

# UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

## CURSO ESPECIAL DE TITULACIÓN

### TRABAJO DOCUMENTAL

TECNOLOGÍAS PARA LA REDUCCIÓN DE LAS  
EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN MÉXICO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO AMBIENTAL**

PRESENTA

**YESSICA LIZETTE ESPINOSA ZAVALA**

DIRECTOR

**DR. JUAN ANTONIO VILLANUEVA HERNÁNDEZ**



# ÍNDICE

1.	Introducción	1
2.	Objetivos	17
	2.1.    Objetivo general	17
	2.2.    Objetivos específicos	17
3.	Metodología	18
4.	Conclusiones	20
5.	Anexos	22
	5.1.    Tecnologías para el control de partículas	22
	5.2.    Tecnologías para el control de gases y vapores	24
6.	Referencias bibliográficas	28

## ÍNDICE DE FIGURAS

Imagen 1. Emisiones naturales y antropogénicas desde la Tierra	3
Imagen 2. Filtro de mangas	22
Imagen 3. Precipitador electrostático	22
Imagen 4. Separación con ayuda mecánica	23
Imagen 5. Cámara de sedimentación	23
Imagen 6. Ciclones	24
Imagen 7. Convertidor catalítico	24
Imagen 8. Lavadores de gases	25
Imagen 9. Lavadores de gases tipo Venturi	25
Imagen 10. Incineradores térmicos	26
Imagen 11. Lavadores tipo Jet	26
Imagen 12. Torre de aspersión	27
Imagen 13. Torre de platos	27

## ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICAS

Tabla 1. Componentes del aire	1
Gráfica 1. Países que más contaminan el aire	5
Gráfica 2. Emisión Nacional de Contaminantes por categoría de fuente	11
Mapa conceptual 1. Metodología aplicada	18

## 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico y la globalización han originado evidentes beneficios, pero al mismo tiempo han provocado la aparición de nuevos riesgos.

El aire que respiramos está compuesto por nitrógeno, oxígeno y en menor medida, de argón y otros gases como el dióxido de carbono o el neón, en las proporciones que se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1. Componentes del aire.**

COMPONENTE	%VOLUMEN	% PESO
NITRÓGENO	78,03	75,58
OXÍGENO	20,99	23,08
ARGÓN	0,94	1,28
DIÓXIDO DE CARBONO	0,035	0,053
NEÓN	0,0024	0,0017
OTROS GASES INERTES	0,0024	0,0017
HIDRÓGENO	0,00005	0,000004

Fuente: Doadrio, 2010.

Otros gases, o partículas presentes, se consideran contaminantes, la mayoría tienen acción tóxica, y algunos son potencialmente cancerígenos. Se considera, que los principales gases contaminantes son: ozono, dióxido de azufre, óxido nitroso y monóxido de carbono, junto con algunos compuestos orgánicos volátiles, de acción carcinogénica, como el benceno o el butadieno. Se entiende pues, por contaminación atmosférica, la presencia en el aire de estas sustancias, que alteran la calidad del mismo, y que conlleva riesgos, daños o molestias graves para las personas y los bienes de cualquier naturaleza. (Doadrio, 2010)

Los contaminantes atmosféricos se clasifican en dos grandes grupos: *los gases y vapores y las partículas.*

Normalmente, los productos contaminantes se encuentran mezclados en el aire. Su naturaleza es muy diversa, aunque algunos destacan por su elevada proporción en el aire o por

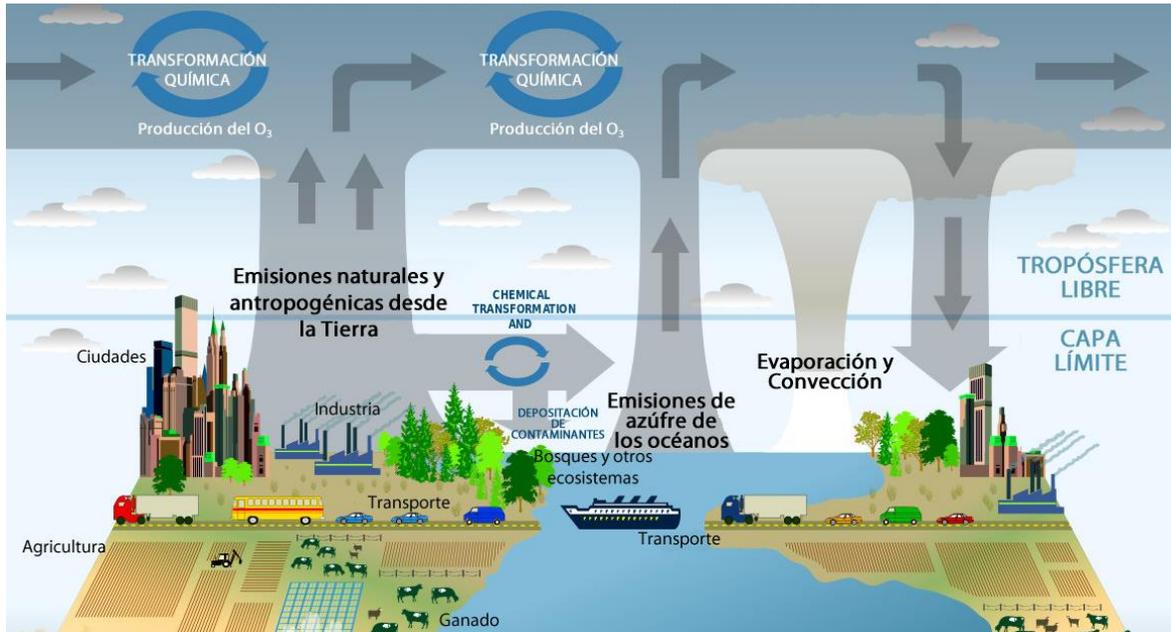
sus efectos. Por otra parte, muchos reaccionan entre sí o con las otras sustancias presentes en la atmósfera, como el vapor de agua, y originan nuevos contaminantes. Así diferenciamos los contaminantes primarios, emitidos directamente por una fuente, de los secundarios, producto de reacciones ulteriores. El tiempo que un contaminante permanece en el aire se conoce con el nombre de tiempo de residencia. Este tiempo es más o menos largo según el tipo de contaminante y el estado de la atmósfera. Para los gases, el tiempo de residencia depende de su capacidad de reacción, los más reactivos permanecen menos tiempo en el aire. Para las partículas depende de su medida. (Cardozo, Lozano y Curtidor, 2017)

Las unidades con las que se miden las partículas son microgramos de contaminante por metro cúbico. En el caso de los gases, las unidades son las partes por millón. Las principales fuentes son las centrales térmicas, diversos procesos industriales, el tránsito automovilístico y ciertas calefacciones. Los principales contaminantes son los óxidos de azufre, sulfuro de hidrógeno, óxidos de nitrógeno, óxidos de carbono, hidrocarburos, metano, compuestos halogenados y metales (como el plomo, cadmio, níquel, hierro, mercurio, cromo, cobre, magnesio y arsénico). (Cardozo, Lozano y Curtidor, 2017)

La contaminación es uno de los problemas más graves a nivel mundial. La creciente urbanización, la industria, la agricultura con excesivo uso de pesticidas y fertilizantes, la deforestación, la producción de energía y los hábitos de consumo han producido una enorme cantidad de sustancias que contaminan el agua, el suelo, la vegetación, la atmósfera y son una silenciosa amenaza para la vida. (Montaño y Sandoval, 2007)

La contaminación del aire incluye elementos de origen natural y emisiones resultantes de actividades humanas. Los contaminantes atmosféricos pueden ser compuestos gaseosos, aerosoles o material particulado. Entre los contaminantes gaseosos se encuentran el ozono, los óxidos de azufre y de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y compuestos volátiles orgánicos e inorgánicos. El material particulado se caracteriza, a su vez, por partículas suspendidas totales, partículas suspendidas menores a diez micras y partículas suspendidas con diámetro menor a 2.5 micras. Entre las diferentes fuentes de emisiones a la atmósfera podemos distinguir dos grandes tipos: las fuentes fijas y las móviles. Como se muestra en la Imagen 1. (INECC, 2007)

Imagen 1. Emisiones naturales y antropogénicas desde la Tierra.



Fuente: INECC, 2007

Las grandes urbes, como Sao Paulo, Santiago, Ciudad de México y Buenos Aires presentan serios problemas de contaminación atmosférica similares, causados por un rápido crecimiento demográfico, la expansión urbana descontrolada, un crecimiento económico no sostenido, el aumento en el consumo energético y un incremento en el número de vehículos. (Bermudes, 2004)

Los problemas causados por la contaminación atmosférica se traslapan con problemas urbanos y ambientales complejos cuya importancia es cada vez mayor en muchas áreas de América Latina y el Caribe, como la congestión y la movilidad del tránsito, los cambios en el uso del suelo, el clima regional, la degradación de los ecosistemas, así como pérdida de visibilidad y la contaminación acústica que afectan la calidad de vida y el bienestar de la población. (PNUMA, 2003)

Los efectos más graves de la contaminación ocurren cuando la entrada de sustancias (naturales o sintéticas) al ambiente rebasa la capacidad de los ecosistemas para asimilarlas y/o degradarlas. Aunque los casos de contaminación se iniciaron a finales del siglo XVIII, durante la Revolución Industrial, se agravaron considerablemente después de la Segunda Guerra

Mundial, cuando en el mundo aumentó el consumo de energía, así como la extracción, producción y/o uso de diversas sustancias – tanto naturales como sintéticas – para las cuales los mecanismos naturales de asimilación o degradación han sido rebasados o no existen. (Albert, 2010)

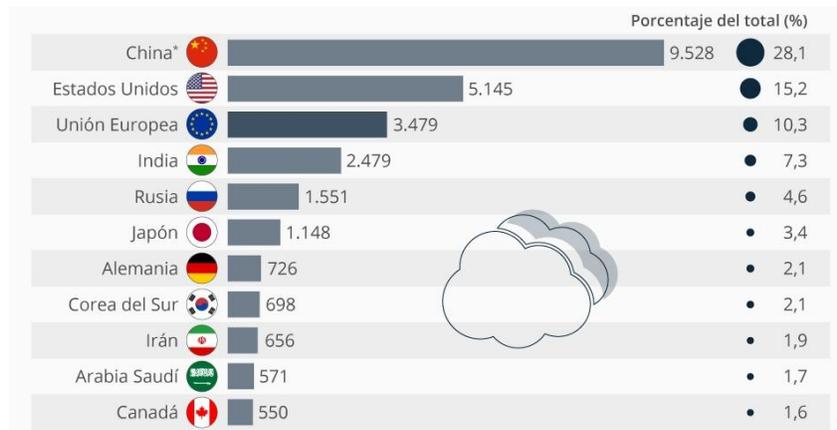
En la Cumbre Mundial sobre el cambio climático, celebrada en Marrakech en noviembre del 2016, arrojó proyecciones preocupantes sobre la contaminación actual: para el año 2030, las emisiones de gases llegarán a las 14.000 toneladas, una cifra que dificulta cualquier solución que se quiera implementar. (Muñoz y Erias, 2017)

Esta reunión centró la atención en los países más contaminantes, es decir, los que generan mayores niveles de gases de efecto invernadero. En los que destacaron:

- China: Este país vive de las exportaciones y por ello el tamaño de su industria ha terminado por convertirse en un peligro para el planeta. Las cinco provincias en las que se concentra dicha industria emiten más dióxido de carbono que cualquier otro país del mundo.
- Estados Unidos: Es la gran potencia comercial e industrial del mundo. Pese a que lidera varias de las iniciativas más importantes para frenar el cambio climático, sus aportes han sido siempre insuficientes.
- India: Según los organismos internacionales, la capital del país, Delhi, es la ciudad más contaminada del mundo. El país cuenta desde 1981 con una ley de protección del aire, pero la quema de biomasa y combustibles ha aumentado de forma significativa en los últimos años y ahora se sitúa en el tercer puesto del escalafón mundial.
- Rusia: Su presencia en la lista de los países más contaminantes se debe principalmente a su dependencia de productos como el carbón, el petróleo, el gas y los combustibles fósiles. En las últimas décadas ha tenido que afrontar numerosas situaciones de emergencia ambiental derivadas de esa circunstancia. También preocupan sus altos niveles de deforestación y de caza de especies animales.
- Japón: Es el mayor consumidor de combustibles fósiles del mundo y el quinto en lo que se refiere a las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto se explica en parte por la excesiva urbanización y el desarrollo de una industria poco sostenible e irrespetuosa con los entornos. (ACNUR, 2017)

Para el 2018 se consideraron los países más contaminantes los siguientes:

**Gráfica 1. Países que más contaminan el aire.**



Países/regiones con mayor volumen de emisiones de dióxido de carbono en 2018 (mil. t.). Fuente: BP Statistical Review of World Energy, 2019.

En México al 2014 se emitieron a nivel nacional, sin considerar a las fuentes móviles, alrededor de 23.3 millones de toneladas de contaminantes. En total, las fuentes naturales emitieron 51.5% del total de los contaminantes y las antropogénicas el 48.5% restante. En el caso de las emisiones de las fuentes naturales, el 86% correspondió a compuestos orgánicos volátiles (COV) provenientes de la vegetación y el restante 14% a óxidos de nitrógeno generados por la vegetación y la actividad microbiana del suelo. (SEMARNAT, 2019)

En México, el crecimiento constante de la población en las zonas urbanas ha traído consigo la concentración de las actividades económicas y productivas, que bajo ciertas circunstancias agudizan problemáticas como las relacionadas con la mala calidad del aire.

La contaminación del aire resulta de una compleja suma de, literalmente, miles de fuentes de emisión que van desde las industrias y los vehículos automotores, hasta el uso de productos de limpieza domésticos y pinturas e incluso la vida animal y vegetal. Es debido a la intervención de todos estos factores que se requieren inventarios de emisiones detallados para identificar las diferentes fuentes de emisión y su contribución a la problemática de la contaminación del aire en una región determinada, lo cual constituye el primer paso en la gestión de la calidad del aire. (SEMARNAT, 2013)

En sentido amplio, la contaminación del aire puede ser producto de factores naturales como emisiones de gases y cenizas volcánicas, el humo de incendios no provocados, el polvo y el polen y esporas de plantas, hongos y bacterias. Sin embargo, la contaminación derivada de las actividades del ser humano, es la que representa el riesgo más grave para la estabilidad de la biosfera en general. Esta contaminación es provocada por diversas causas, pero el mayor índice se debe a las actividades industriales, comerciales, domésticas, agropecuarias y a los motores de los vehículos, por el impacto que tienen las sustancias que arrojan a la atmósfera. (Bermudes, 2004)

Las fuentes antropogénicas son de especial relevancia porque son las que se generan en o cerca de los centros de población y afectan en mayor grado la salud de las personas que viven en o cerca de ellos. (SEMARNAT, 2014)

La *fente fija* de jurisdicción federal es toda instalación establecida en un solo lugar, que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera y que se encuentre incluida dentro de los sectores industriales tales como: químico, del petróleo y petroquímica, de pinturas y tintas, automotriz, de celulosa y papel, metalúrgico, del vidrio, de generación de energía eléctrica, del asbesto, cementero y calero y de tratamiento de residuos peligrosos establecidos en el artículo 111 Bis de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. (SEMARNAT, 2015)

Existen tres tipos de *fuentes fijas* generadoras de emisiones: puntuales, de área y naturales.

Las fuentes puntuales son las derivadas de la generación de energía eléctrica y de actividades industriales como son: la química, textil, alimentaria, maderera, metalúrgica, metálica, manufacturera y procesadora de productos vegetales y animales, entre otras. Las emisiones derivadas de la combustión utilizada para la generación de energía o vapor, dependen de la calidad de los combustibles y de la eficiencia de los quemadores, mantenimiento del equipo y de la presencia de equipo de control al final del proceso. Los principales contaminantes asociados a la combustión son partículas (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO e hidrocarburos). (INECC, 2007)

Las fuentes de área incluyen la generación de aquellas emisiones inherentes a actividades y procesos, tales como el consumo de solventes, limpieza de superficies y equipos, recubrimiento

de superficies arquitectónicas, industriales, lavado en seco, artes gráficas, panaderías, distribución y almacenamiento de gas LP, principalmente. En este tipo de emisión se encuentra un gran número de contaminantes, de muy variado nivel de impacto en la salud. (INECC, 2007)

Las fuentes naturales se refieren a la generación de emisiones producidas por volcanes, océanos, plantas, suspensión de suelos, emisiones por digestión anaerobia y aerobia de sistemas naturales. Las emisiones biogénicas incluyen óxido de nitrógeno, hidrocarburos no metalogénicos, metano, dióxido y monóxido de carbono y compuestos nitrogenados y azufrados. (INECC, 2007)

Ejemplo de *fuentes móviles* son los aviones, helicópteros, ferrocarriles, tranvías, tractocamiones, autobuses, camiones, automóviles, motocicletas, embarcaciones, equipo y maquinarias no fijas con motores de combustión y similares, que por su operación generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. Si bien la definición de fuente móvil incluye prácticamente a todos los vehículos automotores, la NOM para fuentes fijas se refiere básicamente a las emisiones de automóviles y camiones. Los motores de los vehículos son los responsables de las emisiones de CO, de compuestos orgánicos volátiles, SO<sub>2</sub>, y NO<sub>x</sub>, producidos durante la combustión. (INECC, 2007)

En 2014 se emitieron a nivel nacional, sin considerar a las fuentes móviles, alrededor de 23.3 millones de toneladas de contaminantes. En total, las fuentes naturales emitieron 51.5% del total de los contaminantes y las antropogénicas el 48.5% restante. En el caso de las emisiones de las fuentes naturales, el 86% correspondió a compuestos orgánicos volátiles (COV) provenientes de la vegetación y el restante 14% a óxidos de nitrógeno generados por la vegetación y la actividad microbiana del suelo. (SEMARNAT, 2013)

La población, al aspirar a mejores condiciones de vida, demandará bienes y servicios, así como energía para funcionar. Las principales fuentes de energía en la actualidad son los combustibles fósiles, entre ellos el petróleo, gas natural y carbón que sigue siendo utilizado en la industria; al utilizarlos son de los mayores emisores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). De igual manera mejoras en las condiciones de vida estimula el crecimiento del transporte, sector que permite a la población lograr una mayor urbanización, impactando en la producción y el comercio que demandan un mayor dinamismo del transporte y lo convierte en uno de los

mayores consumidores de energía vinculada con los combustibles fósiles, y que más contaminan la atmósfera. (Licona y Rangel, 2016)

Existen diversos métodos que ayudan a disminuir estos efectos, como son las tecnologías que tienen como función principal disminuir las emisiones a la atmósfera que son las causantes de los gases de efecto invernadero y el cambio climático.

Dichas tecnologías son aplicadas a algunas industrias y de esta forma reducir los contaminantes.

Ángel Licona y José Rangel (2016) aseguran que para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, es necesario crear tecnología y empleos relacionados con el cuidado del medio ambiente, en ello apuestan las estrategias de crecimiento económico que emprenden Corea del Sur y México.

De acuerdo con datos del Banco Mundial (2015), Corea del Sur invirtió en 2011 el 4.04% del Producto Interno Bruto (PIB) en crear ciencia y tecnología, por su parte México en el mismo año invirtió sólo el 0.43% del PIB, con ello ambos países estimulan la innovación de los procesos, así como la creación de nuevos productos que impulsan la actividad económica y el ingreso per cápita en la sociedad. El reto de ambos países es el diseño y creación de tecnologías que contribuyan a reducir la contaminación, coadyuvando al equilibrio del planeta, y manteniendo economías competitivas en los mercados globales.

Robert Socolow y Stephen Pacala (2006), plantean al igual que el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, que el acelerado crecimiento en la actividad industrial y el uso constante de insumos como el carbón y petróleo tiene efectos negativos en la atmósfera, a la cual los humanos le hemos transferido por el incremento de las emisiones de dióxido de carbono, el crecimiento de la actividad económica que demanda procesos industriales, así como el uso constante y creciente de automóvil como medio de transporte, para el movimiento de mercancías y el desplazamiento de personas, que traen consigo el incremento de la demanda de combustibles fósiles y con ello más emisiones de CO<sub>2</sub>, que impactan en la temperatura de la tierra. De igual manera plantean que existe tecnología amigable con el planeta, y es necesario implementarla en las naciones para descarbonizar las actividades productivas realizadas por los hombres, reduciendo los niveles de contaminación y tratar de contrarrestar el calentamiento que sufre la tierra, y las consecuencias que tiene en los glaciares, así como en la vida del planeta.

Dentro de las posibles soluciones para frenar el crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, y de la contaminación del planeta en general, requieren de grandes inversiones en crear tecnologías amigables con el medio ambiente, no todos los países pueden lograrlo por carecer de capital financiero y humano que puedan crearlas, sin embargo, las naciones con posibilidades están invirtiendo y desarrollando tecnología amigable con el planeta, entre las que se encuentran la generación de energía limpia, desarrollando las condiciones necesarias para el uso de la energía solar, eólica, mareomotriz, geotérmica, nuclear entre otras, con ello se impulsan las actividades económicas por medio de proyectos que ayudan a mitigar la contaminación. (Socolow y Pacala, 2006)

En la actualidad, toda acción climática pasa por los planes de cada país para cumplir con el objetivo del Acuerdo de París: que la temperatura no pase de los 2°C, y hacer todo lo posible por limitar ese aumento a 1,5°C. No obstante, como viene avisando la comunidad científica, los compromisos de los estados están lejos de lo que realmente se necesita. (Robaina, 2020)

Para poder reducir las emisiones, el primer paso es conocer cuáles son los principales emisores e identificar las acciones más eficaces para minimizarlas. Por ello, ya en el 2012 se inició el inventario de las posibles fuentes de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y el cálculo de la huella de carbono del Ministerio. Este cálculo se divide en tres diferentes alcances:

- Alcance 1: Emisiones directas producidas por el Ministerio, principalmente por el consumo de combustibles fósiles.
- Alcance 2: Emisiones indirectas producidas por los suministradores de energía eléctrica.
- Alcance 3: Emisiones indirectas producidas por los suministradores de bienes y servicios al Ministerio y por el uso de medios de transporte externos, entre otros. (Fernández, 2016)

México realiza esfuerzos por reducir los niveles de contaminación y mejorar el medio ambiente, durante el año de 2002 el gobierno destinó para el cuidado y hacer crecer los bosques por medio de la reforestación 2 mil 600 millones de pesos. De igual manera invirtieron cerca de 2 mil millones de pesos en la construcción de infraestructura en tratamiento de agua potable, tratamiento y rehúso de aguas negras, para el año 2003, la inversión canalizada al cuidado del agua y bosques alcanzó los 3 mil 400 millones de pesos. El trabajo desarrollado en pro del medio ambiente en los primeros años del siglo XXI, logra rehabilitar 550,000 hectáreas de bosques,

asimismo permite que el 9% de las áreas naturales sean áreas protegidas. Otro aspecto relevante es la inversión de 435 mil millones de pesos en infraestructura para el desarrollo de energía limpia. (Informe de gobierno 2006)

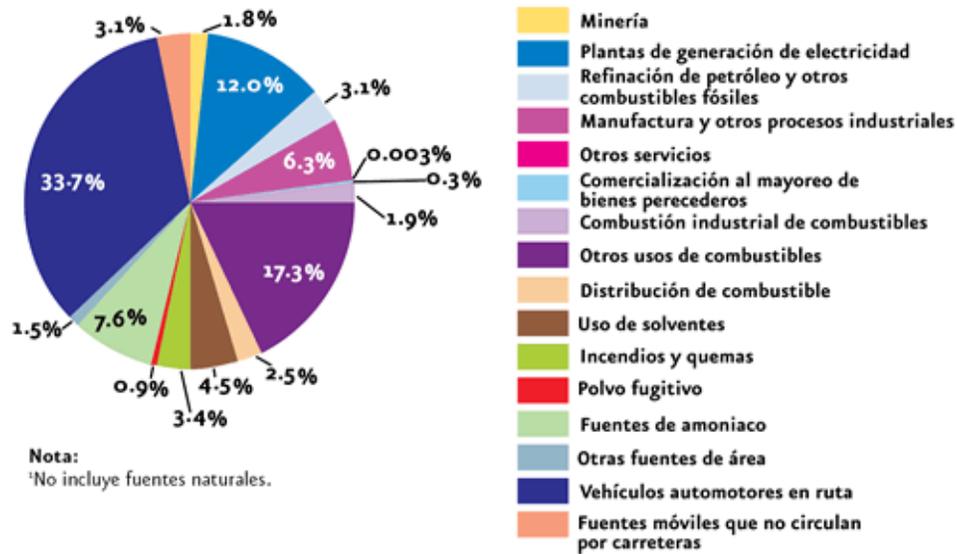
Después de muchos esfuerzos, se crea en México la legislación en materia ambiental, que es una herramienta fundamental para instrumentar políticas ambientales. Las normas jurídicas aplicables a la prevención y el control de la contaminación determinan las obligaciones por parte de la autoridad y las instituciones públicas de implementar programas preventivos y brindar tratamiento a quienes se ven afectados por esta. El reverso de esta obligación es el derecho de las personas a reclamar acciones de prevención y cuidado.

Así pues, el marco legal mexicano en materia de medioambiente se encuentra en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), que tiene sustento en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y se complementa con las disposiciones establecidas tanto en otras leyes generales como en los reglamentos y normas oficiales mexicana, así como en la legislación ambiental de cada una de las entidades federativas y los instrumentos legales municipales (SEMARNAT, 2013)

Como se dijo anteriormente, las principales fuentes de emisión a la atmósfera son a causa de fuentes móviles, que son todos los medios de transporte, como lo son autos, camiones, aviones, barcos, etc. Sin embargo, las fuentes fijas, que son el sector industrial, también son fuertes emisores de gases de efecto invernadero.

Dada la desigual distribución geográfica de la industria y la dispar presencia de tipos de industrias en cada región, sus efectos ambientales difieren sustantivamente. Se puede distinguir estados con una alta intensidad de generación de contaminantes con relación a su producto, como parece ser el caso de Chiapas, Guanajuato, Querétaro, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala y Veracruz. Otros estados, en cambio, a pesar de su alta concentración de industrias, presentan una baja intensidad de contaminación por unidad de producto industrial, como es el caso de los estados de México, Puebla, Jalisco, Nuevo León y el Distrito Federal. Cabe señalar que el análisis anterior no considera la existencia de equipo de control, sino las características tecnológicas de los procesos industriales analizados, si bien una parte importante de las industrias de mayor tamaño han incorporado equipos de control atmosférico y de tratamiento de aguas residuales, lo que hace disminuir sensiblemente su aportación medida indirectamente. (SEMARNAT, 2010)

Gráfica 2. Emisión Nacional de Contaminantes por categoría de fuente.



Fuente: SEMARNAT, INE. Inventario Nacional de Emisiones de México, 1999. México, 2006.

En la gráfica 2 se muestra que la industria automotriz, que forman parte de las fuentes móviles, son los que más emisiones a la atmósfera producen.

En el artículo 111-Bis de la LGEEPA especifica 11 sectores industriales de jurisdicción federal, cuyas actividades y emisiones están reguladas por la autoridad federal. Así, son consideradas fuentes fijas de jurisdicción federal aquellas instalaciones industriales cuyas actividades correspondan a los siguientes giros o sectores:

- Química
- Petróleo y petroquímica
- Pinturas y tintas
- Automotriz
- Celulosa y papel
- Metalúrgica
- Vidrio
- Generación de energía eléctrica
- Asbesto

- Cementera y calera

Como ya se dijo anteriormente, la contaminación atmosférica es una mezcla de partículas sólidas y gaseosas presentes en el aire que afectan la composición de la atmósfera. Controlar esta contaminación generada por fuentes fijas o móviles y sus efectos, pueden inducir un resultado en la salud de los seres vivos. Esto ha llevado a que las autoridades competentes tomen medidas estrictas en cuanto a la normatividad que se encargan hoy por hoy de controlar emisiones contaminantes y que no provoquen el deterioro significativo de la calidad de vida de la población.

Por esta razón, se tomaron medidas y se crearon las tecnologías y métodos para la reducción de las emisiones a la atmósfera.

Existen varios tipos de métodos para reducir las emisiones atmosféricas los cuales se dividen en dos tipos:

- Tecnologías para el control de partículas.
- Tecnologías para el control de gases y vapores.

Entre las *tecnologías para el control de partículas*, destacan las siguientes:

Filtro de mangas: Este método es aplicado en la separación sólido-gas, para la eliminación de partículas sólidas de una corriente gaseosa haciéndola pasar a través de un tejido. Se usan los filtros de tela cuando se requiere alta eficiencia de captación y sus limitaciones son impuestas por las características del gas (temperatura y corrosividad), características de las partículas (físicas y químicas) y funcionamiento. Las variables importantes de diseño incluyen características de la partícula, características del gas y propiedades del tejido; pero los parámetros de diseño más importantes son la relación aire-tela (cantidad o caudal de gas que penetra en un metro de tejido) y la caída de presión. La característica que distingue a estos filtros es la habilidad de renovar la superficie de filtración limpiándola periódicamente, siendo esta típicamente hecha de fibras y montada en marcos de apoyo, permitiendo una amplia gama de concentraciones de polvo. (Díaz y González, 2016)

Precipitador electrostático: Los precipitadores electrostáticos son equipos que presentan una elevada eficiencia de captación para todo espectro de tamaño de partículas de material particulado. Los precipitadores electrostáticos utilizan el fenómeno natural por el cual las partículas de carga opuesta se atraen. Las partículas de polvo entrantes se cargan eléctricamente

y a continuación se recogen en placas conectadas a tierra. Su principal ventaja es su insignificante pérdida de carga, su inconveniente es su elevado costo. Están constituidos por un cuerpo en cuyo interior se sitúan un cierto número de pares de electrodos (emisor-colector). Uno de los electrodos está conectado a tierra y el otro a un conjunto rectificador-generador de alta tensión. Dispone además de un sistema de desprendimiento de polvo, recogido en los colectores y un sumidero de evacuación. Se utilizan para la eliminación de humos. (Díaz y González, 2016)

Separación con ayuda mecánica: Un diseño común es un ventilador de aspas radiales, que imparte mecánicamente una fuerza centrífuga a las partículas de la corriente del gas, en el cual genera la separación. Este tipo de tecnología es una parte del grupo de controles de la contaminación del aire, conocidos colectivamente como “prelimpiadores”, porque en ocasiones se utilizan para reducir la carga de Materia Particulada (MP), a los dispositivos finales de captura, al remover las partículas abrasivas de mayor tamaño. A los separadores con ayuda mecánica también se les conoce como separadores mecánicos, separadores mecánicos centrífugos, colectores centrífugos, separadores dinámicos secos, rotoclones y precipitadores dinámicos. (EPA, 2010)

Cámara de sedimentación: Estos equipos son cámaras en forma cilíndricas de grandes dimensiones en las que la velocidad de la corriente gaseosa se reduce para que las partículas que están en suspensión tengan un tiempo suficiente para depositarse en el fondo de la cámara en forma de tolva. Las cámaras de sedimentación son el más simple de todos los diseños para el control de la contaminación atmosférica. Son captadores que dependen de la inercia o gravedad para la captación de partículas. Ambas fuerzas se incrementan en proporción directa al cuadrado del diámetro de la partícula. El límite de validación de estos equipos es gobernado estrictamente por la velocidad de sedimentación de la partícula. El gran volumen de la cámara permite que el aire fluya a baja velocidad, dando tiempo suficiente para que las partículas sedimenten. En la cámara de polvo se precipita el polvo (fundamentalmente las partículas gruesas) bajo la fuerza de gravedad. Anteriormente las cámaras de sedimentación se utilizaban bastante a menudo para la purificación preliminar de los gases, en el caso de polvo grueso. Actualmente su uso es muy limitado y las cámaras se utilizan al mismo tiempo para otros fines, por ejemplo, para enfriar gases. (Díaz y González, 2016)

Ciclones: El funcionamiento del ciclón consiste en que el gas ingresa en la cámara superior y baja en espirales, son forzados a seguir un movimiento circular que ejerce una fuerza centrífuga

sobre las partículas y las dirige a las paredes internas del ciclón. Sistemas de captación donde las partículas son separadas de la corriente gaseosa por fuerza centrífuga, son probablemente los sistemas de captación de polvo más utilizados en la industria. Son de construcción simple, pueden ser de varios materiales y no hay límite de temperatura. Son separadores centrífugos, su principal ventaja es la utilización en batería y su principal desventaja es que su eficiencia decrece con la disminución del diámetro del polvo y no capta las partículas pequeñas. La fuerza centrífuga sobre las partículas en una corriente de gas girando, es mucho mayor que la fuerza de gravedad, por eso los ciclones son efectivos en la captación de partículas mucho más pequeñas que las cámaras de sedimentación y requieren menor espacio para un mismo volumen de gas. Por otro lado, la caída de presión y la potencia requerida son mayores. Cuando están presentes partículas grandes en cantidades considerables, y son muy duras, las paredes del ciclón pueden ser erosionadas por estas. Los ciclones separan las partículas de una corriente gaseosa, transformando a esta última en un vórtice, arrastrándolas en forma de espiral hacia el fondo del ciclón. El mecanismo involucrado en estos sistemas, es el continuo uso de la inercia producida por un movimiento tangencial sobre las partículas hacia las paredes del colector. En los ciclones de construcción más perfecta se pueden captar bastante bien las partículas de hasta 7  $\mu\text{m}$  como límite mínimo. (Díaz y González, 2016)

*Las tecnologías para el control de gases y vapores son las siguientes:*

**Convertidor catalítico:** Un convertidor catalítico es un dispositivo que forma parte del sistema de control de emisiones, este método es utilizado en los automóviles como reductores de elementos nocivos de los gases de escape. El convertidor catalítico fue desarrollado debido a la necesidad de controlar y reducir las emisiones contaminantes, su principal función es la transformación de los gases peligrosos en otros menos nocivos para el ambiente y perjudiciales para la salud. Es un dispositivo altamente efectivo que permite reducir el 90% de los gases nocivos. (Guevara, 2010)

**Lavadores de gases:** Estos lavadores de gases son empleados en la industria para la eliminación de polvos, nieblas, vapores y para la reducción de gases tóxicos. Los lavadores de gas, captadores por vía húmeda, son torres huecas o con empaques por las cuales pasa el gas y se introduce el líquido filtrante. Los lavadores de gas en su sección horizontal pueden ser redondos o cuadrados. Generalmente se utilizan para captar partículas superiores a 5  $\mu\text{m}$  (las duchas captan sólo partículas gruesas). Son aptos para trabajar con gases y partículas explosivas

o combustibles y/o de alta temperatura y humedad. En el caso de las fundiciones, son poco utilizados porque al captar las partículas genera un problema de residuos líquidos (lodos). (Díaz y González, 2016)

Lavadores de gases tipo Venturi: Mediante inyección, los gases contaminantes se enfrían, por medio de unas tuberías del fluido de refrigeración, ya frío, los elementos nocivos que se encuentran en el gas son absorbidos por el disolvente alcalino que es utilizado como fluido de lavado arrastrando cenizas de mayor tamaño. Dentro de los lavadores de gases húmedos, uno de los más eficientes es el lavador de tipo Venturi ya que es un sistema de control de emisiones que no solo permite remoción de partículas, sino que también funciona como absorbedor de gases contaminantes. Otros equipos para control de emisiones: lavador de gases tipo jet Venturi y lavador de gases tipo torre. Estos equipos se emplean como unidades de depuración complementarias a ciclones y multiciclones que son utilizados principalmente para remover partículas de mayor tamaño. (Verlek, 2017)

Incineradores térmicos: Con este sistema de absorción los gases residuales no se recolectan, sino que son convertidos, permitiendo la recuperación de compuestos orgánicos. Son utilizados para eliminar Compuestos Orgánicos Volátiles (VOCs) de la corriente de escape de un horno y garantizar que las emisiones cumplan con las regulaciones ambientales. Ya que destruyen los VOC, no requieren de ningún tratamiento adicional. Las temperaturas de operación del incinerador deben operar a valores superiores a la temperatura de autoignición de los compuestos durante un tiempo dependiendo del % de destrucción de VOC requerido. (Pily y Gavidia, 2020)

Lavadores tipo Jet: Con este tipo de lavador el tratamiento de limpieza de gases se desarrolla bajo vía húmeda, no provocan pérdidas de carga como en otro tipo de lavadores. Estos sistemas son de tipo húmedo de alta eficiencia, especialmente adecuada cuando los residuos a eliminar son pegajosos, inflamables o altamente corrosivos. Este tipo de lavadores tiene la capacidad de remover gases y partículas nocivas provenientes de una corriente de gases, las partículas contaminantes se eliminan por medio del impacto generado por la alta velocidad de rociado del líquido de lavado con los gases mediante el sistema de aspersores. Este mismo efecto inyector permite limpiar los gases de escape sin generar una pérdida de presión de gas. Y gracias a esto, no se necesita un ventilador mecánico para extraer y trasladar el gas. (Pérez, 2008)

Torre de aspersión: La corriente de aire está cargada de material particulado donde ingresa a la cámara y hace contacto con el vapor de agua generado por las boquillas de aspersión. La torre de aspersión o cámara de aspersión son una forma de tecnología de control de la contaminación. Consisten en recipientes cilíndricos vacíos de acero o de plástico y boquillas la aplicación de líquido en los vasos. La corriente de gas de entrada por lo general entra en la parte inferior de la torre y se mueve hacia arriba, mientras que el líquido se pulveriza hacia abajo desde uno o más niveles. Este flujo de gas de entrada y el líquido en la dirección opuesta se llama flujo en contracorriente. (Saravia, 2008)

Torre de platos: Los platos están hechos de hojas metálicas o de aleaciones. La corriente de gas con los contaminantes fluye hacia arriba y el líquido lavador hacia abajo. En las columnas de platos la operación se lleva a cabo en etapas. El plato va a proporcionar una mezcla íntima entre las corrientes de líquido y vapor. El líquido pasa de un plato a otro por gravedad en sentido descendente, mientras que el vapor fluye en sentido ascendente a través de las ranuras de cada plato, burbujando a través del líquido.

Al plato se le exige que sea capaz de tratar las cantidades adecuadas de líquido y vapor sin una inundación o un arrastre excesivos, que sea estable en su funcionamiento y resulte relativamente simple en cuanto a instalación y mantenimiento. También es importante conseguir que la caída de presión en el plato sea mínima. El número de platos necesarios para efectuar una separación dada vendrá determinado por distintos factores. Por lo general cuanto mayor sea el número de platos de la torre, mayor será la separación conseguida. (Saravia, 2008)

Las imágenes y esquemas de cada tecnología están representados en el apartado de Anexos.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GENERAL:

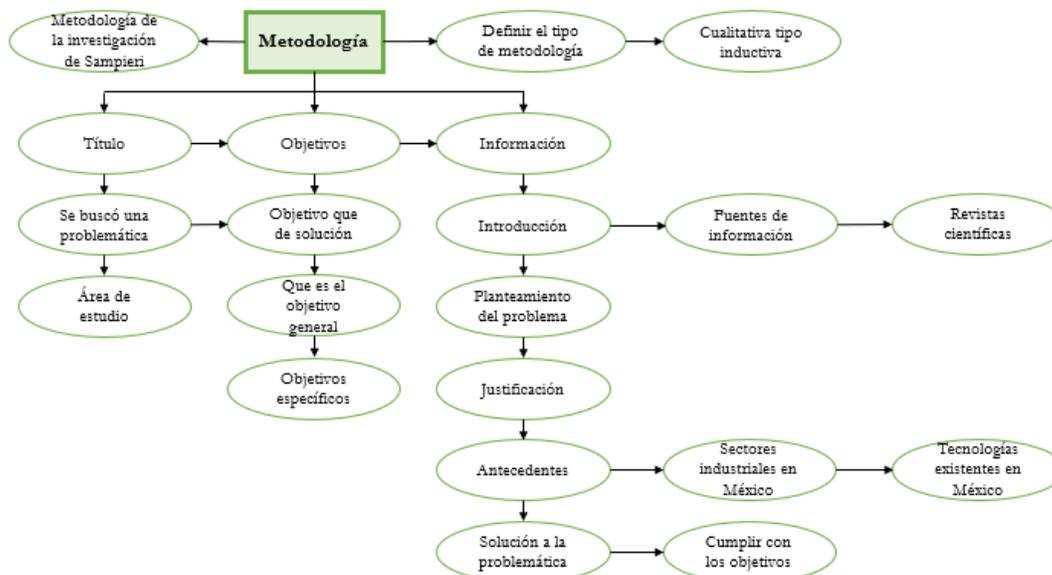
Documentar las fuentes más comunes de emisión causantes de la contaminación atmosférica, así como las tecnologías más utilizadas en México para su reducción.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Identificar las fuentes más comunes de emisiones a la atmósfera en México.
- Identificar los agentes contaminantes producidos en dichas fuentes.
- Identificar las tecnologías apropiadas en el sector industrial para la reducción de las emisiones atmosféricas en México.

### 3. METODOLOGÍA

Mapa conceptual 1. Metodología aplicada.



El presente trabajo de investigación documental es de tipo cualitativo con enfoque inductivo, esto quiere decir que se comenzó con la recolección de datos, mediante la observación empírica, y se construyó a partir de las relaciones descubiertas, sus categorías y proposiciones teóricas. Este enfoque pretende descubrir una teoría que justifique los datos mediante el estudio de los fenómenos semejantes, se desarrolla una teoría explicativa.

El tema de investigación se delimitó con base en la creciente contaminación ambiental y el cambio cada vez más radical del clima. Es un hecho que la contaminación atmosférica cada vez más ha ido aumentando y ha traído consecuencias al ser humano, como problemas de salud y cambio en el clima, tanto como sequías extremas o lluvias constantes. Es una problemática que, hasta el día de hoy, no se ha erradicado, por mucho que se apliquen acuerdos o leyes para la disminución de emisiones a la atmósfera.

Los objetivos se elaboraron con el fin de complementar el tema de interés. Hoy en día es de suma relevancia la importancia que le dan al cambio climático y a la contaminación atmosférica que se crean métodos y tecnologías para la reducción de las emisiones atmosféricas, por lo que nos interesa conocer y documentar cuáles son las fuentes de emisión, los tipos de

fuentes, los contaminantes más comunes provocados en dichas fuentes y de esta manera tener un panorama más amplio acerca de las tecnologías de reducción que se implementan en México.

Lo anterior nos abre una puerta para la búsqueda y recolección de datos e información, se comenzó por delimitar, cuál sería el tema a tratar, o las palabras clave para la búsqueda de información, las cuales fueron: contaminación ambiental, contaminación atmosférica, impacto a la salud, contaminantes, tipos de contaminantes, fuentes de emisión a la atmósfera, fuentes fijas, fuentes móviles, sector industrial, tecnologías para la reducción de emisiones, mitigación de gases de efecto invernadero, etc. Para ello se analizaron diversos artículos, muchos de ellos brindaron la información que se centra en el marco teórico, incluido en la introducción. Aquí también se delimitó cuál sería la problemática y la justificación por el cual es relevante el documento en sí.

Como ya se dijo anteriormente, el tema de investigación se centra en una problemática actual que desafortunadamente ha ido incrementando con el pasar de los años, y esto a causa de la sobrepoblación y que cada vez más surgen industrias con excesivos niveles de emisiones a la atmósfera. Se conoce que en México existen leyes, como la LGEEPA que contiene artículos para la regulación de dichas emisiones de gases de efecto invernadero, cuya falta al artículo arremete sanción.

Se usó como base de información diversidad de revistas científicas, tanto españolas como de Latinoamérica, y por supuesto, de México, que es el área de estudio. Entre las revistas más conocidas destacan SciELO y Redalyc.

#### 4. CONCLUSIONES

1. Se cumplió con el objetivo general ya que se dieron a conocer las fuentes de emisión causantes de la contaminación atmosférica, de manera general. El impacto ambiental que las industrias tienen sobre el medio ambiente y los recursos naturales ha sido considerable, no tan sólo como resultado del crecimiento de la producción sino también gracias a que dicho crecimiento se concentró en sectores de alto impacto ambiental. Destacan entre los sectores industriales que más afectan el ambiente la industria automotriz, la petroquímica básica, la química y la industria metalúrgica, que en total pueden representar más de la mitad de la contaminación generada. El estudio sobre las fuentes de emisión a la atmósfera es de suma importancia para identificar las causas del incremento de contaminantes en la atmósfera, de igual manera para identificar cuáles son algunos de los métodos o tecnologías aplicadas en México para la reducción de gases de efecto invernadero.

Se documentaron las tecnologías para la reducción de emisiones, que como ya se dijo, son de dos tipos, tecnologías para el control de partículas y tecnologías para el control de gases y vapores. El conocer las tecnologías más usadas en México para la reducción de emisiones atmosféricas nos brinda un panorama más específico sobre los tipos de contaminantes y qué metodología es la más adecuada para su tratamiento.

2. Las principales fuentes de emisiones a la atmósfera en México, se deriva de los sectores industriales. Se sabe que el ser humano, con sólo respirar, emite CO<sub>2</sub> a la atmósfera, que es un contaminante de mayor abundancia en la atmósfera, pero las fuentes que causan mayor impacto son las fuentes móviles. Tal impacto es derivado no sólo de la actividad industrial misma y de los residuos que genera, sino también de la posición que se tenga acerca de que el cuidado ambiental no es un lujo sino una fuente de competitividad y ahorro. Ante un escenario diverso y complejo como el anterior, una de los imperativos de la política ambiental es la existencia de un inventario exhaustivo de contaminantes totales generados por el sector industrial. Por tanto, se ha procurado estimar la importancia de las diferentes industrias a través de tecnologías indirectas.
3. Los agentes contaminantes se dividen en dos grupos, los gases y vapores y las partículas, es por eso que las tecnologías igual son de dos tipos, para tratar cada grupo de contaminantes. Los contaminantes de origen primario son las producidas por fuentes, y las de origen secundario son producto de reacciones ulteriores.

4. Los métodos o tecnologías más apropiados para la reducción de emisiones atmosféricas en México, son:

Tecnologías para el control de partículas:

- Los filtros de tela o de manga, por la alta eficiencia de captación, así como también por el diseño cómodo, que permite limpiar la tela. Se usa en el sector de: Química, petróleo y petroquímica, celulosa y papel, cementera y calera.
- Precipitador electrostático, es por mucho el que tiene mayor eficiencia, en cuanto a la captación de polvo, pero el costo es muy elevado. Se usa en el sector de: Química, petróleo y petroquímica, pinturas y tintas, automotriz, celulosa y papel, metalúrgica, vidrio, asbesto y cementera y calera.
- Cámara de sedimentación, tiene un diseño simple, y son captadores que dependen de la inercia o de la gravedad. Se usa en el sector de: Química, petróleo y petroquímica, pinturas y tintas, metalúrgica, vidrio, asbesto, cementera y calera.
- Ciclones, que son los más usados, por el diseño y el costo de construcción, ya que es una construcción simple, pueden ser de varios materiales y no hay un límite de temperatura. Se usa en todos los sectores industriales.

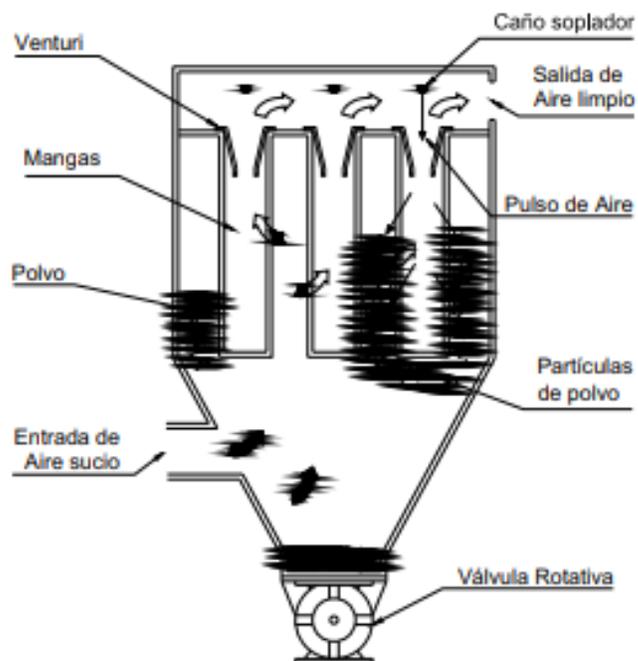
Tecnologías para el control de gases y vapores:

- Convertidor catalítico, es usado como componente del motor para la reducción de los gases nocivos. Usado en el sector automotriz.
- Lavadores de gases, se usa para la depuración de gases de combustión producidos por la quema de carbón. Se usa en el sector de: Química, petróleo y petroquímica, metalúrgica, pinturas y tintas, automotriz, celulosa y papel, vidrio, cementera y calera.
- Incineradores térmicos, se usa en el tratamiento de desechos peligrosos y no peligrosos, aunque por ser un incinerador no es muy usado. Se usa en el sector de química, petróleo y petroquímica, vidrio, metalúrgica
- Torre de aspersion, es un depurador en húmedo, no es muy eficaz ya que posee la menor capacidad de transferencia. Se usa en el sector de: Petróleo y petroquímica, pinturas y tintas, cementera y calera.

## 5. ANEXOS

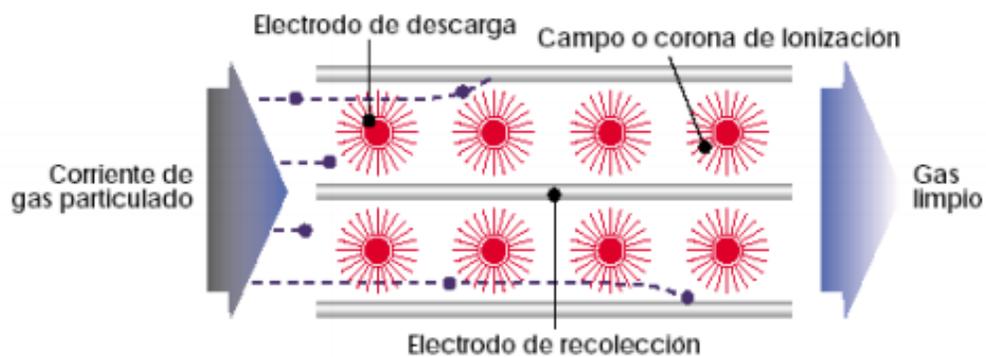
### A. TECNOLOGÍAS PARA EL CONTROL DE PARTÍCULAS:

Imagen 2. Filtro de mangas.



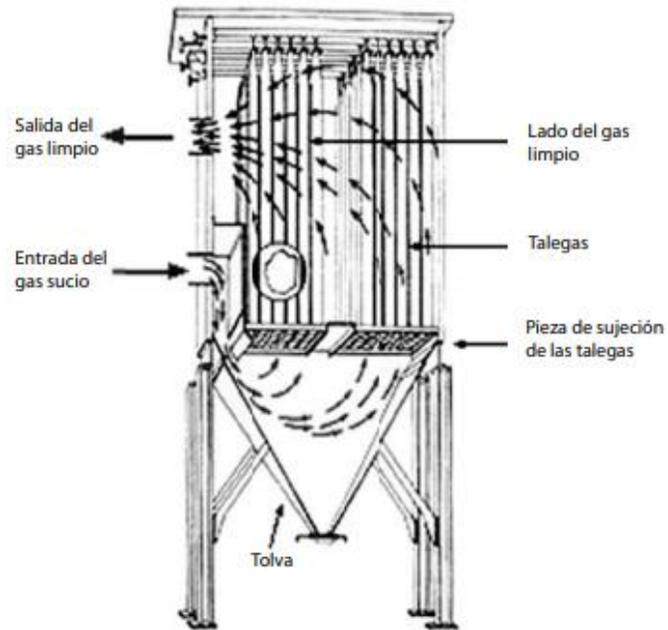
Funcionamiento de un filtro de tela o de mangas. Fuente: Díaz y González, 2016.

Imagen 3. Precipitador electrostático.



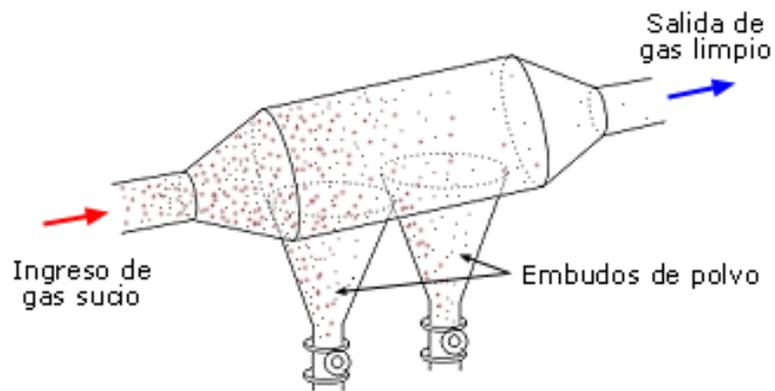
Funcionamiento de precipitador electrostático, vista superior. Fuente: Saravia, 2008.

Imagen 4. Separación con ayuda mecánica.



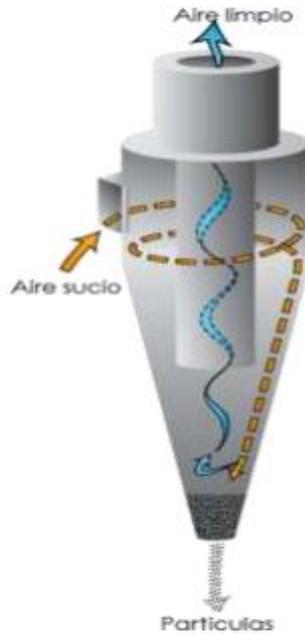
Filtro de talegas con agitación mecánica y filtración interior. Fuente: Echeverry, 2008.

Imagen 5. Cámara de sedimentación.



Cámara de sedimentación por gravedad. Fuente: Benitez, 2019.

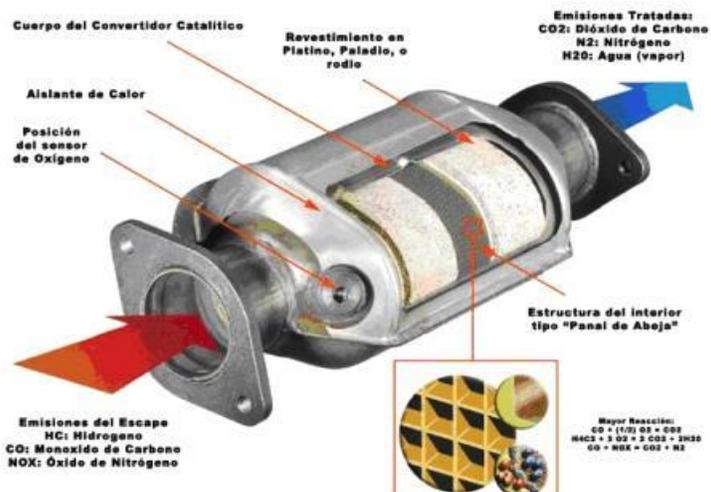
Imagen 6. Ciclones.



Funcionamiento de recolección de partículas. Fuente: Pilay y Gavidia, 2020.

B. TECNOLOGÍAS PARA EL CONTROL DE GASES Y VAPORES:

Imagen 7. Convertidor catalítico.



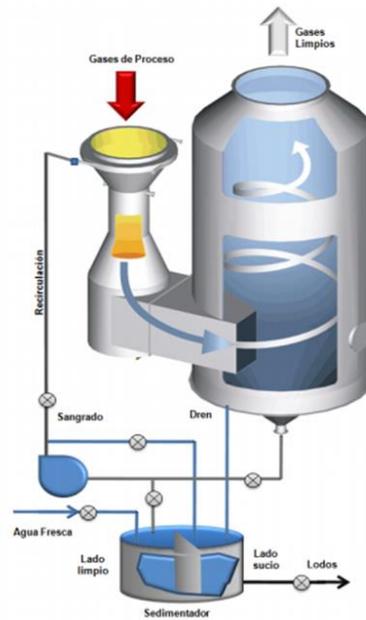
Fuente: Martínez, 2015.

Imagen 8. Lavadores de gases.



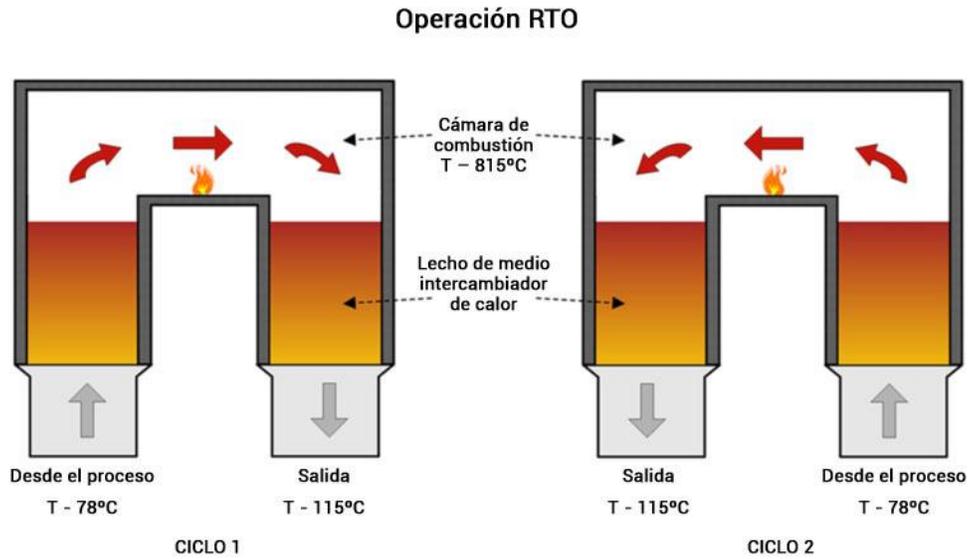
Fuente: Pérez, 2008.

Imagen 9. Lavadores de gases tipo Venturi.



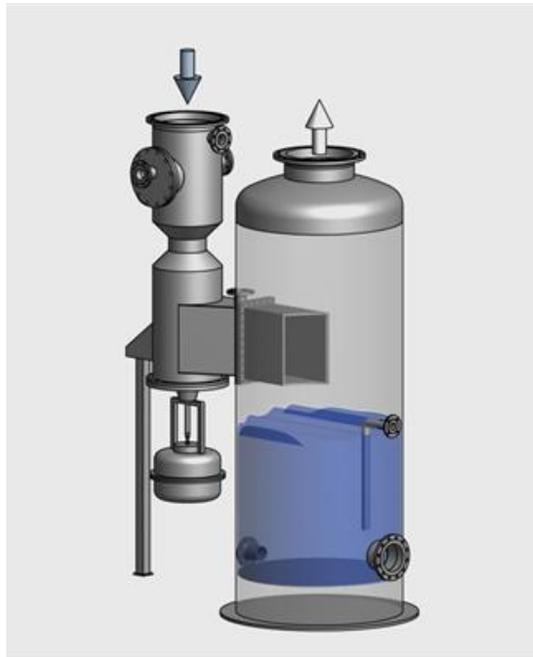
Fuente: Pérez, 2008.

Imagen 10. Incineradores térmicos.



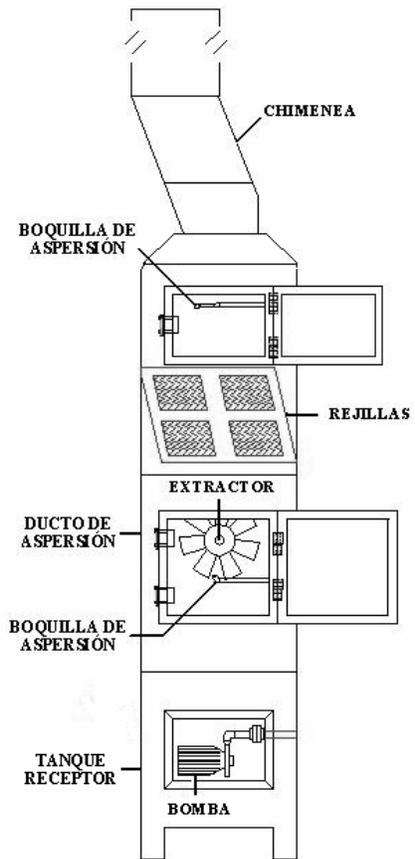
Fuente: Pilay y Gavidia, 2020.

Imagen 11. Lavadores tipo Jet.



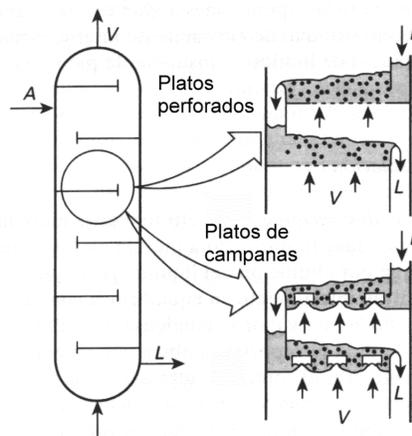
Fuente: Pérez, 2008.

Imagen 12. Torre de aspersión.



Fuente: Saravia, 2008.

Imagen 13. Torre de platos.



Fuente: Saravia, 2008.

## B. REFERENCIAS

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Doadrio Antonio (2010). Composición de la atmósfera: factores que la modifican. *Académico de número de la Real Academia de Farmacia*.

Álcantara, Vincent y Padiila, Emilio (2007). Análisis de las emisiones de CO<sub>2</sub> y sus factores explicativos en las diferentes áreas del mundo. Universidad Autónoma de Barcelona.

SEMARNAT (2010). Industria y medio ambiente.

SEMARNAT (2013). Calidad del aire: una práctica de vida.

SEMARNAT (2014). Atmósfera.

SEMARNAT (2015). Guía metodológica para la estimación de fuentes fijas.

SEMARNAT (2019). Contaminación en México.

PNUMA. GEO (2003). Perspectivas del Medio Ambiente. América Latina y el Caribe. Costa Rica.

Solís, Juan y Sheinbaum, Claudia (2015). Consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> del autotransporte en México y escenarios de mitigación. Universidad Nacional Autónoma de México.

Vargas, Francisco (2005). La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. *Revista Española de Salud Pública*.

Albert, Lilia (2010). Contaminación ambiental. Origen, clases, fuentes y efectos.

Echeverría, José A. (2018). Contaminación atmosférica. Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba.

Montaño, Noé M. y Sandoval, Ana L. (2007). Contaminación atmosférica y Salud. Universidad Autónoma de Puebla.

Ballester, Ferran (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de Salud Pública*.

Licona, Ángel y Rangel, José E. (2016). Crecimiento económico y emisiones de CO2 en Corea del Sur y México: estrategias verdes para crecer y reducir la contaminación en el siglo XXI. *Revista Iberoamericana*.

Licona, Ángel y Ramírez, Eduardo (2014). China y Estados Unidos, compromisos para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. *Revista CINEXUS*, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Socolow, Robert y Pacala, Stephen (2006). A plan to keep carbon in check Getting a grip on greenhouse gases is daunting but doable. The technologies already exist. But there is no time to lose. *Revista Científica Americana*.

Olivera, Elena (2010). Energía y medio ambiente. *Revista Mexicana de Opinión Pública*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Cardozo, Laura M.; Lozano, Luis A. y Curtidor, Luis A. (2017). Métodos de reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera. *Revista Tecnología y Productividad*.

Secretaría del Medio Ambiente (2010). Programa de reducción de emisiones a la atmósfera en la industria.

Bermudes, Carlos (2004). Gestión de la calidad del aire: Causas, efectos y soluciones. *Instituto de investigación de Ingeniería Industrial*.

Aguilar, Ismael y Blanco, Perla A. (2018). Recuperación de metano y reducción de emisiones en PTAR, Nuevo Laredo, Tamaulipas, México.

Mardones, Cristian, *et al.* (2015). Tecnologías de control de emisiones y disponibilidad de gas natural como opciones para reducir emisiones de MP2.5 en el Concepción Metropolitano. *Revista de Análisis Económico*.

Hoyos, Andrés E. *et al.* (2008). Tecnologías para la reducción de emisiones de gases contaminantes en plantas cementeras. *Revista Ingeniería e Investigación*.

Muñoz, Miguel A. y Erias, Antonio, (2017). Resultados de la Cumbre Climática de Marrakech: antecedentes y perspectivas. *Instituto Español de Estudios Estratégicos*.

Fernández, R. (2016). El Acuerdo de París y el cambio transformacional. PAPELES de relaciones ecosociales y cambio global. Universidad Complutense de Madrid.

Díaz, Yusdel y González, Ernesto, (2016). Diseño de un filtro de mangas para el sistema de depuración de gases de una acería eléctrica. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”. La Habana, Cuba.

Guevara, María, (2010). Metodología de pruebas para la evaluación de convertidores catalíticos en motores a gasolina. Capítulo 3. Convertidores catalíticos. Quito, Ecuador.

Saravia, Henry, (2008). Estudio ambiental, técnico y económico de la utilización y aprovechamiento de precipitadores electrostáticos, en planta de generación, Arizona. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Echeverry, Carlos, (2008). Diseño de filtro de talegas. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. Colombia.

Benitez, Alberto, (2019). Diseño de cámara de separación por gravedad para partículas de hule y textil. Universidad Nacional Autónoma de México.

Pilay, D. y Gavidia, L. (2020). Estudio y diseño de un ciclón para el control de partículas para una empresa productora de libros en la ciudad de Guayaquil. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador.

Martínez, Nestor, (2015). Análisis térmico y modal de un convertidor catalítico mediante el método de elemento finito. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Pérez, María, (2008). Lavado de gases: Tratamientos con ozono por vía húmeda. *CosemarOzono*.

#### FUENTES ELECTRÓNICAS:

Informe de Gobierno (2006), <http://calderon.presidencia.gob.mx/>

Resultados de la cumbre climática de Marrakech (2017), <http://www.ieee.es/>

ACNUR Comité Español (2017), <https://www.acnur.org/>

Banco Mundial (2015), <http://www.bancomundial.org/>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2007). Tipos y fuentes de contaminantes atmosféricos. SEMARNAT Sitio web: [www.inecc.gob.mx](http://www.inecc.gob.mx)

Robaina, E. (2020). ¿Qué hacen los países para reducir sus emisiones?. Climática Sitio web:  
<https://www.climatica.lamarea.com/paises-reducir-emisiones-gases-efecto-invernadero/>

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, (2012).  
<https://conacyt.mx/cibiogem/images/cibiogem/protocolo/LGEEPA.pdf>

EPA. Centro de Información sobre Contaminación del Aire. (2010).  
<https://www3.epa.gov/ttnecat1/dir1/fmechans.pdf>