

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA
COMARCA LAGUNERA**

TESIS QUE PRESENTA

DULCE MARÍA ESPARZA GARCÍA

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA COMARCA LAGUNERA

POR:
DULCE MARÍA ESPARZA GARCÍA

TESIS QUE SE SOMETE A CONSIDERACION DEL H. CUERPO DE ASESORES COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL:

ING. JOEL LIMONES AVITIA

ASESOR:

MC. NORMA LETICIA ORTIZ GUERRERO

ASESOR:

DR. ALFREDO OGAZ

ASESOR:

DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

DRA. MA. TERESA VALDÉS PEREZGASGA

COORDINADORA INTERINA DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS
AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

DICIEMBRE 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA COMARCA LAGUNERA

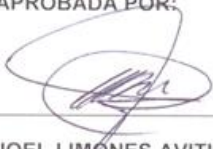
POR:
DULCE MARÍA ESPARZA GARCÍA

TESIS QUE SE SOMETE A CONSIDERACION DEL H. JURADO
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

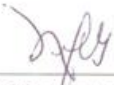
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

PRESIDENTE:


ING. JOEL LIMONES AVITIA

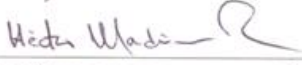
VOCAL:


MC. NORMA LETICIA ORTIZ GUERRERO

VOCAL:


DR. ALFREDO OGAZ

VOCAL SUPLENTE:


DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS


DRA. MA. TERESA VALDÉS PEREZGASGA

COORDINADORA INTERINA DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

DICIEMBRE 2014

DEDICATORIAS

A DIOS

Por permitirme estar en este mundo llena de vida y por darme las fuerzas para seguir adelante a pesar de los problemas y obstáculos que la vida nos presenta día a día y, por haber realizado uno de mis objetivos y más grandes sueños.

A MI PADRES

SR. MARIO ESPARZA RODRÍGUEZ

SRA. MA. ELENA GARCÍA VALADEZ

Que siempre están conmigo en las buenas y en las malas de cada una de las etapas de mi vida, personas de gran respeto y admiración, les agradezco primero que nada, por darme la vida y valores para ser de mí la gran persona que soy, así mismo, les agradezco toda la confianza y ese apoyo incondicional que me permitió terminar mis estudios y poder ejercerme como persona profesional.

A MI ESPOSO

DANIEL ROSALES JUÁREZ

A ti mi amor por siempre apoyarme, por darme fuerzas para salir adelante, porque eres esencial en mi vida, porque contigo he aprendido a caminar de la mano construyendo un camino juntos. Y por lo más importante, nuestro hijo. ¡Los amo!

A MI HERMANO

MARIO ALBERTO ESPARZA GARCÍA

Por tu apoyo incondicional, por siempre estar conmigo en las buenas y en las malas, por tu complicidad y demostrarme tu fidelidad.

A MI SOBRINO

JESÚS ESPARZA

A ti pequeño porque alegras mis días.

AGRADECIMIENTOS

A MI ALMA, TERRA, MATER

Con orgullo de haber pertenecido a esta gran Institución, agradezco la oportunidad que se me brindó de haber realizado mis estudios y haber obtenido un buen conocimiento y buenas experiencias que me servirán en mi vida profesional.

A MI ESTIMADO PROFESOR JOEL LIMONES AVITIA

Le agradezco por la gran sabiduría que me transmitió, por darme la mano cada que se me complicaba, por ser no solo profesor sino también amigo y demostrarme que soy capaz de llegar hasta donde me lo proponga.

A MIS AMIGAS ERY, VANIA Y NAYELI

Por ser un apoyo durante estos años, y ayudarnos unas a otras y demostrarnos que trabajando en equipo todo se puede lograr.

ÍNDICE

DEDICATORIAS	I
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	V
I INTRODUCCIÓN	1
II OBJETIVOS.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivo específico.....	3
III REVISIÓN DE LITERATURA	4
La atmósfera.....	4
Componentes naturales del aire.....	5
Causas de la contaminación atmosférica.....	6
Naturaleza, origen y clasificación de los contaminantes del aire.....	7
Contaminantes primarios.....	8
Contaminantes secundarios.....	10
Cambio Climático	11
El Cambio Climático en México	13
El Cambio Climático en Coahuila y Durango	15
Acciones para mitigar el Cambio Climático.....	18
Comportamiento climático.....	19
Variables Meteorológicos.....	19
Viento.....	19
Precipitación	20
Temperatura	20
Presión Atmosférica.....	21
Humedad	21
Sistemas de monitoreo de la Calidad del aire en la Comarca Lagunera.....	22
Indicadores de la Calidad del aire	24
Partículas PM ₁₀	24
Ozono (O ₃).....	26
Dióxido de azufre (SO ₂)	28
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	29
Monóxido de carbono (CO).....	30
Tipos de Partículas	31
Partículas según su origen	31
Partículas según su tamaño	32
Partículas según su proceso de formación y tamaño	32

Efectos a la salud por las Partículas	33
Normas Oficiales Mexicanas.....	37
NOM-043-SEMARNAT-1993	37
Valores Normados para los Contaminantes del aire en México.	38
IV MATERIALES Y MÉTODOS	40
V RESULTADOS	42
VI CONCLUSIÓN	44
VII LITERATURA CITADA.....	45

RESUMEN

En el presente trabajo se aborda la temática de la distribución de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Zona Metropolitana de la Laguna, y se considera la concentración de contaminantes como un indicador ambiental, por lo tanto su monitoreo y evaluación resulta una herramienta indispensable para conocer la calidad de aire atmosférico que se respira y esto ayudará a diseñar estrategias de lucha contra la polución.

Los modelos de calidad de aire para simular los procesos físicos y químicos de la atmósfera utilizados en el presente trabajo fueron: El modelo de dispersión Gaussiano es de gran aplicación y la ecuación que lo sustenta se utiliza en este trabajo para calcular los niveles de inmisión de partículas de tamaño de 10 micras (PM_{10}). Algunos parámetros de la ecuación Gaussiana son estimados. Mediante el software matemático MATLAB, se simulan las concentraciones de inmisión de PM_{10} para las diferentes clases de estabilidad atmosférica de Pasquill y distintas velocidades de viento.

En cual se obtuvieron resultados que rebasan los límites máximos permisibles de las normas de cada contaminante, en un periodo que empieza del año 1999 a 2005.

Palabras clave: Dispersión, estrategias, fuente, indicador ambiental, monitoreo.

I INTRODUCCIÓN

La atmósfera es el resultado de los cambios geológicos que se gestaron en la evolución de nuestro planeta como parte del sistema solar planetario y de la acción continua de los seres vivos. A pesar de que la composición de la atmósfera es más o menos estable, está siempre en equilibrio autótrofo y heterótrofo, así como los diversos fenómenos geoquímicos.

La atmósfera de la Tierra es la que mantiene el calor en ella y evita que este salga al espacio. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) por sus siglas en inglés, indica que la atmósfera está compuesta de diferentes elementos en estado gaseoso como el nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2), carbono (C), hidrógeno (H), helio (He), neón (Ne) y kriptón (Kr). Algunas de las combinaciones moleculares de éstos elementos se denominan comúnmente gases de efecto invernadero (GEI), los cuales son cualquier gas que absorbe radiación en la atmósfera; entre estos se encuentran algunos de origen natural (vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), Metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O)) y otros de origen antropogénica clorofluorocarbonados (CFCs), hidroclorofluorcarbonados (HFCs), perfluorcarbonados (PFCs), hexafluoride de sulfuro (SF_6) (EPA, 2010).

El llamado aire puro en realidad no existe puesto que hay un intercambio constante de materia entre los seres vivos, la hidrósfera, la atmósfera y la litósfera. La contaminación de aire tiene una ligera historia, que ya habla del uso de los combustibles fósiles como su causa. (Pankow, JF 1994).

Desde muy antiguo los humos, las cenizas, el dióxido de azufre y otros productos de la combustión ordinaria, han sido considerados como una molestia, pero en la actualidad ya no se cree que la contaminación de la atmósfera sea simplemente una incomodidad, se ha adquirido la convicción de que también un peligro para la salud del hombre.

Se han dado casos episódicos de intensa contaminación de la atmósfera que han acarreado sin duda aumento de la mortalidad y ciertas enfermedades como las bronquitis agudas, cáncer del pulmón, entre otras (*DonahueNM, et al 2006*).

La lucha contra la contaminación de la atmósfera no es posible ya limitarla a los residuos que dejan al quemarse los combustibles ordinarios. Las instalaciones industriales lanzan a la atmósfera emanaciones cada vez más abundantes, diversas y complejas. El desarrollo continuó de la industria, el empleo cada día en mayor escala de motores de combustión interna y la densidad creciente de las poblaciones que respiran una atmósfera contaminada, agudizan cada vez más el problema y acrecientan la dificultad de resolverlo con eficacia (*Coulliette C, et al 2007*).

Los metales pesados tóxicos y otras los contaminantes son emitidos en latitudes más bajas, viajan a través de la atmósfera, y luego se depositan a través de la condensación en las regiones que proporciona un medio para la transferencia de estos contaminantes de alta emisión de las regiones a las regiones de baja o nula de las emisiones (*Donald, et al., 2000*).

Los contaminantes presentes en la atmósfera proceden de dos tipos de fuentes emisoras bien diferenciadas: las naturales y los antropogénicos. En el primer caso la presencia de contaminantes se debe a causas naturales, mientras que en el segundo tiene su origen en las actividades humanas (*Alfaro, et al 2003*).

II OBJETIVOS

Objetivo general.

Conocer las concentraciones de contaminantes en la atmósfera de la Comarca Lagunera con la finalidad de determinar la calidad del aire.

Objetivo específico.

Determinar la variabilidad y distribución de los contaminantes atmosféricos en la Comarca Lagunera. Con la finalidad de estimar los efectos de los contaminantes en la salud de la población. En el periodo de 1999 a 2005, así como también tomando en cuenta los años 2010 y 2011.

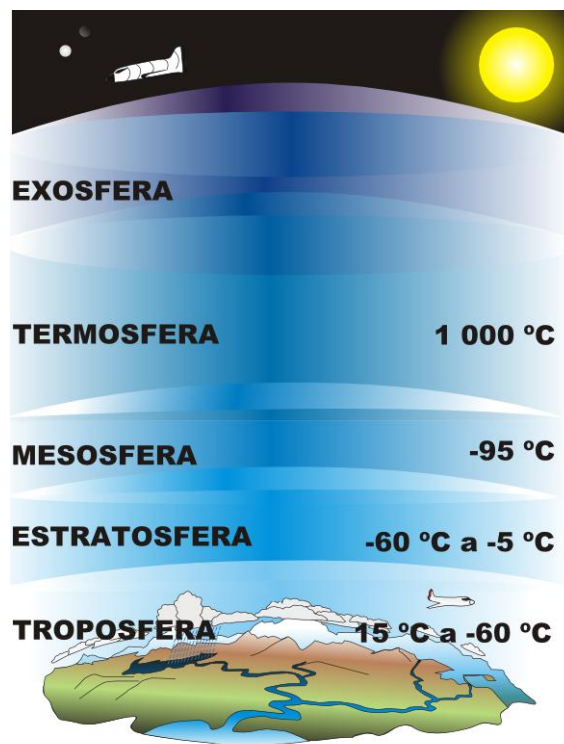
III REVISIÓN DE LITERATURA

La atmósfera.

La atmósfera es la envoltura gaseosa que rodea la tierra mientras que el aire es una porción limitada de ella. A menudo, estos dos términos se usan indistintamente en el estudio ambiental (J.A. 2004).

La atmósfera terrestre tiene una altura de unos 2 000 km. La densidad de los gases desciende con la altitud y la temperatura varía también conforme ésta, lo que permite separar arbitrariamente a la atmósfera en capas para su estudio. Estas capas se muestran en el siguiente cuadro. (Cuadro 1).

CUADRO 1. CAPAS DE LA ATMOSFERA



La tropósfera. Es la capa más importante y constituye el aire que respiramos. Ahí se observan los fenómenos meteorológicos que determinan el clima y se producen los vientos, por los cual, una masa determinada de aire puede dar la vuelta a la Tierra en unos pocos días.

La temperatura desciende aproximadamente 1°C, por cada 100 metros de altura hasta mantenerse constante en la altitud de la tropopausa.

La estratósfera. Es semejante a la tropósfera; en ella hay poco vapor de agua y el gradiente de la temperatura es inverso, ya que la temperatura aumenta entre 10 y 20°C, en 60 kilómetros de altura. Este incremento se debe a que el ozono absorbe las radiaciones ultravioletas e infrarrojas que provienen del sol. Una de las principales funciones de la estratósfera es que actúa como filtro de estas radiaciones.

La mesósfera. Disminuye el ozono y la temperatura disminuye también al aumentar la altura hasta llegar a – 70°C.

La termósfera o ionosfera. Es la capa de la atmósfera más alejada de la tierra que se conoce, en ella la temperatura aumenta con la altura y a los 200 km sobrepasa los 500°C. Esto se debe a la absorción de la radiación solar ultravioleta por el oxígeno molecular y por el nitrógeno. En ella el aire está ionizado por la incidencia de la radiación solar (*Webster, 1994*).

Componentes naturales del aire.

El aire atmosférico es una mezcla de gases que, al parecer ha evolucionado durante varios miles de millones de años hasta llegar a la composición actual. Sus componentes naturales son nitrógeno, oxígeno y algunos gases inertes o nobles. Otros componentes como el bióxido de carbono y el vapor de agua son variables, según el lugar y el tiempo (*Fox, 1993*).

CUADRO 2. COMPONENTES PRINCIPALES DEL AIRE

ELEMENTO COMPONENTE	VOLUMEN EN %
NITRÓGENO	78.03
OXÍGENO	20.99
ARGÓN	0.94
BIÓXIDO DE CARBONO	0.35
OTROS GASES	0.0024
HIDRÓGENO	0.00005

Causas de la contaminación atmosférica.

Algunos de los contaminantes más importantes corresponden a los subproductos de todo tipo de combustiones, como las que se utilizan en las industrias, ya sea en las generadoras de vapor o energía eléctrica o como parte integrante de los diversos procesos industriales, en los sistemas domésticos de agua caliente, calefacción e incineración; en los servicios públicos, como plantas termoeléctricas y sistemas de disposición de residuos y basuras; en el transporte motorizado, ya sea en motores de explosión o del tipo Diesel, o en ferrocarriles y barcos.

Además de la combustión constituyen fuentes importantes de contaminación los residuos industriales, especialmente los de la industria química, metalúrgica y petrolera, y los vapores orgánicos que salen al aire durante el almacenamiento y las operaciones de trasvase de solventes, gasolina y otros combustibles similares. No basta, sin embargo, que se vacíen al aire algunos contaminantes para que exista un problema, éstos deben sobrepasar la concentración y el tiempo de permanencia mínimos para llegar a representar un riesgo para la salud o la economía (INE. 2004).

Naturaleza, origen y clasificación de los contaminantes del aire.

Una vez que se hayan estudiado cuidadosamente algunas sustancias seleccionadas y que se haya declarado como contaminante del aire, es de interés inmediato conocer las principales fuentes de dichas sustancias.

Las partículas sólidas que existen en la atmósfera son quemadas por la combustión de combustibles tales como el carbón y el combustóleo en hornos estacionarios y de motores de turbina en fuentes móviles.

Los procesos de fabricación como el molido, fundición, trituración y molienda de granos también contribuyen a la contaminación del aire por emisiones de partículas. La principal fuente de los óxidos de azufre proviene del consumo de combustibles que contengan azufre. Sin embargo, algunos compuestos de azufre son liberados a la atmósfera durante el procesamiento de minerales y de los procesos de fabricación que utilicen ácido sulfúrico (*Bell et al. and Fernández y Borja 2006*).

El monóxido de carbono es generado principalmente por la combustión incompleta de los combustibles carbonáceos en motores de automóviles y unidades de calefacción.

Los hidrocarburos no quemados son el resultado de la combustión incompleta de los combustibles y durante la refinación del petróleo. Una porción relativamente pequeña proviene de otras operaciones como la limpieza en seco, la evaporación de capas industriales y la limpieza de las piezas manufacturadas. (*Torres, 1991*)

Por tanto, podemos decir que los contaminantes del aire pueden presentarse en forma de gases, de partículas sólidas o de aerosoles líquidos. Estas formas pueden existir, ya sea separadamente o combinadas entre ellas; por ejemplo las partículas o las gotas líquidas pueden absorber los gases. Los agentes contaminantes gaseosos, constituyen aproximadamente el 90% de la masa total emitida a la atmósfera, mientras que las partículas y los aerosoles líquidos constituyen el 10% restante (*Facusse, 1961*).

Los contaminantes gaseosos proceden sobre todo de la combustión de carburantes y de la incineración de desechos. Cuando se trata de óxidos de azufre su principal origen es la combustión de carburantes en fuentes estacionarias. En las zonas donde se utiliza el carbón y los derivados residuales del petróleo para la calefacción pueden producirse altas concentraciones de SO_2 . (*Seinfeld, 1988*).

Las partículas son emitidas por un grupo de fuentes bastante diversificado, lo que hace que sus dimensiones, formas, densidad y composición química pueden variar considerablemente. La mayor parte de las partículas contaminadoras proviene de la utilización de carburantes, de la incineración de desechos y de los efluentes industriales. Aunque las partículas sólo representan el 10% de la cantidad de los agentes contaminantes emitidos a la atmósfera, constituyen un problema importante, ya que pueden influir de forma muy diversa en la salud y el bienestar.

Estos agentes son rápidamente transportados y dispersados por el viento. Las partículas pequeñas permanecen durante largo tiempo en la atmósfera hasta el momento que desaparecen por la lluvia o se aglomeran en partículas mas grandes. En este orden de magnitud se encuentran las partículas respirables, es decir, partículas inferiores a 8 micras. Esta gama también comprende las partículas que aumentan la turbiedad atmosférica, que atenúan la radiación infrarroja que llega a la corteza terrestre y que pueden por ello influir en el clima a escala mundial (*Seinfeld 1988*).

Contaminantes primarios.

Diversos autores han clasificado a los diferentes tipos de contaminantes atmosféricos de distintos nombres. Entre estas clasificaciones están:

- Por sus características químicas;
- Por sus características físicas;
- Por sus efectos;
- Por sus fuentes de producción o de emisión, etc.

Las sustancias que se encuentran en la atmósfera tal como fueron emitidas se conocen como contaminantes primarios y, como contaminantes secundarios del aire a aquellos contaminantes que resultan de la interacción de los contaminantes primarios entre sí.

Los contaminantes primarios de la atmósfera son fundamentalmente:

- Partículas sólidas y líquidas en suspensión de tamaño variable, donde las relativamente grandes, que pasan de 10 μ , hasta las más finas, que forman aerosoles y cuyo tamaño oscila entre 1 μ y menos de 0,05 μ .

Aunque se han identificado más de 150 contaminantes de la atmósfera originados por las diversas actividades humanas, se desconocen todavía muchas de las impurezas existentes.

Revisten importancia algunos contaminantes primarios que causan efectos notables sobre la salud y que son indicadores de contaminación, ellos son: humo y materia en suspensión, dióxido de azufre (SO_2), dióxido de carbono (CO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2) compuestos alogenados, sulfuro de hidrógeno, monóxido de carbono, plomo e hidrocarburos.

El dióxido de azufre (SO_2) se desprende en la combustión de los compuestos de azufre presentes como impurezas en muchos carbones y aceites pesados. Durante la combustión, una parte del azufre de esos combustibles pueden oxidarse aún más y dar lugar a la producción de trióxido de azufre. Se producen elevadas cantidades de SO_2 en los combustibles utilizados para la calefacción y la generación de energía.

Los grandes consumidores industriales de esos combustibles utilizan chimeneas altas que permiten una mayor dispersión en la atmósfera, en otros casos se ha recurrido al procedimiento de microlocalizar las grandes industrias lejos de las ciudades.

Se emplean también procedimientos de absorción del SO_2 de los gases de las chimeneas, convirtiendo el contaminante en ácido sulfúrico o en azufre y otros mecanismos.

Independientemente de los posibles efectos del SO_2 sobre la salud, esta sustancia, conjuntamente con el humo se consideran como indicadores de la contaminación del aire, más que como contaminantes específicos causantes de los efectos.

Las concentraciones de partículas en suspensión es un índice útil de la contaminación del aire debido a las actividades humanas o a causas naturales. Las variaciones de la concentración están en ocasiones íntimamente relacionadas con los factores meteorológicos y con las costumbres del hombre.

Otro contaminante primario de importancia es el dióxido de carbono (CO_2) por constituir cuantitativamente el principal gas con efecto de invernadero. La oxidación de los combustibles naturales tales como el carbón, petróleo y gas, aporten una cantidad considerable de CO_2 a la atmósfera (INEGI. 2009).

Contaminantes secundarios.

La masa atmosférica contaminada se comporta muy inestable, física y químicamente, y los distintos procesos de transformación natural de los contaminantes dan lugar a la aparición de compuestos químicos secundarios.

Las sustancias contaminantes que mayor interés revisten para el hombre, no son químicamente inertes, ni permanecen indefinidamente retenidas en la atmósfera; una vez liberadas, su dispersión va acompañada de una compleja cadena de reacciones químicas y de procesos físicos (Lunge, 1963).

Una de las transformaciones más importantes que ocurre en la solución y oxidación del SO_2 , produce ácido sulfúrico y sulfatos.

La solución puede producirse en superficies libres de agua o terrenos húmedos y otras superficies sólidas, en la vegetación y en las gotas de agua que componen la niebla, las nubes y la lluvia. Este proceso tiene una importancia práctica inmediata en lo que respecta a la corrosión de los materiales y daños ecológicos (lluvia ácida) (*Robinson et, 1970*).

Si la oxidación ocurre en presencia de amoníaco, aparece sulfato de amonio higroscópico que tiene efectos importantes en la visibilidad en forma pulverizada. La complejidad de los procesos que pueden ocurrir se refleja en la variabilidad de la permanencia efectiva del SO_2 en la atmósfera, que puede ir desde una hora a varios días (*Robinson, 1970*).

Cambio Climático

El cambio climático constituye, junto con la degradación de ecosistemas y la pérdida de la biodiversidad, el problema ambiental más trascendente del siglo XXI y uno de los mayores desafíos globales que enfrenta la humanidad.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) reconoce que el clima es un recurso mundial compartido por todos los países, cuya estabilidad puede verse afectada por las emisiones de bióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero producidos por la actividad humana. De acuerdo con la misma Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático: “Por cambio climático se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos comparables”(CMNUCC, 1992).

La energía recibida del Sol (radiación solar o de onda corta) calienta la superficie de la Tierra y los océanos. Éstos, a su vez, reflejan esa energía de vuelta hacia el espacio exterior en forma de calor (radiación infrarroja); sin embargo, la atmósfera atrapa y retiene una parte de ese calor.

Este fenómeno de efecto invernadero se presenta de manera natural, como consecuencia de la presencia de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. El vapor de agua y el bióxido de carbono (CO_2) son los principales Gases de Efecto Invernadero de origen natural. Durante los últimos 150 años, el empleo generalizado y creciente de combustibles fósiles ha ocasionado que los Gases de Efecto Invernadero (especialmente el CO_2) incrementen su concentración atmosférica de manera significativa. Lo anterior se debe a que el CO_2 es uno de los productos principales de la combustión de combustibles fósiles. (<http://sinea.semarnat.gob.mx/sinae.php?process=UkVQT1JURUFET1I=&categ=0>).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático considera que la principal contribución antropogénica al cambio climático son las emisiones de los siguientes Gases de Efecto Invernadero: el bióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), los hidrofluorocarbonos (HFC), el hexafluoruro de azufre (SF_6) y los perfluorocarbonos (PFC). Recientemente, se ha encontrado que la contribución del carbono negro elemental (black carbon) al cambio climático había sido subestimada, y en la actualidad se le señala como el segundo Gas de Efecto Invernadero en la importancia de su contribución a este cambio, sólo después del CO_2 . Adicionalmente, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático alienta a los países no incluidos en el Anexo I del Protocolo de Kioto (es el caso de México y los demás países en desarrollo) a informar sobre las emisiones antropogénicas de gases indirectos de efecto invernadero, como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVDM) y bióxido de azufre (SO_2).

En los años recientes, se ha confirmado inequívocamente la relación entre el incremento de Gases de Efecto Invernadero en la atmósfera y el incremento de las temperaturas promedio del planeta.

Este cambio en las temperaturas promedio a nivel global significa la alteración de los patrones de clima a nivel regional y local, y no un incremento de las temperaturas en todo el planeta, por lo que el término “calentamiento global” resulta impreciso.

El Cambio Climático en México

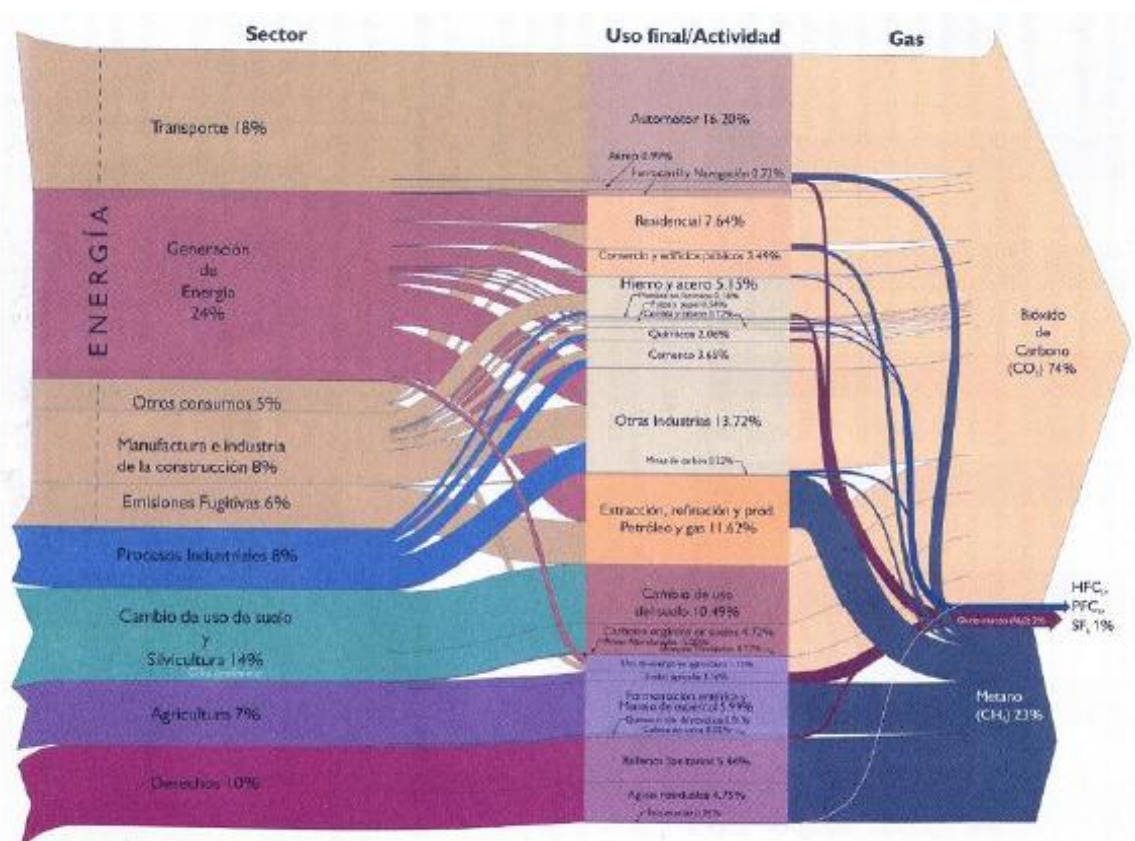
Por el volumen total de sus emisiones, México contribuye con alrededor de 1.5% de las emisiones globales de bióxido de carbono equivalente (CO₂eq.), en contraste, con los grandes emisores. Estados Unidos y la Unión Europea, junto a China, vierten actualmente a la atmósfera más de 17 mil millones de toneladas anuales de CO₂eq., alrededor del 35% de las emisiones globales. Son notables también los casos de Indonesia y Brasil, cuyas tasas de deforestación equivalen a emisiones anuales del orden de 5 mil millones de toneladas, representando casi el 10% del total global. (*Qué es el cambio climático. Página Web de la SEMARNAT* (http://www.semarnat.gob.mx/queessesemarnat/politica_ambiental/cambioclimatico/Pages/cambioclimatico.aspx))

En el año 2002, las emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero en México fueron de 553 millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente [tCO₂eq./año], lo cual corresponde a cerca del 1.5% del total en el planeta, y coloca a nuestro país en el lugar decimotercero a nivel mundial. (*Programa Especial de Cambio Climático 2008-2012, versión para consulta pública* (http://www.semarnat.gob.mx/queessesemarnat/consultaspublicas/Documents/pecc/PECC_VCP.pdf))

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI), en el periodo 1990-2002, México ocupó el lugar 93 por sus emisiones per cápita. Estas emisiones se estimaron en 5.4 tCO₂eq./habitante. (*INEGEI, 2002*).

La figura 2.1 muestra los sectores de la economía responsables de las emisiones de GEI en el país. Puede verse cómo el sector de energía, que incluye la generación eléctrica y el transporte, juega un papel preponderante.

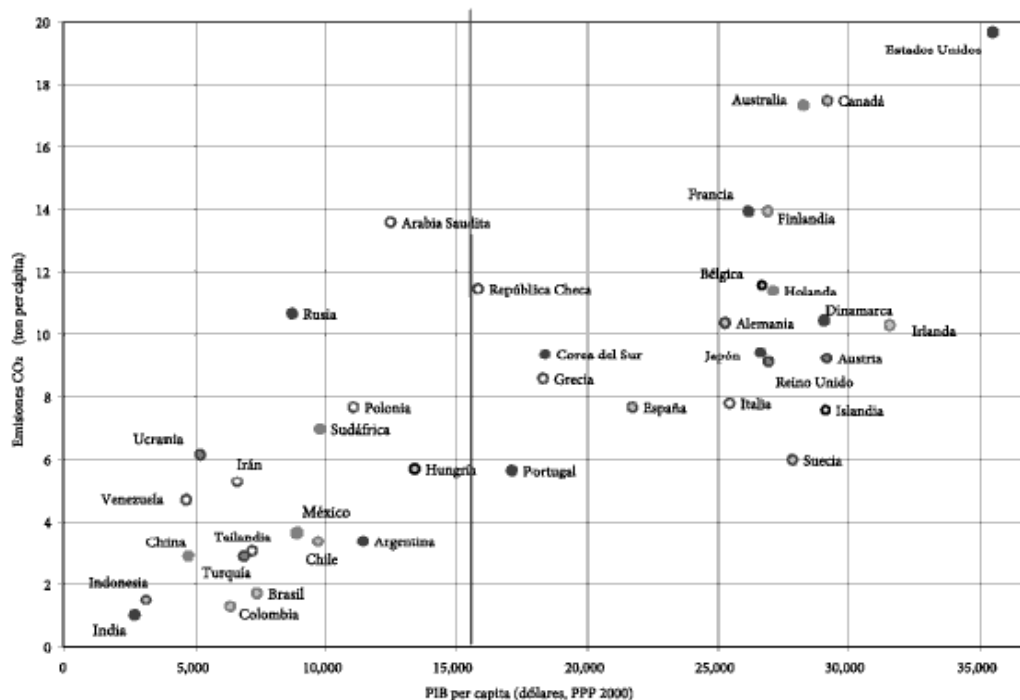
Figura 2.1 Diagrama de emisiones de GEI para México



Fuente: INEGI 2002, SEMARNAT

La figura 2.2 muestra una comparación de las emisiones per cápita de CO₂ y el PIB per cápita de un grupo de 37 países; la economía de estos países representa el 86% del PIB mundial y sus emisiones el 88% de las de CO₂ por quema de combustibles fósiles a nivel mundial. Se puede apreciar que los países que gozan de un mayor nivel de ingreso per cápita son aquéllos que igualmente emiten una mayor cantidad de CO₂ por habitante, debido a la quema de combustibles fósiles (INEGI 2002).

Figura 2.2 Comparación internacional de emisiones CO₂ per cápita vs. PIB per cápita, 2003.



Fuente: INEGI 2002, SEMARNAT

El Cambio Climático en Coahuila y Durango

Coahuila; es un estado dinámico y con importancia dentro del ámbito energético, ya que en su territorio se encuentran los yacimientos más ricos de carbón y parte de una de las zonas de producción de gas natural de México, las grandes fuentes de emisión de Gases de Efecto Invernadero en el estado son las generadoras de energía eléctrica. Este tipo de fuente sigue siendo el mayor emisor en Coahuila. El total considerado es de 11.9 MtCO₂eq.

En segundo término están las fuentes emisoras provenientes de actividades industriales que no son directas de la combustión, con un valor total de 10.32 MtCO₂eq, dentro de los cuales se encuentran las producciones y los usos de

minerales como el fierro, la dolomita, la cal, la piedra caliza y el cemento, principalmente.

Por lo tanto, los procesos extractivos, productivos y de transporte de estos minerales liberan cantidades muy considerables de Gases de Efecto Invernadero, entre los que se encuentran el metano (CH_4), el óxido de nitrógeno y por supuesto el CO_2 , razón por la cual este sector es el segundo en importancia.

El tercero son las fuentes emisoras del tipo residencial-comercial-industrial, con un total de 3.44 MtCO_2eq , es decir menos de un tercio de su tipo de fuente anterior. Esto se debe al gran número de pequeños emisores de este tipo de fuentes, ya que aquí se combinan actividades de combustión directa, con emisiones de Gases de Efecto Invernadero, de los sectores de vivienda, comercio e industria.

El resto es de mucha menor importancia numérica, con excepción hecha de las fuentes de tipo forestal y de uso del suelo. En este se presenta un caso especial, lo que indica que estas fuentes se comportan en realidad como sumideros de Gases de Efecto Invernadero, siendo sumamente importante su participación, por más pequeño que fuera su valor absoluto, ya que es una de las actividades capaces de capturar CO_2 y otros Gases de Efecto Invernadero. El cuidado y recuperación de los bosques y áreas de suelo descubierto, podría contribuir a la reducción de los Gases de Efecto Invernadero.

Durango; en los últimos años del crecimiento demográfico ha aumentado considerablemente en la capital del estado y en la región de la Laguna, en donde se encuentran mayores oportunidades de desarrollo profesional. El parque vehicular ha incrementado lo que ha provocado el incremento de contaminantes atmosféricos, aumento de deforestación por tala, deforestación por agricultura y por cambio de uso de suelo. Esto ha provocado un incremento en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

El estado de Durango es altamente vulnerable a cambios climáticos debido a su localización geográfica en una zona semidesértica, sus características de clima, su ambiente natural y a diferentes variables socioeconómicas. La implementación de estrategias de adaptación y mitigación adecuadas ayudara considerablemente a minimizar el impacto debido al cambio climático y por ende reducir la vulnerabilidad.

En la actualidad existen un número considerable de proyectos a nivel nacional dirigidos a desarrollo sustentable, tal es el caso del Consejo Coordinador Empresarial (CCE) que a través de la Comisión de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sustentable (CESPEDES) promueve establecer e instrumentar las estrategias que conduzcan al sector empresarial mexicano, hacia el desarrollo sustentable. El gobierno federal a través de la Secretaría de Energía (SENER) promueve proyectos de reducción de emisiones y de captura de GEI, en particular, valida proyectos mexicanos que pretenden participar en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

El Mecanismo de Desarrollo Limpio permite a las empresas con proyectos que capturan y/o reducen emisiones de Gases de Efecto Invernadero a obtener un ingreso económico adicional, al vender certificados de reducción de emisiones en el mercado internacional. A nivel estatal, se está realizando una evaluación preliminar del inventario de emisiones en el estado de Durango, coordinado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

A pesar del alto consumo de combustibles fósiles en el estado, no existe un inventario cuantitativo de los Gases de Efecto Invernadero y tampoco se ha evaluado el potencial de recuperación del carbono. Esta falta de información ha limitado en gran medida los proyectos encaminados a la reducción de Gases de Efecto Invernadero en el estado.

Por lo tanto, existen muy pocas acciones y políticas aisladas dirigidas a la mitigación y nada respecto a adaptación ante el cambio climático. Consolidar un Plan de Acciones sobre Cambio Climático en el Estado de Durango (PEACC).

Estableciendo políticas relacionadas con adaptación y mitigación de los efectos del cambio climático, soportadas en los estudios de vulnerabilidad realizados.

(http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Documents/Calidad%20del%20aire/Proaires/ProAires_Vigentes/9_ProAire%20Comarca%20Lagunera%202010-2015.pdf).

Acciones para mitigar el Cambio Climático

La adaptación y mitigación son estrategias igualmente necesarias; ninguna de ellas puede ir en detrimento de la otra. La falta de acciones para reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en el presente, elevará exponencialmente los costos de adaptación en el futuro, además de limitar el alcance de la adaptación posible.

La complejidad implícita en el diseño de instrumentos de política adecuada para este tema, hace que se vincule con la actuación de los gobiernos en prácticamente todos los sectores de manera transversal y no sólo en la agenda del sector ambiental.

El Protocolo de Kioto, derivado de la Convención y firmado en 1997, es el acuerdo de distintos países industrializados y en desarrollo para establecer compromisos entorno al cambio climático, reduciendo las emisiones de seis gases asociados al calentamiento global. Hasta el año 2007, un total de 175 países o regiones económicas habían ratificado el Protocolo.

Comportamiento climático

Problemas generales de delimitación de las zonas. Los límites de las zonas áridas, semiáridas y sub húmedas no son abruptos ni estáticos, debido a la alta variabilidad interanual en la precipitación y a la ocurrencia de sequías, lo cual puede ocurrir por períodos de varios años.

Variables Meteorológicos

Viento

Para comprender algunas características del comportamiento de la circulación de los vientos en las áreas de estudio, es necesario explicar previamente algunos fenómenos (a escala global, regional y local) que pueden influenciar en mayor o menor grado dicho comportamiento.

El viento consiste en el movimiento de aire desde una zona hasta otra. Existen diversas causas que pueden provocar la existencia del viento, pero normalmente se origina cuando entre dos puntos se establece una cierta diferencia de presión o de temperatura.

En el primer caso, cuando entre dos zonas la presión del aire es distinta, éste tiende a moverse desde la zona de alta presión a la zona de baja presión. Algo similar a lo que ocurre dentro de un tubo de pasta de dientes cuando presionamos en un extremo para hacer salir el dentífrico. Al apretar, lo que producimos es una diferencia de presión entre ese punto y el extremo abierto. Los meteorólogos dirían que se ha producido un gradiente o diferencia de presión entre ambos extremos.

En la atmósfera, existe una relación directa entre presión y viento, lo que hace que los mapas de isobaras, que representan los valores de la presión atmosférica, contengan amplia información sobre la velocidad y dirección del viento.

Precipitación

Es un fenómeno atmosférico consistente en precipitación acuosa, cuyo diámetro se halla generalmente comprendido entre 0,5 y 7 mm y que caen a una velocidad del orden de los 3 m/s. El volumen de lluvia se mide en milímetros. Un milímetro equivale a un litro de agua por metro cuadrado.

Los dos principales aparatos de medición de la precipitación son el pluviómetro y el pluviógrafo. El primero mide el volumen total de lluvia caída durante el día meteorológico (7 A.M. a 7 A.M. del día siguiente). El segundo es un aparato de registro continuo que permite determinar la intensidad de la precipitación en un intervalo de tiempo dado (*IDEAM, 2001*).

Temperatura

Es de todo conocido que la temperatura es una de las magnitudes más utilizadas para describir el estado de la atmósfera. De hecho, la información meteorológica que aparece en los medios de comunicación casi siempre incluye un apartado dedicado a las temperaturas: sabemos que la temperatura del aire varía entre el día y la noche, entre una estación y otra, y también entre una ubicación geográfica y otra. En invierno puede llegar a estar bajo los 0° C y en verano superar los 40°C.

Formalmente, la temperatura es una magnitud relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia. Cuanta mayor agitación presenten éstas, mayor será la temperatura.

Efectivamente, en Meteorología es muy habitual hablar de temperaturas máximas y mínimas, los valores más altos y más bajos registrados en un periodo de tiempo, por ejemplo, un día. Para medir estas temperaturas extremas se utilizan los denominados termómetros de máxima y mínima: 16.

- El termómetro de máxima consta de un termómetro ordinario, cuyo tubo tiene interiormente cerca del depósito una estrangulación: cuando la temperatura sube, la dilatación del mercurio del depósito empuja con suficiente fuerza para

vencer la resistencia opuesta por la estrangulación. En cambio, cuando la temperatura baja y la masa de mercurio se contrae, la columna se rompe, quedando, por consiguiente, su extremo libre en la posición más avanzada que haya ocupado durante todo el intervalo.

- El termómetro de mínima es de alcohol y lleva en su interior un índice de esmalte sumergido en el líquido. Cuando la temperatura sube, el alcohol pasa entre las paredes del tubo y el índice, y éste no se mueve; en cambio cuando la temperatura disminuye, el alcohol arrastra en su movimiento de retroceso dicho índice porque éste encuentra una resistencia muy grande a salir del líquido. La posición del índice, indica, por tanto, la temperatura más baja alcanzada.

Presión Atmosférica

El aire que nos rodea, aunque no lo notemos, pesa y, por tanto, ejerce una fuerza sobre todos los cuerpos debida a la acción de la gravedad. Esta fuerza por unidad de superficie es la denominada presión atmosférica, cuya unidad de medida en el Sistema Internacional es el Pascal ($1 \text{ Pascal} = 1 \text{ N/m}^2$).

La presión atmosférica depende de muchas variables, sobre todo de la altitud.

Cuanto más arriba en la atmósfera nos encontremos, la cantidad de aire por encima de nosotros será menor, lo que hará que también sea menor la presión que éste ejerza sobre un cuerpo ubicado allí. El siguiente gráfico muestra los valores promedio de la presión atmosférica en función de la altitud. En él puede apreciarse cómo la presión atmosférica desciende con la altura, mostrando un decrecimiento aproximadamente exponencial.

Humedad

El agua es uno de los principales componentes de la atmósfera, en la que puede existir como gas, como líquido, y como sólido. La presencia del agua en los tres estados de agregación se debe a que las condiciones físicas (temperatura y

presión) necesarias para que se produzcan dichos cambios de estado se dan normalmente en la atmósfera.

La humedad es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire. Esa cantidad no es constante, sino que dependerá de diversos factores, como si ha llovido recientemente, si estamos cerca del mar, si hay plantas, etc.

Existen diversas maneras de referirnos al contenido de humedad en la atmósfera:

- Humedad absoluta: masa de vapor de agua, en gramos, contenida en 1m^3 de aire seco.
- Humedad específica: masa de vapor de agua, en gramos, contenida en 1 kg de aire.
- Razón de mezcla: masa de vapor de agua, en gramos, que hay en 1 kg de aire seco (*Arango. 2002.*).

Sistemas de monitoreo de la Calidad del aire en la Comarca Lagunera

Tanto en la región lagunera de Coahuila como en la de Durango se cuenta con redes específicas de monitoreo de calidad del aire. En el caso de Durango, su programa de monitoreo atmosférico se inicio en el año 2003. En razón de que la Comarca Lagunera se considera como zona altamente industrializada, se tienen ubicadas cuatro estaciones de monitoreo, dos en Gómez Palacio y dos en la ciudad de Lerdo.

Por otra parte, en la ciudad de Torreón se iniciaron las actividades de monitoreo atmosférico en el año de 1982 con el aporte por parte del gobierno federal de 5 muestreadores de alto volumen y 4 muestreadores tipo rack para gases. Los 27 equipos mencionados operaron continua y sistemáticamente hasta mediados de 1992, cuando se suspendió su operación por falta de recursos.

En mayo de 1996 se llevó a cabo una campaña de estudios preliminares de calidad del aire con equipo móvil de monitoreo atmosférico, cuya finalidad fue efectuar un diagnóstico inicial sobre los tipos y niveles de los contaminantes atmosféricos. En estos años, la SEMARNAT a través del INE dio apoyos mediante insumos, capacitación y asesoría técnica para las actividades de mantenimiento preventivo, manejo de filtros y, en la medida de lo posible, para la rehabilitación de los equipos que forman parte de la red manual.

A cargo de la Secretaría de Ecología Municipal, en la actualidad existen en operación cinco equipos manuales para PST y uno para PM₁₀ así como una estación meteorológica localizada en el Centro Cultural Mijares, que inició operación en febrero de 1999 y que para el mes de marzo de 2004 se complementó con datos de cuatro contaminantes criterio (CO, O₃, SO₂ y NO_x).

También se cuenta con un laboratorio móvil para llevar a cabo campañas específicas de monitoreo ambiental en las ciudades de Torreón y Matamoros, lo cual complementa la información que se genera en las estaciones fijas de monitoreo. Actualmente se muestrean y analizan contaminantes criterio como el monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO₂), bióxido de nitrógeno (NO₂) y partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀).

Asimismo, en la época de lluvias el lavado atmosférico y las condiciones de humedad relativa inducen a un abatimiento de las concentraciones promedio de PM₁₀ hasta en un 50%. Sin embargo, durante los últimos años no se han presentado las condiciones (precipitaciones) que favorezcan la sedimentación de las partículas de la atmósfera en la parte superior de la superficie terrestre.

Además, existe una gran cantidad de poblados y ejidos, e incluso en la misma ciudad, que no cuentan con calles pavimentadas y que con la prevalencia de los vientos dominantes que están presentes en la Comarca Lagunera (lluvia lagunera) provocan que dichas partículas sean levantadas con gran facilidad provocando tolvánicas.

Por otro lado, en la gráfica 3.3 se puede observar la tendencia que tuvieron las partículas de fracción respirable en la estación de Lerdo durante el año 2007. Al igual que en la estación de Gómez Palacio, es en invierno cuando los niveles de este contaminante aumentaron de manera importante y rebasaron la norma ambiental de 120 µg/m³ (SEMAC, 2010).

Indicadores de la Calidad del aire

A continuación se presentan los indicadores de la calidad del aire para los contaminantes criterio muestreados/monitoreados en Gómez Palacio y Lerdo para años seleccionados. Estos indicadores se presentan a modo de tablas y se relacionan con el cumplimiento de los límites establecidos en las normas oficiales mexicanas (NOM) de salud ambiental en materia de calidad del aire ambiente y con el número de días al año que se rebasa la norma. Cabe señalar que las estaciones automáticas de los municipios de Durango comenzaron a reportar a partir de 2010.

Partículas PM₁₀

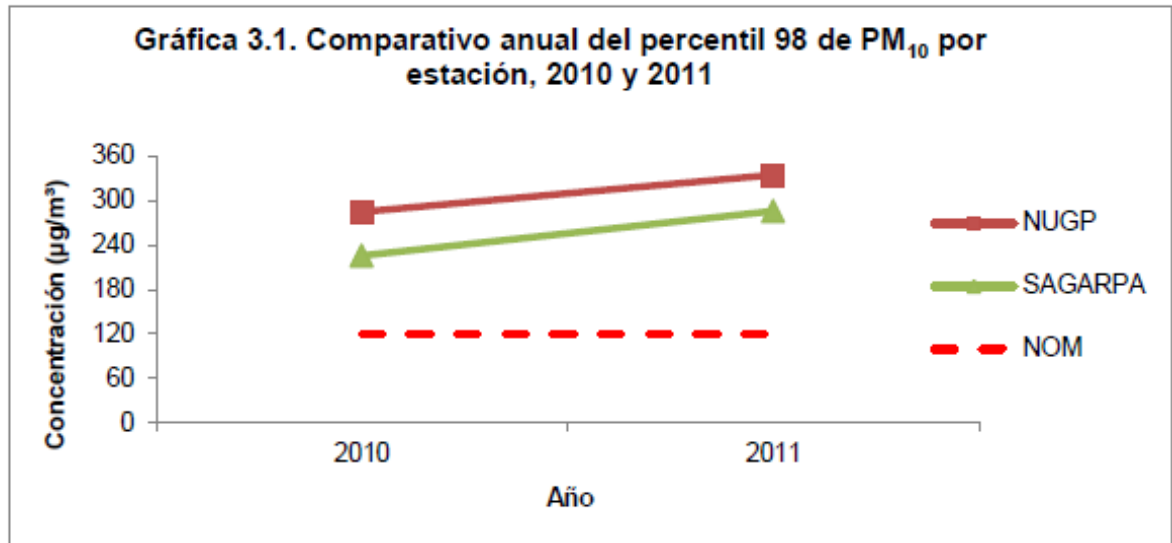
La modificación a la NOM-025-SSA1-1993 de este contaminante establece dos límites máximos permisibles para la protección a la salud, el primero, de 120 µg/m³ promedio de 24 horas; y el segundo, de 50 µg/m³ promedio anual. Se observa que en todas las estaciones se rebasa el criterio de la norma diaria y que en los dos últimos años las concentraciones estuvieron más de dos veces por arriba de la norma (tabla 3.3 y gráfica 3.1).

Tabla 3.3 Cumplimiento de la norma diaria de PM₁₀ (120µg/m³) Porcentil 98 de los promedios de 24 horas, 2006-2011

Año	Estación manual		Estación automática	
	GP	LE	NUGP	SAGARPA
2006	255	170		
2007	DI	157		
2008	DI	DI		
2009	ND	ND		
2010	ND	ND	285	226
2011	ND	ND	335	286

DI = datos insuficientes; ND = no disponible

Fuente: Red Estatal de Monitoreo Atmosférico de Durango (2012).



Fuente: Tabla 3.3.

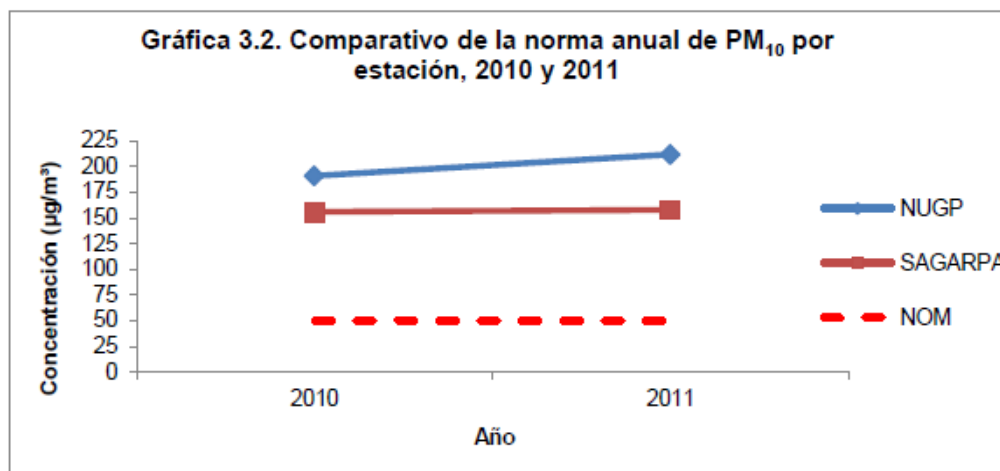
En lo que respecta al indicador anual de la norma de PM₁₀ tampoco se cumplió, igualmente, las concentraciones están de 3 a 4 veces por arriba del criterio de la norma (tabla 3.4 y gráfica 3.2).

Tabla 3.4 Cumplimiento de la norma anual de PM₁₀ (50µg/m³) Promedio anual de los promedios de 24 horas, 2006-2011

Año	Estación manual		Estación automática	
	GP	LE	NUGP	SAGARPA
2006	89.8	94.3		
2007	DI	88.9		
2008	DI	DI		
2009	ND	ND		
2010	ND	ND	191	156
2011	ND	ND	212	158

DI = datos insuficientes; ND = no disponible

Fuente: Red Estatal de Monitoreo Atmosférico de Durango (2012).



Fuente: Tabla 3.4.

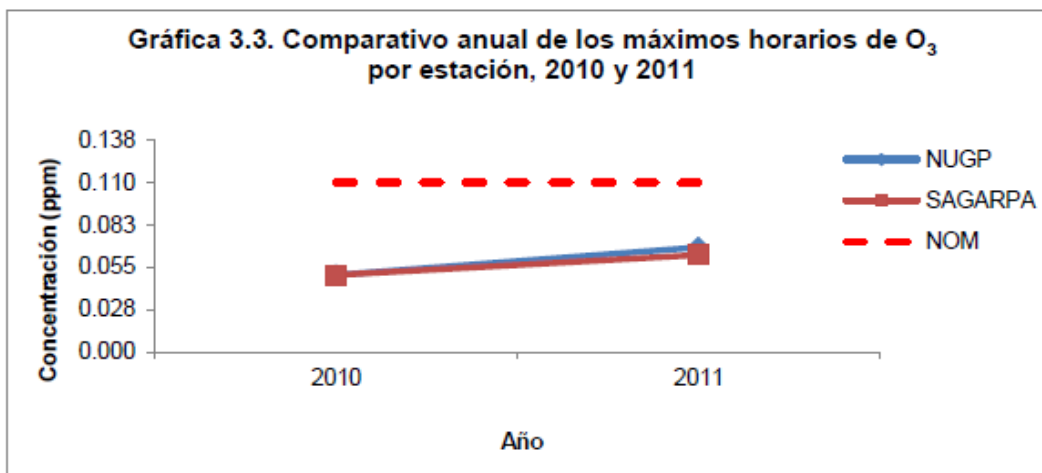
Ozono (O₃)

La modificación a la NOM-020-SSA1-1993 de este contaminante establece dos criterios de exposición para la protección a la salud, el primero, de 0.110 ppm de O₃ promedio de una hora; y el segundo, de 0.080 ppm en el quinto máximo anual del promedio de 8 horas. Respecto al primer criterio, las concentraciones horarias del O₃ estuvieron por debajo del límite normado durante los dos años de monitoreo (tabla 3.5 y gráfica 3.3).

Tabla 3.5 Cumplimiento de la norma horaria de O₃ (0.110 ppm). Máximo horario, 2010-2011

Año	Estación	
	NUGP	SAGARPA
2010	0.050	0.050
2011	0.068	0.063

Fuente: Red Estatal de Monitoreo Atmosférico de Durango (2012).

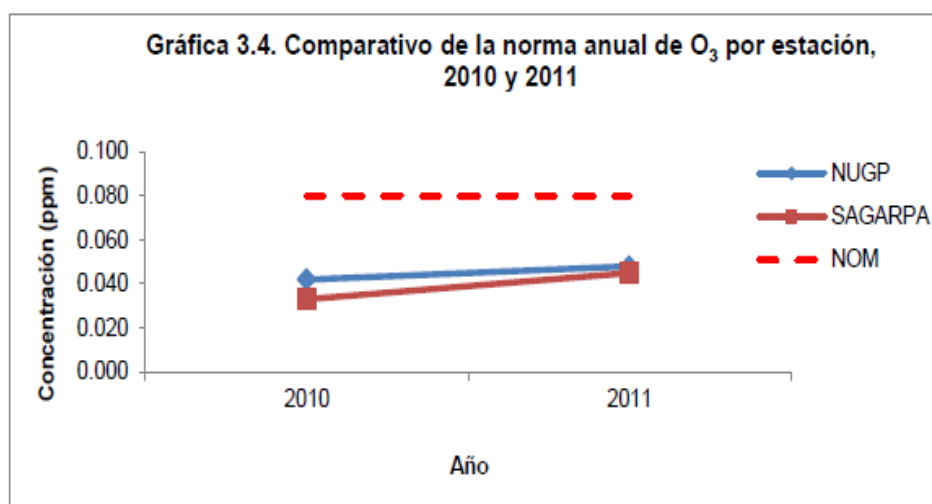


El indicador de la norma anual del O₃ mostró que en las dos estaciones las concentraciones cumplieron el criterio normado (tabla 3.6 y gráfica 3.4).

Tabla 3.6 Cumplimiento de la norma anual de O₃ (0.08 ppm). Quinto máximo de los promedios móviles de 8 horas, 2010-2011

Año	Estación	
	NUGP	SAGARPA
2010	0.042	0.033
2011	0.048	0.045

Fuente: Red Estatal de Monitoreo Atmosférico de Durango (2012).



Dióxido de azufre (SO₂)

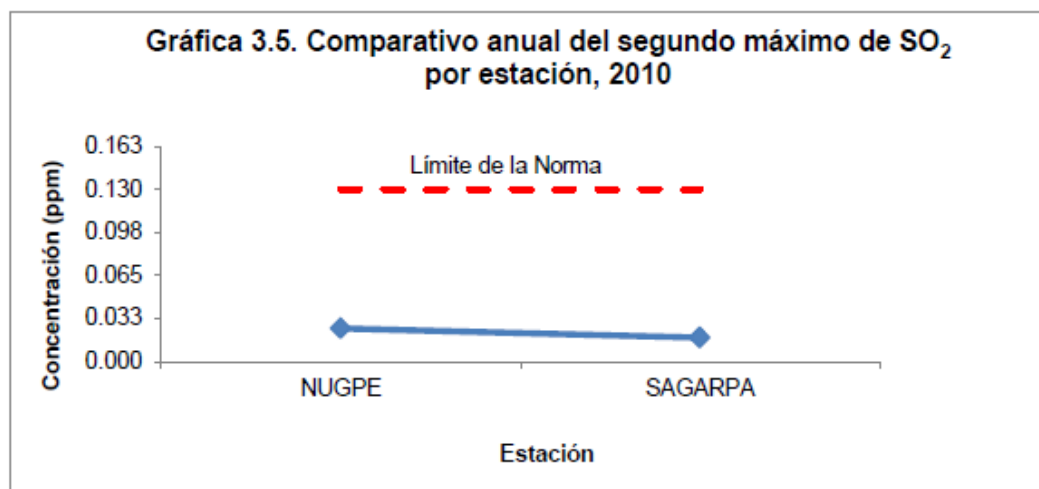
La NOM-022-SSA1-1993 de este contaminante establece dos límites máximos permisibles para la protección a la salud, el primero, de 0.130 ppm de SO₂ promedio de 24 horas; y el segundo, de 0.030 ppm promedio anual. Respecto al primer criterio, durante el 2010 las concentraciones horarias cumplen ampliamente la norma (tabla 3.7 y gráfica 3.5).

Tabla 3.7. Cumplimiento de la norma de 24 horas de SO₂ (0.13 ppm. Segundo máximo de los promedios de 24 horas, 2010 y 2011

Año	Estación	
	NUGP	SAGARPA
2010	0.025	0.018
2011	SM	SM

SM = sin medición

Fuente: Red Estatal de Monitoreo Atmosférico de Durango (2012).



Fuente: Tabla 3.7.

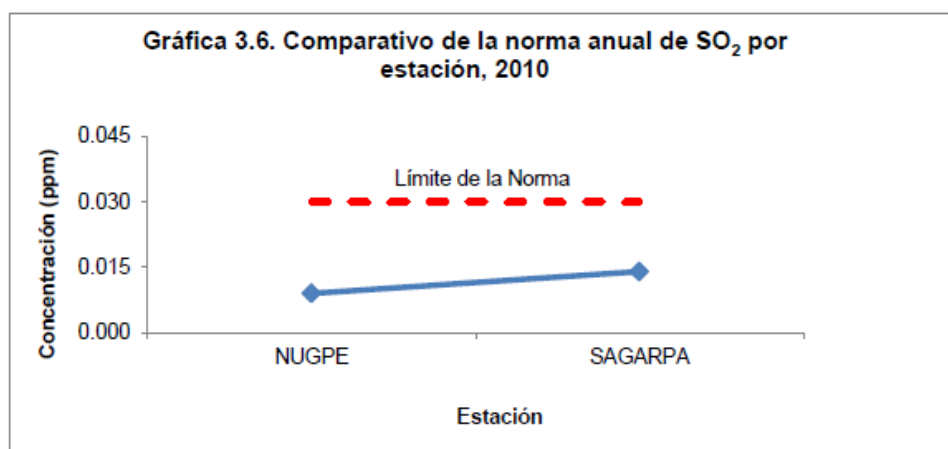
El indicador de la norma anual de SO₂ durante 2010 también cumple con el criterio establecido en ambas estaciones (tabla 3.8 y gráfica 3.6).

Tabla 3.8. Cumplimiento de la norma anual de SO₂ (0.030 ppm) Promedio anual de las concentraciones horarias, 2010 y 2011

Año	Estación	
	NUGP	SAGARPA
2010	0.009	0.014
2011	SM	SM

SM = sin medición

Fuente: Red Estatal de Monitoreo Atmosférico de Durango (2012).



Fuente: Tabla 3.8.

Dióxido de nitrógeno (NO₂)

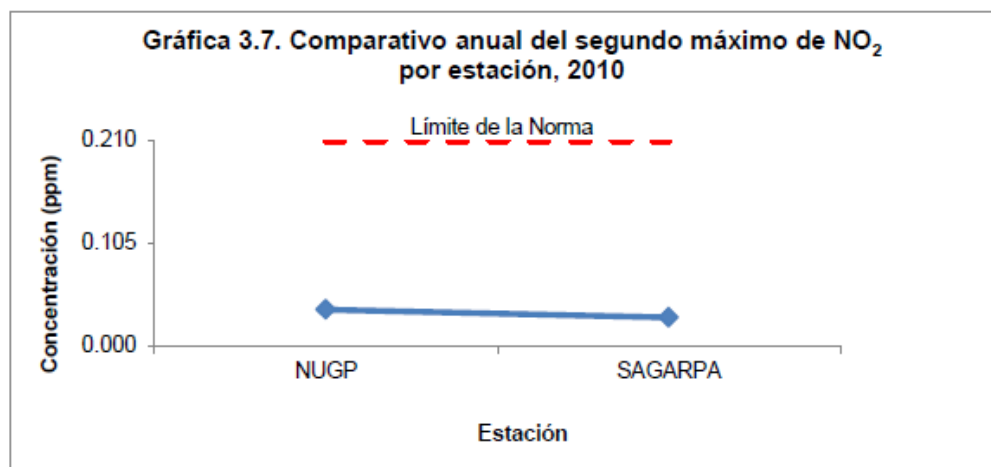
La NOM-023-SSA1-1993 para este contaminante establece un límite máximo de 0.210 ppm promedio horario. Al respecto, se observa que en las dos estaciones las concentraciones están ampliamente por debajo de la norma (tabla 3.9 y gráfica 3.7).

Tabla 3.9. Cumplimiento de la norma horaria de NO₂ (0.21 ppm) Segundo máximo de las concentraciones horarias, 2010 y 2011

Año	Estación	
	NUGP	SAGARPA
2010	0.037	0.029
2011	SM	SM

SM = sin medición

Fuente: Red Estatal de Monitoreo Atmosférico de Durango (2012).



Fuente: Tabla 3.9.

Monóxido de carbono (CO)

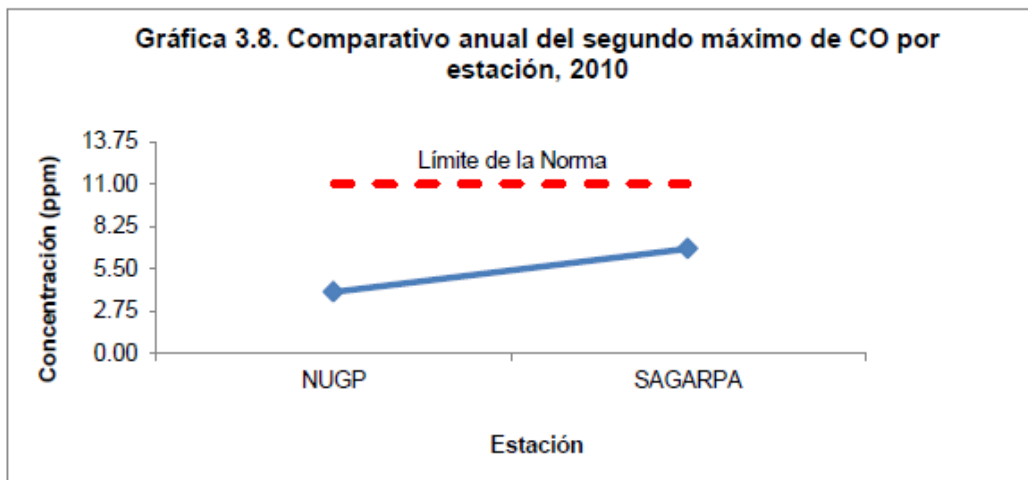
La NOM-021-SSA1-1993 de este contaminante establece un límite máximo de 11.0 ppm en promedio móvil de 8 horas. Durante el periodo de análisis, este contaminante se mantuvo por debajo del criterio normado en todas las estaciones (tabla 3.10 y gráfica 3.8).

**Tabla 3.10. Cumplimiento de la norma de 8 horas de CO (11 ppm).
Segundo máximo de los promedios móviles de ocho horas, 2010 y 2011**

Año	Estación	
	NUGP	SAGARPA
2010	4.0	6.8
2011	DI	DI

DI = datos insuficientes

Fuente: Red Estatal de Monitoreo Atmosférico de Durango (2012).



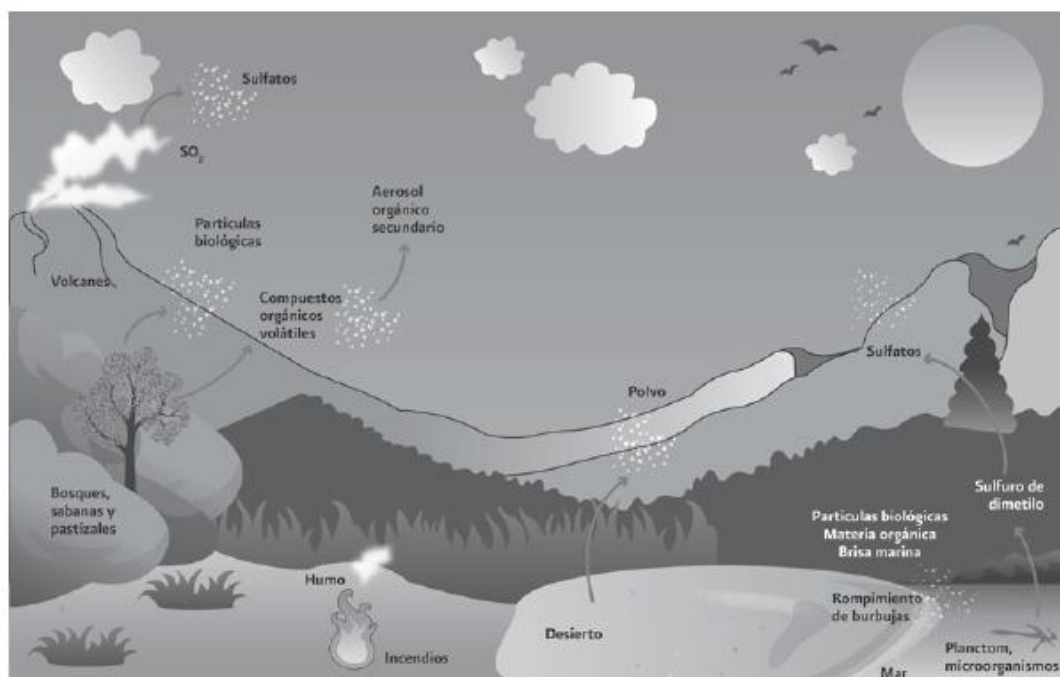
Fuente: Tabla 3.10

Tipos de Partículas

Partículas según su origen

Esta es una de las clasificaciones más básicas de las partículas ambientales y de los demás contaminantes del aire; distingue entre partículas primarias y partículas secundarias (ver figura 1.1) conforme al siguiente criterio.

Figura 1.1 Ejemplo de proceso químico de formación de partículas secundarias



Partículas según su tamaño

Las partículas suspendidas también se clasifican por su tamaño (ver figura 1.2), pero como tienen una infinidad de formas no es posible caracterizarlas con una sola dimensión geométrica real. Por ello, se utiliza el diámetro aerodinámico como un indicador del tamaño de la partícula; este indicador es igual al diámetro de una partícula esférica de densidad unitaria que tiene la misma velocidad terminal¹ que la partícula considerada, independiente de su forma, tamaño o densidad bajo condiciones de temperatura, presión y humedad existentes.

Figura 1.2 Diferencia en los tamaños de las partículas



Fuente: Clasificación de partículas.pdf

Partículas según su proceso de formación y tamaño

El diámetro aerodinámico está en función de los procesos de formación de las partículas; frecuentemente se utiliza una clasificación que constituye una combinación de los procesos de formación y del tamaño de las partículas, y las distingue en diversas “modas” (ver figura 1.3) que se conocen como moda de nucleación, Aitken, de acumulación y gruesa.

Principales características de las partículas ultrafinas, finas y gruesas.

	Tipo de partículas		
	Ultrafinas (PM _{0.1})	Finas (≤ PM _{2.5})	Gruesas (PM _{2.5} -PM ₁₀)
Proceso de formación	• Nucleación de gases atmosféricos, incluidos H₂SO₄, NH₃ y algunos compuestos orgánicos • Condensación de gases	• Condensación de gases • Coagulación de partículas pequeñas • Reacción de gases en o sobre las partículas • Evaporación de neblina y gotas de agua en las que los gases se han disuelto y reaccionado	• Procesos mecánicos (prensa-do, molienda, abrasión, rompimiento de sólidos/gotas) • Evaporación de aerosoles • Suspensión de polvos • Reacción de gases en o sobre partículas

Efectos a la salud por las Partículas

La exposición humana a contaminantes atmosféricos se encuentra determinada por múltiples factores, tales como fuentes específicas de los ambientes interiores y exteriores, movilidad, actividades de la población y características de las construcciones, entre otros.

La exposición personal a contaminantes atmosféricos generados en ambientes exteriores está influida en gran medida por patrones de tiempo-actividad de la población. El impacto de la calidad del aire intramuros sobre la exposición personal es significativo ya que la mayoría de la gente pasa aproximadamente el 80% de su tiempo en ambientes interiores, como ha sido demostrado consistentemente para las poblaciones urbanas y suburbanas en diversos países.

Los contaminantes atmosféricos tienen distinto potencial y capacidad para producir daños sobre la salud humana, dependiendo del tipo de contaminante de que se trate, de las propiedades físicas y químicas de sus componentes, la frecuencia, duración de exposición y su concentración, entre otros factores, los daños se van a mostrar de diferente forma en los grupos poblacionales que se encuentran expuestos, como se aprecia en la siguiente figura:



Figura 5-1 Efectos en la salud en función del grado de contaminación del aire

Fuente: Blagden, P., Henderson, D. 2008.

De manera general se establece que la capacidad de un contaminante para producir un efecto en la salud depende fundamentalmente de dos factores:

- 1) La magnitud de la exposición y,
- 2) La vulnerabilidad de las personas expuestas.

La magnitud de la exposición está en función de la concentración del contaminante en la atmósfera, de la duración de la exposición y de su frecuencia.

La vulnerabilidad de las personas expuestas es significativamente diferente, algunos grupos de población son más sensibles o vulnerables que otros a la contaminación del aire, que obedece a factores intrínsecos, como la genética, étnica, género y edad; y a factores adquiridos como las condiciones médicas, acceso a los servicios de salud y nutrición.

Un grupo que merece especial atención por su vulnerabilidad a los impactos de la contaminación atmosférica son los niños, debido principalmente a factores relacionados con su fisiología y desarrollo, así como por su conducta y condición social (CCA, 2002).

Los niños pasan más tiempo al aire libre e inhalan más aire por peso corporal que los adultos, lo que puede resultar en una exposición de mayor magnitud con respecto a otros grupos de población. Una vez expuestos, los niños tienen en general una menor capacidad comparada con los adultos para metabolizar, desintoxicar y excretar sustancias tóxicas. Se sabe que la vulnerabilidad de los niños puede ser mayor durante la etapa perinatal y hay evidencia que indica que los fetos pueden experimentar efectos más severos por la exposición in-útero a contaminantes ambientales que los que experimentan sus madres (SEMARNAT/INE. 2006).

La exposición se define como el contacto de un contaminante. Al respecto la exposición a los contaminantes se puede clasificar en aguda y crónica. La exposición aguda se presenta a concentraciones elevadas de contaminantes en corto tiempo, que logran ocasionar daños sistémicos al cuerpo humano. Los efectos atribuibles a la exposición aguda varían ampliamente. Algunos estudios señalan un incremento en la mortalidad debido a complicaciones respiratorias relacionadas con la exposición a partículas de diámetro pequeño, ozono y sulfatos; otros estudios informan acerca de enfermedades cardiovasculares, lo cual se considera como un efecto indirecto de la contaminación. La exposición aguda también se relaciona con enfermedades de vías respiratorias superiores e inferiores: bronquitis, neumonía, tos, entre otras.

Por otra parte la exposición crónica implica concentraciones bajas de contaminantes en largos periodos. Esta exposición a pesar de que sea a niveles bajos, puede afectar a las personas cuando se han ingerido medicamentos, alcohol, o se localizan a grandes altitudes. Los efectos a la salud son similares a los mencionados por una exposición aguda. Existen informes del incremento de la mortalidad en relación con exposición crónica, aunque en la mayoría de los casos se trata de adultos con problemas respiratorios y cardiovasculares degenerativos (*Borja, Cicero et al 2001*)

Los síntomas por exposición a la contaminación del aire se manifiestan principalmente en la disminución de la capacidad respiratoria, incremento en la frecuencia de enfermedades respiratorias crónicas y agudas, aumento de ataques de asma e incremento de casos de enfermedades cardíacas. Esto se debe a que los pulmones son el órgano de choque para todos los contaminantes del aire. Cuando las células de las vías aéreas del pulmón se inflaman, se reduce la habilidad del sistema respiratorio para combatir infecciones y eliminar partículas extrañas, lo que aumenta el riesgo en la salud de las personas que padecen, por ejemplo, asma, enfisema pulmonar o bronquitis crónica.

Aunque de manera tradicional se consideran más susceptibles a ciertos grupos de la población, como lo son los niños menores de 5 años o los adultos mayores, no se descarta la posibilidad de que cualquier individuo pueda ser afectado irreversiblemente. Además existen otros posibles factores como son: predisposición genética, estado nutricional, presencia y severidad de condiciones cardíacas y respiratorias, el uso de medicamentos y el hábito de fumar.

Es importante señalar que tanto en la exposición aguda como crónica a contaminantes del aire, la población está expuesta a una mezcla compleja de compuestos cuyo efecto combinado puede diferir de uno con respecto a otro por sí solo. En algunos estudios se ha comprobado que la mezcla de partículas PM10 y ozono es más tóxica que por sí solos, esto es, hay un efecto sinérgico.

A continuación se muestran los efectos de los contaminantes criterio (contaminantes conocidos como peligrosos para la salud humana) de los cuales a nivel internacional se reconocen seis (ozono, monóxido de carbono, partículas suspendidas totales y fracción respirable, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y plomo).

Normas Oficiales Mexicanas

NOM-043-SEMARNAT-1993

Norma Oficial Mexicana que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.

Tabla 1. Niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas

Flujo de gases m ³ /min	Zonas críticas mg/m ³	Resto del país mg/m ³
5	1536	2304
10	1148	1722
20	858	1287
30	724	1086
40	641	962
50	584	876
60	541	811
80	479	719
100	437	655
200	326	489
500	222	333
800	182	273
1000	166	249
3000	105	157
5000	84	127
8000	69	104
10000	63	95
20000	47	71
30000	40	60
50000	32	48

Valores Normados para los Contaminantes del aire en México.

Contaminante	Valores límite			Normas Oficiales Mexicanas
	Exposición aguda		Exposición crónica	
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable	(Para protección de la salud de la población susceptible)	
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 horas) (12595 µg/m ³)	1 vez al año	-	NOM-021-SSA1- 1993 ^a
Bióxido de azufre (SO ₂)	0.13 ppm (24 horas) (341 µg/m ³)	1 vez al año	0.03 ppm (media aritmética anual)	NOM-022-SSA1- 1993 ^a
Bióxido de nitrógeno (NO ₂)	0.21 ppm (1 hora) (395 µg/m ³)	1 vez al año	-	NOM-023-SSA1- 1993 ^a

Ozono (O ₃)	0.11 ppm (1 hora) (216 µg/m ³)	No se permite	-	Modificación a la NOM-020-SSA1- 1993 ^b
	0.08 ppm (8 horas) ^d	4 veces al año	-	
Partículas suspendidas totales PST	210 µg/m ³ (24 horas) ^e	2% de mediciones al año	-	Modificación a la NOM-025-SSA1- 1993 ^c
Partículas menores de 10 micrómetros PM ₁₀	120 µg/m ³ (24 horas) ^e	2% de mediciones al año de 24 horas al año	50 µg/m ³ (promedio aritmético anual) ^f	
Partículas menores de 2.5 micrómetros PM _{2.5}	65 µg/m ³ (24 horas) ^e	2% de mediciones al año	15 µg/m ³ (promedio aritmético anual) ^f	
Plomo (Pb)	-	-	1.5 mg/m ³ (promedio aritmético en 3 meses)	NOM-026-SSA1- 1993 ^a

http://www.ine.gob.mx/dgicur/calair/val_normados.html. Última Actualización: 20 de Junio de 2008 - (01:10p.m.).

IV MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales empleados para el desarrollo del presente trabajo fueron los siguientes:

- ✓ Software Matemático MATLAB,
- ✓ Distribución Gaussiana y,
- ✓ Se tomaron las lecturas de las estaciones de monitoreo de la Zona Metropolitana de la Laguna.

El periodo en el que se realizó el trabajo fue en 6 meses recabando información de las diferentes estaciones de monitoreo. En el cual se tomo en cuenta a partir del año 1999 como base para medir los contaminantes atmosféricos hasta el año 2005.

Las estaciones automáticas que conforman el sistema de monitoreo atmosférico de la Zona Metropolitana de la Laguna y los contaminantes que monitorean se presentan en la tabla 3.1; mientras que las estaciones de la red manual, en la tabla 3.2.

Tabla 3.1 Estaciones automáticas y móviles presentes en la Zona Metropolitana de la Laguna

Clave	Estación	Municipio
NUGP	Gómez Palacio	Gómez Palacio
SAGARPA	SAGARPA	Lerdo
CCJRM	Centro Cultural José R. Mijares	Torreón
CONALEP	CONALEP	Torreón
CEMA 1	Móvil CEMA 1	Torreón
CEMA 2	Móvil CEMA 2	Torreón

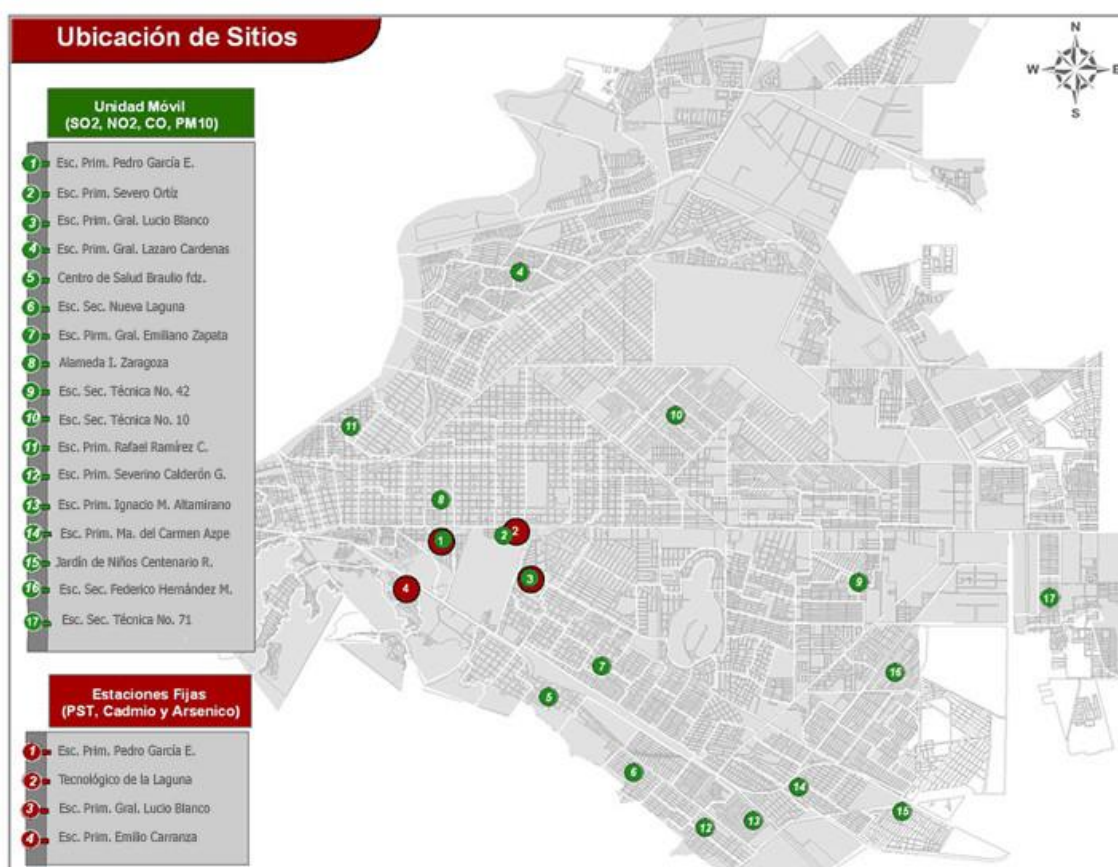
Fuente: ProAire Comarca Lagunera 2010-2015; Gobierno de Municipio de Torreón.

Tabla 3.2 Estaciones de la red manual presentes en la Zona Metropolitana de la Laguna

Clave	Estación	Municipio
GP	Gómez Palacio	Gómez Palacio
LE	LE	Lerdo
CCJRM	Centro Cultural José R. Mijares	Torreón
IDP	Iglesia de la Divina Providencia	Torreón
SEC2	Esc. Sec. Gral. N°2	Torreón
DIF	DIF Torreón	Torreón
SEC3	Esc. Sec. Gral. N°3	Torreón

Fuente: ProAire Comarca Lagunera 2010-2015

Plano de ubicación de los puntos de monitoreo en la zona urbana de la ciudad de Torreón, donde se observa la ubicación de las unidades móviles y fijas.



V RESULTADOS

En el 2006, la SEMARNAT integró el inventario de emisiones de los estados de Coahuila y Durango como parte de la elaboración del Inventario Nacional de Emisiones año base 1999, a partir del cual **se obtuvo una emisión de 145,831.6 toneladas de contaminantes al año en la Zona Metropolitana de la Laguna.**

A continuación se presenta de manera puntual las emisiones de contaminantes reportados para cada uno de los municipios que integran la zona de estudio.

Tabla 3.11 Emisiones totales para los municipios de la Zona Metropolitana de la Laguna, 1999

Municipio	Contaminante (toneladas/año)					
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	NO _x	CO	COV
Matamoros	131.0	122.7	100.9	825.6	2,623.0	1,309.0
Torreón	1,193.0	821.9	4,647.1	6,558.1	40,245.5	13,011.6
Gómez Palacio	1,715.0	1,206.4	20,522.7	6,270.5	14,481.3	8,797.7
Lerdo	139.4	125.2	211.2	969.6	4,899.7	2,339.1
Total ZML	3,178.4	2,276.2	25,481.9	14,623.8	62,249.5	25,457.4

Fuente: INE (2006)

Dentro de los trabajos de actualización y seguimiento al Subsistema del Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera de México (SINEA), la SEMARNAT integró el inventario de emisiones de la Zona Metropolitana de la Laguna correspondiente al año base 2005.

Dicho inventario se tomó como base para la elaboración del programa denominado ProAire Laguna 2010-2015. **Las emisiones generadas por tipo de fuente en la Zona Metropolitana de la Laguna comprenden las 334,922 toneladas al año (sin considerar las PM_{2.5}).**

En la tabla 3.12 se presenta el resumen por tipo de fuente según contaminante.

Tabla 3.12 Inventario de emisiones de la Zona Metropolitana de la Laguna, 2005

Fuente	Contaminante (toneladas/año)					
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	NO _x	CO	COV
Fijas	3,204	1,420	27,378	8,213	2,512	259
Área	1,499	546	6,178	2,403	939	16,229
MNC	41	10	18	449	219	50
Móviles	118	86	284	7,746	217,621	19,459
Naturales	NE	NE	NE	3,010	NE	8,281
Total	4,863	2,062	33,859	21,821	221,291	44,278

NE = no estimado; NA = no aplica
Fuente: ProAire Laguna 2010-2015

Es importante recalcar que debido a la naturaleza del ejercicio no es posible mostrar a gran detalle la información del inventario de emisiones, por lo tanto se recomienda consultar la página del SINEA o el capítulo 4 del ProAire Comarca Lagunera. Por lo tanto las tablas presentadas solo resumen las emisiones contaminantes de la región y en punto 6.2 se retoman con el propósito de estimar la reducción de las emisiones totales y presentar su variación en el periodo de tiempo que comprende el presente informe de evaluación.

VI CONCLUSIÓN

Como resultado del análisis de las emisiones a la atmósfera en la Comarca Lagunera, se observó un incremento en las emisiones de contaminantes durante el periodo evaluado de 1999 a 2005, los incrementos de contaminantes se dieron principalmente en los siguientes compuestos: Partículas de diámetro 10 micras, (PM_{10}), Ozono (O_3), Bióxido de Azufre (SO_2), Óxidos Nitrosos (NO_2), y Monóxido de Carbono (CO) en un porcentaje de más del 50%. Con este resultado podemos observar que dichas emisiones rebasan los límites máximos permisibles de las normas de cada contaminante. No obstante, se observa que en los años 2010 y 2011 las partículas suspendidas totales fueron el principal problema de calidad del aire en la Comarca Lagunera.

VII LITERATURA CITADA

Alfaro, et al 2003. *"Manual de la Calidad del Aire. Ministerio de Salud Pública, Cuba"*.

Arango., B. d. I. R. B. v. L. Á. (2002.). *"Curso Básico de Toxicología Ambiental. Centro Panamericano de Ecología y Salud"*.

Bell et al., R. y. A., 2005; Rojas y Garibay, 2003; Rosales, Torres, and Fernández y Borja (2006).

Blagden, P., Henderson, D. 2008. *New Concepts in Air Quality Indices-Linkage to Health Effects. Environmental Canada. Meteorological Service of Canada. Upwind Downwind Conference, Hamilton, March 30.*

Borja, Cicero et al 2001." *Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques, John Wiley and Sons, New York.*

Coulliette C, et al 2007." *Ecología, Contaminación, Medio Ambiente. México.*

CMNUCC, *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático 1992*

Clasificación de partículas.pdf

CCA, *Consejo de la Calidad del Aire 2002.*

Donahue NM, et al 2006. *"La Contaminación Atmosférica Urbana. OMS"*

Donald, et al., 2000." Serie Salud Ambiental. Contaminación del aire y salud. Instituto de higiene, Epidemiología y Microbiología. Cuba".

EPA , Environmental Protection Agency (2010).

F, P. (1961). " The estimation of the dispersion of windborne material .Meteor. Mag. 90, ." 33-49. .

Facusse, 1961." Criteria to Identify Chemical Candidates for Sunsetting in the Great Lakes Basin. Washington, DC: Universidad George Washington.

Fox, D. F., J, B Glenn. 1993. (1993). " Air pollution. Anal chem 65:156R- 170R." Criteria to Identify Chemical Candidates for Sunsetting in the Great Lakes Basin. Washington, DC: Universidad George Washington. .

<http://sinea.semarnat.gob.mx/sinae.php?process=UkVQT1JURUFET1I=&categ=0>.

http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/Documents/Calidad%20del%20aire/Proaires/ProAires_Vigentes/9_ProAire%20Comarca%20Lagunera%202010-2015.pdf.

IDEAM and (2001). "Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. Atlas Climatológico de Colombia. Primera parte, Factores Locales."

INE. (2004). "Segundo Almanaque de la Calidad del Aire en Seis Ciudades Mexicanas. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F. ."

INE, Instituto Nacional de Ecología (2006)

INEGI. (2009). "Perspectiva Estadística: Coahuila de Zaragoza. ."

INEGEI, Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2002.

INEGEI 2002, SEMARNAT

*J.A., E. A. V. y. L. (2004). "Dispersión Atmosférica de contaminantes en la Atmósfera. Alfaomega." **Grupo Editor. Valencia, España.**: 218 pp. .*

Lunge (1963)." Introducción al Monitoreo Atmosférico. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. México. 211pp.

Norma Oficial Mexicana NOM-043-SEMARNAT-1993.pdf

Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993.pdf

Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993.pdf

Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-1993.pdf

Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1993.pdf

Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993.pdf

Norma Oficial Mexicana NOM-026-SSA1-1993.pdf

ProAire Laguna 2010-2015

Red Estatal de Monitoreo Atmosférico de Durango (2012).

Robinson (1970)." Construcción y aplicación de trayectorias de retroceso de Parcelas de aire al estudio de la contaminación atmosférica por ozono"

Robinson et (1970). Construcción y aplicación de trayectorias de retroceso de Parcelas de aire al estudio de la contaminación atmosférica por ozono"

SEMARNAT/INE. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales / Instituto Nacional de Ecología 2006.

Seinfeld, J. H. (1988). "—Urban Air Pollution: State of the Scienciell, Science." 243 (2), 745–752. .

Seinfeld, J. H. (1988). " —Ozone Air Quality Models: A Critical Reviewll, J. Airi Poll. Contr. Assoc. ." 38(5), 616–645. .

SEMAC, Secretaría de Ecología y Medio Ambiente del estado de Coahuila (2010).

Teresa., A. T. and (1983). " Introducción a la Observación Meteorológica. Editorial " Limusa, México.

Torres, J. R. (1991). "Construcción y aplicación de trayectorias de retroceso de." 90 la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Tesis Maestría, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, D. F. .

Pankow, JF 1994 "Composición de la Atmósfera"

Programa Especial de Cambio Climático 2008-2012, versión para consulta pública (http://www.semarnat.gob.mx/queessesemarnat/consultaspublicas/Documents/pecc/PECC_VCP.pdf)

Qué es el cambio climático. Página Web de la SEMARNAT (http://www.semarnat.gob.mx/queessesemarnat/politica_ambiental/cambioclimatico/Pages/cambioclimatico.aspx)

Webster (1994). *"Webster's New Encyclopedic Dictionary. Colonia, Könnemann."* 91