisis de cada uno de estos y describiendo las afectaciones que provocan, tanto al medio ambiente, como a la salud de la población, derivado de su exposición y sus características. Todo esto debido a que los vehículos en circulación han tenido un incremento significativo en los últimos años, incrementando de igual modo la liberación de sus emisiones contaminantes.

Por consiguiente, resulta útil recopilar y dar a conocer el marco legal y normativo aplicable en materia de contaminantes atmosféricos proveniente de las fuentes móviles, con el simple hecho de poner en marcha medidas para el control de los vehículos en circulación, especialmente para aquellos que presenten mayor antigüedad y sean de uso intensivo, o liberan mayor cantidad de emisiones

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Analizar los contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes móviles, de acuerdo a la normatividad oficial vigente en México.

ESPECÍFICOS:

- Identificar los diferentes tipos de contaminantes atmosféricos proveniente de las fuentes móviles.
- Analizar el impacto de las fuentes móviles en la contaminación del aire y sus afectaciones al medio ambiente y la salud.
- Recopilar la normatividad oficial vigente que se tiene para regular los contaminantes atmosféricos emitidos por fuentes móviles.

1. GENERALIDADES DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

1.1. COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA ATMÓSFERA

Para comprender más a fondo el problema de la contaminación de la atmósfera, es necesario estudiar el medio en el que se instala.

La atmósfera es una mezcla de gases transparentes de 640 kilómetros de espesor, que ha evolucionado a la composición actual durante millones de años, permitiendo el desarrollo de la vida. En ella se producen todos los fenómenos climáticos y meteorológicos que afectan al planeta, regulando la entrada y salida de energía terrestre, al igual que su temperatura, y es el principal medio de transferencia de calor. Esta se compone en un 78% por nitrógeno (N_2), 21% de oxígeno (O_2), y el 1% restante se compone por gases trazas, destacando los gases de efecto invernadero (vapor de agua, dióxido de carbono, metano, ozono, entre otros) así como partículas volcánicas, polvos y humos (SEMARNAT, 2013).

Tabla 1.1 Gases de la atmósfera

Gas	Fórmula química	Porcentaje (por volumen)
Gases permanentes		
Nitrógeno	N_2	78.08
Oxígeno	O_2	20.95
Argón	Ar	0.93
Neón	Ne	0.0018
Helio	He	0.0005
Hidrógeno	H_2	0.00006
Xenón	Xe	0.000009
Gases variables		
Vapor de agua	H_2O	0 a 4
Dióxido de carbono	CO_2	0.036
Metano	CH_4	0.00017
Óxido nitroso	N_2O	0.00003
Ozono	O_3	0.000004
Partículas (polvo, etc.)		0.000001
Clorofluorocarbonos		0.000000002

Fuente: Elaborado a partir de Camilloni & Vera, 2007

La atmósfera a su vez puede ser dividida en diferentes capas en función al comportamiento de la temperatura en relación a su altura respecto de la superficie terrestre, imagen 1.1.

De acuerdo a lo descrito en la Guía de Calidad del Aire y Educación Ambiental (2016), las capas que constituyen a la atmósfera son las siguientes:

Imagen 1.1 Capas que constituyen a la atmósfera



Fuente: Retomado de internet

La troposfera, es la capa más cercana a la superficie terrestre, donde se forman las nubes y se desarrollan diversos procesos atmosféricos como la lluvia. La temperatura del aire disminuye con la altura y es en esta capa donde se acumula la mayor parte del vapor de agua y CO_2 .

La estratosfera, es la capa donde la temperatura comienza a aumentar con la altura, fenómeno que se le atribuye a la presencia del ozono (O_3), puesto que es el gas que absorbe los rayos ultravioleta. Tanto la formación como la destrucción del ozono, se hace por reacciones fotoquímicas.

La mesosfera es una capa en que la temperatura vuelve a disminuir con la altura debido a la disminución de la concentración de ozono.

En la termósfera o ionosfera, la temperatura aumenta nuevamente con la altura. La presencia de partículas electrizadas da lugar a la presencia de capas ionizadas que tienen la propiedad de reflejar las ondas radioeléctricas.

Y por último está la exosfera, esta capa constituye la zona de transición entre nuestra atmósfera y el espacio exterior, contiene la mayor parte del ozono troposférico y absorbe gran parte de la radiación ultravioleta.

Por tal motivo la atmósfera es un componente vital que transmite y altera la energía solar controlando el clima de nuestro planeta. Actúa como escudo protector contra impactos de meteoritos y de un “exceso” de radiación solar, sobre todo de los rayos UV, dado a que su composición gaseosa suministra las materias primas para la vida misma.

1.2. EL AIRE Y LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Una de las diferencias entre la atmósfera de las ciudades o espacios urbanizados y la atmósfera rural radica en la composición del aire.

El aire rodea el planeta Tierra y se mantiene en su lugar gracias a la gravedad. El aire estándar típico es definido como aire seco a nivel del mar, donde la temperatura es de 15°C. El aire es una mezcla de nitrógeno, oxígeno, argón, dióxido de carbono y trazas de otros gases. Sin embargo, este no está seco y tiene un contenido de humedad de alrededor del 1%. Su contenido de humedad se presenta en forma de vapor de agua, gotas de líquido o cristales de hielo (Tan, 2014).

Entre otras características, el aire no tiene un volumen definido y es sensible a la temperatura (se expande con el calor y se contrae con el frío). Es insípido, transparente, inodoro e incoloro en pequeñas cantidades. Es de gran importancia para la vida en el planeta ya que nos proporciona el oxígeno indispensable para que podamos respirar, dióxido de carbono, base de la fotosíntesis y ozono que filtra la mayor parte de los rayos ultravioleta proveniente del sol (CONANP, 2018).

Uno de los problemas que lleva al deterioro de la calidad del aire es la contaminación atmosférica. El aire al mezclarse con diversas partículas sólidas, así como otros gases que no pertenecen al aire puro, da paso a la llamada contaminación atmosférica. La adición de cualquier sustancia al aire puede alterar en cierto grado las propiedades físicas y químicas del aire natural. Por tal motivo, la contaminación ocurre cuando al aire se agregan materiales no deseados, especialmente en gran abundancia, teniendo como resultado efectos sobre el medio ambiente y la salud (Tan, 2014).

Las causas que originan esta contaminación son diversas, pero el mayor índice se debe a las actividades industriales, comerciales, domésticas y agropecuarias. Las actividades humanas que se realizan en las zonas urbanas liberan una enorme cantidad de sustancias a la atmósfera que pueden permanecer suspendidas unos pocos días, como es el caso de las partículas, décadas como los clorofluorocarbonos, o incluso siglos, tal como ocurre con algunos gases de efecto invernadero. Aunque algunos contaminantes pueden degradarse en la atmósfera, depositarse en tierra o en los océanos, o integrarse en los ciclos biogeoquímicos, sus emisiones crecientes han sido la causa de algunos de los problemas ambientales más importantes que enfrentamos en la actualidad (SEMARNAT, 2017).

1.2.1. CALIDAD DEL AIRE

El volumen y características de los contaminantes emitidos de forma local o regional a la atmósfera, determinan en buena medida la calidad del aire en una zona particular, influyendo las características climáticas y geográficas a la que está expuesta la población.

Los impactos ambientales, sociales y económicos de la contaminación atmosférica hacen necesario conocer las concentraciones de los principales contaminantes en el aire, las fuentes de origen y los volúmenes de las emisiones, el cual permita diseñar y poner en práctica acciones para reducir la presencia de los contaminantes en la atmósfera y sus impactos sobre la salud de la población y los ecosistemas (SEMARNAT, 2017).

Por tal motivo la Organización Mundial de la Salud (OMS), establece que la exposición a los contaminantes atmosféricos está en gran medida fuera del control personal y requiere medidas de las autoridades públicas a nivel local, nacional e internacional.

Según la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME), el deterioro de la calidad del aire debido a la contaminación, se ha convertido en un problema de salud pública a nivel mundial y en un problema ambiental de gran importancia. En México, al igual que en otros países, se han desarrollado herramientas que permiten identificar los contaminantes que son arrojados a la atmósfera, la frecuencia, la cantidad en que sucede, así como a los principales responsables. Para mejorar la calidad del aire y proteger la salud pública es necesaria la participación de los diversos sectores de la sociedad en las estrategias para la reducción de las emisiones. Los gobiernos nacionales, estatales y municipales, realizan múltiples acciones para mejorar la calidad del aire, como inventarios y análisis de las fuentes emisoras, medición y monitoreo de la calidad del aire, expedición de normas y programas de reducción de emisiones, entre otras (CAME, 2020).

1.2.2. MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE

Para poder determinar la concentración de cada contaminante se han desarrollado numerosas técnicas. Al detectar la concentración de contaminantes del aire ambiente estamos determinando su calidad. Así entonces, la calidad del aire puede ser definida por indicadores o índices preestablecidos que determinan la concentración de contaminantes en el aire ambiente ligada a escalas que califican esa calidad de forma cualitativa, cromáticas o numérica.

Índice de Calidad del Aire

El Índice de Calidad del Aire, es una herramienta que los gobiernos han implementado para notificar a la población, el nivel de contaminación en el aire ambiente, los riesgos a la salud asociados y las recomendaciones para reducir su exposición. De acuerdo a la Subsecretaría de Medio Ambiente, desde 1986, en la Ciudad de México se difunde el Índice de Calidad del Aire, sin embargo a partir del 18 de febrero de 2020 entró en vigor la NOM-172-SEMARNAT-2019, que establece los lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del aire y Riesgos a la Salud, la cual sustituye al Índice Metropolitano de Calidad del Aire, IMECA.

Imagen 1.2 Comparación de las características del índice de calidad del aire



Fuente: Retomado de CAME, 2020

Este nuevo índice, denominado Índice de AIRE Y SALUD, estandariza el método para la obtención y difusión de los niveles de contaminación en todo México, al ser de observancia obligatoria, promueve el monitoreo de la calidad del aire en todas las ciudades y zonas metropolitanas del país, así como el desarrollo de programas locales para la comunicación y prevención de riesgos a la salud. En este índice se relaciona la concentración de cada contaminante con una categoría de calidad del aire, que a su vez se asocia a un nivel de impacto a la salud y se calcula a partir de la medición de seis contaminantes:

partículas (PM₁₀ y PM_{2.5}), ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono como se muestra en la siguiente tabla (CAME, 2020).

Tabla 1.2 Índice Calidad AIRE Y SALUD

Calidad del aire	Nivel de riesgo asociado	Intervalo de PM10 promedio móvil ponderado de 12 horas (µg/m³)	Intervalo de PM2.5 promedio móvil ponderado de 12 horas (µg/m³)	Intervalo de O3 promedio de una hora (ppm)	Intervalo de O3 promedio móvil de ocho horas (ppm)	Intervalo de NO2 promedio de una hora (ppm)	Intervalo de SO2 promedio móvil de 24 horas (ppm)	Intervalo de CO promedio móvil de ocho horas (ppm)
Buena	Bajo	50	25	0.051	0.051	0.107	0.008	8.75
Aceptable	Moderado	>50 y 75	>25 y 45	>0.051 y 0.095	>0.051 y 0.070	>0.107 y 0.210	>0.008 y 0.110	>8.75 y 11.00
Mala	Alto	>75 y 155	>45 y 79	>0.095 y 0.135	>0.070 y 0.092	>0.210 y 0.230	>0.110 y 0.165	>11.00 y 13.30
Muy mala	Muy alto	>155 y 235	>79 y 147	>0.135 y 0.175	>0.092 y 0.114	>0.230 y 0.250	>0.165 y 0.220	>13.30 y 15.50
Extremadamente mala	Extremadamente alto	>235	>147	>0.175	>0.114	>0.250	>0.220	>15.50

Fuente: Elaboración propia a partir de la NOM-172-SEMARNAT-2019

Respecto a la categorización, el índice de calidad se basa en cinco colores. El primero corresponde al verde que significa una buena calidad y un momento en el cual se pueden disfrutar actividades al aire libre ya que el nivel de riesgo es mínimo. El segundo es de color amarillo, representando un nivel moderado de riesgo donde la sugerencia es que los grupos más sensibles a la contaminación reduzcan sus actividades al aire libre, experimentar síntomas respiratorios, posible agravamiento de enfermedades pulmonares y cardíacas. El tercero es el color naranja, denominando un nivel de riesgo alto, en esta categoría la población con enfermedades respiratorias y cardíacas son más vulnerables al agravamiento de su condición. El penúltimo corresponde al rojo, es decir, un riesgo muy alto, donde se recomienda suspender las actividades al aire libre para los grupos vulnerables. Y finalmente el último índice es el color morado, el cual representa un riesgo extremadamente alto donde las personas deben procurar mantenerse en espacios interiores, ya que pueden llegar a presentar serios efectos respiratorios y agravamientos de síntomas cardiovasculares en personas sensibles, además existe una mayor probabilidad de muertes prematuras en personas con enfermedad pulmonar y cardíaca.

El grupo de personas sensibles se refiere al grupo social con mayor probabilidad de tener efectos negativos en la salud por la exposición a contaminantes atmosféricos debido a su edad o condición previa de enfermedad. Incluye niñas y niños, personas con enfermedades cardiovasculares y/o respiratorias, adultos mayores de 65 años, mujeres embarazadas y personas que requieren atención especial debido al tipo de actividades que realizan.

En la tabla 1.3 se integran recomendaciones de las acciones a adoptar, considerando la condición de salud y sensibilidad de las personas conforme a la presente norma.

Tabla 1.3 Recomendaciones del Índice AIRE Y SALUD

Calidad del aire	Nivel de riesgo a la salud asociado	Color	Recomendaciones	
			Para grupos sensibles	Para toda la población
Buena	Bajo	Verde	Disfruta actividades al aire libre	
Aceptable	Moderado	Amarillo	Considera reducir las actividades físicas vigorosas al aire libre	Disfruta actividades al aire libre
Mala	Alto	Naranja	Evita las actividades físicas (tanto moderadas como vigorosas al aire libre)	Reduce las actividades físicas vigorosas al aire libre
Muy mala	Muy alto	Rojo	No realices actividades al aire libre. Acude al médico si se presentan síntomas respiratorios o cardíacos	Evita las actividades físicas moderadas y vigorosas al aire libre
Extremadamente mala	Extremadamente alto	Morado	Permanece en espacios interiores. Acude al médico si se presentan síntomas respiratorios o cardíacos	

Fuente: Elaborado a partir de la NOM-172-SEMARNAT-2019

1.3. CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Los contaminantes atmosféricos pueden aparecer en forma de sólidos, líquidos, gases, radiaciones, calor, ruido y olores. Su capacidad contaminante dependerá del tiempo medio que estos permanecen en la atmósfera, permitiendo su transporte a capas más altas. Los contaminantes atmosféricos normalmente medidos en la atmósfera urbana, provienen de fuentes móviles (tráfico rodado) y de fuentes fijas de combustión (industrias, usos residenciales- climatización- y procesos de eliminación de de residuos (Ubilla & Yohannessen, 2017).

1.3.1. ORIGEN DE LOS CONTAMINANTES Y SUS FUENTES DE EMISIÓN

Podemos hacer referencia a las fuentes de contaminación según su origen ya sean naturales: proveniente de fenómenos naturales como son el polen, esporas, partículas que se desprenden en los incendios forestales o erupciones volcánicas; o de origen antropogénica, generadas por la actividad del hombre como son el uso de combustibles fósiles para procesos industriales, uso de vehículos y generación de energía. Dentro de las fuentes antropogénicas se puede dividir en fuentes fijas, de área y móviles.

- Las fuentes fijas corresponden a aquellas situadas en un lugar físico particular, definido e inmovible. Considera las emisiones generadas por la quema de combustibles producto de actividades industriales y residenciales. Involucra actividades para generar energía eléctrica y actividades industriales como la textil, alimentaria, química y metalúrgica, entre otras. Los contaminantes asociados con estos procesos son principalmente SO₂, NO_x, CO₂, CO e hidrocarburos.
- Las fuentes de área son numerosas y dispersas y se definen como fuentes estacionarias. Las principales fuentes de área que se pueden identificar en las zonas urbanas son las gasolineras. También se incluyen la generación de aquellas emisiones inherentes a actividades y procesos, como el consumo de solventes, limpieza de superficies y equipos, recubrimiento de superficies arquitectónicas, industriales, distribución de gas LP (INECC, 2007).
- Las fuentes móviles incluyen todas las formas de transporte y vehículos motorizados, que debido a su funcionamiento generan o pueden generar emisiones contaminantes a la atmósfera. Algunos ejemplos de fuentes móviles carreteras incluyen a tractocamiones, autobuses, camiones, automóviles, motocicletas; mientras que las fuentes móviles no carreteras está integrado por aviones, helicópteros, ferrocarriles, embarcaciones, (SEMARNAT, 2019).

1.3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES

Según sea el origen de los contaminantes, estos pueden clasificarse en dos grandes grupos: los contaminantes primarios y los secundarios, estos al igual pueden tener diversas fuentes de emisión como se muestra en la tabla 1.4.

Contaminantes primarios

Los contaminantes primarios son todas aquellas sustancias liberadas directamente a la atmósfera y tienen su origen de diversas fuentes como automóviles, chimeneas entre otros. Dentro de este grupo se

incluyen los óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), partículas suspendidas (PM_{2.5} y PM₁₀) y los hidrocarburos (HC).

Contaminantes secundarios

Los contaminantes secundarios se forman en la atmósfera a partir de reacciones químicas de sus precursores, como por ejemplo el ozono (O₃), formado por reacciones de contaminantes primarios: compuestos orgánicos volátiles (COVs) y óxidos de nitrógeno (NO_x), (Ubilla & Yohannessen, 2017).

Tabla 1.4 Descripción de los principales contaminantes atmosféricos y sus fuentes

Contaminante	Formación	Estado Físico	Fuentes
Partículas en suspensión (PM): PM ₁₀ , Humos negros	Primaria y secundaria	Sólido, líquido	Vehículos, procesos industriales, humo de tabaco
Dióxido de azufre (SO ₂)	Primaria	Gas	Procesos industriales, vehículos
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Primaria y secundaria	Gas	Vehículos, estufas y cocinas de gas
Monóxido de carbono (CO)	Primaria	Gas	Vehículos, combustiones en interiores, humo de tabaco
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	Primaria y secundaria	Gas	Vehículos, industria, humo de tabaco
Plomo (Pb)	Primaria	Sólido (partículas finas)	Vehículos, industria
Ozono (O ₃)	Secundaria	Gas	Vehículos (secundario a foto-oxidación de NO _x y COVs)

Fuente: Elaborado a partir de Ballester, 2005

A su vez, los contaminantes del aire ambiente se pueden clasificar como contaminantes criterio, tóxicos y biológicos (COFEPRIS, 2017).

Contaminantes criterio

Para la medición de la calidad del aire, si el contaminante es perjudicial para la salud y el bienestar de las personas, se les identifica como contaminantes criterio. Como ya hemos mencionado los contaminantes criterio son aquellos normados a los que se les han establecido un límite máximo permisible de concentración en el aire ambiente, en los que se miden de manera continua el ozono, dióxido de azufre,

monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno, las partículas en suspensión y el plomo.

Contaminantes tóxicos

Los contaminantes tóxicos del aire son compuestos en forma de gas o partícula que se encuentran en el aire en concentraciones bajas pero como características de toxicidad o persistencia que puede representar peligro para la vida humana, animal o vegetal. El término “contaminantes tóxicos del aire”, es utilizado para referirse a un grupo de compuestos químicos identificados por ser altamente nocivos para la salud humana y cuyos efectos pueden presentarse a corto o largo plazo ya sean agudos o crónicos. Como ejemplo de estos contaminantes podemos mencionar el benceno, el tolueno y el xileno, que forman parte de los compuestos orgánicos. También existen un cierto número de compuestos tóxicos gaseosos no orgánicos, como el amoniaco y el cloro, otros que son emitidos como parte de las partículas son los metales pesados como el plomo, el cromo y el cadmio.

Contaminantes biológicos

Estos contaminantes son emitidos a partir de material vivo o en descomposición, por ejemplo el moho, las esporas, partes de insectos, restos de piel humana o animal y las plagas. La presencia de estos contaminantes puede presentar un impacto significativo en la calidad del aire, y también en interiores.

1.4. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL TRANSPORTE Y DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES

La importancia del impacto de los contaminantes es proporcional a la concentración o depósito de los mismos a los que están expuestos los diferentes receptores. Su concentración está relacionada con la cantidad total de contaminantes emitida a la atmósfera y su distribución espacial y temporal, dependiendo de los procesos de transporte y transformación en la atmósfera y los procesos de depósito (Gallego Picó et al., 2012).

Existen una serie de elementos que intervienen en los procesos de contaminación atmosférica. El primero corresponde a la emisión del contaminante, es decir la cantidad de contaminantes que vierte un foco emisor a la atmósfera en un periodo determinado. La evolución de los contaminantes en la atmósfera continúa a través de su transporte, difusión mezcla o acumulación, procesos llevados a cabo por los fenómenos meteorológicos que determinan la capacidad dispersante de la atmósfera. Por otro

lado se tiene el conjunto de reacciones químicas dando lugar a la transformación de los contaminantes. Como resultado final se establecen los valores de inmisión (cantidad de contaminante presente en la atmósfera una vez que fue transportado y mezclado en ella), que nos indica la calidad del aire (Calvo Aldea et al., 2009).

Las características de las emisiones están determinadas por la naturaleza del contaminante (si es un gas o partícula, ya que las partículas pueden depositarse con mayor facilidad), su concentración y sus características fisicoquímicas.

Los factores que influyen en la dinámica de dispersión y por lo tanto en sus concentraciones, son las características de las emisiones, las condiciones atmosféricas, las características geográficas y topográficas.

La condición atmosférica determina el estado y movimiento de las masas del aire, lo que condiciona la estabilidad o inestabilidad atmosférica, lo que facilita o dificulta la dispersión de la atmósfera. Entre ellos están la temperatura del aire y sus variaciones con la altura, los vientos ayudando a dispersar los contaminantes, las precipitaciones que provocan un efecto de lavado y disolución, y la insolación que produce contaminantes secundarios por oxidación fotoquímica.

Las características geográficas y topográficas tienen una influencia en el origen de las brisas (movimiento de las masas de aire de origen local) que arrastran los contaminantes o provocan su acumulación. Este fenómeno puede variar según la zona donde se produzca y sus características: zonas costeras (debido a los vientos diarios), valles fluviales y laderas, zonas urbanas, presencia de masa vegetal (frena los vientos, favorece a la deposición de contaminantes y actúa como sumidero de CO₂) y zonas montañosas.

2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR FUENTES MÓVILES

2.1. FUENTES MÓVILES

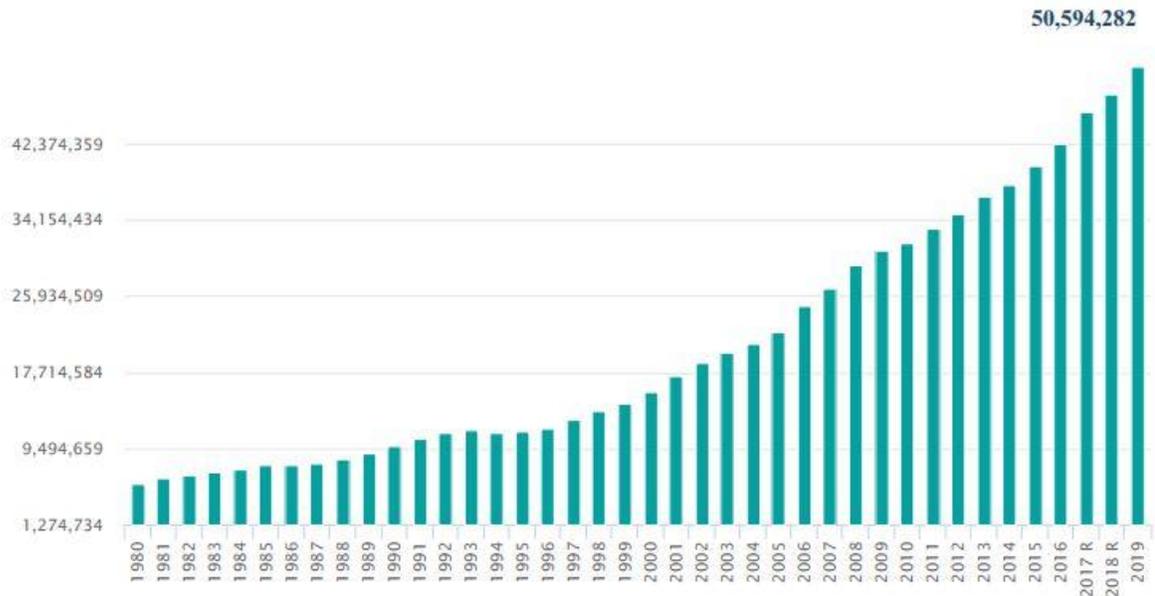
Como hemos mencionado, las fuentes móviles son aquellas que se pueden desplazar en forma autónoma emitiendo contaminantes a través de su trayectoria. De acuerdo a Calla Durandal y Luján Pérez (2018), en las áreas urbanas se considera como fuente móvil a los vehículos automotores, constituido por automóviles, camiones, autobuses, motocicletas, entre otros. Estos son responsables de emitir directamente contaminantes primarios que reaccionan para convertirse en secundarios.

Los contaminantes primarios emitidos por las fuentes móviles son entre otros: bióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), bióxido de azufre (SO_2), óxido de nitrógeno (NO_x), material particulado (MP) y plomo. Los contaminantes secundarios vinculados a estas emisiones son entre otros: bióxido de nitrógeno (NO_2), oxidantes fotoquímicos (por ejemplo el ozono), y los ácidos sulfúrico o nítrico y sus sales. El NO_2 se forma mediante la oxidación en el aire del óxido nítrico (NO), un contaminante gaseoso formado a altas temperaturas de combustión y liberados por los vehículos automotores. El ozono (O_3) se forma a partir de los NO_x y los HC reactivos en presencia de luz solar. El SO_2 y el NO_x pueden reaccionar con la humedad, el oxígeno y las partículas de la atmósfera formando ácido sulfúrico o nítrico (Onursal & Gautam, 1997).

2.1.1. PARQUE VEHICULAR EN MÉXICO

Un fenómeno importante que ha tenido México y que contribuye a la contaminación es su crecimiento poblacional, de acuerdo con el Censo de Población y vivienda 2020, en el territorio mexicano habitan un total 126,014,024 personas. Comparado con otros países, México ocupa el lugar 11 dentro de las naciones más pobladas del mundo. De 2010 a 2020, la población se incrementó en 14 millones de habitantes. Esto trajo consigo un incremento de la actividad industrial y del parque vehicular, este último alcanzó los 50,594,282 unidades vehiculares registradas en circulación para el año 2019 como se muestra en la imagen 4, según lo reportado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Del total de vehículos automotores registrados el 68% corresponde a automóviles, el 21% a camiones y camionetas de carga, el 10% a motocicletas y el 1% a camiones para pasajeros (INEGI, 2019).

Imagen 2.1 Estadísticas del parque automotor registrados en México



Fuente: INEGI, 2019

Si bien, el incremento de vehículos en circulación contribuye de manera significativa al crecimiento económico del país, se produce también contaminación al medio ambiente, afectando al aire, suelo y agua, aumentando el riesgo a la salud y daño ambiental que enfrentamos actualmente, derivado de un volumen importante de emisiones contaminantes.

Dentro de la república mexicana se encuentran estados que presentan mayor parque vehicular; entre lo que podemos nombrar se encuentran: la CDMX (17.09%), Nuevo León (7.63%), Jalisco (6.93%), Estado de México (6.57%), Tamaulipas (4.14%), Coahuila (3.68%), Puebla (3.63%) (Automotriz, 2020).

2.2. EMISIONES CONTAMINANTES DE LOS VEHÍCULOS AUTOMOTORES

Las emisiones provenientes de los vehículos automotores están compuestas por una gran cantidad de contaminantes. Los motores de combustión interna usados en vehículos, tanto de gasolina como de diésel, emiten gases como monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas en suspensión. Los mayores contaminantes emitidos por los vehículos de gasolina son CO, HC, NO_x y SO₂; y para los vehículos de diésel, podemos mencionar los mismos, sin embargo liberan partículas en proporciones más elevadas que los vehículos de gasolina.

En base a la Guía metodológica para la estimación de emisiones, los vehículos automotores propulsados por motores de combustión interna producen en general, tres tipos de emisiones de gases de

contaminantes: emisiones evaporativas, emisiones por el tubo de escape, así como emisiones de partículas por el desgaste tanto de los frenos como de las llantas que describiremos a continuación (INE, 2009).

Imagen 2.2 Proceso de emisión en vehículos automotores



Fuente: Elaborado a partir de SEMARNAT, 2005.

Emisiones evaporativas

Las emisiones causadas por la evaporación de combustible pueden ocurrir cuando el vehículo se encuentra en circulación o en reposo; su magnitud depende de las características del vehículo, factores geográficos y meteorológicos, como la altura y la temperatura ambiente y, principalmente de la presión de vapor del combustible.

Esta incluye una variedad entre las que se encuentra:

- Emisiones del motor caliente: que ocurren debido a la volatilización del combustible en el sistema de alineación después de que el motor se ha apagado.
- Emisiones de operación: ocasionadas por las fugas de combustible líquido o vapor, presentes cuando el motor está en funcionamiento.
- Emisiones durante la recarga de combustible: emisiones desplazadas desde el tanque de combustible del vehículo durante la recarga.

- Emisiones en reposo: se presentan cuando el motor no está en funcionamiento, son causadas por fugas de combustible y la permeabilidad del vapor a través de las líneas de alimentación del combustible.
- Emisiones diurnas: ocurren por el aumento en la temperatura del combustible y el aumento en la presión del vapor de éste, por causa de temperaturas ambientales altas durante las horas de luz, el aporte de calor del sistema de escape o el calor reflejado por la superficie de circulación.

Emisiones por tubo de escape

Son producto de la quema del combustible (sea gasolina, diésel u otros como gas licuado o biocombustibles, comprende una serie de contaminantes tales como: el monóxido y bióxido de carbono, los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno y las partículas. Además, ciertos contaminantes presentes en el combustible como el azufre y, hasta hace algunos años el plomo, se liberan al ambiente a través del proceso de combustión. Estas emisiones dependen de las características del vehículo, su tecnología y su sistema de control de emisiones; los vehículos más pesados o más potentes tienden a generar mayores emisiones por kilómetro recorrido. El estado de mantenimiento del vehículo y los factores operativos, la velocidad de circulación, la frecuencia e intensidad de las aceleraciones y las características de los combustibles juegan un papel fundamental en las emisiones por el escape.

Otras emisiones

Se pueden dar emisiones de material particulado, incluyendo carbono negro, que se generan debido al desgaste de los neumáticos y frenos del vehículo y el desgaste de la superficie de la carretera. De igual forma, el levantamiento de polvo de los caminos causados por los vehículos, el polvo suspendido por la turbulencia de movimiento, generan emisiones de partículas de tamaños y composición diferentes a las generadas por combustión.

2.2.1. PROGRAMAS DE VERIFICACIÓN VEHICULARES

Como una alternativa para reducir la cantidad de emisiones contaminantes de los vehículos automotores se crearon los Programas de Verificación Vehicular, PVV. La NOM-041-SEMARNAT-2015 lo define como: “Documento oficial en donde se establecen las reglas de operación de la verificación de emisiones vehiculares, los cuales deberán establecer como mínimo la frecuencia de revisión de los límites de emisión, el calendario de presentación a verificar de los automotores, la tarifa por el servicio y las sanciones por incumplimiento”. Por otro lado, la NOM-167-SEMARNAT-2017 lo define como:

“Instrumento regulatorio emitido por la autoridad competente integrado por el conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, administrativas, de supervisión y evaluación de las emisiones de contaminantes provenientes de los vehículos en circulación (SEMARNAT, 2020).

Sin embargo, el objetivo de un PVV es mantener el parque vehicular en circulación en la mejor condición ambiental posible, motivando el mantenimiento preventivo de aquellas ciudades que presentan a verificar, y obligar el mantenimiento correctivo de los vehículos que presenten niveles de contaminación mayores a lo permisible.

Si bien, los beneficios que trae la aplicación de estos programas es que inducen al mantenimiento periódico de los vehículos, generando un ahorro en el consumo de combustible, fomenta a la renovación del parque vehicular; reduciendo con ello la antigüedad de la flota, incentiva la introducción de tecnologías y combustibles más limpios y reduce las emisiones de los vehículos, contribuyendo a la mejora de la calidad del aire y la protección de la salud de las personas.

A nivel nacional, existen 15 programas estatales y 6 programas municipales de verificación vehicular que operan actualmente.

Los estados que cuentan con un Plan de Verificación Vehicular son: Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla, Tlaxcala, Querétaro, Jalisco, Baja California, Coahuila, Chihuahua, Guanajuato, Oaxaca, Veracruz, Michoacán y Yucatán como se muestra en el mapa de la imagen 2.3. Cabe destacar que aunque Quintana Roo cuenta con un PVV, en este estado no se encuentra en operación.

Imagen 2.3 Estados que cuentan con Programa de Verificación Vehicular



Fuente: SEMARNAT, 2020

Entre los municipios que cuentan con este programa se encuentran: Ciudad Juárez, Torreón, Piedras Negras, Monclova, Ramos Arizpe y Saltillo.

El Programa de Verificación Vehicular se puede aplicar por diversas pruebas, dependiendo las características de los autos, y si estos pueden ser revisados en los centros de verificación o los que por su tamaño deben ser revisados en la vialidad, como los vehículos de carga.

- Prueba dinámica: en este método se miden los gases (HC, CO, CO₂, O₂ y NO_x) en el escape de los vehículos en circulación equipados con motores que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos, bajo condiciones de aceleraciones simuladas mediante la aplicación de una carga externa controlada por el dinamómetro.

Consiste en tres etapas:

- ✓ Revisión visual de humo a 24 km/h
- ✓ Prueba a 24 km/h
- ✓ Prueba a 40 km/h

- Prueba estática: este método mide los gases (HC, CO, CO₂ y O₂) en el escape de los vehículos automotores en circulación equipados con motores que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos estando el vehículo estacionado.

Consiste en tres etapas:

- ✓ Revisión visual de humo
- ✓ Pruebas de marcha cruceo
- ✓ Prueba de marcha lenta en vacío

- Prueba del Sistema de diagnóstico a bordo (SBD): Este es un sistema de diagnóstico incorporado al vehículo y que tiene la función de controlar y monitorear tanto al motor como algunos otros dispositivos; dentro de estos, se puede controlar el nivel de emisiones que genera la unidad y determinar si contamina.
- Prueba de opacidad: Consiste en una prueba estática del vehículo, acelerando el motor desde su régimen de ralentí hasta su régimen gobernado.

2.3. CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y SUS AFECTACIONES

De acuerdo a sus características, los efectos de los contaminantes pueden alcanzar diferentes objetivos o receptores. Los siguientes son los principales contaminantes atmosféricos emitidos por fuentes móviles y sus diversas afectaciones.

Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono (CO), es un gas inodoro, incoloro e insípido, considerado como el contaminante más abundante en la capa inferior de la atmósfera, al oxidarse genera dióxido de carbono. Este gas es producto de la combustión incompleta de los combustibles; la mayor proporción de CO emitido en áreas urbanas es generada por los vehículos (alrededor del 70%) expulsados por los motores de combustión interna (SEMARNAT, 2013).

Debido a su exposición pueden producir efectos perjudiciales, ya que en altas concentraciones pueden causar cambios fisiológicos y patológicos. Si la exposición es prolongada, puede provocar dolor de cabeza, mareo y cansancio; a niveles más altos de concentración llegan a provocar somnolencia, alucinaciones, convulsiones y pérdida de conocimiento incluso hasta la muerte, esto debido a que el CO reacciona con las hemoglobina de la sangre formando un compuesto llamado carboxihemoglobina, lo que produce un menor transporte de oxígeno en la sangre. El CO no tiene efectos perjudiciales sobre la superficie de los contaminantes. En concentraciones por debajo de 100 ppm puede ocasionar efectos dañinos a las plantas.

Hidrocarburos

Los hidrocarburos (HC), están compuestos con carbono e hidrógeno. Son compuestos simples y pueden ser considerados como las sustancias principales de las que se derivan todos los demás compuestos orgánicos. La emisión de hidrocarburos proviene de una variedad de fuentes, los vehículos a motor son los más importantes, seguidos de los disolventes y las industrias de petróleo. Las emisiones por hidrocarburos resultan cuando no se quema completamente el combustible en el motor. Los motores a gasolina emiten mayores cantidades de hidrocarburos en comparación a los motores diésel equivalentes.

Uno de los hidrocarburos de mayor interés por sus impactos a la salud y el medio ambiente, son los compuestos orgánicos volátiles (COV). Estos compuestos son precursores del ozono y algunos de ellos

como el benceno, formaldehídos y acetaldehídos, tiene una alta toxicidad para el ser humano (INE, 2009).

Dentro de los hidrocarburos más contaminantes se encuentra el metano (CH_4), uno de los hidrocarburos más abundantes en la atmósfera. El metano también es un gas de efecto invernadero generado dentro de los procesos de combustión de los vehículos.

Óxidos de Nitrógeno

El término óxidos de nitrógeno (NO_x), es un concepto amplio que incluye al monóxido de nitrógeno (NO), al dióxido de nitrógeno (NO_2) y a otros óxidos de nitrógeno menos comunes. Una de las causas más importantes de las emisiones de este contaminante se asocia al sector transporte ya que se forman durante la combustión en los vehículos motorizados, más habituales en los motores de diésel. Los óxidos de nitrógeno, al igual que los hidrocarburos, son precursores del ozono.

La exposición aguda al NO_2 puede incrementar enfermedades respiratorias, especialmente en niños y personas asmáticas. Su exposición crónica puede disminuir las defensas contra infecciones respiratorias. Así mismo, el NO_2 puede reaccionar con la humedad presente en la atmósfera para formar ácido nítrico, contribuyendo de esta forma al fenómeno conocido como lluvia ácida causando la corrosión de superficies metálicas y deteniendo el crecimiento de las plantas.

Dióxido de Azufre

El dióxido de azufre (SO_2), es un gas incoloro de fuerte olor, que se produce debido a la presencia de azufre en los combustibles fósiles (carbón y petróleo). Sus principales fuentes de emisión antropogénica incluye los vehículos automotores, generación de electricidad, y calefacción doméstica, de forma natural se produce SO_2 por las erupciones volcánicas o incendios forestales.

El SO_2 puede afectar el sistema respiratorio y las funciones pulmonares causando irritación ocular. La inflamación del sistema respiratorio provoca tos, secreción mucosa y agravamiento del asma y la bronquitis crónica; así mismo aumenta la propensión de las personas a contraer infecciones del sistema respiratorio.

El contacto con la humedad del aire, el SO_2 forma ácido sulfúrico (responsable de la lluvia ácida) incrementando el problema de la deposición ácida. Esto provoca la acidificación de suelos, lagunas y

ríos, acelera la corrosión de materiales y edificaciones, e inhibe el crecimiento de la vegetación causando deforestación.

Material Particulado

Las partículas o material particulado, (PM) también son producto de los procesos de combustión en el motor de los vehículos. Está compuesto por partículas sólidas y líquidas minúsculas que se originan en la quema incompleta del combustible. Los motores diésel producen muchas más partículas que los motores a gasolina.

Estas partículas vienen en muchos tamaños y formas, y pueden estar conformadas por ciento de diferentes químicos. La contaminación por partículas incluye PM_{10} , partículas inhalables que tienen diámetros de, por lo general 10 micrómetros y menores; y $PM_{2.5}$, partículas inhalables finas que tienen diámetro de por lo general 2.5 micrómetros y menores. La mayoría de las partículas se forman en la atmósfera como resultado de reacciones complejas de químicos, como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, contaminantes emitidas por centrales eléctricas, industriales y automóviles (EPA por sus siglas en inglés, 2021).

El material particulado contiene sólidos microscópicos y gotas de líquidos que son tan pequeñas que pueden inhalarse y provocar graves problemas a la salud. De acuerdo a la OMS, las partículas son un representativo común de la contaminación del aire ya que estas afectan a más personas que cualquier otro contaminante. Si bien las partículas con un diámetro de 10 micrómetros o menos pueden penetrar y alojarse profundamente dentro de los pulmones, las partículas con diámetro de 2.5 o menos son aún más dañinas para la salud, ya que pueden atravesar la barrera pulmonar y entrar al sistema sanguíneo. La exposición crónica a partículas contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer de pulmón (OMS, 2018).

En términos generales, la exposición a estas partículas puede afectar tanto a los pulmones como al corazón. Múltiples estudios científicos vincularon la exposición a la contaminación por partículas a una variedad de problemas que incluye muerte prematura en personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, infartos, asma agravada, función pulmonar reducida, irritación en las vías respiratorias, tos o dificultades para respirar.

En cuestiones ambientales, debido a que el viento puede transportar a las partículas por largas distancias, estas pueden instalarse en el suelo o agua provocando que lagos y arroyos se vuelvan ácidos,

reduce los nutrientes del suelo, provoca daños en bosques y cultivos agrícolas y efectos perjudiciales sobre la diversidad de los ecosistemas (EPA, 2021).

Dióxido de Carbono

El dióxido de carbono (CO_2) es un gas incoloro, denso y poco reactivo que forma parte de la composición de la troposfera, está presente en el medio ambiente ya que los humanos lo emitimos al respirar y las plantas lo necesitan para la fotosíntesis.

El CO_2 es una de las emisiones más habituales en los vehículos de gasolina. En el 2013, las emisiones de las fuentes móviles del sector autotransporte y no carreteras contribuyeron con 26.2% de las emisiones totales a nivel nacional (INECC/SEMARNAT, 2015).

El CO_2 no atenta contra la salud, sin embargo, un exceso de este gas lo convierte en uno de los gases de efecto invernadero, provocando el desequilibrio en los ecosistemas y los cambios en las estaciones climatológicas.

Ozono

El ozono (O_3) a nivel del suelo, (que no debe confundirse con la capa de ozono en la atmósfera superior) es uno de los principales componentes de la niebla tóxica. Este se forma por la reacción con la luz solar (fotoquímica) de contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NO_x) procedentes de las emisiones vehiculares o la industria y los compuestos orgánicos volátiles (COV) emitido por vehículos, disolventes y la industria. Los niveles de ozono más elevados se registran durante los periodos de tiempo soleado.

El exceso de ozono en el aire puede producir efectos adversos de consideración en la salud humana. Puede causar problemas respiratorios, provocar asma, reducir la función pulmonar y originar enfermedades pulmonares (OMS, 2018).

2.3.1. AFECTACIONES A LA SALUD DE LA POBLACIÓN

En términos generales, a nivel de la salud humana, el crecimiento de los niveles de contaminación atmosférica en muchas ciudades del mundo ha despertado el interés por investigar la asociación entre el deterioro de la calidad del aire y sus posibles efectos en la salud humana. A lo largo de muchos años de investigación de este tema, se ha encontrado una amplia evidencia sobre los efectos que la contaminación del aire tiene sobre la salud de la población, en términos como de mortalidad como de

morbilidad. Los impactos varían de acuerdo a la exposición, el nivel de contaminación (alto o bajo), el contaminante que se considere, la edad de la persona, entre otros aspectos (Ferre Carbonell & Escalante Semerena, 2009).

2.3.2. AFECTACIONES AL MEDIO AMBIENTE

El impacto de los contaminantes atmosféricos en los ecosistemas se manifiesta por la degradación de la calidad de los factores ambientales, como la acidificación del suelo, del agua dulce o de los lagos, los daños en los cultivos, los bosques o la eutrofización. Los componentes de la atmósfera contaminada tienen un impacto en los cambios climáticos, lo que influye en el aumento de la temperatura global media. Sin embargo la contaminación atmosférica también afecta en entorno construido, el patrimonio cultural por daños de los materiales de construcción, la corrosión de los materiales metálicos, la suciedad de las superficies, la intemperie y/o el descoloramiento (Perniu & Manciulea, 2016)

2.4. MARCO NORMATIVO APLICABLE

En México, la normatividad ambiental encuentra su base en la Constitución Política. De esta se derivan las diversas leyes, reglamentos y normas que rigen el país. Las Normas Oficiales Mexicanas, NOMs, son los instrumentos jurídicos que obliga a cumplir las especificaciones que determina la autoridad federal. En materia de calidad del aire, la normatividad está determinada particularmente por la Secretaría de Salud, y por la Secretaría de Medio Ambiente, SEMARNAT. Ambas secretarías han desarrollado NOMs enfocadas a la protección de la salud de la población y a la medición de los contaminantes.

Las normas que retomaremos para dar finalidad a este documento son las siguientes:

Tabla 2.1 Marco Normativo aplicable

Normas de la Secretaría de Salud	Normas aplicables a fuentes móviles
NOM-O20-SSA1-2014	NOM-041-SEMARNAT-2015
NOM-021-SSA1-1993	NOM-042-SEMARNAT-2003
NOM-022-SSA1-2019	NOM-044-SEMARNAT-2017
NOM-023-SSA1-1993	NOM-045-SEMARNAT-2017
NOM-025-SSA1-2014	NOM-047-SEMARNAT-2014
	NOM-048-SEMARNAT-1993

NOM-049-SEMARNAT-1993

NOM-050-SEMARNAT-2018

NOM-076-SEMARNAT-2012

NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013

NOM-167-SEMARNAT-2017

Fuente: Elaboración propia

2.4.1. NORMAS DE LA SECRETARÍA DE SALUD EN MATERIA DE CONTAMINANTES

En base a que muchos de los contaminantes que emiten los vehículos son de los catalogados como criterio, retomaremos las especificaciones técnicas que describe la normatividad.

Los contaminantes criterios están regulados en las normas ambientales y de salud y son monitoreados de manera permanente a través de distintas redes. La Ley General de salud establece en su Título séptimo, “Promoción de la Salud” capítulo IV, “Efectos del Ambiente en la Salud” (Artículos 116) que, en materia de efectos del ambiente en la salud de la población, corresponde a las autoridades de salubridad establecer normas, tomar medidas y realizar actividades tendientes a proteger la salud humana ante los riesgos y daños que pudiera ocasionar las condiciones del ambiente, así como (Artículo 118, Fracc. I) determinar los valores de concentración máxima permisibles para el ser humano de los contaminantes en el ambiente. Con base en esto, la Secretaría de Salud (SS) ha emitido diversas Normas Oficiales Mexicanas.

NOM-020-SSA1-2014: Salud Ambiental. Criterio para evaluar el valor límite permisible para la concentración de ozono de la calidad del aire ambiente.

NOM-021-SSA1-1993: Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono. Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

NOM-022-SSA1-2019: Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre. Valores normados para la concentración de dióxido de azufre en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

NOM-023-SSA1-1993: Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al bióxido de nitrógeno en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

NOM-025-SSA1-2014: Salud ambiental. Valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM₁₀ Y PM 2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación.

La siguiente tabla resume los indicadores con los que se evalúa el cumplimiento de las NOMs de salud con respecto a cada uno de los contaminantes criterio.

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas de la normatividad vigente

Contaminante	Dato base utilizable para la evaluación	Exposición	Frecuencia tolerada	Valor límite Indicador con el que se evalúa	Norma Oficial Mexicana
Partículas PM ₁₀	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	75 µg/m ³ Máximo	NOM-025-SSA1-2014
		Crónica	---	40 µg/m ³ Promedio anual	
Partículas PM _{2.5}	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	45 µg/m ³ Máximo	
		Crónica	---	12 µg/m ³ Promedio anual	
Ozono (O ₃)	Dato horario	Aguda	No se permite	0.095 ppm Máximo	NOM-020-SSA1-2014
	Promedio móvil de 8 horas		No se permite	0.070 ppm Máximo	
Dióxido de azufre (SO ₂)	Promedio móvil de 8 horas	Aguda	1 vez al año	0.200 ppm Segundo máximo	NOM-022-SSA1-2010
	Promedio de 24 horas	Aguda	No se permite	0.110 ppm Máximo	
	Dato horario	Crónica	---	0.025 ppm Promedio anual	
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Dato horario	Aguda	1 vez al año	0.210 ppm Promedio anual	NOM-023-SSA1-1993
Monóxido de carbono (CO)	Promedio móvil de 8 horas	Aguda	1 vez al año	11 ppm Segundo Máximo	NOM-021-SSA1-1993

Fuente: Retomado de COFEPRIS, 2017

2.4.2. NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERIA DE FUENTES MÓVILES

Un elemento esencial para mejorar la gestión ambiental de la región, es la actualización del marco normativo que regula las diferentes fuentes de emisión, con el objetivo de que las autoridades ejecuten las medidas necesarias para garantizar su cumplimiento.

Por su parte la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) señala como una de las facultades de la SEMARNAT en su Título Cuarto, capítulo II en materia de “Prevención y control de la contaminación de la atmósfera” (Art. 111, fracc. I,III), expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan la calidad ambiental con base en los valores de concentración máxima permisible para la salud pública de contaminantes en el ambiente determinados por la Secretaría de Salud, así como expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan por contaminante y por fuente de contaminación, los niveles máximos permisibles de emisión de olores, gases así como de partículas sólidas y líquidas a la atmósfera proveniente de fuentes fijas y móviles.

En lo que refiere a la regulación de emisiones por fuentes móviles, las normas vigentes son las siguientes:

NOM-041-SEMARNAT-2015: Establece los límites máximos permisibles de emisiones de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores que usan gasolina como combustible.

NOM-042-SEMARNAT-2003: Hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos evaporativos provenientes del escape de vehículos en planta a gasolina o gas.

NOM-044-SEMARNAT-2017: Establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales, hidrocarburos no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas y opacidad de humos provenientes del escape de motores nuevos que usan diésel como combustible.

NOM-045-SEMARNAT-2017: Protección ambiental- vehículos en circulación que usan diésel como combustible. Límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de prueba y características técnicas del equipo de medición.

NOM-047-SEMARNAT-2014: Características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes, proveniente de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos.

NOM-048-SEMARNAT-1993: Establece los límites máximos de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono y humos en motocicletas a gasolina o gasolina-aceite.

NOM-049-SEMARNAT-1993: Características de equipo y procedimiento de medición para la verificación de contaminantes en motocicletas a gasolina o gasolina-aceite en circulación.

NOM-050-SEMARNAT-2018: Establece los niveles máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes de escape de los vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos.

NOM-076-SEMARNAT-2012: Establece los límites máximos permisibles de emisiones de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno provenientes del sistema de combustible, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y otros combustibles alternos que se utilizan para la propulsión de vehículos automotores mayores de 3,857 kilogramos nuevos en planta.

NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013: Emisiones de bióxido de carbono proveniente del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustibles, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3,857 kilogramos.

NOM-167-SEMARNAT-2017: Establece los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para los vehículos automotores que circulan en las entidades federativas de Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala; los métodos de prueba para la evaluación de prueba para la evaluación de dichos límites y las especificaciones de tecnologías de información y hologramas.

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente trabajo se tomó en consideración la investigación de tipo cualitativa, según lo descrito por Hernández Sampieri (2014), que consiste en hacer una recopilación y análisis de la información documental obtenida, para lograr descripciones detalladas de lo que ya se ha estudiado.

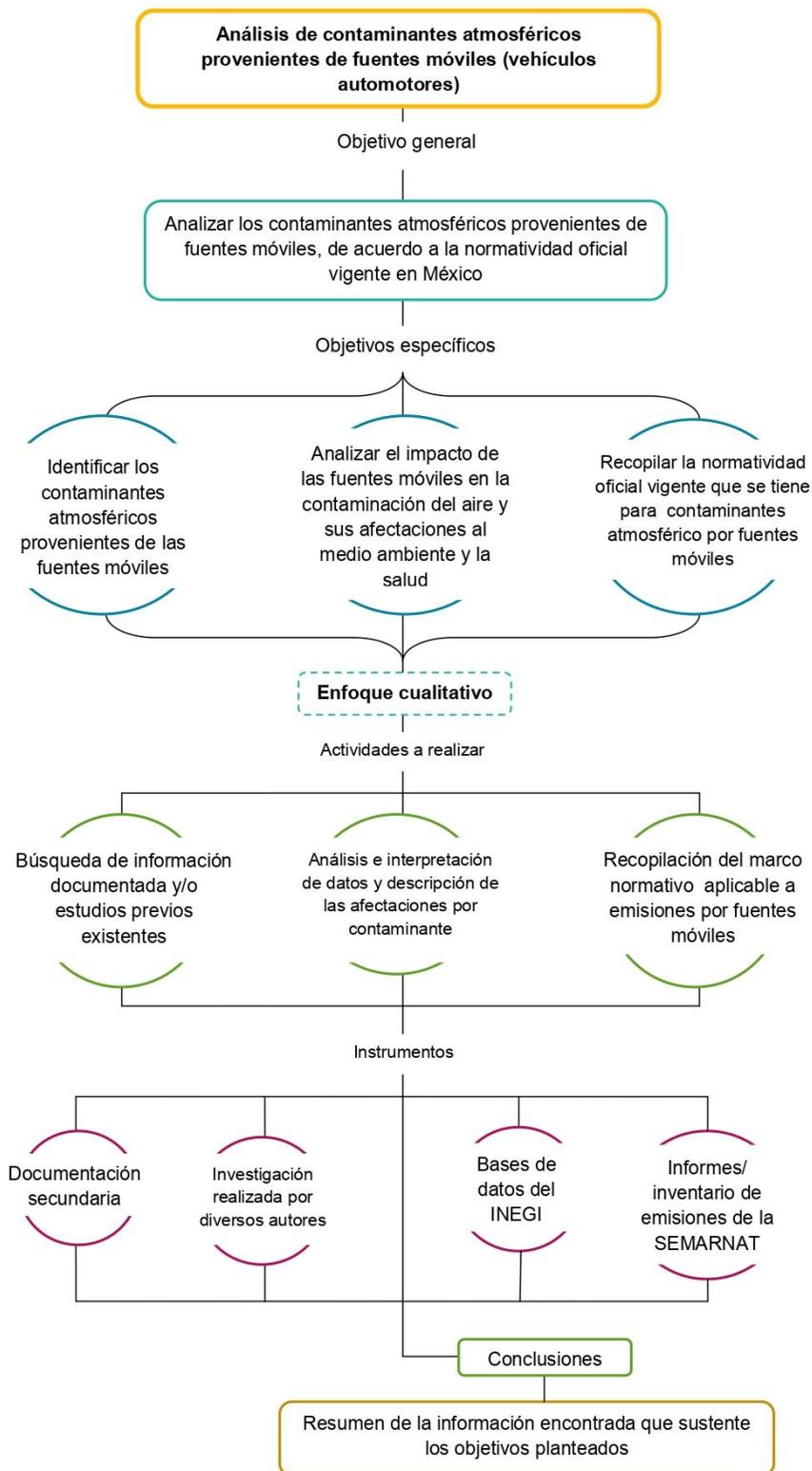
Po tal motivo se recurrió a la revisión de diversas fuentes de información, como libros, artículos científicos, publicaciones de revistas nacionales e internacionales, tesis, guías y demás textos bibliográficos que nos permitieron recopilar información relevante al tema de investigación. En la imagen 3.1 se presenta un diagrama con el resumen de las actividades e instrumentos empleados para el desarrollo del presente proyecto.

La metodología que se utilizó para el desarrollo adecuado del proyecto con el fin de dar cumplimiento a los objetivos planteados fue la siguiente:

- **Determinación del tema:** Para la elección del tema nos basamos en uno de los problemas que sigue presente hasta la fecha, que es la contaminación atmosférica, enfocándonos en hacer un análisis de los contaminantes que son emitidos por fuentes móviles, ya que estos, se han convertido en los últimos años en uno de los principales agentes que generan una gran cantidad de contaminantes atmosféricos debido al incrementos de los vehículos automotores en las zonas urbanas.
- **Generación de los objetivos:** En este apartado se establecieron los objetivos de lo que se pretende alcanzar en este documento.
- **Búsqueda de información:** Se realizó la búsqueda de información bibliográfica de investigaciones y trabajos de diversas fuentes, relacionados a la contaminación atmosférica y sus fuentes de emisión, así como antecedentes históricos en relación a la problemática actual que nos ayude a cumplir con los objetivos del presente proyecto.
- **Análisis e interpretación de la información:** Para realizar el análisis se considero la investigación de tipo descriptivo y documental, donde se tomaron en cuenta datos obtenidos de diversos informes y/o estudios sobre contaminantes atmosféricos y sus fuentes de emisión que se han realizado en los últimos años. Se identificaron aquellos contaminantes que son emitidos por las fuentes móviles y se analizó las diversas afectaciones que estos generan a la salud de la población y al medio ambiente, de acuerdo a sus características.

- **Recopilación del marco normativo:** Se recopiló el marco normativo vigente aplicable, que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes atmosféricos. Para ello se revisaron las leyes y reglamentos correspondientes que estipulan la expedición de normas oficiales en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica, retomando aquellas que corresponden únicamente a la regulación de emisiones por fuentes móviles establecidas por la SEMARNAT; al igual que se tomaron en cuenta aquellas normas en materia de contaminantes, establecidas por la Secretaría de Salud que determinan los valores de concentración máxima permisible para el ser humano.
- **Generación de conclusiones:** Como último se resumen los hallazgos más sobresalientes de la investigación y expone los factores centrales que inciden en la contaminación atmosférica. Nos aseguraremos que las conclusiones obtenidas conteste a los objetivos planteados.

Imagen 3.1 Diagrama metodológico



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En términos generales, podemos concluir que las emisiones contaminantes que provienen de fuentes móviles, suponen ser una de las fuentes de mayor contribución a la mala calidad del aire, principalmente en zonas metropolitanas o más urbanizadas. Esto se debe, al aumento en gran cantidad de vehículos automotores que se encuentran registrados en circulación hasta la fecha, ya que a mayor cantidad de vehículos, mayor será la cantidad de emisiones contaminantes que se liberen a la atmósfera, independientemente de las características del vehículo, el tipo de combustible que utilicen y su antigüedad, todo esto interfiere en la liberación en menor o mayor cantidad de los diferentes contaminantes que emiten. Si no se controla la cantidad de emisiones contaminantes por esta fuente, se pueden generar efectos o problemas negativos a largo o corto plazo.

Para dar cumplimiento con nuestros objetivos, se presentan las siguientes conclusiones.

1. En lo que refiere a la identificación de los contaminantes que provienen de fuentes móviles, en diversos estudios encontramos que los vehículos automotores emiten múltiples contaminantes que afectan a la atmósfera a causa de la quema de su combustible (ya sea gasolina o diésel) y pueden ser liberados en diversas proporciones. Entre estos contaminantes podemos mencionar el CO, NO_x, PM, SO₂, HC, de los cuales al mezclarse y reaccionar con otros compuestos químicos generan otra serie de contaminantes como el O₃ y el CO₂.
2. Si bien las fuentes móviles o el uso de vehículos traen grandes beneficios como el poder transportarse grandes distancias o llegar más rápido a nuestro destino, estas de igual modo generan una serie de impactos negativos trayendo consigo afectaciones al medio ambiente y nuestra salud por sus emisiones contaminantes.

En términos generales podemos concluir que las principales afectaciones que provoca la exposición a estos contaminantes puede alcanzar diferentes objetivos o receptores de acuerdo a las características del contaminante; en lo que refiere a la salud de la población, la mayoría de los contaminantes provoca enfermedades relacionadas a problemas respiratorios, pulmonares, cardiovasculares, dolores de cabeza, mareos, tos o irritaciones en la garganta, cánceres, incluso hasta la muerte, siendo el material particulado uno de los contaminantes que más afectaciones provoca a la salud, debido a su pequeño tamaño y fácil dispersión y absorción. En relación a las afectaciones al medio ambiente, los contaminantes pueden causar la acidificación de suelos y

agua, daños y pérdidas de vegetación (afectando cultivos o bosques), incluso contribuir al incremento de los gases de efecto invernadero como es el caso del CO₂, el cual es uno de los contaminantes liberado por las fuentes móviles en mayor proporción.

3. Aunque han surgido acciones para reducir la cantidad de emisiones liberadas a la atmósfera, como la implementación de nuevas tecnologías o el uso de combustibles más limpios, resulta fundamental conocer el marco normativo que corresponde y se aplican a las fuentes móviles como lo son las normas establecidas por la SEMARNAT, ya que estas nos permiten conocer los límites máximos de emisiones que se puede liberar a la atmósfera; y las normas del sector salud enfocadas a la calidad del aire, que establecen las concentraciones de contaminantes que son aceptables para la población en términos de riesgo que estos pueden representar a la salud.

En fin, concientizar a la mayoría de la población sobre el uso adecuado de los vehículos resulta una tarea muy difícil, sin embargo, existen una serie de acciones y recomendaciones que pueden ayudar a reducir la cantidad de emisiones liberadas a la atmósfera como lo son: planear los recorridos para realizar nuestras actividades en un solo viaje, no hacer viajes innecesarios, adoptar medidas alternativas de transporte como el uso de bicicletas o animarse a caminar en trayectos cortos, realizar revisiones periódicas de nuestros vehículos para que se encuentren en buen estado y sobre todo adoptar buenas prácticas de conducir, evitando el exceso de velocidad.

Como recomendaciones finales, se sugiere seguir con la búsqueda de información y la estimación de datos más actualizados para investigaciones futuras.

REFERENCIAS

- Agencia de Protección ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés). (2021, 30 marzo). *Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medio ambiente*. EPA en español. <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, (EPA, por sus siglas en inglés). (2021, 4 abril). *Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés)*. EPA en Español. <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>
- Ataz, E. M., & Morales, Y. D. M. (2004). *Contaminación atmosférica*. Universidad de Castilla de La Mancha.
- Ballester, F. (2005). Contaminación Atmosférica, Cambio Climático y Salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 159–175.
- Boletín Oficial del Estado. (2017, diciembre). *Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de Calidad del aire y protección de la atmósfera* (N.º 275). Legislación consolidada. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2007/BOE-A-2007-19744-consolidado.pdf>
- Calla Durandal, L., & Luján Pérez, M. (2018). Inventario de emisiones de fuentes móviles con una distribución espacial y temporal para el área metropolitana de Cochabamba, Bolivia. *Acta Nova*, 8(3), 322–353.
- Calvo Aldea, D., Salvachúa Rodríguez, J., & Molina Álvarez, M. T. (2009). *Ciencias de la tierra y medioambientales 2º de bachillerato* (5.ª ed.). McGraw-Hill, Madrid.
- Camilloni, I., & Vera, C. (2007). *La atmósfera: Ciencias naturales*. Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología. <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002316.pdf>
- Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME). (2020, 28 mayo). *Índice aire y salud: características y aplicaciones*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554425/comunicado_indice_calidad_aire_05_2020_FINAL_v3.pdf
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios COFEPRIS. (2017). *Clasificación de los contaminantes del aire ambiente*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/2-clasificacion-de-los-contaminantes-del-aire-ambiente>
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios COFEPRIS. (2017, 31 diciembre). *Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de Calidad del Aire Ambiente*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/4-normas-oficiales-mexicanas-nom-de-calidad-del-aire-ambiente>

- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). (2017, 31 diciembre). *Clasificación de los contaminantes del aire ambiente*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/2-clasificacion-de-los-contaminantes-del-aire-ambiente>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2018, 17 diciembre). *El aire: Elemento de vida en la Tierra*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/conanp/articulos/el-aire-elemento-de-vida-en-la-tierra>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2019, noviembre). *NOM-172-SEMARNAT-2019, Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad del Aire y Riesgos a la Salud*. Secretaría de Gobernación.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2021). *Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)*. DOF.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2021). *Ley General de Salud*. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf_mov/Ley_General_de_Salud.pdf
- Elizondo, A., & Hernández Amezcua, T. (2018). Regulación de las emisiones de CO₂ para vehículos ligeros en México. *Gestión y política pública*, 27(2), 571–594.
- Ferrer Carbonell, J. A., & Escalante Semerena, R. I. (2009). Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud en la Zona Metropolitana del Valle de México. *Economía Informa*, 22–39.
- Gallego Pico, A., González Fernández, I., & Sánchez Gimeo, B. (2012). *Contaminación atmosférica*. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid.
- Guía de Calidad del Aire y Educación Ambiental*. (2016). Ministerio del Medio Ambiente.
- Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación* (6.a ed.). McGraw-Hill Education, México D.F.
- Instituto Nacional de Ecología (INE) & SEMARNAT. (2009). *Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Vehiculares en ciudades Mexicanas*. SEMARNAT.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2012). *Estudio de emisiones y actividad vehicular de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. INECC.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2007, 15 noviembre). *Tipos y fuentes de contaminación atmosférica*. INECC. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/tipos.html>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) & Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2015). *Primer Informe bienal de Actualización ante la Conservación Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. INECC/SEMARNAT.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2019). *Parque vehicular*. INEGI. https://www.inegi.org.mx/temas/vehiculos/#Informacion_general
- ONU-Hábitat. (2017, 23 mayo). *Contaminación, automóviles y calidad del aire*. Blog ONU-Hábitat, por un mejor futuro urbano. <https://onuhabitat.org.mx/index.php/contaminacion-automoviles-y-calidad-del-aire>
- Onursal, B., & Gautam, S. P. (1997). *Contaminación atmosférica por vehículos automotores, experiencias recogidas en siete centros urbanos de América Latina*. Banco Mundial, Washington, D.C.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018, 2 mayo). *Calidad del aire y salud*. OMS. [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)
- Ortíz Tamayo, L. M. (2015). Contaminación vehicular: Una problemática en aumento con necesidades inmediatas. *Grafas Disciplinarias de la UCPR*, 59, 51–56.
- Perniu, D., & Manciulea, I. (2016). *Transporte de contaminantes gaseosos en atmósfera urbana*. Learning Toxicology through Open Educational Resources. http://moodle.toxoer.com/pluginfile.php/4993/mod_page/content/1/4.1.U2.%20Gaseous%20pollutants%20transport%20in%20urban%20atmosphere%20ESP.pdf
- Placeres, M. R., Olite, F. D., & Álvarez Toste, M. (2006). La contaminación del aire: Su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 44(2).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2012). *Informe de la situación del medio ambiente en México*. SEMARNAT. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2013). *Calidad del aire: Una práctica de vida*. SEMARNAT.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2017, 11 agosto). *La atmósfera, esencial para el mantenimiento de la vida*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/atmosfera?idiom=es>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2019, 22 agosto). *Inventario Nacional de Emisiones Contaminantes INEM*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-contaminantes-criterio-inem>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020, 10 diciembre). *Programa de Verificación Vehicular*. Gobierno del Estado. <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/programas-de-verificacion-vehicular-pvv>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT. (2020). *Marco normativo vigente en materia de contaminantes*. Gobierno de México.

http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_AIRE01_03&IBI_C_user=dgeia_mce&I

Subsecretaría de Gestión Ambiental. (2021, diciembre). *Gestión integral de la calidad del aire y RETC*. Secretaría de Medio Ambiente, Gobierno del estado de Coahuila. <http://www.sema.gob.mx/SGA-MONITOREO-INDICE.php>

Tan, Z. (2014). *Air Pollution and Greenhouse Gases*. Springer Singapur.

Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2017). Contaminación atmosférica, efectos en la salud respiratoria en el niño. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28(1), 111–118.

UNAM. (2015). La contaminación del aire y los problemas respiratorios. *Revista de la Facultad de Medicina UNAM*, 58(5), 44–47.