

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**



Determinación del incremento en la atmósfera del contaminante dióxido de azufre por actividades antropogénicas en la comarca lagunera de Durango.

Por:

**ALEXIS MADARIAGA ROQUE**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

Torreón, Coahuila, México  
NOVIEMBRE 2018

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**

Determinación del incremento en la atmósfera del contaminante dióxido de azufre por actividades antropogénicas en la comarca lagunera de Durango.

Por:

**ALEXIS MADARIAGA ROQUE**

**TESIS**

**Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**


  
\_\_\_\_\_  
ING. JOEL LIMONES AVITIA  
Presidente

Aprobada por:

  
\_\_\_\_\_  
M.C. EDUARDO ARÓN FLORES HERNÁNDEZ  
Vocal

  
\_\_\_\_\_  
M.C. MELISA C. HERMOSILLO ALBA  
Vocal

  
\_\_\_\_\_  
M.C. EDGARDO CERVANTES ALVAREZ  
Vocal Suplente

  
\_\_\_\_\_  
M.E. JAVIER LÓPEZ HERNÁNDEZ  
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México  
NOVIEMBRE 2018

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**

Determinación del incremento en la atmósfera del contaminante dióxido de azufre por actividades antropogénicas en la comarca lagunera de Durango.

Por:

**ALEXIS MADARIAGA ROQUE**

**TESIS**

Presentada como requisito parcial para obtener el título del:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**Aprobada por el Comité de Asesoría:**



ING. JOEL LIMONES AVITIA  
Asesor Principal Interno



M.C. EDUARDO ARÓN FLORES HERNANDEZ  
Asesor Principal Externo



M.C. MELISA C. HERMOSILLO ALBA  
Coasesor



M.C. EDGARDO CERVANTES ALVAREZ  
Coasesor



M.E. JAVIER LÓPEZ HERNÁNDEZ  
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México  
NOVIEMBRE 2018

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios**, gracias mi dios por llenarme siempre de bendiciones y poder disfrutar de esta maravillosa experiencia por la cual me encuentro en este momento, nunca dejare de agradecerte lo adorable que eres y tener la dicha que solo tú me puedes dar, que es tener tu apoyo incondicionalmente así como de la hermosa familia que me has dado.

**A mi asesor principal**, Ingeniero Joel Limones Avitia por otorgarme la dicha de ser parte de este proyecto de investigación, enriqueciéndome de sus conocimientos y el apoyo incondicional que me brindo.

**Al Ingeniero Cesar Ramírez**, Quien me otorgo su apoyo en la obtención de datos que requería para que se llevara a cabo este proyecto de investigación.

**A mis asesores**, M.C. Eduardo Aron Flores Hernández, M.C. Melisa Hermosillo Alba y M.C. Edgardo Cervantes Álvarez por su destacada colaboración y apoyo en esta investigación.

## **DEDICATORIAS**

### **A Mis Padres**

Esgar Madariaga Durante y Leticia Roque García, las personas que les debo todo, quienes han estado en los mejores y peores momentos de mi vida, apoyándome y motivándome a seguir adelante, esta investigación se lo dedico a ustedes, le agradezco a dios por bendecirme y darme la dicha de tenerlos como padres, y aunque ya no te estés con nosotros mamita sé que desde el cielo estarás feliz por este logro en mi vida.

### **A Mis Hermanos**

A ustedes quienes nunca han dejado de creer en mí y que siempre me apoyan en todo momento. A ti hermano Esgar porque me has dado muchos consejos los cuales me han convertido en mejor persona. Y como no mencionarte Ronaldo mi compañero de vida con quien he compartido una de las mejores etapas.

### **A Mi Familia**

A mi abuelita Marien la que me ha enseñado todo lo bueno de la vida, y que día a día con sus oraciones me llena de fortalezas para seguir adelante, a mis primas Carolina y Marien que son parte fundamental de mis logros, a mi tía Yoli, mi tía Mayi y mi tío Leo, quienes me han apoyado en todo momento.

### **A Mi Esposa**

Alicia García Moreno, tú que me has motivado y apoyado, dándome fuerzas para seguir adelante diciéndome que todo se puede y que tengo que cumplir mis metas que no hay imposibles, has caminado junto a mí en cada etapa importante de mi vida, siendo tú el motor que me impulsa día con día.

### **A Mi Cuñada**

Azucena Estefanía, gracias por ser buena amiga, apoyándome en momentos difíciles, por la confianza que me has brindado y tus buenos deseos.

## INDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>i</b>
<b>DEDICATORIAS</b> .....	<b>ii</b>
<b>INDICE</b> .....	<b>iii</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>v</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>vi</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>vii</b>
<b>I INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II OBJETIVO</b> .....	<b>4</b>
2.1 Objetivo general: .....	4
2.2 Objetivo específico: .....	4
<b>III REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>5</b>
3.1 Atmosfera y Aire .....	5
3.1.1 Composición de la Atmosfera .....	6
3.1.2 Función de la atmósfera.....	7
3.1.3 Contaminación atmosférica. ....	7
3.1.4 Sustancias que contaminan la atmosfera.....	8
3.2 Calidad del aire .....	9
3.3 Contaminación del aire .....	9
3.3.1 Fuentes de contaminantes .....	9
3.4 Contaminantes naturales y antropogénicos.....	10
3.5 Tipos de fuentes de emisión antropogénicas.....	11
3.5.1 Fuentes fijas .....	11
3.5.2 Fuentes móviles .....	12
3.5.3 Fuentes de tipo área (multi-fuentes).....	12
3.6 Contaminación Primaria y Secundaria. ....	12
3.7 Cambio Climático.....	13
3.8 Calentamiento Global .....	14
3.9 Efecto Invernadero.....	15
3.10 Dióxido de Azufre.....	18
3.10.1 Influencia del SO <sub>2</sub> en el clima .....	19
3.10.2 Evolución del contaminante Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ).....	21
3.10.3 Efectos del SO <sub>2</sub> en la salud .....	22

3.10.4 Enfermedades respiratorias asociadas a la contaminación.....	24
3.10.5 Norma de Calidad Primaria del Aire para Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ) .....	25
<b>IV. MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>26</b>
4.1 Localización del sitio experimental .....	26
4.2 Equipo de monitoreo.....	28
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>29</b>
<b>VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>35</b>
6.1.- CONCLUSIONES .....	35
6.2.- RECOMEDACIONES .....	36
<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>37</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de calidad del aire para SO <sub>2</sub> (SEMARNAT, 2013). .....	24
Tabla 2.- Datos obtenidos del contaminante dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) correspondiente al mes de Enero 2016. Caseta de monitoreo ambiental ubicada en Gómez Palacio Durango, colonia el campestre. ....	29
Tabla 3.- Datos obtenidos del contaminante dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) correspondiente al mes de Enero 2017. Caseta de monitoreo ambiental ubicada en Gómez Palacio, Durango. Colonia el Campestre. ....	31



## **INDICE DE FIGURAS**

<b>Ilustración 1. Emisión de contaminantes (SEMARNAT, 2013).....</b>	<b>11</b>
<b>Ilustración 2. Descripción de los principales contaminantes atmosféricos químicos y sus fuentes.....</b>	<b>22</b>

## RESUMEN

Se entiende por contaminación atmosférica la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza. Desde sus orígenes el ser humano ha emitido contaminantes al aire, pero esto se incrementó de manera dramática a partir de la Revolución Industrial. La contaminación atmosférica se ha venido generando como consecuencia de las actividades humanas, en gran medida aquellas que involucran la quema de combustible. El resultado de estas actividades es la emisión de gases o partículas contaminantes que pueden afectar a la salud humana y a los ecosistemas. El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) es un gas tóxico que se produce de la quema de sustancias que contienen azufre como los combustibles derivados del petróleo, el carbón y la madera. El dióxido de azufre se asocia a problemas de asma y bronquitis crónica, aumentando la morbilidad y mortalidad en personas mayores y niños. En este estudio se aplicó la metodología cuantitativa no experimental, con una confiabilidad aproximada del 90%, lo anterior aplicando el método estadístico obteniendo la media, mediana, moda y la varianza, se realizaron gráficas con los datos obtenidos. Los resultados evaluados en las casetas de monitoreo mostraron una disminución del contaminante dióxido de azufre  $\text{SO}_2$  al ser comparado entre el mes de Enero del 2016 y Enero del 2017. La disminución fue de 0.11 ppm, a pesar que el resultado de las medias de ambos meses indican valores por encima de los Límites máximos permisibles (LMP 0.13 ppm).

**Palabras clave:** Atmosfera, calidad del aire, contaminación, gases,  $\text{SO}_2$ .

## I INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es un problema en las grandes ciudades y en las zonas con actividades industriales, ya que es en estos lugares se liberan grandes cantidades de contaminantes a la atmósfera. Precisamente estos contaminantes son los que nos causan molestias en los ojos, piel y vías respiratorias y forman esas “brumas” que en las grandes ciudades nos impiden ver los cerros y volcanes que la rodean. Desde sus orígenes el ser humano ha emitido contaminantes al aire, pero esto se incrementó de manera dramática a partir de la Revolución Industrial iniciada en el Reino Unido a finales del siglo XVII. En esa época, el trabajo manual fue reemplazado por maquinaria, básicamente por la introducción de tecnologías que empleaban el vapor y que hacían posible tener altos niveles de producción. Además de los beneficios de la Revolución Industrial también se incrementó el uso de combustibles, tal como el carbón mineral y el petróleo, indispensables para el funcionamiento de la nueva maquinaria, y que al consumirse emitían grandes cantidades de contaminantes a la atmósfera (SEMARNAT, 2015).

En la década de los setenta se realizaron algunos esfuerzos aislados para medir los niveles de contaminación y se crearon las primeras instituciones y leyes ambientales (Instituto Nacional de Ecología, 2015).

Entre los diversos problemas ambientales causados por la intervención del hombre sobre la naturaleza, uno de los más significativos y extendidos a lo largo de todo el planeta, es la contaminación atmosférica. Actualmente más del 90 % de la contaminación atmosférica se debe a una pequeña cantidad de

contaminantes, denominados primarios y producidos fundamentalmente por el consumo de combustibles fósiles como el petróleo, gas natural y carbón. A su vez más del 50 % de toda la contaminación atmosférica se debe al uso de combustibles para el transporte automotor. Los contaminantes considerados primarios son: Monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>), óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>), hidrocarburos (HC), material particulado (PM) (Andrés *et al.*, 2000).

El resultado de estas actividades es la emisión de gases o partículas contaminantes que pueden afectar a la salud humana y a los ecosistemas. La diversidad de los efectos depende de factores tales como la concentración y las características del contaminante, además de la susceptibilidad del individuo expuesto y el tiempo de exposición (Instituto Nacional de Ecología, 2015).

La contaminación del aire interior abarca un numeroso grupo de agentes contaminantes físicos, químicos y biológicos, así como problemas de salud potencialmente relacionados. Diversos estudios han señalado que los habitantes de los países industrializados pasan aproximadamente el 90 por ciento de su tiempo en interiores. Actualmente se le atribuye a la exposición a los contaminantes del aire en interiores un impacto muy superior, tanto en la morbilidad como en la mortalidad de la población mundial, a la relacionada con la contaminación del aire en exteriores, aunque los problemas predominantes en cada región dependen de aspectos climáticos, socioeconómicos y culturales, sobre todo en los países subdesarrollados y principalmente en las zonas rurales, en tanto que en los países desarrollados este problema resulta más frecuente en las barriadas marginales de las zonas urbanas (Molina y Valdés, 2006).

El Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) se genera tanto de fuentes naturales como antropogénicas, de éstas, la mayor contribución proviene de la combustión de energéticos que contienen azufre. Los efectos principales del (SO<sub>2</sub>) han sido ampliamente descritos como dañinos para la salud humana, así como para la vegetación y los materiales. Así mismo, la presencia de SO<sub>2</sub> contribuye a la precipitación ácida, ya que es hidrosoluble y da lugar a ácidos, lo que le confiere características potencialmente dañinas (Nava *et al.*, 2003).

Aunque los niveles actuales de contaminación atmosférica en los países del mundo occidental pueden, en general, considerarse moderados, la preocupación acerca de sus posibles efectos en la salud de las personas persiste. Por un lado, en los últimos años un número importante de estudios realizados en distintas ciudades ha encontrado que, aún por debajo de los niveles de calidad del aire considerados como seguros, los incrementos de los niveles de la contaminación atmosférica se asocian con efectos nocivos sobre la salud. Por otro lado, aumenta la preocupación sobre los posibles riesgos de agentes para los que no existe una evaluación satisfactoria. Importantes sectores de la población se encuentran expuestos a contaminantes atmosféricos con posibles repercusiones negativas sobre su salud (Ballester *et al.*, 1999).

## **II OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo general:**

Comprobar si se ha tenido un aumento en la formación y concentración del contaminante denominado Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ) en la atmosfera de la comarca Lagunera, debido al aumento de las operaciones industriales, así como el aumento del parque vehicular en el área.

### **2.2 Objetivo específico:**

Determinar si existe aumento del contaminante denominado Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ), en la atmosfera, comparando su concentración entre el mes de Enero del año 2016 y el mes de Enero del año 2017.

### III REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Atmosfera y Aire

Se llama atmósfera a la envoltura gaseosa que rodea a la tierra, mientras que el aire es una porción limitada de ella. Sin embargo los estudios ambientales es común que estos dos términos se usen indistintamente. A pesar de que su composición es relativamente estable, la atmósfera está en equilibrio dinámico debido a la acción que ejercen sobre ella los seres vivos, así como a los diversos fenómenos fotoquímicos. El aire atmosférico es una mezcla de gases que, al parecer, ha evolucionado durante más de miles de millones de años, hasta llegar a su composición actual. Sus componentes naturales más importantes son: nitrógeno, oxígeno, argón, dióxido de carbono, otros gases inertes y vapor de agua, el cual varía de acuerdo con el lugar y sus condiciones. Los componentes del aire son esenciales para mantener los diferentes procesos biológicos, físicos y químicos que son necesarios para la vida en el planeta (Rodríguez, 1997).

La atmósfera, esa capa gaseosa que no vemos pero que nos rodea. A diferencia de los procesos geológicos, que ocurren con lentitud, la atmósfera de la tierra se transforma constantemente, a veces, incluso, en cuestión de minutos. Estos cambios afectan directamente nuestra salud y bienestar. Es muy lógico que hayamos desarrollado la meteorología. Pero el tiempo atmosférico depende de muchos factores que lo hacen distinto de un lugar a otro. Aunque el tiempo puntual, en un momento dado, pueda ser parecido en dos lugares de la tierra (por ejemplo, una tormenta), a lo largo del tiempo cada zona tiene su clima, determinado por sus "estadísticas del tiempo". Llamamos atmósfera a una mezcla de varios gases que rodea cualquier objeto celeste, la combinación de

los gases que conforman la atmósfera permite la vida sobre la Tierra. (Universidad Nacional del Litoral de Argentina, 2012).

### **3.1.1 Composición de la Atmósfera**

Los gases fundamentales que forman la atmósfera son: Nitrógeno (78.084%), Oxígeno (20.946%), Argón (0.934%) y Dióxido de Carbono (0.033%). Otros gases de interés presentes en la atmósfera son el vapor de agua, el ozono y diferentes óxidos. También hay partículas de polvo en suspensión como, por ejemplo, partículas inorgánicas, pequeños organismos o restos de ellos y sal marina. Estas partículas pueden servir de núcleos de condensación en la formación de nieblas muy contaminantes. Los volcanes y la actividad humana son responsables de la emisión a la atmósfera de diferentes gases y partículas contaminantes que tienen una gran influencia en los cambios climáticos y en el funcionamiento de los geosistemas. El aire se encuentra concentrado cerca de la superficie, comprimido por la atracción de la gravedad y, conforme aumenta la altura, la densidad de la atmósfera disminuye con gran rapidez. (Universidad Nacional del Litoral de Argentina, 2012).

Dado que los gases de la atmósfera están sujetos a la atracción gravitacional de la tierra, la mayor densidad de gases se concentra cerca de la superficie terrestre, en los primeros 50 km, en donde podemos distinguir dos capas. La tropósfera, que tiene unos 10 km en promedio de espesor y que tiene más o menos el 75% del total de la masa de la atmósfera; y la estratósfera, que llega hasta los 50 km de altura y tiene un 24% de la masa total de la atmósfera (juntos tropósfera y estratósfera concentran el 99% de la masa total de la atmósfera). La estratósfera es una capa importante porque en ella reside la capa de ozono que filtra la luz ultravioleta (Caballero *et al.*, 2007).



### **3.1.2 Función de la atmósfera**

La función fundamental de la atmósfera es la de actuar como una capa protectora de la tierra contra cierto tipo de radiaciones solares, tales como los ultravioletas que resultan nocivos para los seres humanos. Pero también, amortigua las variaciones de temperatura, sin esta protección serían muy altas durante el día y muy bajas en la noche. Por otra parte, la atmósfera frena la caída de los meteoritos ya que, algunos de éstos, al atravesar las capas de aire, se desintegran por la fricción con los gases. La capa exterior de la Tierra es gaseosa, de composición y densidad muy distintas de las capas sólidas y líquidas que tiene debajo. Pero es la zona en la que se desarrolla la vida y, además, tiene una importancia trascendental en los procesos de erosión que son los que han formado el paisaje actual. Los cambios que se producen en la atmósfera contribuyen decisivamente en los procesos de formación y sustento de los seres vivos y determinan el clima (Universidad Nacional del Litoral de Argentina, 2012).

### **3.1.3 Contaminación atmosférica.**

Se entiende por contaminación atmosférica la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza. Siempre ha existido contaminación atmosférica de origen natural, por erupciones volcánicas, incendios, tormentas de arena, descomposición de la materia orgánica o polen, pero es a partir del descubrimiento del fuego por el hombre cuando aparece la contaminación atmosférica antropogénica contaminación atmosférica en sentido estricto, la cual ha cobrado importancia, sobre todo, a partir de la revolución industrial y el uso masivo de combustibles fósiles como fuente de energía.

Aunque se puede originar contaminación atmosférica por escapes o arrastres de gases u otro material volátil, almacenado o utilizado de diversas formas, la principal fuente de contaminación son los procesos que implican combustión, al producirse la oxidación de los distintos elementos que componen los combustibles, las materias primas y el aire. Las fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos de origen antropogénico pueden ser puntuales, generalmente fijas y de gran caudal de emisión, como es el caso de las grandes factorías aisladas de otras instalaciones industriales, o pueden ser zonales, es decir, una mezcla de fuentes fijas y móviles de diferente entidad y agrupadas en el espacio, donde vienen a coincidir también con la población que sufre los efectos de la contaminación (Aránguez *et al.*, 1999).

#### **3.1.4 Sustancias que contaminan la atmosfera**

Los contaminantes atmosféricos son tan numerosos que resulta difícil agruparlos para su estudio. Siguiendo una agrupación bastante frecuente los incluiremos en los siguientes grupos:

- Óxidos de carbono
- Óxidos de azufre
- Óxidos de nitrógeno
- Compuestos orgánicos volátiles
- Partículas y aerosoles
- Oxidantes
- Sustancias radiactivas
- Calor
- Ruido
- Otros contaminantes

**Óxidos de carbono:**

Incluyen el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el monóxido de carbono (CO). Los dos son contaminantes primarios.

**Óxidos de Azufre:**

Incluyen el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y el trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>).

**Óxidos de nitrógeno:**

Incluyen el óxido nítrico (NO), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). NO<sub>x</sub> (conjunto de NO y NO<sub>2</sub>) (Echarri, 2007).

**3.2 Calidad del aire**

La gestión de la calidad del aire requiere información de diversos tipos, destacando la que se refiere a la identificación de los principales generadores de emisiones, del volumen y composición de éstas, así como de la concentración de los contaminantes en la atmósfera. Esta información, que es la base de los programas tendientes a mejorar la calidad del aire, proviene principalmente de los inventarios de emisiones y de las redes de monitoreo (SEMARNAT, 2012).

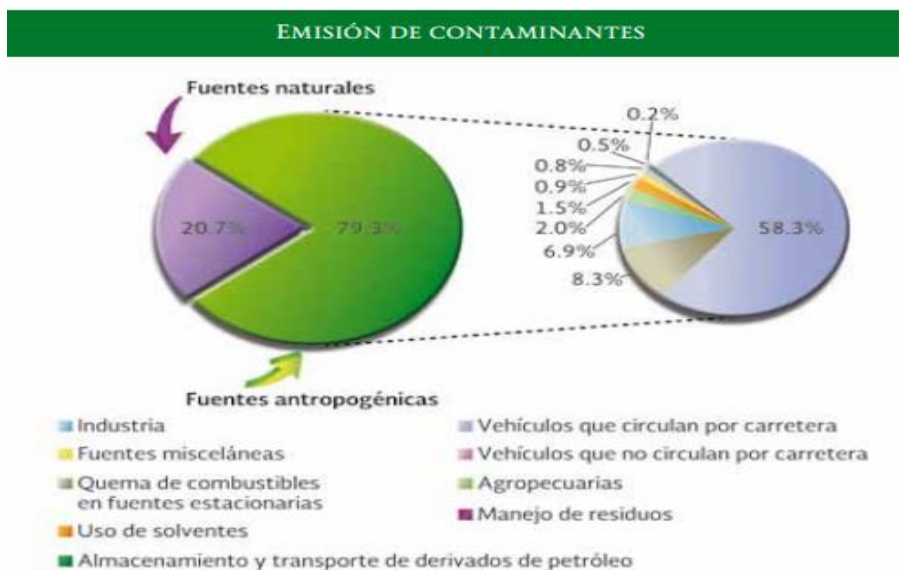
**3.3 Contaminación del aire****3.3.1 Fuentes de contaminantes.**

En la enumeración de las fuentes de contaminación de carácter regional no sólo se incluyen los productos de la tecnología, sino también los elementos de origen natural que son agentes de contaminación directos (por ejemplo: aeroalergenos o bacterias productoras de enfermedades), o bien actúan entre sí con otras emisiones contaminadoras que alteran sus características, es necesario considerar las emisiones resultantes de las prácticas agrícolas y no debe pasarse por alto la tendencia a la descentralización industrial, que esparce

agentes de emisión de la contaminación fuera de las zonas habitadas hasta lugares situados a 100 km o más de los núcleos urbanos. El empleo de un producto puede dar lugar a una contaminación por evaporación (por ejemplo: pinturas y disolventes), o por desgastes (ejemplo: neumáticos). Las industrias de fundición, productos químicos, construcción, papel y muchas otras, contribuyen a cargar la atmósfera con elementos contaminantes, pero las emisiones más importantes, son las que proceden de procesos directos de conversión de energía, cuando se queman carburantes para el transporte, para la producción de energía eléctrica y para la calefacción. Es imposible hacer una enumeración completa de los materiales emitidos, pero entre ellos hay partículas grandes y pequeñas, aerosoles, gases, mezclas de sulfuro, nitrógeno y carbono, materias halógenas y radioactivas (SEMARNAT, 2012).

### **3.4 Contaminantes naturales y antropogénicos**

Los contaminantes presentes en la atmósfera, proceden de dos tipos de fuentes emisoras bien diferenciadas: la naturaleza y las antropogénicas. Los contaminantes emitidos por las fuentes del primer tipo tienen su origen en procesos naturales, mientras que los emitidos por el segundo tipo de fuentes provienen de las actividades humanas. Los principales focos naturales son: los volcanes que emiten grandes cantidades de partículas y gases, los incendios forestales y la descomposición de la materia orgánica en el suelo y en los océanos (Carnicer, 2006).



**Ilustración 1. Emisión de contaminantes (SEMARNAT, 2013).**

### 3.5 Tipos de fuentes de emisión antropogénicas

Las actividades industriales, el uso de automóviles y otros medios de transporte, los diferentes procesos de manufactura y la combustión basura entre otros procesos antropogénicos, producen diversas sustancias que pueden ser contaminantes del aire, incluyendo gases humo. Estas fuentes se han clasificado en fijas y móviles. (Rodríguez, 1997).

#### 3.5.1 Fuentes fijas

En las zonas alejadas de las ciudades, entre las principales fuentes fijas de contaminantes atmosféricos están las minas, las refinерías y las centrales hidroeléctricas, termoeléctricas y nucleoeeléctricas. En las ciudades, en cambio, las fuentes fijas son, sobre todo, aquellos sitios en los que se efectúan procesos industriales, por ejemplo, las fábricas de pinturas y disolventes, los almacenes y las distribuidoras de gasolina, o los establecimientos comerciales, cuyas emisiones sean contaminantes reales o potenciales. (Rodríguez, 1997).

### **3.5.2 Fuentes móviles**

En los últimos años el automóvil ha aparecido de forma masiva en las ciudades, contribuyendo a incrementar los problemas de contaminación atmosférica como consecuencia de la emisión de gases de escape. Los principales contaminantes emitidos por los vehículos son: monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, inquemados, partículas y compuestos de plomo. Las emisiones de un vehículo dependen del tipo de motor que utilice, de la cilindrada, y de las condiciones de uso (Carnicer, 2006).

### **3.5.3 Fuentes de tipo área (multi-fuentes)**

A este tipo de fuentes corresponden las zonas industriales y/o las áreas urbanas. Se caracterizan porque en ellas existen focos de emisión de los tipos antes considerados e incluyen las calefacciones domésticas. Las calefacciones domésticas son una de las principales fuentes de contaminación en las grandes áreas urbanas. Su contribución al problema de la contaminación atmosférica en estas áreas puede alcanzar entre un 20 y un 30% de las emisiones totales. Las emisiones dependen del número de focos individuales que existan, del tamaño de estos y del tipo y calidad de los combustibles utilizados. El saneamiento de las fuentes del tipo área (multifuentes) es una tarea muy compleja por la gran cantidad y diversidad de focos implicados (Carnicer, 2006).

### **3.6 Contaminación Primaria y Secundaria.**

Resulta muy útil diferenciar los contaminantes en dos grandes grupos con el criterio de si han sido emitidos desde fuentes conocidas o se han formado en la atmósfera. Así tenemos:

- Contaminantes primarios: aquellos procedentes directamente de las fuentes de emisión (Acosta, 2017).
  - ✓ Partículas
  - ✓ Contaminantes azufrados (principalmente  $\text{SO}_2$ )
  - ✓ Compuestos inorgánicos de carbono
  - ✓ Contaminantes nitrogenados (principalmente  $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ )
  - ✓ Hidrocarburos
- Contaminantes secundarios: aquellos originados en el aire por interacción entre dos o más contaminantes primarios, o por sus reacciones con los constituyentes normales de la atmósfera (Acosta, 2017).
  - ✓ Contaminantes ácidos (ácido sulfúrico y ácido nítrico)
  - ✓ Ozono troposférico ( $\text{O}_3$ )
  - ✓ Peroxiacetilnitrato (PAN) y otros contaminantes fotoquímicos.

### 3.7 Cambio Climático

La tierra absorbe constantemente radiación solar (radiación de onda corta), principalmente en la superficie, esta radiación la redistribuye mediante las circulaciones atmosféricas y oceánicas con el fin de compensar los contrastes térmicos, en mayor cantidad en los polos y el ecuador. La energía que recibe la tierra es reemitida al espacio (radiación de onda larga) para lograr un balance a largo plazo entre la energía recibida y la reemitida. Cuando el proceso es alterado por el balance entre estas energías se reflejará como cambios en el clima. Cuando estos son positivos tienden a calentar la superficie de la tierra, por lo contrario, se producirá enfriamiento si el forzamiento es negativo. Los gases de efecto invernadero en concentraciones altas reducen la eficiencia con la cual la tierra reemite la energía recibida al espacio. De esta manera la energía de onda larga que se reemite por la tierra al espacio es reemitida por la acción de

estos gases, así la temperatura de la superficie de la tierra se elevará para emitir más energía, y aun que parte de ella queda atrapada, suficiente energía saldrá al espacio para alcanzar el balance radioactivo que mantiene estable el clima (Intergovernmental Panel OnClimateChange, 2001).

Los aerosoles de origen antropogénico emitidos a la troposfera y aquellos producidos por las industrias o por la quema de bosques, pueden reflejar radiación solar, constituyéndose en un forzante radioactivo negativo que tiende a enfriar el sistema climático. La presencia de aerosoles puede alterar la cantidad y reflectividad de las nubes, por lo que en promedio se estima que su efecto final es el de enfriar el sistema climático. Los volcanes también pueden aportar grandes cantidades de material sulfúrico en la atmosfera que resultan en aerosoles. El sistema climático se ve severamente afectado por las alteraciones en la atmosfera debido al balance radiactivo de la tierra, estos cambios alteran la circulación del mar y la atmosfera, y consecuentemente el ciclo hidrológico, lo que se manifiesta con cambios en la precipitación y la temperatura de la superficie (Intergovernmental Panel OnClimateChange, 2001).

### **3.8 Calentamiento Global**

La medición rutinaria de la temperatura atmosférica en estaciones meteorológicas ha permitido el monitoreo de esta variable en diversas regiones del planeta desde finales del siglo XIX. Gracias a estos datos, es muy claro que la temperatura media del planeta ha experimentado un incremento significativo de casi 0.5°C, si tomamos como nivel base la temperatura media registrada entre los años 1961 a 1990 y de casi 1°C si la comparamos con la segunda mitad del siglo XIX (1850-1900). En estos datos es evidente que los años más calurosos



están concentrados durante las últimas décadas, esto es de 1980 a la fecha. El Calentamiento Global ha ido de la mano con una tendencia hacia un incremento en el CO<sub>2</sub> atmosférico, lo que indica que la causa de esta tendencia hacia el calentamiento es una intensificación del efecto invernadero. (Caballero *et al.*, 2007).

La razón de este incremento en el CO<sub>2</sub> atmosférico puede estar ligada con procesos naturales, sin embargo, también hay una componente humana significativa, dado que la tala de bosques y la quema de combustibles fósiles como el carbón y el petróleo han ocasionado un aumento en la cantidad de CO<sub>2</sub> atmosférico, incrementando el efecto invernadero y contribuyendo al Calentamiento Global. Los efectos del calentamiento Global ya se han sentido en nuestro planeta, quizás uno de los más claros es que los glaciares se derriten, tanto los de las montañas como los que forman los casquetes polares (Ártico y Antártico) (Caballero *et al.*, 2007).

### **3.9 Efecto Invernadero**

Todos los cuerpos emiten radiación; estos rayos o fotones son ondas electromagnéticas que no necesitan ningún medio material para propagarse, más bien la materia dificulta su avance, una onda larga es de baja frecuencia y una corta es de alta frecuencia. Se llama espectro electromagnético el (o un) conjunto total (o parcial) de ondas de diversas frecuencias. La luz (visible) es la radiación electromagnética más conocida; abarca cierto intervalo del espectro y tiene colores diversos que van del rojo al violeta conforme su frecuencia va aumentando. Más allá del violeta siguen, sucesivamente, según crece su frecuencia, la radiación (o luz) ultravioleta, los rayos X y los gama ( $\gamma$ ). Más cerca

al rojo están formadas, conforme disminuye su frecuencia, la radiación (o luz) infrarroja, las microondas y las de TV y de radio (Martínez y Fernández, 2004).

La radiación emitida depende de la temperatura del cuerpo emisor en dos aspectos: por un lado, la cantidad de radiación aumenta tremendamente conforme lo hace la temperatura, y, por otro, su longitud de onda disminuye cuando la temperatura sube. En la atmósfera y el clima actúan dos tipos de radiación claramente distintos: la luz visible originada en el sol y la radiación infrarroja (invisible) emitida por la Tierra. La enorme diferencia entre ellas se debe a la gran disparidad de temperaturas: el sol emite su radiación como a 6 mil grados centígrados; en cambio, los elementos de la tierra (el suelo, el mar, los casquetes polares, las capas atmosféricas, las nubes, etc.) lo hacen a temperaturas que andan alrededor de 0°C. Por esta gran diferencia en su longitud de onda, a la radiación solar se le llama de onda corta, y a la terrestre, de onda larga, constituyendo espectros francamente ajenos (Toharia 1984 y Voituriez 1994, citados por Garduño, 2004).

Por estar a una cierta distancia del sol y tener un determinado albedo (blancura, capacidad de reflejar la radiación que le llega), la tierra debiera tener una temperatura característica de equilibrio llamada efectiva. Si el planeta estuviera más lejos del sol sería más frío, y si fuera más negro (o mate) sería más caliente. Naturalmente, a mayor distancia de la fuente se recibe menos radiación, y un cuerpo más oscuro (o menos brillante) absorbe más radiación. La temperatura efectiva es el resultado neto del balance entre la radiación solar (de onda corta) absorbida por la Tierra y la emitida (en onda larga) por ella misma (Benavides y León, 2007).

Los valores concretos del albedo planetario y de la distancia del planeta a la estrella determinan para la tierra una temperatura efectiva de  $-18^{\circ}\text{C}$ , un valor muy diferente de la temperatura que realmente tiene el planeta (en su superficie), cuyo valor típico (promedio anual y global) es de  $+15^{\circ}\text{C}$ ,  $33^{\circ}\text{C}$  más arriba. Esta gran diferencia entre la temperatura efectiva y la real se debe al efecto invernadero (EI), que se da en cualquier planeta o satélite natural que tenga atmósfera. Es decir, si la Tierra no tuviera atmósfera sería  $33^{\circ}\text{C}$  más fría, un planeta helado (Martínez y Fernández, 2004).

El efecto invernadero resulta de que el aire es (muy) transparente para la radiación de onda corta y (muy) opaco a la de onda larga. O sea que la atmósfera es un filtro radiactivo, que deja pasar los rayos solares; uno de ellos son absorbidos por la superficie terrestre (y por los demás componentes de la Tierra), que se calienta(n) en consecuencia y entonces emite la radiación terrestre, que es detenida (absorbida) por la atmósfera y las nubes (Caballero et. al, 2007).

Las capas atmosféricas (y las nubes) van sucesivamente absorbiendo, calentándose y reemitiendo (hacia arriba y hacia abajo) radiación térmica procedente de abajo. El resultado de este complejo mecanismo es sencillo: la atmósfera superficial es cálida y se va enfriando conforme uno asciende a través de ella. (Benavides y León, 2007).

Aunque el sol es la fuente original de la energía térmica (o calor) contenida(o) en la atmósfera, ésta no se calienta por arriba sino desde abajo. El nombre efecto invernadero proviene de su similitud con las instalaciones construidas para cultivar plantas en un ambiente más cálido que el exterior; dado que el techo de un invernadero tiene la misma propiedad de dejar entrar la

radiación solar y bloquear la terrestre generada en su interior (Martínez y Fernández, 2004).

### **3.10 Dióxido de Azufre**

El SO<sub>2</sub> es un gas tóxico que se forma por la combustión del azufre presente en el carbón y el petróleo. Los SO<sub>2</sub> forman con la humedad ambiente aerosoles, incrementando el poder corrosivo de la atmósfera, de manera natural es emitido por las erupciones volcánicas, es un precursor importante de la lluvia ácida, ya que en la atmósfera reacciona para formar ácido sulfúrico (SEMARNAT, 2013).

El dióxido de azufre es un gas incoloro y altamente reactivo. Tiene un olor similar al de una cerilla encendida. Cuando se libera, el dióxido de azufre puede reaccionar con otros contaminantes del aire para formar material particulado fino. El material particulado se refiere a pequeñas partículas sólidas o líquidas que flotan en el aire. Varias fuentes industriales contribuyen a las emisiones de dióxido de azufre al aire. Estas incluyen:

- La industria del petróleo y gas
- Operaciones de oleoductos
- Operaciones marinas
- Fundición de metal
- Producción de pulpa y papel

Otras fuentes son los grandes buques y los equipos todo terreno que queman combustibles de alto contenido en azufre. El dióxido de azufre también puede provenir de fuentes naturales como erupciones volcánicas, y en pequeñas cantidades, de incendios forestales (Health LinkBC, 2014).

El dióxido de azufre se disuelve con facilidad en el agua para formar ácido sulfuroso ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ), el cual se oxida lentamente y forma ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) con el oxígeno del aire. El  $\text{SO}_2$ , también puede formar trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ), vapor muy reactivo que se combina rápidamente con vapor de agua para formar un aerosol ultra fino de ácido sulfúrico, de gran importancia desde el punto de vista de efectos en la salud. Este puede ser entonces neutralizado por el amonio, formando primero el ácido fuerte bisulfato de amonio ( $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ ) y después la sal casi neutra sulfato de amonio [ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ] dependiendo las tasas de neutralización de las tasas de emisión terrestres de amonio, altas en ciudades y zonas agrícolas, bajas en bosque. (Aránguez et al., 1999).

### **3.10.1 Influencia del $\text{SO}_2$ en el clima**

Los óxidos de azufre no son gases de efecto invernadero pero su presencia en la atmósfera puede influenciar el clima. El  $\text{SO}_2$  es un precursor de aerosoles (puede reaccionar con una gran variedad de oxidantes producidos fotoquímicamente para formar aerosoles sulfatados) y tiene un efecto de enfriamiento sobre el clima, por lo tanto, debe ser incluido en la modelación del clima (Puerto y García, 1984).

Los aerosoles son pequeñas partículas, como el polvo volcánico, polvo del suelo, sal oceánica, arena suspendida por tormentas, productos de la combustión carbonacea, de la producción de cemento, incineración de residuos, quema de biomasa, la contaminación e incluso el rocío del mar, suspendidas en el aire que reflejan y absorben radiación infrarroja solar y la emitida por la superficie de la tierra, asimismo, ayudan para que se formen las nubes, actuando

como "sitios de nucleación (núcleos de condensación)" alrededor de los cuales las gotas de agua crecen en tamaño (Puerto y García, 1984).

Un incremento en el número de núcleos de condensación sobre una escala global puede incrementar el albedo de las nubes (mayor cantidad de radiación reflejada por el tope de las nubes). Igualmente, un incremento de las partículas sulfatadas en la estratosfera puede incrementar la reflexión de onda corta al espacio (Benavides y León, 2007).

La concentración de estas partículas está incrementándose debido a la combustión de combustibles fósiles los cuales contienen azufre. Estudios recientes han concluido que los aerosoles dependiendo de su tamaño y su forma geométrica pueden contribuir al calentamiento de la atmósfera, por lo que nadie sabe si el aumento del número de aerosoles enfriará o calentará nuestro planeta. Los aerosoles son removidos rápidamente de la atmósfera por la precipitación (Puerto y García, 1984).

Puesto que los aerosoles tienen tiempos de vida atmosféricas cortas y sus concentraciones y composiciones varían regional, espacial y temporalmente, sus contribuciones al forzamiento radiactivo son difíciles de cuantificar. (Benavides y León, 2007).

Hay sin embargo una escasez de información relativa al aumento de las emisiones de azufre a partir de la combustión, debido a la falta de información detallada sobre los niveles de azufre del combustible quemado. Más del 80% del aumento de las emisiones antropogénicas de  $\text{SO}_2$  provienen de la combustión

de combustibles, con tres cuartas partes de este aumento proveniente del carbón (Benavides y León, 2007).

Por otro lado, el hollín, que se forma generalmente por partículas de carbón que, junto con sales y polvo, son derivados de la quema de combustibles fósiles y de la vegetación, afecta la capacidad de reflejar el sol impidiendo que la nieve y el hielo reflejen la luz del sol. Un ejemplo de esto es lo que está pasando en el Ártico desde mediados del siglo XIX (Puerto y García, 1984).

Según investigadores que estudian la influencia de los humanos sobre el clima, muestras de hielo de 1850, muestran rastros de hollín provenientes de incendios forestales. Pero desde entonces, el hollín en la nieve ha aumentado varias veces y ahora proviene de actividades industriales, según un informe de la revista Science. El hollín oscurece la nieve y hace que absorba la luz solar, la caliente y la derrita. (Benavides y León, 2007).

Un estudio sobre el hollín fue efectuado por un equipo dirigido por Joseph McConnell del DesertResearchInstitute en Reno, Nevada. Lo anterior confirma algunos estudios de la NASA, en los cuales se concluye que el hollín contribuye a derretir el hielo a nivel mundial, que es generalmente atribuido al calentamiento global de la atmósfera, por lo cual esta agencia afirma que el hollín causa al menos una cuarta parte del efecto invernadero en el planeta (Puerto y García, 1984).

### **3.10.2 Evolución del contaminante Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)**

En el informe SESPAS 2000 se describió la tendencia descendente de los niveles de SO<sub>2</sub> y los humos negros, especialmente el primero, en los últimos 20

años. Estos han sido los contaminantes tradicionalmente incluidos en los programas de monitorización y control de la contaminación atmosférica (Ilustración 2) (Ballester, 2005).

Contaminante	Formación	Estado físico	Fuentes
Partículas en suspensión (PM): PM <sub>10</sub> , Humos negros.	Primaria y secundaria	Sólido, líquido	Vehículos Procesos industriales Humo del tabaco
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Primaria	Gas	Procesos industriales Vehículos
Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Primaria y secundaria	Gas	Vehículos Estufas y cocinas de gas
Monóxido de carbono (CO)	Primaria	Gas	Vehículos Combustiones en interiores Humo de tabaco
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	Primaria, secundaria	Gas	Vehículos, industria, humo del tabaco Combustiones en interiores
Plomo (Pb)	Primaria	Sólido (partículas finas)	Vehículos, industria
Ozono (O <sub>3</sub> )	Secundaria	Gas	Vehículos (secundario a foto-oxidación de NO <sub>x</sub> y COVs)

### Ilustración 2. Descripción de los principales contaminantes atmosféricos químicos y sus fuentes.

#### 3.10.3 Efectos del SO<sub>2</sub> en la salud

**Inhalación.** Puede provocar asfixia, tos, falta de respiración, dolor de garganta, estornudos, rinorrea, dificultad en la respiración, disnea, cianosis, dolor de pecho, traqueitis, bronquitis, náuseas, fatiga, vómitos, broncoconstricción, neumonitis, edema en la laringe/glottis, edema en las vías respiratorias superiores u obstrucción e incremento de la resistencia de la circulación del aire. La muerte puede ser causada por edema pulmonar, acidosis sistémica o paro respiratorio:

**Ingestión.** El contacto con el dióxido de azufre líquido puede provocar congelación y quemaduras químicas en la boca y a nivel esofágico.



**Contacto con la piel.** El dióxido de azufre es un irritante corrosivo de la piel. Puede provocar lesión o quemaduras por congelación debido al contacto de dióxido de azufre líquido.

**Contacto con los ojos.** El dióxido de azufre es un irritante corrosivo de los ojos, aunque es poco común que en estado gaseoso produzca lesiones. Puede causar escozor en los ojos, lagrimeo, irritación conjuntival, enrojecimiento, dolor y quemaduras profundas graves (EPA, 2007).

**Exposiciones de corta duración.** Los estudios controlados realizados con asmáticos que hacían ejercicio indican que algunos de ellos experimentaron cambios en la función pulmonar y los síntomas respiratorios tras periodos de exposición al SO<sub>2</sub> de apenas 10 minutos (EPA, 2007).

**Exposiciones prolongadas (más de 24 horas).** Las estimaciones iniciales de los cambios cotidianos en la mortalidad, la morbilidad o la función pulmonar en relación con las concentraciones medias de SO<sub>2</sub> durante 24 horas se basaban necesariamente en estudios epidemiológicos en los que la población estaba normalmente expuesta a una mezcla de contaminantes (EPA, 2007).

Las Guías de la Calidad del Aire de la OMS constituyen un análisis consensuado y actualizado sobre los efectos de la contaminación en la salud, que recomiendan los parámetros de calidad del aire para reducir de modo significativo los riesgos a la salud (Organización Mundial de la Salud, 2005).

<b>Contaminante</b>	<b>Norma Oficial Mexicana</b>	<b>Descripción</b>

<b>Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)</b>	NOM 022-SSA1-1993. 8 de Septiembre de 2010.	El indicador promedio diario no debe exceder una vez al año el valor de 0.110 ppm. El indicador promedio anual debe ser menor o igual 0.025 ppm. El indicador promedio de ocho horas no debe exceder una vez al año el valor de 0.200 ppm.
---	--	--

**Tabla 1. Parámetros de calidad del aire para SO<sub>2</sub> (SEMARNAT, 2013).**

### 3.10.4 Enfermedades respiratorias asociadas a la contaminación

Con frecuencia los efectos sobre la salud derivados de la exposición cotidiana a concentraciones relativamente bajas de contaminantes atmosféricos son objeto de escasa percepción; hoy día, más de 1 000 millones de personas en el planeta residen en zonas urbanas expuestas a niveles de contaminantes del aire en exteriores que superan los recomendados por la Organización Mundial de la Salud(OMS)(Molina *et al.*, 2001).

Los efectos de las exposiciones agudas, y más a menudo crónicas, a los contaminantes atmosféricos, a los niveles comúnmente observados, incluyen disminución del rendimiento físico, mayor incidencia de síntomas respiratorios, deterioro de la función pulmonar, tanto en los niños como en la población adulta, incremento de la prevalencia y mortalidad por asma bronquial y de enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, y de la incidencia de cáncer pulmonar (Molina *et al.*, 2001).

En un estudio ecológico realizado por Molina y colaboradores en Habana Cuba, durante el período de octubre 1996 a septiembre 1997. Donde se utilizaron las concentraciones media diarias de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) muestran que las medias anuales de las concentraciones promedio diarias de SO<sub>2</sub> resultaron

inferiores a las admisibles en la norma sanitaria del país, así como a las históricamente observadas en esa estación de muestreo, en tanto que las PM<sub>10</sub> mostraron concentraciones riesgosas para la salud (Molina *et al.*, 2001).

En diversos estudios de laboratorio y diversas revisiones epidemiológicas de morbilidad y mortalidad, especialmente estudios ecológicos y sobre poblaciones de asmáticos, se ha podido apreciar que el SO<sub>2</sub> en niveles de concentración ambiental incluso inferiores a los establecidos en las recomendaciones internacionales o en las legislaciones europeas es capaz de producir alteraciones en la salud de sujetos sensibles (ancianos, asmáticos, broncópatas) y de modificar de forma significativa la incidencia de mortalidad por causas respiratorias y cardíacas (Garamendi y Sánchez, 2003).

### **3.10.5 Norma de Calidad Primaria del Aire para Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)**

TITULO II - Nivel de Norma de Calidad Primaria para Dióxido de Azufre en Aire.

Artículo 3.- La norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración anual será de 31 ppbv (80 ug/m<sup>3</sup>N).

Artículo 4.- La norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre como concentración de 24 horas será de 96 ppbv (250 ug/m<sup>3</sup>N).

Artículo 5.- Los siguientes niveles originarán situaciones de emergencia ambiental para dióxido de azufre, en concentración de una hora:

Nivel 1: 750 - 999 ppbv (1.962 - 2.615 ug/m<sup>3</sup>N)

Nivel 2: 1.000 - 1.499 ppbv (2.616 - 3.923 ug/m<sup>3</sup>N)

Nivel 3: 1.500 ppbv o superior (3.924 ug/m<sup>3</sup>N o superior).

Artículo 6.- Para efectos de evaluar el cumplimiento de la norma y los valores que originan situaciones de emergencia ambiental se utilizarán los valores de concentración expresados en ppbv.

Artículo 7.- Cuando el dióxido de azufre fuese precursor de otro contaminante normado, los planes de descontaminación o prevención que se establezcan para el control de este contaminante, podrán incluir medidas de reducción de emisiones del contaminante dióxido de azufre, independientemente del cumplimiento de las normas de calidad de aire que esta norma establece (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2003).

## **IV MATERIALES Y METODOS**

### **4.1 Localización del sitio experimental**

Para la realización de este trabajo de investigación se utilizaron datos de la estación de monitoreo con que cuenta la Secretaria de Recursos Naturales y Medio Ambiente del estado de Durango, la cual está ubicada en la colonia el Campestre de Gómez Palacio, Durango. Se tomaron las lecturas del mes de Enero 2016 y Enero 2017 para hacer una comparación con los datos obtenidos en la estación de monitoreo ambiental.

La Comarca Lagunera, región ubicada en el centro-norte de México, está conformada por parte de los Estados de Coahuila y Durango y debe su nombre a los cuerpos de agua que se formaban alimentados por dos ríos: el Nazas y el Aguanaval, hasta antes de la construcción de las presas Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco, que en la actualidad regulan su afluente.

Es una zona que se caracteriza por sus limitados recursos hídricos y por su clima seco muy caluroso en verano y caluroso y frío en invierno. Esta región, se localiza en llanuras y planicies de una altitud media de 1.200 msnm, se localiza a 24° 22' de latitud norte y 102° 22' de longitud oeste.

La metodología aplicada en el presente estudios, se conoce como metodología cuantitativa no experimental, con una confiabilidad aproximada del 90%, lo anterior aplicando el método estadístico obteniendo la media, mediana, moda y la varianza, para posteriormente realizar graficas con los datos obtenidos. La mediana es el valor que se encuentra en el centro de una secuencia ordenada de datos. La mediana no se ve afectada por observaciones extremas en un conjunto de datos, moda es el valor de un conjunto de datos que aparece con mayor frecuencia. Se le obtiene fácilmente a partir de un arreglo ordenado y la varianza se define como el promedio aritmético de las diferencias entre cada uno de los valores del conjunto de datos y la media aritmética del conjunto elevadas al cuadrado (Estuardo, 2012).

Este método estadístico de evaluación se desarrolla con la elaboración de gráficas y la determinación de los promedios, varianza y moda (Hernández, 2013).

Los diseños no experimentales no tienen determinación aleatoria, manipulación de variables o grupos de comparación. El investigador observa lo que ocurre de forma natural, sin intervenir de manera alguna. Existen muchas razones para realizar este tipo de estudio. Primero, un número de características o variables no están sujetas, o no son receptivas a manipulación experimental o

randomización. Así como, por consideraciones éticas, algunas variables no pueden o no deben ser manipuladas.

En algunos casos, las variables independientes aparecen y no es posible establecer un control sobre ellas. Diseños no experimentales, puede ser similares a experimentos por el pos-test. Sin embargo, existe una denominación natural para la condición o grupo a ser estudiado, al contrario de la denominación aleatoria, y la intervención o condición (X) es algo que se da de forma natural, no siendo colocada de forma impositiva o manipulada. Los métodos más comunes utilizados en los diseños no experimentales, involucran investigaciones exploratorias y/o cuestionarios (Sousa *et al.*, 2007).

#### **4.2 Equipo de monitoreo**

La Secretaría del estado de Durango, para la realización del muestreo emplea un equipo de monitoreo llamado Thermo Fisher Analizador modelo 43i de SO<sub>2</sub>. Mide el SO<sub>2</sub> en el aire ambiente en niveles de hasta 100 ppm, es un analizador de gas que utiliza la tecnología de fluorescencia pulsada para medir el SO<sub>2</sub>. Los filtros de paso de banda reflectivos resultan menos afectados por la degradación fotoquímica y son más selectivos en el aislamiento de longitudes de onda, lo que hace que tengan mayor especificidad en la detección y estabilidad a largo plazo.

## V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

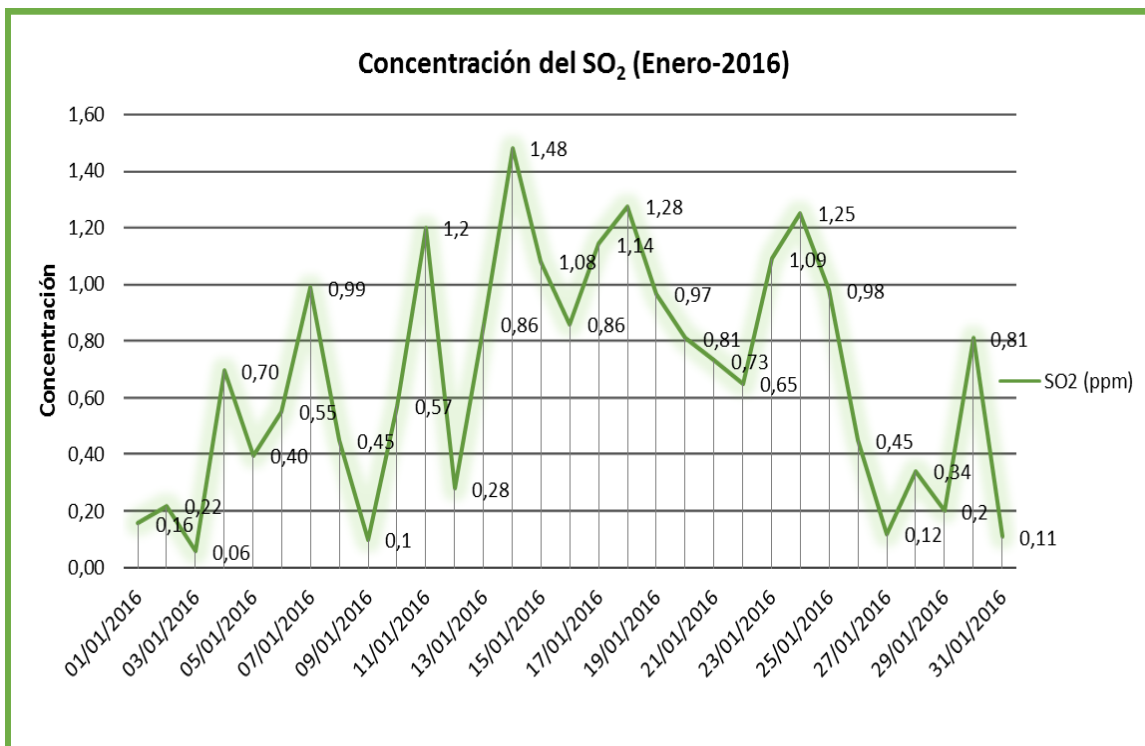
De acuerdo a las lecturas que se obtuvieron de la estación de monitoreo de la Secretaria de Recursos Naturales y Medio Ambiente aplicando los datos estadísticos mencionados anteriormente, se logró los siguientes resultados para el contaminante conocido como Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>):

Date	Temp (C°)	SO2 (ppm)	Presion	Temp Ambiente	Humedad Relativa	Vel. Viento	Dir. Viento	Rad. Solar
01/01/2016	25,86	0,16	889,49	-24,55	95,50	0	291,65	-384,80
02/01/2016	22,99	0,22	889,74	-24,55	99,77	0	285,71	-383,50
03/01/2016	22,25	0,06	889,94	-24,55	92,76	0	194,48	-386,84
04/01/2016	23,05	0,70	889,42	-24,55	87,55	0	208,94	-388,66
05/01/2016	24,24	0,40	888,74	-24,55	86,28	0	258,84	-388,43
06/01/2016	25,23	0,55	888,48	-24,55	68,60	0	295,17	-391,94
07/01/2016	26,82	0,99	888,35	-24,55	46,46	0	269,79	-397,65
08/01/2016	27,06	0,45	887,58	-24,54	40,02	0	272,00	-399,31
09/01/2016	25,42	0,1	888,72	-24,55	48,03	0	268,73	-396,91
10/01/2016	23,52	0,57	888,88	-24,55	54,41	0	266,03	-396,50
11/01/2016	23,51	1,2	888,70	-24,55	57,81	0	267,48	-395,68
12/01/2016	23,81	0,28	889,60	-24,55	56,62	0	264,91	-395,67
13/01/2016	24,42	0,86	888,92	-24,55	63,8	0	274,78	-393,93
14/01/2016	25,51	1,48	888,30	-24,55	57,79	0	272,65	-395,25
15/01/2016	25,58	1,08	888,13	-24,55	46,56	0	264,89	-398,19
16/01/2016	25,23	0,86	888,77	-24,55	31,54	0	261,63	-403,45
17/01/2016	24,92	1,14	888,77	-24,55	31,54	0	261,63	-403,45
18/01/2016	25,23	1,28	889,66	-24,55	33,1	0	246,22	-402,48
19/01/2016	25,3	0,97	889,46	-24,55	37,21	0	248,70	-400,81
20/01/2016	27,32	0,81	888,66	-24,55	39,88	0	288,47	-398,03
21/01/2016	24,97	0,73	890,08	-24,55	33,5	0	305,82	-401,55
22/01/2016	26,6	0,65	888,75	-24,55	41,92	0	300,51	-397,62
23/01/2016	24,42	1,09	889,84	-24,55	22,02	0	221,79	-407,89
24/01/2016	23,19	1,25	888,61	-24,55	42,43	0	296,56	-398,90
25/01/2016	26,21	0,98	888,21	-24,55	29,79	0	274,62	-402,38
26/01/2016	28,7	0,45	888,72	-24,55	44,09	0	284,97	-396,43
27/01/2016	22,26	0,12	890,19	-24,55	87,82	0	308,28	-390,20
28/01/2016	16,23	0,34	890,46	-24,55	91,08	0	286,30	-390,90
29/01/2016	21,57	0,2	889,73	-24,55	65,04	0	309,53	-394,96
30/01/2016	24,09	0,81	888,67	-24,55	46,21	0	291,82	-397,55
31/01/2016	26,08	0,11	888,47	-24,55	33,16	0	303,62	-400,71

**Tabla 2.- Datos obtenidos del contaminante dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) correspondiente al mes de Enero 2016. Caseta de monitoreo ambiental ubicada en Gómez Palacio Durango, colonia el campestre.**

Resultados de la Media, Mediana, Moda y Varianza de SO<sub>2</sub>

<b>Media</b>	0,67
<b>Mediana</b>	0,70
<b>Moda</b>	0,45
<b>Varianza</b>	0,17

Concentración del contaminante SO<sub>2</sub> durante el mes de Enero del 2016

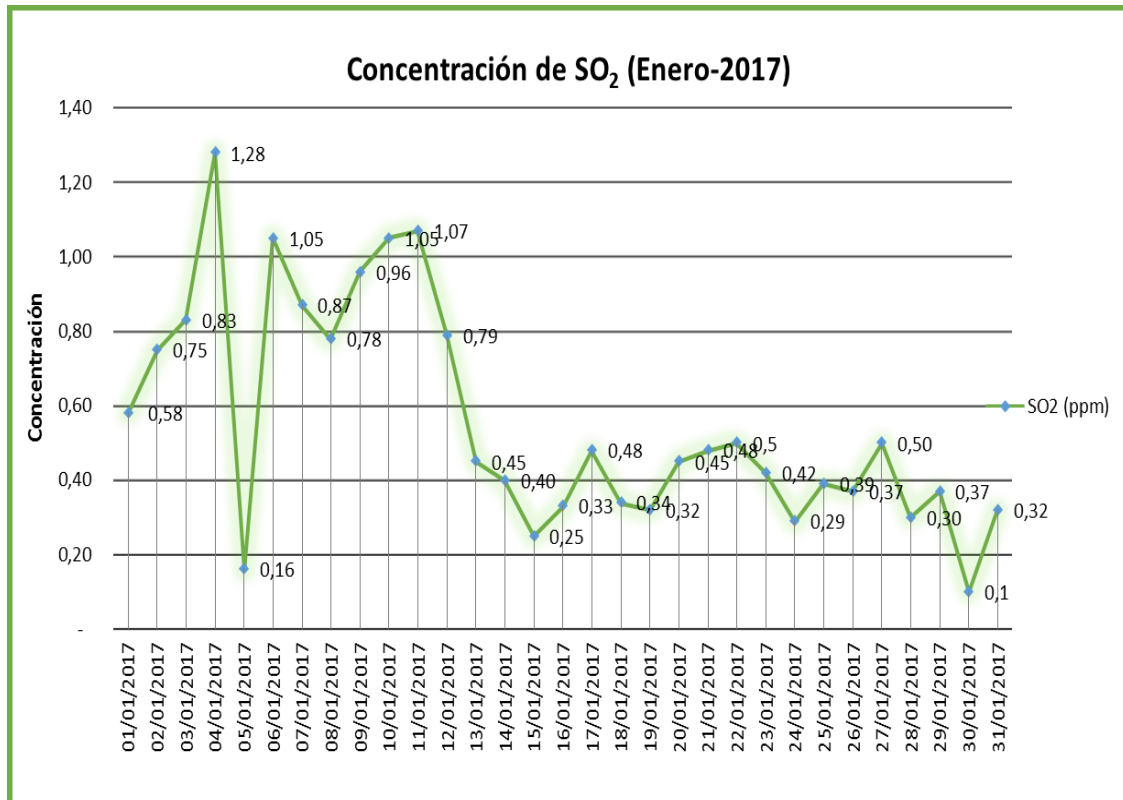


Date	Temp (C°)	SO2 (ppm)	Presion	Temp Ambiente	Humedad Relativa	Vel. Viento	Dir. Viento	Rad. Solar
01/01/2017	24,41	0,58	889,04	24,28	7,26	3,97	166,20	302,92
02/01/2017	24,23	0,75	890,18	21,13	5,16	3,36	244,74	303
03/01/2017	27,08	0,83	889,03	22,35	6,58	4,56	199,56	301,27
04/01/2017	25,9	1,28	888,97	21,04	5,42	2,99	181,22	258,1
05/01/2017	28,73	0,16	888,56	24,12	19,29	3,21	200,87	331,09
06/01/2017	28,12	1,05	889,99	22,39	15,26	1,99	189,98	388,64
07/01/2017	36,62	0,87	897,13	24,68	20,5	1,8	274,1	516,39
08/01/2017	37,13	0,78	907,24	22,9	23,94	1,77	243,37	271,71
09/01/2017	37,58	0,96	890,44	22,72	15,07	1,59	249,83	202,08
10/01/2017	38,65	1,05	889,02	24,15	11,60	1,17	198,78	213,29
11/01/2017	38,94	1,07	889,47	23,48	20,32	2,33	228,21	208,09
12/01/2017	29,80	0,79	894,66	24,44	20,41	3,04	264,23	371,82
13/01/2017	24,21	0,45	897,28	22,84	28,00	2,91	235,58	162,83
14/01/2017	24,12	0,40	896,79	22,80	30,20	2,19	232,23	132,48
15/01/2017	24,24	0,25	895,93	25,05	15,54	2,25	186,73	271,58
16/01/2017	24,30	0,33	895,75	27,03	14,66	2,57	199,77	562,99
17/01/2017	24,20	0,48	896,45	23,76	28,29	3,68	213,83	231,26
18/01/2017	23,85	0,34	898,50	21,26	11,65	1,02	265,25	154,50
19/01/2017	24,45	0,32	896,75	24,65	20,91	2,63	283,78	254,33
20/01/2017	24,26	0,45	895,67	25,51	12,98	1,78	265,18	213,80
21/01/2017	23,99	0,48	894,54	22,89	8,61	0,88	266,28	-4,17
22/01/2017	24,01	0,5	888,78	23,56	11,03	1,23	321,09	98,21
23/01/2017	23,75	0,42	889,09	24,82	10,5	3,51	287,51	102,03
24/01/2017	24,62	0,29	891,80	26,38	14,23	2,98	239,94	157,16
25/01/2017	24,58	0,39	890,49	25,02	-0,74	2,09	184,28	200,43
26/01/2017	24,78	0,37	889,22	26,64	-0,22	3,15	225,97	222,65
27/01/2017	24,73	0,50	887,98	26,59	1,74	1,45	241,44	120,24
28/01/2017	25,08	0,30	885,99	30,16	5,50	2,26	194,46	319,91
29/01/2017	25,13	0,37	886,72	29,00	-2,62	3,92	152,57	288,98
30/01/2017	25,1	0,1	891	26,84	9,06	7,13	129,06	-4,7
31/01/2017	26,3	0,32	888,78	27,13	4,5	5,63	149	110,05

**Tabla 3.- Datos obtenidos del contaminante dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) correspondiente al mes de Enero 2017. Caseta de monitoreo ambiental ubicada en Gómez Palacio, Durango. Colonia el Campestre.**

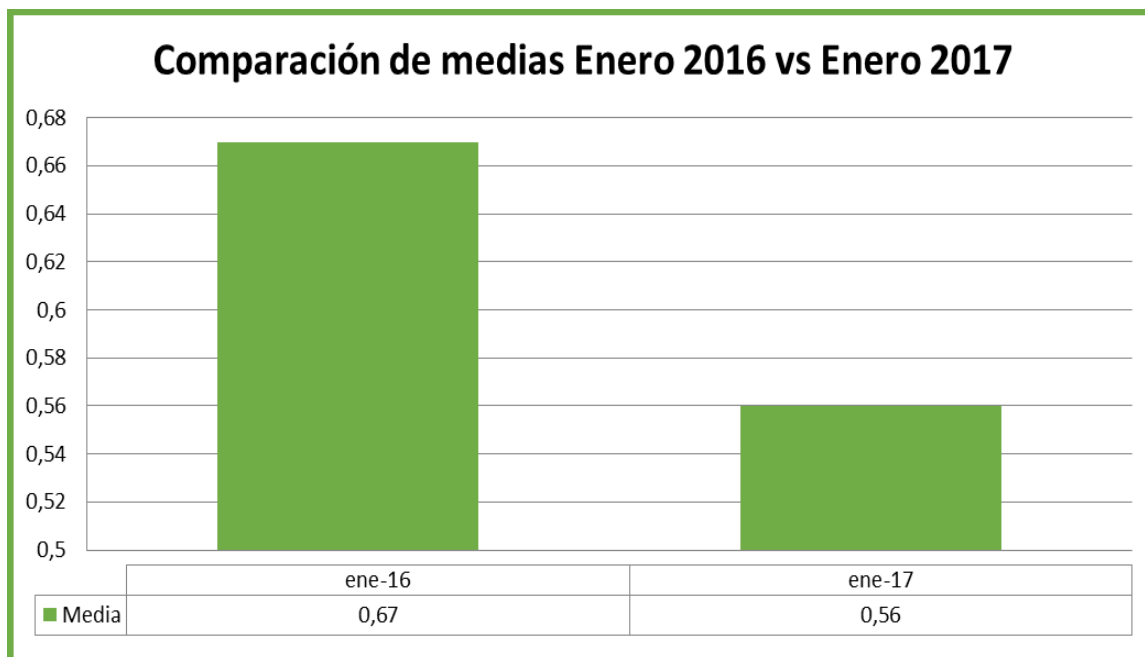
Resultados de la Media, Mediana, Moda y Varianza de SO<sub>2</sub>

<b>Media</b>	0,56
<b>Mediana</b>	0,45
<b>Moda</b>	1,05
<b>Varianza</b>	0,09

**Concentración del contaminante SO<sub>2</sub> durante el mes de Enero del 2017.**

Comparación de las Medias obtenidas en los cálculos anteriores del SO<sub>2</sub> entre los meses de enero del año 2016 y el mismo mes pero del año 2017

Mes/Año	Media
Enero-2016	0.67
Enero-2017	0.56



**Comparación de medias de la concentración de SO<sub>2</sub> entre el mes de Enero 2016 y Enero 2017.**

Los resultados obtenidos en la comparación de medias entre los meses de Enero 2016 y Enero 2017 podemos observar que hay una diferencia entre ambos meses, siendo mayor la concentración en Enero del 2016 con 0.67 ppm, en el mes de Enero 2017 presento una concentración de SO<sub>2</sub> de 0.56 ppm.

La concentración de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) como contaminante atmosférico según la NOM-022-SSA1-1993 no debe rebasar el límite máximo normado de **0.13 ppm** o lo que es equivalente a 341 µg/m<sup>3</sup>, en 24 horas una vez al año para protección a la salud de la población susceptible.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación comparado con la Norma Oficial Mexicana (NOM-022-SSA1-1993) se puede concluir que la concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) atmosférico en la

comarca lagunera si rebasado los límites máximos permisibles, establecidos en la Norma de referencia.

A partir del año 2006 se comienzan a detectar altas concentraciones de partículas suspendidas, dióxido de azufre y ozono. En mayo de 1996 se llevó a cabo una campaña de monitoreo de la calidad del aire con equipo móvil, cuya finalidad fue efectuar un diagnóstico inicial sobre los tipos y niveles de los contaminantes atmosféricos en las ciudades de Torreón y Gómez Palacio. En lo referente al ozono ( $O_3$ ), las concentraciones estuvieron cercanas al límite máximo permitido. Mientras que el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre ( $SO_2$ ) y el dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), mostraron registros muy por debajo del límite normado.

Se tienen registros de que los niveles del  $SO_2$  también han aumentado en los últimos años y representan el segundo contaminante en importancia de la región (SEMARNAT, 2012).

## **VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1.- CONCLUSIONES**

Con los resultados obtenidos con la metodología empleada en el presente trabajo se puede concluir que:

Comparando los promedios anuales de la concentración de SO<sub>2</sub> en la atmosfera de la Comarca Lagunera correspondientes a los meses de Enero 2016 y Enero 2017 de la caseta de monitoreo ubicada en la colonia el Campestre, en la Ciudad de Gómez Palacio, en el estado de Durango, podemos concluir que los promedios de ambos años (0.67 ppm y 0.56 ppm respectivamente) están por encima de los límites máximos permisibles.

Los datos muestran una disminución en la concentración de SO<sub>2</sub> entre el mes Enero 2016 a Enero 2017, existiendo una disminución de 0.11 ppm entre dichos meses, aun con esta disminución la concentración de SO<sub>2</sub> en la atmosfera de la Comarca Lagunera se encuentra por arriba de los límites máximos permisibles.

El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) está asociado a enfermedades respiratorias y problemas de asma y bronquitis aumentando la mortalidad en personas mayores y niños, por lo que es importante su vigilancia y el monitoreo de las concentraciones de este contaminante en la atmosfera, de la región lagunera de los estados de Coahuila y Durango, respectivamente.

## 6.2.- RECOMEDACIONES

Para futuros trabajos, referentes a la contaminación atmosférica, por emisiones a la atmosfera, provenientes tanto de, fuentes fijas como móviles, se recomienda

- Llevar a cabo un análisis de resultados anuales para tener una mejor comprensión sobre los datos obtenidos y poder compararlos con la normatividad vigente.
- Consultar estadísticamente los efectos que puede tener sobre la salud humana el contaminante evaluado, que para el presente caso es el dióxido de azufre y el estado de la calidad del aire.
- Continuar con las mediciones de los contaminantes, con la finalidad de conocer la calidad del aire que se respira en la comarca lagunera.
- Proporcionar información a la comunidad acerca del estado de la calidad del aire y medidas preventivas para cuidar la salud de las personas.
- Llevar a cabo un análisis de los contaminantes atmosférico tomando en cuenta en dicho análisis las variables atmosféricas como: presión, temperaturas, velocidad y dirección de viento así como la humedad relativa y precipitaciones pluviales. Lo anterior con la finalidad de determinar la influencia de estas variables sobre la concentración de los contaminantes atmosféricos.

## LITERATURA CITADA

- Acosta, L. J. 2017. Contaminantes: Características, Origen y Efectos. Modulo de Contaminación Atmosférica. Master profesional en ingeniería y gestión medioambiental. 94 p.
- Andrés, A. D., E. J. Ferrero., y C. E. Mackler., 2000. Monitoreo de contaminantes del aire en la ciudad de Rosario. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Rosario: 2-5.
- Aránguez E., M.O., J. M. Ordoñez., J. Serrano., N. Aragonés., R. Fernández P., A. Gandarillas., y I. Galán 1999. Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. Rev Esp Salud Pública 73: 123-132.
- Ballester, F. D., J. M. Tenías y S. Pérez H. 1999. Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud. Una introducción. Rev Esp Salud Pública 73: 109-121.
- Ballester, F. 2005. Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. Rev Esp Salud Pública 79: 159-175.
- Benavides, B. H. O., y G. E. León A. 2007. Información técnica sobre gases de efecto invernadero y cambio climático. IDEAM-METEO. 99 p.
- Caballero M., S. Lozano., y B. Ortega. 2007. Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático. Una perspectiva desde las ciencias de la tierra. Revista Digital Universitaria. UNAM. 8(10):1067-6079.
- Carnicer, J. M. 2006. Contaminación atmosférica. Master en Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua. EOI. 174 p.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). 2003. Norma de calidad primaria de aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).
- Díaz, V. R. 2002. Contaminación del aire. Instituto de higiene, Epidemiología y Microbiología. Rev Cubana de Higiene y Epidemiología. 3: 13-20.
- Dirección General de Evaluación Ambiental. 2009. Consejería de Agricultura y Medio Ambiente. Programa de reducción de dióxido de azufre en Puerto Llano. Castilla de Mancha
- Echarri L. 2007. Contaminación de la atmosfera. Población, ecología y ambiente. Universidad de Navarra 10 p.

- EPA 2007. Riesgo Químico. Accidentes Graves Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>).Servicio de sanidad ambiental.
- Estuardo, A. 2012. Estadísticas y Probabilidades. Libro estadística. 1.
- Garamendi G., P. M., y M. S. Sánchez de L. R. 2003. Mortalidad asociada con la contaminación atmosférica por SO<sub>2</sub>. Apropósito de un caso de autopsia médico legal tras un episodio de polución atmosférica. Cuadernos de medicina forense N 33. Subdirección de Vizcaya. Buenos Aires, Argentina. 14 p.
- Hernández, Z. F. 2013. Proyecto de investigación de la contaminación del aire.
- Health Link BC. 2017. Outdoor Air Quality Sulphur Dioxide (SO<sub>2</sub>).BC Centre for Disease Control. 2 p.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2015. Antecedentes y mejoramiento de la calidad del aire. [en línea].<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/394/cap1.pdf>: [fecha de consulta 24/05/2015)].
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2015. Normas de calidad del aire. [en línea].<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/517/antecede.pdf>: [fecha de consulta 01/06/2015].
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. Climate Change. The Scientific Basis. Cambridge University Press. 79 p.
- Martínez J. y A. Fernández. 2004. Cambio climático: Una visión desde México. Instituto Nacional de Ecología. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. pp. 29-31.
- Molina, E. E. y D. Valdés C. 2006. Contaminación del aire interior en un proyecto de viviendas con climatización centralizada. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología. 44(3).
- Molina, E. E., L. A. Bronw C., V. Prieto D., M. Bonet G., y L. Cuéllar L. 2001. Crisis de asma y enfermedades respiratorias agudas. Contaminantes atmosféricos y variables meteorológicas en centro de Habana. Rev Cubana Med Gen Integr. 17(1):10-20.
- Nava, M. M., J. L. Bravo., y J. R. Gasca. 2003. Los métodos multivariados para evaluar el efecto de la reducción de azufre en petrolíferos sobre los niveles de bióxido de azufre atmosférico. Rev. Internacional de Contaminación Ambiental. 19(1):25-36.



- Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-1993. Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Valor normado para la concentración de bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2005. Guías de la calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. 22 p.
- Puerto, M. A. y J. A. García R. 1984. La contaminación Atmosférica. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología. 55 p.
- Rodríguez, F. J. 1997. Contaminantes atmosféricos primarios y secundarios. Universidad Autónoma Metropolitana. México, DF. pp. 123-147.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2013. Calidad del aire: Una práctica de vida. 28 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2012. Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Región de la Comarca Lagunera 2010-2015. Proaire: 8-12.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2012. Unidad protectora de la capa de ozono. Dirección general de gestión de la calidad del aire y registro de emisiones y transferencia de contaminantes. México. 256 p.
- Sousa, V. D., M. Driessnack., y I. A. Costa M. 2007. Revisión de diseños de investigación resaltantes para enfermería. Parte 1: diseños de investigación cuantitativa. Rev Latino-am Enfermagem. 15 (3): 1-6.
- Universidad Nacional del Litoral. 2012. Programa Nacional Olimpiada de Geografía de la República Argentina. Textos para el estudiante. 170 p.