

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Determinación de la calidad del aire en el área del bajío Guanajuatense.

Por:

JESÚS FERNANDO VILLALOBOS RAYA

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título del:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Torreón, Coahuila, México

30/11/2018

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

Determinación de la calidad del aire en el área del bajo Guanajuatense

Por:

JESÚS FERNANDO VILLALOBOS RAYA

MONOGRAFÍA

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:


BIOL. MA. ISABEL BLANCO CERVANTES
Vocal


DR. ISAÍAS LÓPEZ HERNÁNDEZ
Vocal


M.C. EDUARDO ARON FLORES HERNÁNDEZ
Vocal Suplente


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



Torreón, Coahuila, México
DICIEMBRE 2018

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

Determinación de la calidad del aire en el área del bajío Guanajuatense

Por:

JESÚS FERNANDO VILLALOBOS RAYA

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Aprobada por el Comité de Asesoría:




ING. JOEL LIMONES AVITIA
Asesor Principal



BIOL. MA. ISABEL BLANCO CERVANTES
Coasesor



DR. ISAIÁS LÓPEZ HERNÁNDEZ
Coasesor



M.C. EDUARDO ARON FLORES HERNÁNDEZ
Coasesor



M.E. JAVIER LÓPEZ HERNÁNDEZ

Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México
DICIEMBRE 2018

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Marco Antonio Villalobos Enríquez y Alejandra Raya Torres por haberme dado la vida y apoyarme incondicionalmente durante mi proceso en la carrera para obtener un logro tan grande como es el convertirme en un profesionalista.

A mis hermanos, Diego Antonio Villalobos Raya y Ángel Guadalupe Villalobos Raya, por ser parte de mi familia y darme su ayuda incondicional.

A Araceli Pérez Briones, por ser una persona en la que puedo confiar y por estar en los momentos difíciles cuando más la necesitaba, gracias.

A mi Alma Mater, por aceptarme ser parte de ella y darme una formación como futuro profesionalista.

Al Ing. Joel Limones Avitia, por brindarme todo su apoyo y permitirme ser parte de su proyecto para realizar mi borrador tesis de la materia seminario de tesis.

Al Dr. José Luis Reyes Carrillo, por ayudarme y brindarnos el conocimiento de realizar un borrador de tesis y por su apoyo en cualquier problema que presente durante el semestre.

A todos los maestros del Departamento de biología, por brindarme su conocimiento, su amistad y consejos, a todos muchas gracias.

A la Sra. Cecilia, secretaria del Departamento de Biología, por ayudarme con los trámites de la documentación y por brindarme su amistad.

A la MC Isabel y Anita, por ayudarnos y prestarme el material de laboratorio necesario para complementar las clases y realizar las practicas.

DEDICATORIAS

A mis padres, Marco Antonio Villalobos Raya y Alejandra Raya Torres por su confianza y el apoyo que me brindaron todo este tiempo.

A mis hermanos, Diego Antonio Villalobos Raya y Ángel Guadalupe Villalobos Raya, a quienes quiero mucho.

A mi novia, Araceli Pérez Briones, una persona a quien quiero mucho y por darme su ayuda incondicional en cualquier momento.

A mis abuelos, Arturo Raya Alvarado y Ma. Salud Torres Guerra por ser mis segundos padres y estar ahí cuando los necesitaba.

A toda mi familia, gracias a todos por sus consejos, toda su ayuda y su apoyo, mil gracias a todos los que estuvieron y siguen estando conmigo.

RESUMEN

Introducción: La contaminación atmosférica representa un problema que ha venido incrementándose en las últimas décadas, cada vez con una mayor preocupación debido a los riesgos, daños o molestias graves para las personas, el medio ambiente y bienes de cualquier naturaleza.

Objetivo: Conocer la concentración de los contaminantes (O₃, SO₂, NO₂, CO, partículas PM_{2.5} y PM₁₀) en la atmósfera del área del bajío Guanajuatense, con la finalidad de determinar si, la Calidad del aire que se respira es óptima.

Materiales y métodos: El método utilizado para realizar esta investigación es un método de estadístico no experimental en el cual a partir de datos obtenidos de las diferentes casetas de monitoreo ambiental de la zona del bajío guanajuatense, se calcularon algunos valores como moda, promedio y mediana.

Resultados: De acuerdo a los resultados obtenidos de los valores promedios para cada uno de los contaminantes de interés, se determinaron que las concentraciones de O₃, SO₂, NO₂, CO, y partículas PM_{2.5} y PM₁₀ a las que están expuestas las personas entre vías paralelas y con alto tráfico vehicular y alta actividad industrial en el bajío Guanajuatense, las personas no están expuestas a altas concentraciones de contaminantes.

Conclusión: La concentración de contaminantes en el aire resulto no ser de mala calidad sino todo lo contrario por esto mismo que no se ven afectaciones en la salud ambiental y humana, sin embargo no se debe de dejar de lado la inspección y vigilancia continua de la calidad del aire en esta zona del bajío Guanajuatense

Palabras clave: *Contaminantes atmosféricos, Contaminación ambiental, Impactos a la salud, Emisiones de gases.*

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIAS.....	ii
RESUMEN.....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo.....	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Gases contaminantes atmosféricos.....	7
2.1.1 Ozono.....	8
2.1.2 Dióxido de azufre.....	8
2.1.3 Óxidos de nitrógeno.....	9
2.1.4 Material particulado.....	10
2.2 Emisiones por fuentes fijas.....	12
2.2.1 Fuentes puntuales.....	13
2.2.2 Fuentes de área.....	13
2.2.3 Fuentes naturales.....	13
2.3 Emisiones por fuentes móviles.....	14
2.4 Enfermedades asociadas a la contaminación.....	14
2.4.1 El asma.....	16
2.5 Aspectos clínicos de la exposición a la contaminación ambiental.....	17
2.6 Impacto a nivel cardiovascular.....	18
2.7 Otros impactos.....	20
2.8 Casetas de monitoreo de la calidad del aire.....	21
2.9 Normas de la calidad del aire.....	21
2.9.1 Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993.....	23
2.9.2 Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993.....	24
2.9.3 Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010.....	25
2.9.4 Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1993.....	27

6 CONCLUSIÓN.....	28
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1 Ubicación	29
3.1.1 Bajío Guanajuatense: principales localidades.....	30
3.2 Condiciones climatológicas del área	32
3.3 OBTENCION DE LOS DATOS DE ESTUDIO	34
3.4 Contaminantes a evaluar.....	35
4 RESULTADOS	36
4.1 Graficas de la concentración de contaminantes	37
5 DISCUSIÓN.....	42
RECOMENDACIONES	46
7 LITERATURA CITADA	48

ÍNDICE DE CUADROS

Ilustración 1. Mecanismos de activación del asma por exposición a gases ...	10	
Ilustración 2. Mecanismo de activación del asma por exposición a partículas.....	12	
Ilustración 3. Impacto de la contaminación ambiental en los diferentes sistemas anatómicos.....	20	
Ilustración 4. Localización del estado de Guanajuato.	30	
Ilustración 5. Localidades principales del estado de Guanajuato.....	32	
Ilustración 6. Clima del estado de Guanajuato	34	
Grafica 1. Valores promedios de la concentración de ozono en el mes de enero del 2018	37	
Grafica 2. Valores promedios de la concentración de NO2 en el mes de enero del 2018.....	37	
Grafica 3. Valores promedios de la concentración de partículas PM2.5 en el mes de enero del 2018	38	
Grafica 4. Valores promedios de la concentración de partículas PM10 en el mes de enero del 2018	39	
Grafica 5. Valores promedios de la concentración de CO2 en el mes de enero del 2018.....	40	
Grafica 6. Valores promedios de la concentración de SO2 en el mes de enero del 2018.....	41	
Tabla 1. Valores de buena calidad del aire	Tabla 2. Valores de satisfactoria calidad del aire	43
Tabla 3. Valores de no satisfactoria la calidad del aire	Tabla 4. Valores de mala calidad del aire	43
Tabla 5. Valeres de muy mala calidad del aire.....		43
Tabla 6. Valores estadísticos mensuales de la concentración de los contaminantes en el bajío Guanajuatense.....		43

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica representa un problema que ha venido incrementándose en las últimas décadas, cada vez con una mayor preocupación debido a los riesgos, daños o molestias graves para las personas, el medio ambiente y bienes de cualquier naturaleza. (Radwan *et al.*, 2018)

La contaminación del aire se considera un problema importante de salud pública, dados los avances tecnológicos y metodológicos que muestran no solo que existe una relación entre los gradientes de exposición a los contaminantes y la morbilidad y mortalidad asociada a la polución; sino también que los riesgos para la salud aumentan en determinadas poblaciones vulnerables en función de las inequidades sociales de los grupos poblacionales que habitan determinadas áreas geográficas. (R y S., 2013)

En la atmósfera de las ciudades se encuentran diferentes contaminantes criterios que son liberados en grandes cantidades por la actividad industrial y de transporte y representan un riesgo para la Salud y el bienestar humano. Entre ellos destacan el ozono, el dióxido de nitrógeno, el dióxido de azufre y el material particulado. (M *et al.*, 2006a; García-Reynoso *et al.*, 2017).

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. (Ivan *et al.*, 2017)

Se propuso como objetivo principal de este estudio estadístico no experimentado caracterizar la exposición de peatones a O₃, SO₂, CO, NO₂ y a partículas de tamaño de PM_{2.5} y 10 en tres vías principales y paralelas entre sí en el área del bajío Guanajuatense, utilizando como indicador el carbono elemental (BC por sus siglas

en inglés). Este compuesto, constituye la parte inorgánica de las partículas suspendidas totales (PM) y técnicamente es reconocido como trazador de las emisiones provenientes de vehículos diésel, vehículos a motor e industrias.

La contaminación del aire es uno de los factores asociados a la enfermedad respiratoria, en particular, en menores de cinco años. De hecho, los niveles elevados de contaminantes en el aire, como el ozono troposférico, el material en partículas y el dióxido de nitrógeno, aumentan las hospitalizaciones por urgencias y las muertes debidas a la enfermedad respiratoria. (Rodrino *et al.*, 2015)

De hecho, la incidencia de enfermedades alérgicas se ha incrementado de forma notable en países industrializados. (H., 2011) La prevalencia de enfermedades como asma en países de Latinoamérica es similar a la incidencia ocasionada por la urbanización en países desarrollados. (P *et al.*, 2013)

La importancia y control de la contaminación atmosférica está sustentada en la evidencia sobre su impacto negativo en la salud respiratoria y cardiovascular de las personas, así como con el deterioro de su calidad de vida. (Felipe y F, 2016) Específicamente, estudios científicos han relacionado la exposición a la contaminación atmosférica con síntomas respiratorios, alteración de la función pulmonar y enfermedad pulmonar obstructiva crónica. (F *et al.*, 2007)

La contaminación del aire se considera causante de múltiples enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Dentro de los diferentes contaminantes atmosféricos, la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que el material particulado (pm) sobrepasa con mayor frecuencia los niveles críticos de concentración, lo cual incide en la salud humana causando el deterioro de la salud pública en grandes ciudades. (A y N., 2011) En Latinoamérica, ha habido una creciente preocupación por las relaciones entre los niveles de contaminación atmosférica y la salud de las personas. (M *et al.*, 2006a)

La contaminación del aire se considera actualmente un problema global tanto en países en desarrollo como en los desarrollados. Sustancias que invaden nuestros espacios son componentes de la contaminación aérea que causan un fuerte impacto negativo en la salud para quienes se encuentren expuestos, no solo en los sistemas cardiovascular y respiratorio, sino que están siendo relacionados con la etiología de patologías en todo el organismo, con disminución en la esperanza de vida e incluso, aumento de la mortalidad y alteraciones del material genético. En Latinoamérica, ha habido una creciente preocupación por las relaciones entre los niveles de contaminación atmosférica y la salud de las personas por componentes de la contaminación atmosférica en la salud de quienes están expuestos, desde el punto de vista clínico y molecular. (M *et al.*, 2006b; Cohen *et al.*, 2014)

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 continuo 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. (Jiménez *et al.*, 2015).

Numerosos estudios mostraron asociación entre las enfermedades alérgicas, especialmente el asma, y la alta exposición a gases como ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂) y las partículas de pequeño tamaño (PM). (Jorge y Luis, 2015b).

El impacto a la salud para 20 millones de individuos, incluyendo los nueve millones de niños que viven en la ciudad, así como para millones más en ciudades altamente contaminadas en nuestra provincia y en el mundo, es de enorme importancia y los pediatras deben estar conscientes de los efectos a corto y a largo plazo asociados con las exposiciones sostenidas a niveles elevados de contaminantes aéreos. (Lilian *et al.*, 2012)

En la atmósfera de las ciudades se encuentran diferentes contaminantes criterios que son liberados en grandes cantidades por la actividad industrial y de transporte

y representan un riesgo para la salud y el bienestar humano. Entre ellos destacan el ozono, el dióxido de nitrógeno, el dióxido de azufre y el material particulado. Estos elementos contribuyen de manera importante al incremento de las exacerbaciones de pacientes asmáticos. (Clark *et al.*, 2014)

Objetivo

Conocer la concentración de los contaminantes (O₃, SO₂, NO₂, CO, partículas PM_{2.5} y PM₁₀) en la atmósfera del área del bajío Guanajuatense, con la finalidad de determinar si, la Calidad del aire que se respira es óptima.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

El control de las concentraciones de los contaminantes en la atmósfera es un tema de vital interés a nivel mundial. No sólo en los niveles que se presentan problemas graves para la salud humana, sino también cuando estas concentraciones no representan mayores inconvenientes para los seres humanos. Entre los contaminantes considerados como peligrosos en la atmósfera, se encuentra el Ozono Troposférico (O₃) y el Monóxido de Carbono (CO), (U.S. EPA, 1990). Varios estudios dan indicio de los efectos tóxicos en personas expuestas a altos niveles de estos contaminantes durante ciertos periodo de tiempos, lo cual trae como consecuencia graves efectos en la salud humana, como enfermedades cardiovasculares, respiratorias, etc.... (Vanker *et al.*, 2018)

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 y HE., 2016)

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. (N *et al.*, 2016a)

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 diésel, o en ferrocarriles y barcos. (Valeriy y Alina, 2017)

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. 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. (N *et al.*, 2016b)

La contaminación atmosférica es uno de los principales problemas ambientales que enfrenta la humanidad, particularmente en zonas urbanas cobra cada vez mayor importancia, por la marcada tendencia al incremento de la población residente en las ciudades. La relación entre la contaminación atmosférica y la salud humana es reconocida internacionalmente por lo que su monitoreo y control en lugares de alta concentración poblacional es de vital importancia. (Ibis *et al.*, 2015)

Las toneladas de partículas y gases emitidas por las fuentes móviles, fijas, de área y las biogénicas al aire entran en contacto con las variables meteorológicas de la zona, inicia su etapa de mezcla y dispersión, se transforma en horas o días en contaminantes secundarios y reduce la calidad del aire en los ecosistemas urbanos. La persistencia de algunos de estos contaminantes en el aire provocan su bioacumulación y posterior biomagnificación en los ecosistemas urbanos, reduciendo la esperanza de vida e incrementando la mortalidad infantil en los cinco continentes del mundo de acuerdo con los estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Banco Mundial (BM) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (Felipe *et al.*, 2014)

En el año 2006, la OMS revisó el estado de la calidad del aire en algunas ciudades de los cinco continentes, existiendo una marcada diferencia entre los países industrializados, en transición y desarrollo, situación que limita una eficiente gestión sobre la calidad y manejo del aire, debido a las condiciones políticas, socioeconómicas, a la ausencia y/o incapacidad técnica por el no uso o uso de tecnologías obsoletas y por la ausencia de sistemas de control de la contaminación. (EPA, 2014)

Origen	Primarios	Contaminantes emitidos directamente a la atmósfera: SO_2 , algunas especies de NO, CO y partículas de pequeño tamaño
	Secundarios	Contaminantes que se forman como resultado de reacciones químicas entre otros contaminantes: O_3 , NO y algunos tipos de partículas
Fuente	Intradomiciliaria	Cocinar, material de las casas, humo de cigarrillo, productos de consumo, productos de aseo
	Extradomiciliaria	Industrias, automóviles, fuentes naturales
Tipo	Gases	SO_2 , NO_2 , NO, ozono, CO (ejemplo: hidrocarburos aromáticos, dioxina, benceno, aldehído)
	Partículas	Partículas burdas (PM_{10}), finas ($\text{PM}_{2,5}$) y ultrafinas ($\text{PM}_{0,1}$). El tamaño de las partículas se mide en micrómetros

(Jorge y Luis, 2015a)

2.1 Gases contaminantes atmosféricos.

Esta contaminación se encuentra constituida por una variada cantidad de sustancias como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), compuestos orgánicos volátiles y material particulado (PM), una fina mezcla de productos líquidos y sólidos, clasificados según su diámetro en menor de 10 micras (PM_{10}), menor de 2,5 micras ($\text{PM}_{2,5}$), menor de una micra (PM_1) e inclusive en PM extrafino menor de 0,1 micras. (Calderon-Garciduenas, 2016)

A pesar de los esfuerzos realizados por la autoridad ambiental local, las concentraciones de material particulado respirable (PM_{10}) en algunas zonas de la ciudad con frecuencia están por encima de los valores que dicta la normativa nacional y que son considerados como perjudiciales para la salud de las personas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (9). De acuerdo con el último inventario de emisiones para latino américa, las fuentes móviles emiten cerca del 60 % del PM_{10} (10), con un aporte significativo de los vehículos que utilizan combustible diésel (v.g., buses y camiones), reconocidos científicamente como importantes generadores de partículas. (Robertson y Miller, 2018)

2.1.1 Ozono

El ozono (O₃) troposférico es un contaminante secundario derivado de las reacciones fotoquímicas en las que los rayos UV actúan sobre los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles. Este es el principal contaminante en todas las ciudades del mundo. La exposición a ozono causa irritación de ojos, congestión nasal, tos, náusea, dolor de cabeza y enfisema pulmonar a largo plazo. Además, produce remodelación de los fosfolípidos de la membrana celular, incrementa el número de macrófagos y monocitos y causa hiperreactividad bronquial en ratones y en cobayos sanos expuestos a 0.3ppm con la administración de sustancia P. La exposición a altas concentraciones de ozono (3.0ppm) puede inducir neutrofilia, aumentar la proteína elastasa y favorecer la producción de IL-8, IL-1, IL-6 e IL-17, GM-SCF, IgG, PGE₂, LTC₄, LTD₄ y LTE₄. La liberación de prostaglandina y leucotrienos a partir de las células plasmáticas produce secreción por parte del epitelio bronquial de las interleucinas IL-6 e IL-8. (Amadeo *et al.*, 2015)

En la troposfera de la tierra, el Ozono se vuelve “malo” al reaccionar químicamente en presencia de la luz solar con contaminantes como el Óxido de Nitrógeno (NO_x) y Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC), los cuales son emitidos por automóviles, industrias, plantas generadoras de energía, refinerías, plantas químicas; entre otras fuentes, causando efectos perjudiciales sobre las personas que lo respiran. La problemática de la contaminación atmosférica, no es ajena a las ciudades, la población de éste país tiende a concentrarse cada vez más en las principales ciudades alejadas de las grandes urbes. (U.S, 2018)

2.1.2 Dióxido de azufre

El dióxido de azufre (SO₂) es emitido por las mismas fuentes que el NO₂. Al igual que los dos anteriores, este gas presenta alta reactividad sobre la vía aérea. La exposición a SO₂ causa irritación del tracto respiratorio, altera el mecanismo de limpieza mucociliar y produce bronco constricción, tos, enfermedades cardiovasculares y muertes prematuras. (Armah *et al.*, 2015)

2.1.3 Óxidos de nitrógeno

Los óxidos de nitrógeno son contaminantes primarios emitidos por la combustión de gasolinas derivadas del petróleo. El dióxido de nitrógeno (NO₂) es el mayor componente de la contaminación fotoquímica y es común en el aire intramuros. La exposición a este gas causa irritación de las vías aéreas, tos, dolor de pecho y bronquitis; además, contribuye a la peroxidación lipídica de las membranas celulares e incrementa los neutrófilos y eosinófilos en el líquido alveolar de cobayos. La administración de NO₂ en células in vivo incrementó en el líquido sobrenadante el GM-CSF y el TNF- α . Sin embargo, algunos marcadores inflamatorios como los LTB₂ y PGE₂ no parecen ser afectados por la exposición a este gas. (Anello *et al.*, 2015)

El Monóxido de Carbono (CO) se conoce comúnmente como un “Asesino Invisible”, ya que sus propiedades químicas hacen de este un contaminante inodoro, incoloro e insípido. La tercera parte de las emisiones de Monóxido de Carbono se atribuye a diversos procesos naturales, mientras que los dos tercios restantes son el resultado de actividades humanas, como por ejemplo; la quema de materiales que contienen gas, gasolina, querosén, carbón, petróleo, madera, los carros detenidos con el motor encendido, las chimeneas, estufas, calentadores de agua, etc. son algunos ejemplos de procesos que dan origen al CO. (Vahedian *et al.*, 2017)

Aún hay muchas preguntas por resolverse que requieren estudios con estricto rigor metodológico, ya que muchos efectos desencadenados no corresponden simplemente a la adición de los efectos agudos día a día, como es el caso de las de placas ateroscleróticas, cuya formación e inestabilidad está relacionada con el daño endotelial y disfunción vascular secundaria al PM, y para la cual se requiere un proceso secuencial, no explicado por la exposición aguda, y que a largo plazo es causa de eventos isquémicos cardíacos, cerebrales y periféricos. Adicionalmente se ha deducido que el PM_{2.5} de forma crónica puede aumentar el riesgo de eventos cardiovasculares a largo plazo entre 93 y 95%. (Carugno *et al.*, 2016)

En Nueva York, se asoció la inflamación y estrés oxidante con las concentraciones ambientales de carbón negro y óxido de nitrógeno en adolescentes asmáticos. En otro estudio, se demostró que la exposición a DEP en niños alérgicos al ácaro del polvo incrementó los niveles de IL-17A en suero. En Ciudad Juárez y Chihuahua, México, se encontraron asociaciones positivas entre las concentraciones de PM_{≤10} y el número de consultas por asma y enfermedades respiratorias, aun cuando los niveles alcanzados no excedían las normas ambientales mexicanas. Asimismo, se detectó un efecto sinérgico entre ozono y PM_{≤10}. En un modelo de sensibilización en ratones, las DEP incrementaron los eosinófilos, neutrófilos, linfocitos y macrófagos, y activaron las interleucinas IL-2, IL-4, IL-6, IL-13, IL-17 y GM-CSF. En este mismo modelo, la instilación intranasal de partículas finas en concentraciones de 0.5µg o 450µg aumentó el número de eosinófilos, linfocitos y neutrófilos; elevó la expresión de IgG e IgE, e incrementó la producción de algunas citocinas como TNF-α, IL-5, IL-13, IL-6, MPC-1 y MIP-α. (Aristarkhov *et al.*, 2015)

La relación entre el PM y la enfermedad cerebrovascular también ha sido tema de múltiples estudios que han permitido identificar al PM_{2,5} como causa de aumento de hospitalizaciones por este tipo de patologías, más relacionado con valores por encima del PM₁₀, sobre todo en pacientes diabéticos, ancianos y con enfermedad coronaria concomitante. Además, es más consistente la evidencia que relaciona las enfermedades cerebrovasculares, específicamente ataques isquémicos, con un contacto crónico a PM_{2,5}, por encima del contacto agudo.

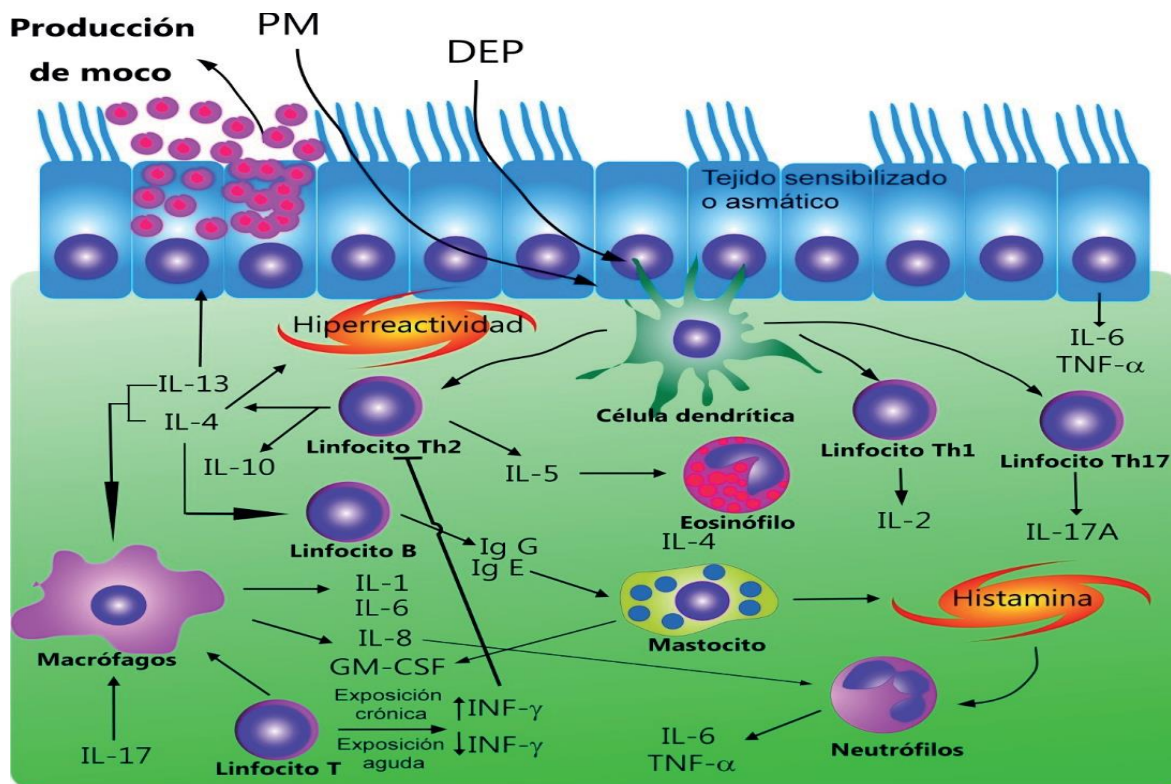


Ilustración 2. Mecanismo de activación del asma por exposición a partículas.

2.2 Emisiones por fuentes fijas.

La contaminación del aire por fuentes fijas incluye elementos de origen natural y emisiones resultantes de actividades humanas. Los contaminantes atmosféricos pueden ser compuestos gaseosos, aerosoles o material particulado. Entre los contaminantes gaseosos se encuentran el ozono, los óxidos de azufre y de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y compuestos volátiles orgánicos e inorgánicos. El material particulado se caracteriza, a su vez, por partículas suspendidas totales, partículas suspendidas menores a diez micras y partículas suspendidas con diámetro menor a 2.5 micras.

Las industrias para poder cumplir la normativa ambiental que se establecen en cualquier país, se ven en la necesidad de utilizar sistemas de monitoreo con la finalidad de caracterizar sus emisiones, siendo los simuladores de dispersión de contaminantes atmosféricos una herramienta imprescindible para desarrollar diferentes tareas, que tienen como objetivo garantizar la buena calidad del aire.

Entre ellas se encuentra el establecimiento de legislaciones para el control de las emisiones de contaminantes atmosféricos, determinando los valores máximos permitidos para los caudales y concentraciones de emisión; así como en la evaluación de estrategias de control de emisiones; en la selección de localizaciones de futuros focos emisores, entre otros. (Victor *et al.*, 2015)

2.2.1 Fuentes puntuales

Derivadas de la generación de energía eléctrica y de actividades industriales como son: la química, textil, alimentaria, maderera, metalúrgica, metálica, manufacturera y procesadora de productos vegetales y animales, entre otras. Las emisiones derivadas de la combustión utilizada para la generación de energía o vapor, dependen de la calidad de los combustibles y de la eficiencia de los quemadores, mantenimiento del equipo y de la presencia de equipo de control al final del proceso (filtros, precipitadores y lavadores, entre otros). Los principales contaminantes asociados a la combustión son partículas (SO₂, NO_x, CO₂, CO e hidrocarburos). (Arroyo *et al.*, 2016)

2.2.2 Fuentes de área

Incluyen la generación de aquellas emisiones inherentes a actividades y procesos, tales como el consumo de solventes, limpieza de superficies y equipos, recubrimiento de superficies arquitectónicas, industriales, lavado en seco, artes gráficas, panaderías, distribución y almacenamiento de gas LP, principalmente. Esta fuente también incluye las emisiones de actividades como son: el tratamiento de aguas residuales, plantas de composteo, rellenos sanitarios, entre otros. En este tipo de emisión se encuentra un gran número de contaminantes, de muy variado nivel de impacto en la salud. (Diaz *et al.*, 2016)

2.2.3 Fuentes naturales

Se refiere a la generación de emisiones producidas por volcanes, océanos, plantas, suspensión de suelos, emisiones por digestión anaerobia y aerobia de sistemas

naturales. En particular a todo aquello emitido por la vegetación y la actividad microbiana en suelos y océanos, que se les denomina emisiones biogénicas, cuyo papel es importante en la química de la troposfera al participar directamente en la formación de ozono. Las emisiones biogénicas incluyen óxido de nitrógeno, hidrocarburos no metanogénicos, metano, dióxido y monóxido de carbono y compuestos nitrogenados y azufrados. (Velasco *et al.*, 2015)

2.3 Emisiones por fuentes móviles.

Las emisiones por fuentes móviles se producen por la quema de combustibles fósiles utilizados por el parque automotor ya que los vehículos automotores son los principales emisores de contaminantes. Las fuentes móviles son los aviones, helicópteros, ferrocarriles, tranvías, tractocamiones, autobuses, camiones, automóviles, motocicletas, embarcaciones, equipo y maquinarias no fijas con motores de combustión y similares, que por su operación generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. Si bien la definición de fuente móvil incluye prácticamente a todos los vehículos automotores, la NOM para fuentes fijas se refiere básicamente a las emisiones de automóviles y camiones. Los motores de los vehículos son los responsables de las emisiones de CO, de compuestos orgánicos volátiles, SO₂, y NO_x, producidos durante la combustión. (Breen *et al.*, 2015)

2.4 Enfermedades asociadas a la contaminación.

Los efectos crónicos en la salud asociados con exposiciones sostenidas a altas concentraciones de contaminantes atmosféricos son un tema importante para millones de residentes de mega ciudades y millones más que viven en áreas urbanas y rurales más pequeñas. (Calderon-Garciduenas *et al.*, 2015)

Las concentraciones de materia particulada (PM) y ozono (O₃) cercanas o superiores a sus estándares de calidad del aire respectivos durante los últimos 20 años afectan a 24 millones de personas que viven en el Área Metropolitana de la Ciudad de México (ZMMP). Aquí discutimos las tendencias de PM y O₃ en MCMA

y su posible asociación con los efectos observados del sistema nervioso central (SNC) en niños clínicamente sanos. Argumentamos que la exposición sostenida prenatal y postnatal a una cámara de exposición ambiental natural contribuye a las respuestas neurales perjudiciales. (Calderon-Garciduenas *et al.*, 2015)

La imagen emergente para los niños con MCMA muestra inflamación sistémica, inmunodisregulación tanto a niveles sistémicos como cerebrales, estrés oxidativo, neuroinflamación, patología de vasos sanguíneos pequeños y un proceso inflamatorio intratecal, junto con las características neuropatológicas tempranas de las enfermedades de Alzheimer y Parkinson. Los cerebros expuestos responden vigorosamente a su ambiente dañino y sientan las bases para cambios estructurales y volumétricos, déficits cognitivos, olfatorios, auditivos y vestibulares y consecuencias neurodegenerativas a largo plazo. Necesitamos mejorar nuestra comprensión del impacto pediátrico a corto y largo plazo del SNC a través de la investigación multidisciplinaria. Se puede lograr un beneficio para la salud pública integrando intervenciones que reducen los niveles finos de MP y las exposiciones pediátricas y estableciendo programas de detección preventiva dirigidos a las poblaciones pediátricas que están en mayor riesgo. (Calderon-Garciduenas *et al.*, 2015)

Esperamos que la salud de 24 millones de residentes sea importante y bloquear la investigación pediátrica de la contaminación del aire y ocultar información crítica que debería estar disponible para nuestra población, salud, educación y trabajadores sociales no es lo mejor para nuestros niños. (Calderon-Garciduenas *et al.*, 2015)

La contaminación del aire es un problema global, que afecta a todos los países sin importar su nivel de desarrollo. Puede presentarse en ambientes exteriores, en cuyo caso la industria y la carga vehicular masiva son los principales factores asociados; y en interiores, donde el principal contaminante es el cigarrillo. Tanto así que en un estudio realizado en la ciudad de México, se encontró una variación cíclica de los niveles de contaminantes durante el día, los cuales son mayor en horas de la

mañana y tarde, siendo esto correspondiente a las horas de alto tráfico en la ciudad. (Bytnerowicz *et al.*, 2016)

Específicamente, estudios científicos han relacionado la exposición a la contaminación atmosférica con síntomas respiratorios, alteración de la función pulmonar y enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Esta situación es prioritaria en ciudades reconocidas como uno de los centros urbanos con mayor contaminación atmosférica en América Latina y donde sus autoridades de salud pública han documentado que las enfermedades respiratorias son la principal causa de morbilidad y mortalidad para niños menores de cinco años de edad. (Vedal *et al.*, 2017)

2.4.1 El asma

El asma es una enfermedad que afecta a más de 300 millones de personas alrededor del mundo, en su mayoría niños y adultos. Se estima que para el año 2025 el número de asmáticos aumentará en 100 millones debido al incremento en las concentraciones de contaminación ambiental. De hecho, la incidencia de enfermedades alérgicas se ha incrementado de forma notable en países industrializados. (Toledo-Corral *et al.*, 2018)

Debido a la facilidad con la que pueden entrar en contacto los contaminantes aéreos con el epitelio alveolar, tienen un impacto negativo directo en la función respiratoria y la aparición de enfermedades de este sistema, la sintomatología de las mismas, la hospitalización, las admisiones de emergencia y su mortalidad. (Toledo-Corral *et al.*, 2018)

Aunque la contaminación del aire es un problema a nivel mundial, existe una variabilidad geográfica en la presentación de las patologías respiratorias debido a que las regiones altamente contaminadas tienen un número mayor de admisiones hospitalarias. Un dato curioso es que al parecer los ancianos y los niños parecen estar afectados por igual por la contaminación sin importar la región geográfica en que residan. Si hacemos referencia a las características topográficas de la ciudad de estudio, Antioquia por estar ubicada en un valle rodeado de montañas de gran

altura generan que los contaminantes no puedan ser barridos por las corrientes de aire generando acumulación y por tanto mayor exposición. (Toledo-Corral *et al.*, 2018)

2.5 Aspectos clínicos de la exposición a la contaminación ambiental.

Debido a la preocupación científica por creciente contaminación aérea y la aparición de smog sobre las grandes ciudades, se comenzó hace más de 50 años a estudiar la relación que puede tener la exposición a polución aérea y el deterioro de la salud, lo que ha permitido demostrar que los sistemas respiratorio y cardiovascular son los principalmente afectados. (Byun *et al.*, 2016)

El asma es una enfermedad heterogénea que produce una inflamación crónica en los pulmones y se define por síntomas respiratorios como tos, disnea y opresión torácica que varían en intensidad y con el tiempo. El asma también ocasiona que la variable espiratoria del flujo aéreo se limite y se presente hiperreactividad bronquial y bronco obstrucción reversible con o sin bronco dilatadores El NO₂ favorece el desarrollo de asma infantil e incrementa la morbilidad por asma. (An y Xiang, 2015)

Resulta interesante que un estudio asoció la exposición de este gas con el uso de medicamentos para asmáticos y sibilancias en niños asmáticos que residían cerca de autopistas de California. Según otro estudio, el aumento en 10ppb podría producir asma alérgica en ciudades contaminadas. En personas alérgicas al ácaro del polvo se observó una respuesta de bronco constricción después de la exposición a este gas, mientras que en pacientes alérgicos al polen de abedul y pastos se incrementaron los neutrófilos al exponerse a 260ppb durante 15 minutos. En el modelo animal de sensibilización a OVA, la inhalación de NO₂ a 15ppm activó las respuestas Th₂ y Th₁₇ e incrementó los eosinófilos, linfocitos y neutrófilos. (An y Xiang, 2015)

Si bien algunos estudios previos, en su mayoría análisis epidemiológicos, han evidenciado la relación entre la contaminación y las exacerbaciones de asma, otros no han logrado correlacionar estos dos eventos. Tal es el caso del Estudio Internacional de Asma y Alergias en la Infancia (ISAAC, por su sigla en inglés), el

cual halló, en primer lugar, que la prevalencia de asma en países de Latinoamérica es similar a la incidencia ocasionada por la urbanización en países desarrollados; en segundo lugar, este estudio identificó una baja prevalencia de asma en regiones de Latinoamérica con alta contaminación, lo que sugiere que la inhalación crónica de contaminantes criterio no contribuye al desarrollo de asma en estos países. (Ciarrocca *et al.*, 2014)

En los modelos de sensibilización animal se han encontrado varias asociaciones entre estos dos eventos. Algunos componentes contaminantes funcionan como adyuvantes, es decir, incrementan la respuesta alérgica en combinación con el alérgeno mediante la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y la producción de inmunoglobulinas específicas como la IgE o la IgG, las cuales mantienen o activan una respuesta de tipo Th2 dentro de la vía respiratoria. (Al-Zoughool, 2015)

Contaminante	Efecto a la salud
Ozono	Irritación ocular y en las vías respiratorias
Monóxido de carbono	Formación de carboxihemoglobina ocasionando apnea
Plomo	Acumulación crónica en sistema hematopoyético y alteraciones en el desarrollo del sistema nervioso central
Partículas suspendidas	Irritación en los tejidos respiratorios, fibrosis, asma.
Bióxido de azufre	Irritante (garganta y bronquios), broncoconstricción, alteraciones en la función pulmonar.
Bióxido de nitrógeno	Disminución en la capacidad de difusión pulmonar

(SINAICA, 2018)

2.6 Impacto a nivel cardiovascular

En 2004, la Asociación Americana del Corazón (AHA, por sus siglas en inglés) hizo su primera publicación en la que mencionaba la relación entre la polución ambiental y la enfermedad cardiovascular. En esta publicación se concluyó que la exposición

a corto plazo podía contribuir a la morbimortalidad cardiovascular aguda y a largo plazo era causante de disminución en la esperanza de vida por un par de años, inclusive, se halló que el deterioro cardiovascular debido a la contaminación puede ser más numeroso que el causado por patologías respiratorias de base. (Carter *et al.*, 2016)

Recientemente, se ha hecho un especial énfasis en la implicación que tiene el PM como causante de afecciones cardiovasculares, dado que un incontable número de sus constituyentes pueden causar un daño biológico sobre este sistema. Sin embargo, el componente directamente responsable se desconoce, aunque se considera que debe tener un potencial de reducción intrínseco y la capacidad de desencadenar estrés oxidativo en el tejido cardiovascular. (Carter *et al.*, 2016)

Estos cambios alteran la actividad del sistema nervioso autónomo, el proceso inflamatorio, la actividad de la endotelina- 1, activación anormal de plaquetas, la integridad del endotelio vascular, lo que puede conducir a arritmias ventriculares, descompensación de la falla cardíaca e infartos de miocardio, en otras palabras en aumento del riesgo de mortalidad cardiovascular. (Carter *et al.*, 2016)

Recientemente, se ha hecho un especial énfasis en la implicación que tiene el PM como causante de afecciones cardiovasculares, dado que un incontable número de sus constituyentes pueden causar un daño biológico sobre este sistema. Sin embargo, el componente directamente responsable se desconoce, aunque se considera que debe tener un potencial de reducción intrínseco y la capacidad de desencadenar estrés oxidativo en el tejido cardiovascular.

Estos cambios alteran la actividad del sistema nervioso autónomo, el proceso inflamatorio, la actividad de la endotelina- 1, activación anormal de plaquetas, la integridad del endotelio vascular, lo que puede conducir a arritmias ventriculares, descompensación de la falla cardíaca e infartos de miocardio, en otras palabras en aumento del riesgo de mortalidad cardiovascular. (Carvalho *et al.*, 2016)

Sistema involucrado	Impacto	Contaminantes asociados
Cardiovascular	<ul style="list-style-type: none"> - Morbimortalidad cardiovascular. - Desarrollo de: falla cardíaca, muerte súbita, arritmias, enfermedad arterial periférica e hipertensión. - Eventos isquémicos. 	¹ PM _{2,5} , PM ₁₀ y PM-ultrafino ² NO ₂ ³ SO ₂
Pulmonar	<ul style="list-style-type: none"> - Mortalidad por causa respiratoria. - Desarrollo de cáncer pulmonar. - Admisión hospitalaria por causas respiratorias. - Enfermedad pulmonar obstructiva crónica - Infecciones respiratorias agudas bajas 	PM _{2,5} , PM ₁₀ NO ₂ SO ₂ ⁴ O ₃ ⁵ DEP
Otros efectos	<ul style="list-style-type: none"> - Alteraciones en el desarrollo fetal. - Resistencia a la insulina. - Trastornos gastrointestinales. 	PM _{2,5} , PM ₁₀ SO ₂ ⁶ PAH
¹ PM: material particulado, ² NO ₂ : Dioxido de Nitrogeno, ³ SO ₂ : Dioxido de azufre, ⁴ O ₃ : Ozono, ⁵ DEP: Diesel exhaust-particles, ⁶ PAH: hidrocarburos aromáticos policíclicos.		

Ilustración 3. Impacto de la contaminación ambiental en los diferentes sistemas anatómicos

2.7 Otros impactos.

Aunque no hacen parte de los efectos más estudiados, en la literatura se encuentran referencias respecto a cómo la contaminación afecta el desarrollo fetal y condiciones del bebe en el nacimiento. Entre las relaciones más mencionadas, se encuentran alteraciones en el peso al nacer; para lo cual el aumento de un cuartil en concentraciones de SO₂ implica una disminución de 2,99 g y las de O₃ (sobre todo en el primer y segundo trimestre) lleva una disminución de 2,72g. La exposición a PM₁₀, PM_{2,5} y CO también se ha asociado a la disminución de peso. La exposición a PAH también podría tener efectos al atravesar la barrera placentaria, lo que se ve reflejado en variaciones del perímetro cefálico, peso al nacer y estatura. Una explicación que se ha dado y que sustenta el efecto del PAH y del PM₁₀ es su relación con alteraciones en las mitocondrias placentarias, lo cual aumenta el estrés oxidativo, que como ha sido mencionado antes, desempeña un rol importante en el desequilibrio del funcionamiento celular. (Vivanco-Hidalgo *et al.*, 2018)

2.8 Casetas de monitoreo de la calidad del aire

Se ha definido un Sistema de Medición de la Calidad del Aire, SMCA, como el conjunto organizado de recursos humanos, técnicos y administrativos empleados para observar el comportamiento de la calidad del aire en una región dada. Una red de medición de la calidad del aire es aquella que enlaza dos o más estaciones para poder determinar la calidad del aire de la región. En este sentido una red pretende tener una mayor cobertura para evaluar el aire ambiente de una extensión territorial amplia. (SINAICA, 2018)

La infraestructura del sistema debe permitir el cumplimiento de los siguientes objetivos: evaluar la observancia de las normas de calidad del aire, conocer de forma rápida los niveles de contaminación prevalecientes, informar a la población sobre los niveles de contaminación, verificar los efectos de las medidas de control en la contaminación atmosférica, y promover la gestión ambiental para evitar el deterioro de la atmósfera debido a las actividades humanas. (SINAICA, 2018)

Un Sistema de Medición de la Calidad del Aire está destinado a medir, registrar y procesar información sobre calidad del aire. Está formado por estaciones de muestreo, de monitoreo y de estaciones meteorológicas, sistemas de transmisión de datos, centro de control, oficinas, laboratorios y talleres. (SINAICA, 2018)

2.9 Normas de la calidad del aire

La OMS estima que la contaminación atmosférica exterior en 2012 se produjeron 3,7 millones de muertes a causa de fuentes urbanas y rurales en todo el mundo.

Para proteger la salud humana, los gobiernos en muchos países del mundo controlan los niveles de contaminantes atmosféricos utilizando diversas herramientas normativas. Entre éstas se encuentran las normas de calidad del aire, que establecen concentraciones aceptables para la población en términos de los riesgos que los contaminantes representan para la salud humana. ((Cofepris), 2017)

Así, dichas normas definen las concentraciones aceptables durante diferentes periodos de exposición, ya que en algunos casos se considera una concentración menor, pero durante un tiempo de exposición mayor, también representa un riesgo para la población. En nuestro país, la Secretaría de Salud es el órgano responsable de evaluar la evidencia de los impactos de la contaminación atmosférica en la salud y establecer los límites permisibles de concentración de los contaminantes en la atmósfera. ((Cofepris), 2017)

La siguiente tabla resume los indicadores con los que se evalúa el cumplimiento de las NOM de salud con respecto a cada uno de los contaminantes criterios. Se muestra además el tipo de dato base que se utiliza en el cálculo y el tiempo para calcular la métrica, el tipo de exposición, la frecuencia tolerada, los valores límite, los criterios de suficiencia de información y la NOM que corresponde a cada contaminante. Para reducir las repercusiones de la contaminación atmosférica urbana sobre la salud pública es preciso reducir las fuentes principales de contaminación, en particular la combustión ineficiente de combustibles fósiles para el transporte motorizado y la generación de electricidad, y mejorar la eficiencia energética de los edificios y las fábricas. ((Cofepris), 2017)

Reducir los efectos sanitarios de esta forma de contaminación escapa en gran medida a la voluntad de las personas y exige más bien la actuación de las autoridades públicas en los planos nacional, regional e incluso internacional.

El sector de la salud pública puede desempeñar un papel protagónico promoviendo un enfoque multisectorial de la prevención de la exposición a la contaminación atmosférica, para lo cual debe involucrarse y apoyar el trabajo de otros sectores (por ejemplo, transporte, vivienda, energía, industria) a fin de elaborar y aplicar políticas y programas a largo plazo encaminados a reducir la contaminación del aire y mejorar la salud. ((Cofepris), 2017)

2.9.1 Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993

Durante las últimas décadas, la calidad del aire en las principales ciudades del país y sus zonas conurbadas muestra una clara tendencia al deterioro. Asimismo, la capacidad de renovación y recuperación del medio ambiente y de los recursos naturales también se ha visto afectada. En consecuencia, la salud de la población de las principales zonas conurbadas del país está en riesgo o ya está siendo afectada por la contaminación ambiental provocada por diversos contaminantes, como el ozono (O₃), los cuales pueden rebasar los límites normales de concentración ambiental ocasional o sistemáticamente.

En materia de los efectos que el ambiente puede tener en la salud, la Ley General de Salud considera que se deben establecer normas, tomar medidas y realizar actividades tendientes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños que representa el deterioro ambiental; esta Ley también especifica que se deben determinar los valores de concentración máxima permisible de los contaminantes en el ambiente para el ser humano. (Salud. y AMBIENTAL., 1993a)

La norma es un instrumento regulatorio que pretende contribuir a que se cumplan los objetivos de mejoramiento de la calidad del aire en el territorio nacional.

Esta Norma Oficial Mexicana tiene por objeto establecer los valores límites permisibles de concentración de ozono (O₃) en el aire ambiente para la protección de la salud humana. (Salud. y AMBIENTAL., 1993a)

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional y deberá ser la referencia para que las dependencias, organismos e instituciones los apliquen en sus respectivos ámbitos de competencia en las acciones de prevención y control de la contaminación ambiental. (Salud. y AMBIENTAL., 1993a)

La NOM-020-SSA1-1993 establece como límite horario permisible una concentración de 0.11 ppm en un periodo de tres años. La modificación del periodo de evaluación de la norma a un año se debe a que gran parte de las zonas urbanas del país no cuentan con datos trianuales para verificar su cumplimiento y en las

zonas rurales prácticamente no existen datos sobre los niveles y el comportamiento del ozono. (Salud. y AMBIENTAL., 1993a)

Asimismo, se decidió mantener la concentración horaria de 0.11 ppm, ya que basándose en esta concentración se han instrumentado los diferentes planes de contingencia ambiental que operan en ciudades con altos niveles de ozono. (Salud. y AMBIENTAL., 1993a)

2.9.2 Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993

Objetivo de esta Norma Oficial Mexicana establece el valor permisible para la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente. (salud. y ambiental., 1993b)

El Plan Nacional de Desarrollo 1989 - 1994, señala que la contaminación atmosférica ha sido producto del proceso de la industrialización, así como de las grandes concentraciones urbanas, primordialmente por la emisión de humos, polvos y gases provenientes de fuentes móviles y fijas. Para prevenir, restablecer y mantener la calidad de aire, se realizarán acciones para reducir la emisión de contaminantes. La Ley General de Salud, contempla que en materia de efectos del ambiente en la salud, las autoridades sanitarias establecerán las normas, tomarán medidas y realizarán las actividades a que se refiere esta Ley tendientes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños dependientes de las condiciones del ambiente, así como determinar, para los contaminantes atmosféricos, los valores de concentración máxima permisible para el ser humano. (salud. y ambiental., 1993b)

El efecto dañino potencial principal de este contaminante lo constituye su afinidad para combinarse con la hemoglobina dando lugar a una elevada formación de carboxihemoglobina y como consecuencia, disminuye la cantidad de oxihemoglobina y por ende la entrega de oxígeno a los tejidos. El riesgo de la exposición al CO varía desde el efecto de pequeñas cantidades atmosféricas en

individuos que padecen deficiencias circulatorias (siendo particularmente susceptibles los enfermos con angina de pecho, así como aquellos con arterioesclerosis), hasta una intoxicación aguda por inhalación de grandes cantidades del contaminante en espacios cerrados y/o en un lapso de tiempo corto. Los valores criterio de calidad del aire, establecen límites sobre concentraciones de diversos contaminantes, con base en la protección de la salud de la población, iniciando con la más susceptible, y son parámetros de vigilancia de la calidad del aire ambiente. Establecen la referencia para la formulación de programas de control y evaluación de los mismos. (salud. y ambiental., 1993b)

El campo de aplicación

- Aplicable en todo el territorio mexicano.
- Aplicable en las políticas de saneamiento ambiental en lo referente a la salud humana.
- Aplicable en actividades o situaciones ambientales que causen o puedan causar riesgos o daños a la salud de las personas.
- Aplicable para el desarrollo de investigación permanente y sistemática de los riesgos y daños que, para la salud de la población, origine la contaminación ambiental por monóxido de carbono. (salud. y ambiental., 1993b)

2.9.3 Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010

Objetivo de esta Norma Oficial Mexicana establece los valores límites permisibles de concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente para la protección de la salud humana. (SALUD. *et al.*, 2010)

La contaminación atmosférica a mediados del siglo XX e inicios del XXI ha sido producto del proceso de la industrialización, así como de las grandes concentraciones urbanas, primordialmente por la emisión de humos, polvos y gases provenientes de los automotores y de las industrias, principalmente. Para prevenir, reestablecer y mantener la calidad de aire, se realizan acciones para reducir la

emisión de contaminantes. La Ley General de Salud, en su artículo 116 establece que en materia de efectos del ambiente en la salud de la población, las autoridades sanitarias establecerán las normas, tomarán medidas y realizarán las actividades a que se refiere esta Ley con el objetivo claro de protección de la salud humana ante los riesgos sanitarios y daños dependientes de las condiciones del ambiente y determinarán, para los contaminantes atmosféricos, los valores de concentración máxima permisible para la población. (SALUD. *et al.*, 2010)

Durante el 2005 la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha publicado la actualización mundial de las Guías de Calidad del Aire (GCA); esta revisión se basa en una evaluación mundial y regional de enfermedades debidas a la contaminación del aire. Atrajo la atención de la OMS la distribución geográfica y la escala del problema: más de dos millones de muertes prematuras al año se atribuyen a la contaminación del aire exterior urbano y a la contaminación del aire intramuros por la quema de combustibles sólidos y más de la mitad pesa sobre países en desarrollo (Informe de Salud Mundial 2002). OMS/OPS. Guías de Calidad del Aire. Actualización Mundial 2005. (SALUD. *et al.*, 2010)

La gestión de la calidad del aire a nivel internacional tiende hacia una reducción continua de los niveles máximos permisibles de los contaminantes en la atmósfera, por lo que la existencia de normas permite controlar la exposición de la población a sustancias contaminantes, además de fundamentar el diseño de las medidas de prevención y control. El azufre está presente en el petróleo y el carbón en su estado natural, y se señala desde hace décadas al dióxido de azufre (SO₂) y a los óxidos de nitrógeno (NO_x) como responsables en buena medida de las «lluvias ácidas» y de la contaminación del aire que afectan a las zonas urbanas e industriales. Recientemente, se han reconocido a las emisiones de SO₂ por su contribución a la formación de aerosoles inorgánicos secundarios, partículas finas que son perjudiciales para la salud humana. (SALUD. *et al.*, 2010)

El campo de aplicación de esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en el territorio nacional. (SALUD. *et al.*, 2010)

2.9.4 Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1993

Objetivo de esta Norma Oficial Mexicana establece el valor permisible para la concentración de bióxido de nitrógeno en el aire ambiente. (Salud., 1993)

El Plan Nacional de Desarrollo 1989 - 1994, señala que la contaminación atmosférica ha sido producto del proceso de la industrialización, así como de las grandes concentraciones urbanas, primordialmente por la emisión de humos, polvos y gases provenientes de fuentes móviles y fijas. Para prevenir, restablecer y mantener la calidad de aire, se realizarán acciones para reducir la emisión de contaminantes. El bióxido de nitrógeno (NO₂) se deriva de los procesos de combustión, siendo ésta la fuente principal de su vertimiento a la atmósfera. Es un contaminante primario y juega un doble papel en materia medio ambiental ya que se le reconoce efecto potencialmente dañino de manera directa, pero también es uno de los precursores del ozono. (Salud., 1993)

La acumulación de bióxido de nitrógeno (NO₂), en el cuerpo humano, constituye un riesgo para las vías respiratorias ya que se ha comprobado que: inicia, reactiva y puede alterar la capacidad de respuesta de las células en el proceso inflamatorio, como sucede con las células polimorfonucleares, macrófagos alveolares y los linfocitos, siendo más frecuente en casos de bronquitis crónica. Los valores criterio de calidad del aire, establecen límites sobre concentraciones de diversos contaminantes, con base en la protección de la salud de la población, iniciando con la más susceptible, y son parámetros de vigilancia de la calidad del aire ambiente. Establecen la referencia para la formulación de programas de control y evaluación de los mismos. (Salud., 1993)

Campo de aplicación

- Aplicable en todo el territorio mexicano.
- Aplicable en las políticas de saneamiento ambiental en lo referente a la salud humana.

- Aplicable en actividades o situaciones ambientales que causen o puedan causar riesgos o daños a la salud de las personas.
- Aplicable para el desarrollo de investigación permanente y sistemática de los riesgos y daños que, para la salud de la población, origine la contaminación ambiental por bióxido de nitrógeno. (Salud., 1993)

6 CONCLUSIÓN

La concentración de contaminantes en el aire resulto no ser de mala calidad sino todo lo contrario por esto mismo que no se ven afectaciones en la salud ambiental y humana, sin embargo no se debe de dejar de lado la inspección y vigilancia continua de la calidad del aire en esta zona del bajío Guanajuatense.

Mencionado lo anterior no se ve en la necesidad de implementar controles adicionales tendientes a mejorar la calidad del aire puesto que se tiene una calidad del aire buena a pesar del alto flujo vehicular y las altas actividades industriales.

En general no son muchos los estudios que se han realizado en el área del bajío Guanajuatense de concentraciones de los contaminantes atmosféricos a los que están expuestos peatones en inmediaciones de corredores viales y en actividades industriales, es por esto que debemos darle mayor relevancia y poner más énfasis en temas ambientales como la calidad del aire, en zonas como estas que están siendo muy concurridas por grandes industrias y el crecimiento demográfico va en aumento.

No es necesario adoptar alguna medida de seguridad ambiental más amplia desde la perspectiva de la salud pública y ambiental para reducir los efectos de la contaminación del aire en la salud de la población.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación

El estado de Guanajuato está ubicado entre los 19°55'08" y los 21 °52'09" de latitud norte y entre los 99°39'06" y los 102°05'07" de longitud oeste; colinda por el norte con los estados de Zacatecas y San Luis Potosí; por el sur con el estado de Michoacán; por el este con Querétaro, y por el oeste con Jalisco. (Inegi., 2015a)

Cuenta con una superficie de 30,471.06 km² (3, 047,106 has), ocupando por ello el vigésimo segundo lugar entre las entidades del país en cuanto a extensión territorial, (ver croquis de ubicación). El paisaje de la entidad muestra situaciones de contraste, desde la presencia de serranías escarpadas, poco habitadas y con escasa comunicación —en la Sierra Madre Oriental—, hasta la de poblaciones tan importantes como León e Irapuato, ciudades bien comunicadas, enclavadas en el Bajío, gran llanura fértil, con obras de irrigación de tal magnitud que han convertido a esta región en la zona agrícola más importante del país. La ganadería, la minería y la prestación de servicios son, junto con la agricultura, las principales ramas de actividad del estado. (Inegi., 2015a)

Guanajuato, San Miguel de Allende y Dolores Hidalgo, localidades que fueron escenario de acontecimientos históricos de gran relevancia, son hoy lugares de atractivo turístico; lo son también la región de lagos y volcanes al sur del estado, y en otro contexto, sitios de la majestuosidad de la Sierra Madre Oriental. En cuanto al clima, la entidad presenta condiciones que van desde áreas semiáridas hasta zonas en donde la precipitación es, si no de las más altas del país, sí lo suficientemente abundante como para favorecer la presencia de bosques de clima templado. (Inegi., 2015a)

Guanajuato Capital del estado con 48,034 habitantes, y tiene un área de 993.843 km² de superficie es en la actualidad una ciudad eminentemente turística, en la que quedan restos del esplendor minero. Destacan en la ciudad lugares como la Albóndiga de Granaditas (hoy museo histórico), en donde la Guerra de Independencia llegó a su punto culminante; el Mercado de Hidalgo, famoso por la venta de producción artesanal tan importante en el estado. (Inegi., 2015b)

Irapuato Ciudad con 162,438 habitantes y 807.801 km² de superficie es un importante centro ferroviario, cuenta con comunicación por ferrocarril a Ciudad Juárez, Guadalajara y la Ciudad de México; es un punto de convergencia de carreteras procedentes de diferentes puntos cardinales: del oeste de las ciudades de La Piedad Cabadas y Guadalajara; del este de Querétaro y de la Ciudad de México; del norte de León y de Ciudad Juárez, y del sur, de Morelia. Constituye una de las zonas industriales más antiguas del estado. (Inegi., 2015b)

León Ciudad de 634,718 habitantes y 1 190.687 km² la más poblada del estado, en donde se encuentran la mayoría de las industrias importantes de la entidad, entre las que destaca la del cuero, básica para la existencia y desarrollo de la industria del calzado. En esta población se encuentran el 90% de los establecimientos de esta naturaleza existentes en Guanajuato. (Inegi., 2015b)

Celaya Ciudad de 108,683 habitantes y 521.378 km² de superficie en donde se ubica una parte importante de la industria alimentaria del estado, por lo que participa con gran porcentaje en el valor generado por esta rama. Salamanca Ciudad de 114,184 habitantes y 773.975 km² de superficie destaca por contar con industria petroquímica. (Inegi., 2015b)

León, Irapuato, Celaya y Salamanca, forman la zona llamada "EJE INDUSTRIAL DEL BAJIO". En la entidad predominan las localidades con una población no mayor de 50,000 habitantes, sin presentarse poblaciones intermedias entre éstas y las cuatro de más de 100,000 habitantes mencionadas anteriormente. (Inegi., 2015b)

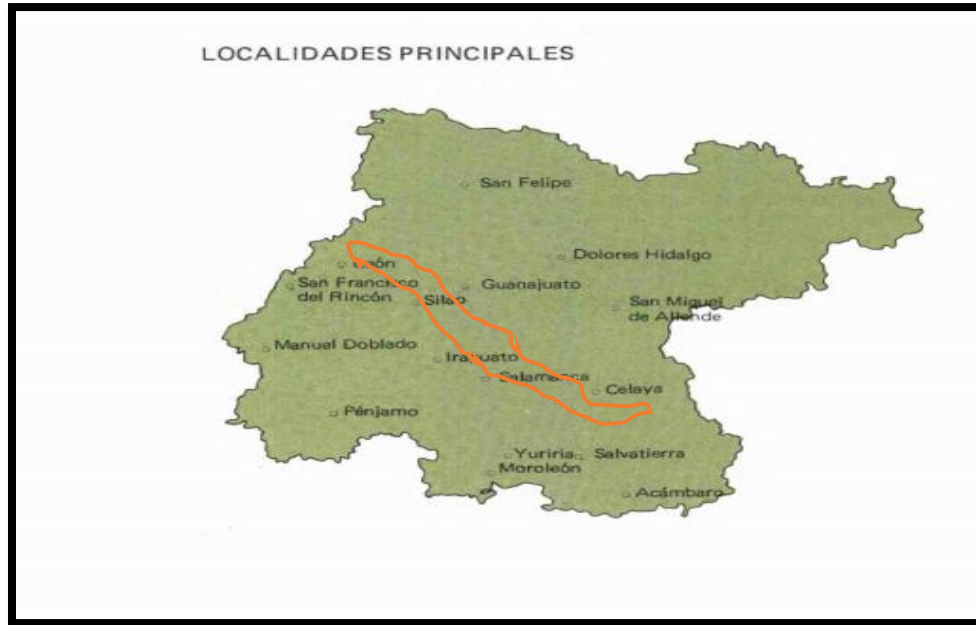


Ilustración 5. Localidades principales del estado de Guanajuato

3.2 Condiciones climatológicas del área

El estado mexicano de Guanajuato presenta tres variedades climáticas. Determinadas fundamentalmente por la altitud y distancia con la costa. La primera es la árida-semiárida. Abarca un 43% de la superficie del estado y se localiza en la región centro y norte (zona del altiplano). El segundo clima de Guanajuato por importancia es el clima cálido subhúmedo. Comprende un 33% de la superficie y está localizado en zonas centrales y en la parte suroeste y este (toda la zona de El Bajío). (INEGI., 2010)

El resto del estado comparte un clima semejante a este último aunque algo más templado en cuanto a temperaturas (partes medias y altas de la serranía). La temperatura media anual en Guanajuato es de 18°C. Las máximas suelen producirse en Mayo y Junio y rondan los 30°C, mientras que las mínimas se dan en el mes de Enero y nunca suelen bajar de los 6°C. Así, pues, podemos encontrarnos con noches algo frescas durante los meses de invierno. (INEGI., 2010)

Las precipitaciones que recibe este estado mexicano se mantienen en los 800 mm anuales. Con una temporada de lluvias que acumula la mayor parte de ellas.

Alrededor del 75%-80%. Julio es el mes más lluvioso con 140 mm, y Febrero el más seco con 7 mm. Prácticamente nada. (INEGI., 2010)

Clima de Guanajuato: Temporada de lluvias. La temporada de lluvias en Guanajuato comprende los meses de Junio a Septiembre. Corresponde con el verano. Se trata de tormentas, generalmente lluvias ligeras, de corta duración y que se producen al atardecer. Sobre todo, en Julio y Agosto.

El clima de Guanajuato durante estas fechas es templado-caluroso. Las temperaturas durante el día rondan los 26°C-28°C, aunque pueden llegar a los 30°C varias jornadas. Las noches, son algo más frescas y el termómetro puede descender hasta los 14°C. Generalmente son temperaturas agradables para visitar Guanajuato. Las lluvias que se producen durante esta época son el mayor inconveniente. Aunque es muy difícil que puedan arruinarte una estancia de varios días. (INEGI., 2010)

Clima de Guanajuato: Temporada seca. La temporada seca tiene lugar durante los meses de Octubre a Mayo. Son meses de casi ausencia de lluvias. Predomina un clima más seco y con temperaturas más frescas. Las temperaturas promedio descienden unos grados y se sitúan en los 22°C. Las mínimas bajan hasta los 6°C-7°C, generalmente no suelen bajar de ahí. (INEGI., 2010)

Otra característica del clima de Guanajuato en esta época seca son los fuertes vientos. Son bastante comunes. Proviene de las montañas soplando con violencia y cargados de bastante frío. Al amanecer suele ser habitual en determinadas zonas la presencia de escarcha. A partir de Marzo empiezan a remitir estos vientos y con la entrada de la primavera las temperaturas vuelven a aumentar gradualmente. (INEGI., 2010)

El viento en el bajío guanajuatense corre de sur a norte esto debido a las dos cordilleras de montañas que el estado tiene una del occidente y la otra del oriente.

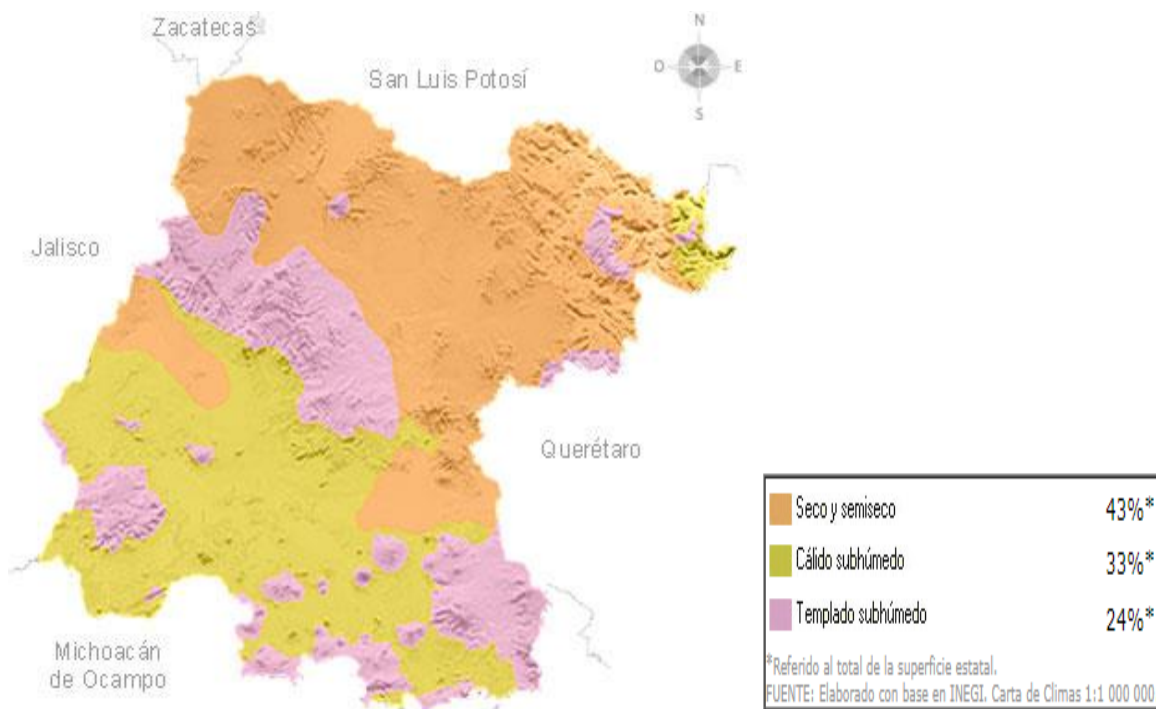
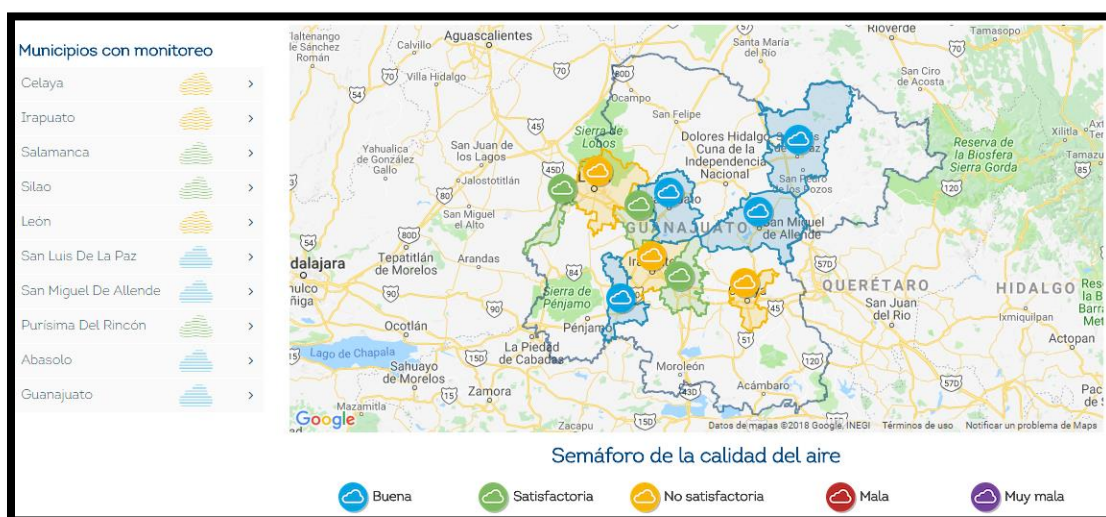


Ilustración 6. Clima del estado de Guanajuato

3.3 OBTENCION DE LOS DATOS DE ESTUDIO

El método utilizado para realizar esta investigación es un método de estadístico no experimental en el cual a partir de datos obtenidos de las diferentes casetas de monitoreo ambiental de la zona del bajo guanajuatense, se calcularon algunos valores como moda, promedio y mediana.



(Aire., 2018)

Como evaluación inicial y con el objetivo de realizar cálculos se tomaron como referencia las jornadas productivas de mayor consumo de combustible y de alta actividad industrial que resultarían en la práctica las de mayores emisiones a la atmósfera.

No obstante, se debe aclarar que para investigaciones más exhaustivas se debe contar con una data de emisiones obtenidas en diferentes condiciones y en determinadas épocas del año.

3.4 Contaminantes a evaluar

Dentro de los gases contaminantes a evaluar a través de las casetas y estaciones de monitoreo ambiental se encuentran el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O₃) y material particulado.

Los modelos de calidad del aire usan técnicas matemáticas y numéricas para simular los procesos físicos y químicos que afectan a los contaminantes en su dispersión y transformación en la atmósfera. Basados en datos meteorológicos e información de las fuentes de emisión, tales como tasas de emisión y parámetros de chimenea, estos modelos caracterizan la dispersión de los contaminantes primarios que son emitidos directamente en la atmósfera y en algunos casos también las reacciones químicas que ocurren en esta para formar contaminantes secundarios. (Vivanco-Hidalgo *et al.*, 2018)

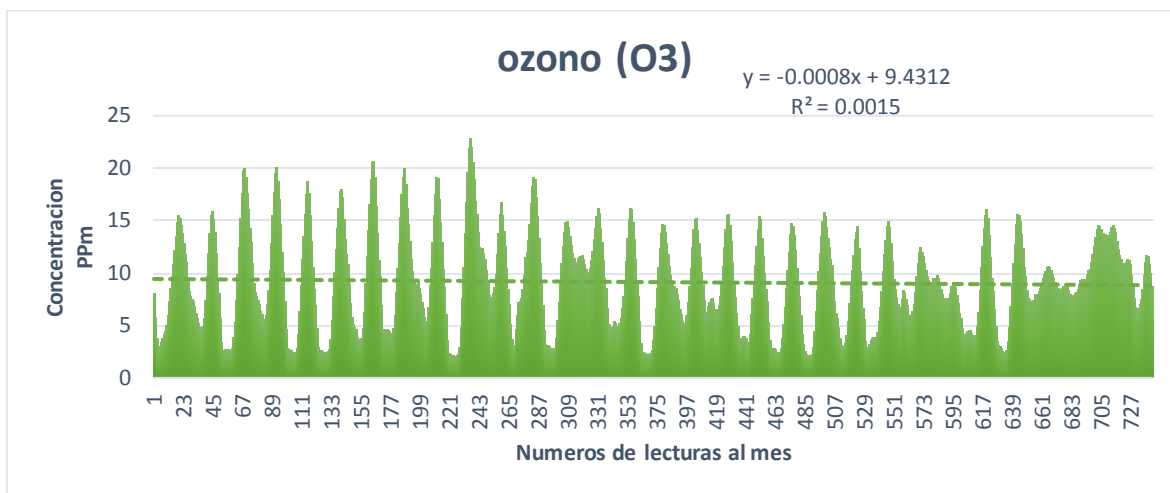
4 RESULTADOS

La metodología utilizada en la estimación de la concentración de los contaminantes en el área del bajío Guanajuatense, representan la concentración 8-h para O₃, SO₂, CO, NO₂, y 24-h PM₁₀ Y PM_{2.5}, según el día fue la medición que se realizó. Todas las estimaciones se realizaron mediante el método estadístico no experimental, mediante la determinación de la media, moda, varianza, línea de tendencia.

Cabe señalar que dependiendo la estación del año y condiciones climatológicas del área, será la concentración de los contaminantes presentes en la atmosfera, para el presente estudio, la época del año que se eligió para la evaluación de la concentración de los contaminantes, fue la época de invierno. Esto debido a que en la época de invierno, y según la información de investigaciones científicas, es la época en la que por falta de corrientes de viento y a los canales de baja presión, los contaminantes se concentran más y no se dispersan.

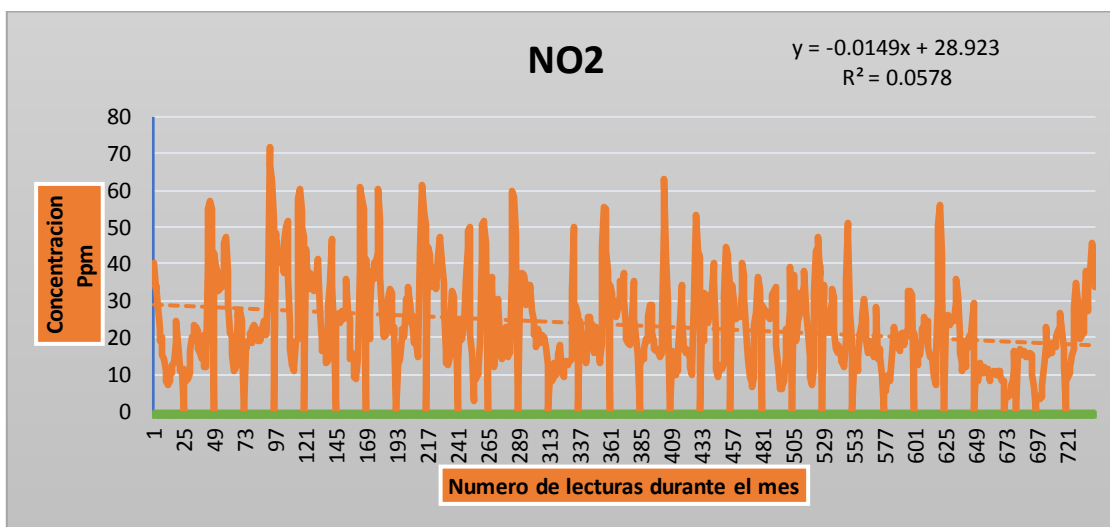
Dado que el monóxido de carbono y los contaminantes precursores del ozono, son producidos en su mayoría por actividades humanas, se analizó el comportamiento de estas actividades a partir de las primeras horas del día. Mediante el análisis exploratorio de datos, se encontró que las concentraciones del día, de O₃, SO₂, CO, NO₂, PM₁₀ Y PM_{2.5}, presentaron un comportamiento característico por el día evaluado. Por esta razón, para la concentración de dichos contaminantes, se determinaron las variables estadísticas mencionadas anteriormente, y las gráficas correspondientes, de las concentraciones 24-h por mes para cada municipio del bajío Guanajuatense.

4.1 Graficas de la concentración de contaminantes



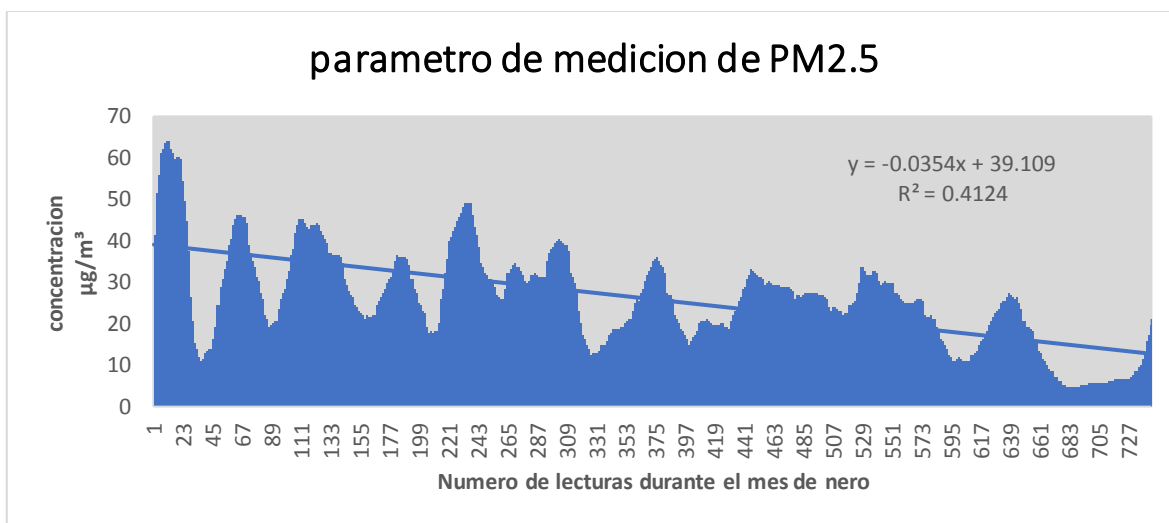
Grafica 1. Valores promedio de la concentración de ozono en el mes de enero del 2018

La grafica 1 muestra el comportamiento del O₃ durante el mes de enero del 2018, según el tipo de día. Se observa según la información recopilada de la estación de monitoreo ambiental que las concentraciones estimadas poseen valores muy aceptables al permitido por la norma de calidad del aire en México, siendo el valor mínimo para que se determine de mala calidad de 131 ppm de O₃ en el aire se tiene una concentración por debajo de las 25 ppm de O₃. Se observa que en algunos días del mes se presentaron mayores concentraciones, esto debido a las condiciones climatológicas que prevalecen durante esta época del año, la cual propicia las concentraciones de los contaminantes atmosféricos.



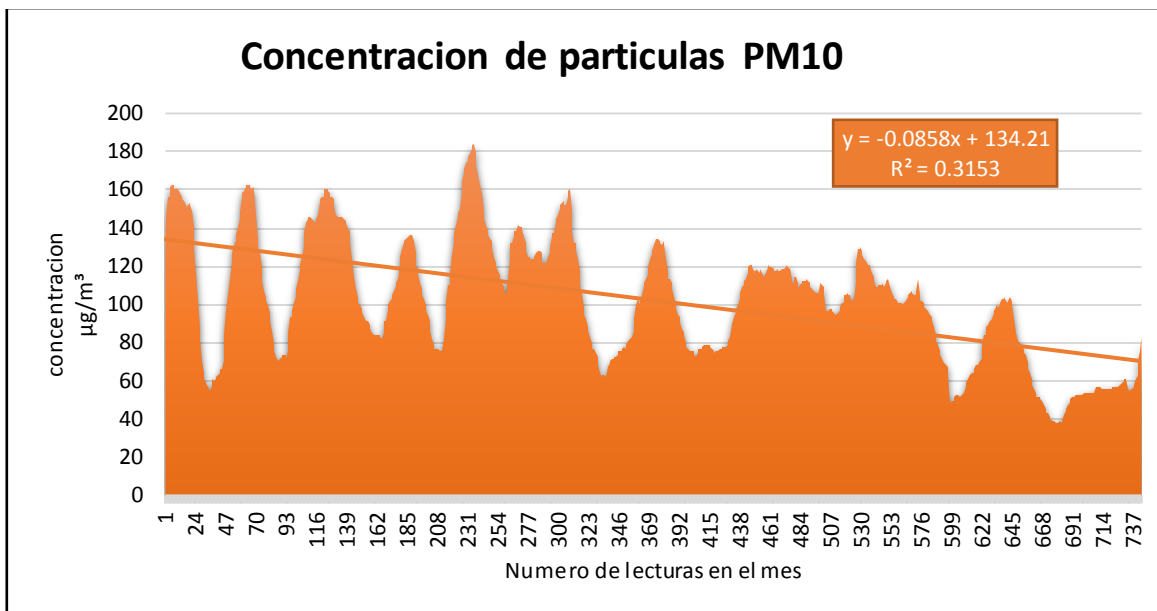
Grafica 2. Valores promedio de la concentración de NO₂ en el mes de enero del 2018

La grafica 2 muestra el comportamiento del NO₂ durante el mes de enero del 2018, según el tipo de día. Se observa según la información recopilada de la estación de monitoreo de la calidad el aire, del Instituto de ecología del estado de Guanajuato, muestra que las concentraciones estimadas poseen valores muy por debajo al permitido por la norma de calidad del aire en México, siendo el valor mínimo para que se determine de mala calidad de 316 ppm de NO₂ en el aire se tiene una concentración por debajo de las 50 ppm de NO₂, considerándose este valor muy aceptable a la salud ambiental y humana.



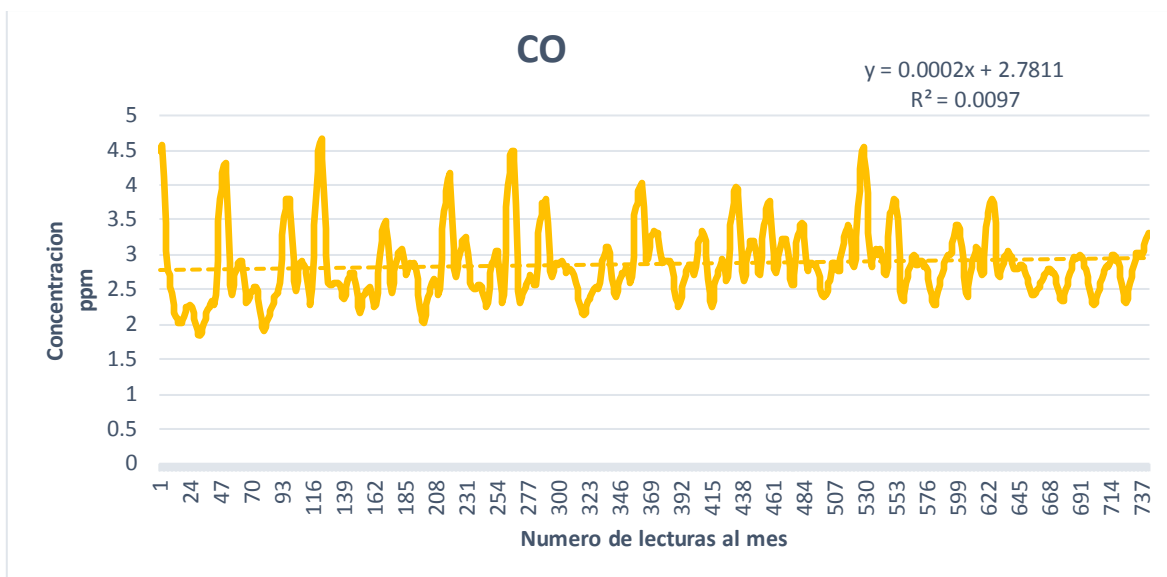
Grafica 3. Valores promedios de la concentración de partículas PM2.5 en el mes de enero del 2018

La grafica 3 muestra el comportamiento de la concentración de partículas PM2.5 durante el mes de enero del 2018, según el tipo de día. Según la información recopilada de la estación de monitoreo de la calidad el aire, del Instituto de ecología del estado de Guanajuato, se observa que las concentraciones obtenidas poseen valores cercanos a lo permitido por la norma de calidad del aire en México, siendo el valor mínimo para que se determine de mala calidad de 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de partículas PM2.5 en el aire se tiene una concentración de 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, considerándose este valor de calidad no satisfactoria a la salud ambiental y humana.



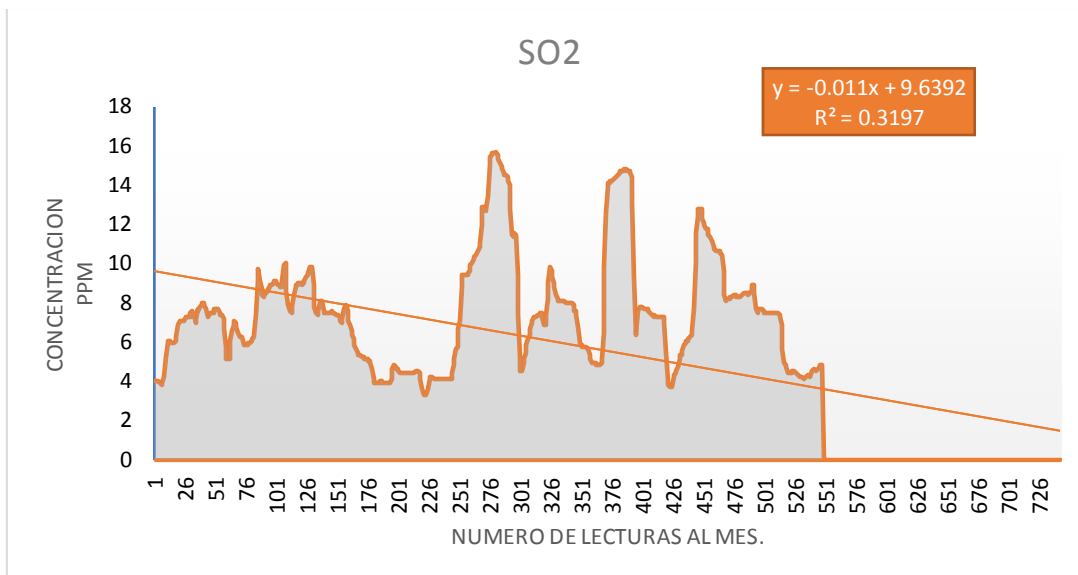
Grafica 4. Valores promedio de la concentración de partículas PM10 en el mes de enero del 2018

La grafica 4 muestra el comportamiento de la concentración de partículas PM10 durante el mes de enero del 2018, según el tipo de día. Según la información recopilada de la estación de monitoreo de la calidad el aire, del Instituto de ecología del estado de Guanajuato, se observa que las concentraciones obtenidas rebasan lo permitido por la norma de calidad del aire en México, para partículas PM10 siendo el valor mínimo para que se determine de mala calidad es de $175 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de partículas PM10 en el aire se tiene una concentración por encima de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, considerándose este valor de mala calidad a la salud ambiental y humana. Se observa en la ilustración que el limite se rebaso en la lectura 231 del mes de enero estando por encima de los $175 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que es lo permitido por la norma de calidad el aire para partículas PM10.



Grafica 5. Valores promedios de la concentración de CO₂ en el mes de enero del 2018

La grafica 5 muestra el comportamiento del CO durante el mes de enero del 2018, según el tipo de día del mes de enero. Se observa según la información recopilada de la estación de monitoreo de la calidad el aire, del Instituto de ecología del estado de Guanajuato, muestra que las concentraciones obtenida poseen valores muy por debajo al permitido por la norma de calidad del aire en México, para CO siendo el valor mínimo para que se determine de mala calidad de 16 ppm de CO en el aire se tiene una concentración por debajo de las 5 ppm de CO, considerándose este valor muy aceptable a la salud ambiental y humana. Se observa unos algunos incrementos en la gráfica esto debido muy posiblemente al alto tráfico de motores vehiculares en la zona centro de la ciudad en ese horario de toma de lectura. En ninguno de los casos, las concentraciones de CO sobrepasan los límites máximos establecidos en las normas de calidad del aire en México.



Grafica 6. Valores promedios de la concentración de SO2 en el mes de enero del 2018

La grafica 6 muestra el comportamiento del SO2 durante el mes de enero del 2018, según el tipo de día del mes de enero. Se observa según la información recopilada de la estación de monitoreo de la calidad del aire, del Instituto de ecología del estado de Guanajuato, muestra que las concentraciones obtenida poseen valores muy por debajo al permitido por la norma de calidad del aire en México, para SO2 siendo el valor mínimo para que se determine de mala calidad de 175 ppm de SO2 en el aire se tiene una concentración por debajo de las 20 ppm de SO2, considerándose este valor muy aceptable a la salud ambiental y humana.

Se observa unos algunos pequeños incrementos en la gráfica esto debido muy posiblemente al alto tráfico de motores vehiculares en la zona centro de la ciudad en ese horario de toma de lectura. En ninguno de los casos, las concentraciones de SO2 sobrepasan los límites máximos establecidos en las normas de calidad del aire en México.

5 DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos de los valores promedios para cada uno de los contaminantes de interés, se determinaron que las concentraciones de O₃, SO₂, NO₂, CO, y partículas PM_{2.5} y PM₁₀ a las que están expuestos las personas entre vías paralelas y con alto tráfico vehicular y alta actividad industrial en el bajo Guanajuatense, las personas no están expuestas a altas concentraciones de contaminantes. La posibilidad de registrar algunos de los eventos que ocurren mientras las personas se encuentran expuestas estos contaminantes, permitió documentar que existen circunstancias propias de la vía vehicular e industrias y de la cercanía a las fuentes de emisión que afectan considerablemente la salud ambiental y la humana.

Estudios en ciudades europeas han destacado la importancia del impacto del tráfico vehicular y altas actividades industriales en los niveles de contaminación a los que están expuestas las personas cercanas a estas fuentes emisoras de contaminantes, así como la importancia de involucrar los conceptos de exposición a la contaminación atmosférica cuando se diseñe infraestructura con beneficio para la sociedad. (Toledo *et al.*, 2018)

Realizando una comparación entre lo que establecen las normas de calidad del aire en México y los resultados obtenidos podemos establecer que la calidad del aire en el bajo Guanajuatense sigue siendo de buena calidad o al menos satisfactoria para la salud ambiental y humana.

Tablas de las normas Mexicanas de calidad del aire.

Buena			
Parámetros de medición de contaminantes			
	Exposición	Unidades	Límites
PM10	24Hrs	µg/m ³	0-54
O ₃	8Hrs	ppb	0-64
SO ₂	24Hrs	ppb	0-99
NO ₂	1Hrs	ppb	0-189
CO	8Hrs	ppm	0-9
PM _{2.5}	24Hrs	µg/m ³	0-29

Satisfactoria			
Parámetros de medición de contaminantes			
	Exposición	Unidades	Límites
PM10	24Hrs	µg/m ³	55-74
O ₃	8Hrs	ppb	65-69
SO ₂	24Hrs	ppb	100-109
NO ₂	1Hrs	ppb	190-209
CO	8Hrs	ppm	10
PM _{2.5}	24Hrs	µg/m ³	30-44

Tabla 1. Valores de buena calidad del aire

No Satisfactoria			
Parámetros de medición de contaminantes			
	Exposición	Unidades	Límites
PM10	24Hrs	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	75-174
O3	8Hrs	ppb	70-130
SO2	24Hrs	ppb	110-174
NO2	1Hrs	ppb	210-315
CO	8Hrs	ppm	11-15
PM2.5	24Hrs	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	45-89

Tabla 2. Valores de satisfactoria calidad del aire

Mala			
Parámetros de medición de contaminantes			
	Exposición	Unidades	Límites
PM10	24Hrs	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	175-274
O3	8Hrs	ppb	131-184
SO2	24Hrs	ppb	175-239
NO2	1Hrs	ppb	316-420
CO	8Hrs	ppm	16-22
PM2.5	24Hrs	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	90-180

Tabla 3. Valores de no satisfactoria la calidad del aire

Tabla 4. Valores de mala calidad del aire

Muy Mala			
Parámetros de medición de contaminantes			
	Exposición	Unidades	Límites
PM10	24Hrs	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	> 274
O3	8Hrs	ppb	> 184
SO2	24Hrs	ppb	> 239
NO2	1Hrs	ppb	> 420
CO	8Hrs	ppm	> 22
PM2.5	24Hrs	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	> 180

Tabla 5. Valeres de muy mala calidad del aire

DATOS ESTADÍSTICOS DE LA CONCENTRACION DE CONTAMINANTES DEL MES DE ENERO DEL 2018			
CONTAMINANTES	PROMEDIOS	MODA	MEDIANA
NO2 Ppb	24.38185393	15.62	21.82
SO2 Ppb	7.546233922	7.123478261	7.416739131
CO Ppb	2.867730244	2.425	2.802857143
O3 Ppb	9.132136217	3.775714286	8.739732143
PM2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25.9134861	44.7173913	25.96847826
PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	102.2640033	116.0517391	102.8176087

Tabla 6. Valores estadísticos mensuales de la concentración de los contaminantes en el bajo Guanajuatense

Realizando una comparación entre la tabla 4 y la tabla 6 podemos observar que los valores promedios del mes de enero están muy por debajo de lo que establece la norma de calidad en cuanto a aire de mala calidad, esto nos indica que a pesar del alto flujo vehicular y alta actividad industrial el aire del bajío Guanajuatense sigue siendo de buena calidad.

Nuestros resultados, aun reconociendo que se trata de un estudio estadístico no experimental, reiteran la importancia de la problemática de contaminación del aire en el área del bajío Guanajuatense. A pesar de los esfuerzos de las autoridades ambientales por mejorar esta condición, las personas cuando caminan en las vías de la ciudad, están expuestas a concentraciones de contaminantes atmosféricos nocivos para la salud. Se debe reconocer que la calidad del aire no solo en el bajío sino en todo el país sigue siendo un aspecto ambiental de la mayor relevancia y su solución depende de un compromiso conjunto entre sociedad y autoridades del ramo ambiental. Las autoridades de planeación, movilidad, salud y ambiente, los gremios, la academia y los ciudadanos son todos actores fundamentales en la solución.

6 CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.

La concentración de contaminantes en el aire resulto no ser de mala calidad sino todo lo contrario por esto mismo que no se ven afectaciones en la salud ambiental y humana, sin embargo no se debe de dejar de lado la inspección y vigilancia continua de la calidad del aire en esta zona del bajío Guanajuatense.

Mencionado lo anterior no se ve en la necesidad de implementar controles adicionales tendientes a mejorar la calidad del aire puesto que se tiene una calidad del aire buena a pesar del alto flujo vehicular y las altas actividades industriales.

En general no son muchos los estudios que se han realizado en el área del bajío Guanajuatense de concentraciones de los contaminantes atmosféricos a los que están expuestos peatones en inmediaciones de corredores viales y en actividades

industriales, es por esto que debemos darle mayor relevancia y poner más énfasis en temas ambientales como la calidad del aire, en zonas como estas que están siendo muy concurridas por grandes industrias y el crecimiento demográfico va en aumento.

No es necesario adoptar alguna medida de seguridad ambiental más amplia desde la perspectiva de la salud pública y ambiental para reducir los efectos de la contaminación del aire en la salud de la población.

RECOMENDACIONES

El aumento de vehículos circulando por las calles, los procesos de transformación de las fábricas (contaminación industrial) y la ausencia de lluvias empeoran la situación, somos conscientes de los problemas ambientales y tratamos de buscar soluciones.

Reducir la contaminación ambiental es tarea de todos y tenemos en nuestra mano muchas medidas para solucionar la contaminación. Cualquier pequeña acción respetuosa con el medio ambiente contribuye a que mejore nuestra calidad de vida.

El reciclaje es una forma de disminuir la contaminación porque aprovechamos los recursos y evitamos algunos procesos de fabricación que generan gases nocivos.

Utilizar el transporte público contribuye a que un único vehículo lleve a muchas personas, por lo que contaminamos menos que si cada uno va en su propio coche.

Compartir transporte también es una buena forma de reducir la contaminación.

Si pensamos en cambiar de coche, lo mejor es elegir uno de bajo consumo o eléctrico. En caso de que prefiramos uno tradicional, debemos tener en cuenta que los de diésel son los que más contaminan.

Todos los vehículos necesitan revisiones, al menos una vez al año. De esta forma podremos comprobar que el nuestro no contamina más de lo permitido y lo repararemos enseguida si detectamos alguna irregularidad.

Caminar o ir en bicicleta son las dos maneras menos contaminantes de desplazarse.

Cuando vayas a utilizar productos con sprays, como los que se emplean para acabar con los mosquitos, fijate en que el envase sea respetuoso con el medio ambiente y, por tanto, no desprenda gases invernadero. Éste es el símbolo que indica que se trata de un recipiente ecológico.

Deshazte de los desechos peligrosos y de los químicos de la forma adecuada. Algunos de ellos son baterías, aceite de motor, pintura, solventes. Busca los lugares donde se depositan este tipo de desperdicios.

El programa de prevención de la contaminación en la industria se puede lograr a través de dos métodos de minimización de residuos en la fuente: cambios en el producto y cambios en los procesos de producción. Los cambios en el producto incluyen modificaciones en la composición del producto para reducir el volumen y la toxicidad de los residuos durante el ciclo de vida del producto. Los cambios en el proceso incluyen diversas modificaciones del producto para minimizar la cantidad de residuos que se generan en la producción.

CAMBIOS TECNOLÓGICOS

Rediseñe el equipo y las tuberías para reducir el volumen de material y las pérdidas durante el cambio de lote o cuando el equipo se drene para mantenimiento o limpieza.

- Use dispositivos mecánicos para la limpieza a fin de evitar el uso de solventes.
- Emplee un sistema de revestimiento en polvo.
- Use motores más eficientes.
- Instale controles para la velocidad en los motores de las bombas a fin de reducir el consumo de energía.

7 LITERATURA CITADA

- (Cofepris), C. F. p. I. P. c. R. S. 2017. "Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de Calidad del Aire Ambiente." Diario oficial de la federacion.
- A, M. y S. N. 2011. "Vulnerabilidad a la contaminación del aire y efectos a la Salud." *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 211: 326-336.
- Aire., S. S. E. d. I. d. C. d. 2018. "Emisiones de contaminantes atmosfericos." instituti de ecologia del estado de Guanajuato.
- Al-Zoughool, M. 2015. "Contaminación del aire: efectos sobre la salud y evaluación de los niveles de exposición." *Rev Environ Health* 30: 131-3.
- Amadeo, B., C. Robert, V. Rondeau, M. A. Mounouchy, L. Cordeau, X. Birembaux, E. Citadelle, J. Gotin, M. Gouranton, G. Marcin, D. Laurac y C. Raheison 2015. "Impact of close-proximity air pollution on lung function in schoolchildren in the French West Indies." *BMC Public Health* 15: 45.
- An, R. y X. Xiang 2015. "Contaminación del aire por partículas finas ambiente y la inactividad física durante el tiempo libre entre adultos estadounidenses." *Public Health* 129: 1637-44.
- Anello, P., L. Cestari, C. Canova, L. Vianello, S. Pistollato, K. Lorenzet, R. Sciarrone, V. Selle y L. Simonato 2015. "[Investigation on the health effects of traffic-related air pollution from Mestre motorway (Veneto Region, Northern Italy)]." *Epidemiol Prev* 39: 251-60.
- Aristarkhov, A. B., Kozlova, II, N. G. Kashapov, L. A. Miniailo y A. G. Galiev 2015. "[the Use of Risk Assessment Methodology in the Management of Social-Hygienic Monitoring for Ambient Air and the Relationship of Population's Health State with the Air Pollution in Nizhnevartovsk]." *Gig Sanit* 94: 10-2.
- Armah, F. A., J. O. Odoi y I. Luginaah 2015. "Indoor Air Pollution and Health in Ghana: Self-Reported Exposure to Unprocessed Solid Fuel Smoke." *Ecohealth* 12: 227-43.
- Arnold, C. 2015. "Air pollution and ASDs: homing in on an environmental risk factor." *Environ Health Perspect* 123: A68.
- Arroyo, V., J. Diaz, R. Carmona, C. Ortiz y C. Linares 2016. "Impact of air pollution and temperature on adverse birth outcomes: Madrid, 2001-2009." *Environ Pollut* 218: 1154-1161.
- Breen, M. S., T. C. Long, B. D. Schultz, R. W. Williams, J. Richmond-Bryant, M. Breen, J. E. Langstaff, R. B. Devlin, A. Schneider, J. M. Burke, S. A. Batterman y Q. Y. Meng 2015. "Air Pollution Exposure Model for Individuals (EMI) in Health Studies: Evaluation for Ambient PM2.5 in Central North Carolina." *Environ Sci Technol* 49: 14184-94.
- Bytnerowicz, A., Y. M. Hsu, K. Percy, A. Legge, M. E. Fenn, S. Schilling, W. Fraczek y D. Alexander 2016. "Ground-level air pollution changes during a boreal wildland mega-fire." *Sci Total Environ* 572: 755-769.
- Byun, H. M., E. Colicino, L. Trevisi, T. Fan, D. C. Christiani y A. A. Baccarelli 2016. "Effects of Air Pollution and Blood Mitochondrial DNA Methylation on Markers of Heart Rate Variability." *J Am Heart Assoc* 5.
- Calderon-Garciduenas, L., R. J. Kulesza, R. L. Doty, A. D'Angiulli y R. Torres-Jardon 2015. "Megacities air pollution problems: Mexico City Metropolitan Area critical issues on the central nervous system pediatric impact." *Environ Res* 137: 157-69.
- Calderon-Garciduenas, L. 2016. "Smoking and Cerebral Oxidative Stress and Air Pollution: A Dreadful Equation with Particulate Matter Involved and One More Powerful Reason Not to Smoke Anything!" *J Alzheimers Dis* 54: 109-12.
- Carter, E., S. Archer-Nicholls, K. Ni, A. M. Lai, H. Niu, M. H. Secrest, S. M. Sauer, J. J. Schauer, M. Ezzati, C. Wiedinmyer, X. Yang y J. Baumgartner 2016. "Seasonal and Diurnal Air Pollution

- from Residential Cooking and Space Heating in the Eastern Tibetan Plateau." *Environ Sci Technol* 50: 8353-61.
- Carugno, M., D. Consonni, G. Randi, D. Catelan, L. Grisotto, P. A. Bertazzi, A. Biggeri y M. Baccini 2016. "Air pollution exposure, cause-specific deaths and hospitalizations in a highly polluted Italian region." *Environ Res* 147: 415-24.
- Carvalho, M. A., L. S. Bernardes, K. Hettfleisch, L. D. Pastro, S. E. Vieira, S. R. Saldiva, P. H. Saldiva y R. P. Francisco 2016. "Associations of maternal personal exposure to air pollution on fetal weight and fetoplacental Doppler: A prospective cohort study." *Reprod Toxicol* 62: 9-17.
- Ciarrocca, M., M. V. Rosati, F. Tomei, A. Capozzella, G. Andreozzi, G. Tomei, A. Bacaloni, T. Casale, J. C. Andre, M. Fioravanti, M. F. Cuartas y T. Caciari 2014. "Is urinary 1-hydroxypyrene a valid biomarker for exposure to air pollution in outdoor workers? A meta-analysis." *J Expo Sci Environ Epidemiol* 24: 17-26.
- Clark, L. P., D. B. Millet y J. D. Marshall 2014. "National patterns in environmental injustice and inequality: outdoor NO₂ air pollution in the United States." *PLoS One* 9: e94431.
- Cohen, P., O. Potchter y I. Schnell 2014. "The impact of an urban park on air pollution and noise levels in the Mediterranean city of Tel-Aviv, Israel." *Environ Pollut* 195: 73-83.
- Diaz, J., C. Ortiz, R. Carmona, M. Saez y C. Linares 2016. "Aplicación de modelos simplificados para la dispersión de contaminantes atmosféricos." *Environ Res* 145: 162-8.
- EPA 2014. "
- Emisiones directas de fuentes de combustión móvil. Líderes del clima Gas de efecto invernadero Protocolo de inventario, guía del módulo principal." en línea 14 ,(3).
- F, H., F. S, R. Z, C. M, M. M y M. L 2007. "Exposiciones relacionadas con el tráfico, función de la vía aérea, inflamación y síntomas respiratorios en niños." *american journal* 176: 1236-1242.
- Felipe, G.-A. L., P.-V. ileana, V.-R. Mariano, R.-A. Ronald y H.-O. Israel 2014. "Directrices de calidad del aire: actualización global." *ingenieria industrial* 35 (1): 13-24.
- Felipe, S.-C. J. y F. J. F 2016. "Exposición de peatones a la contaminación del aire en vías con alto tráfico vehicular. ." *salud pública*. 18 (2): 179-187.
- García-Reynoso, J., M. Grutter y D. Cintora-Juárez. 2017. "Evaluación del riesgo por contaminantes criterio y formaldehído en la Ciudad de México." *CONTAMINACION AMBIENTAL* 23 169-75.
- H., T. 2011. "Impacto de la contaminación del aire en enfermedades alérgicas " *Korean J Intern Medicina* 26:(3): 262-73.
- Ibis, C.-V., C. E. J. Jose, S.-G. Luis, V.-H. A. d. Rosario y C.-P. Inocente 2015. "Propuesta de procedimiento para el Control de Emisiones Atmosféricas en ambientes urbanos." *Ingeniería Industrial* 36 (1): 2-16.
- INEGI. 2010. "Climatología del estado de Guanajuato." Inegi.
- Inegi. 2015a. "Síntesis geográfica del estado de Guanajuato." Inegi. .
- Inegi. 2015b. "División municipal y principales localidades del estado de Guanajuato." Inegi.
- Ivan, F.-R. C., R.-P. Irma y S.-M. Patricia 2017 "Relación de los mecanismos inmunológicos del asma y la contaminación ambiental. ." *facultad de medicina* Vol. 65 No. 2: 333-42.
- J, H. y W. HE. 2016. "Contaminantes relacionados con el tráfico en Europa y su efecto sobre la enfermedad alérgica." *Curr Opin Allergy Clin Immunol* 4: 341-348.
- Jiménez, M., A. Ferrer, C. Liliana, O. E. Navarro, G. M. Juan, C. Julian y C. R. Sandra 2015. "Análisis preliminar de un cuestionario de evaluación de la percepción social de la contaminación atmosférica." *salud publica* 17 (5): 713-727.

- Jorge, S. y C. Luis 2015a. "Repercusión de la contaminación del aire en la aparición de asma." *Revista Alergia México Volumen 62, Núm. 4.*: 287-301.
- Jorge, S. y C. Luis 2015b. "Repercusión de la contaminación del aire en la aparición de asma." *Revista Alergia México 62, Núm. 4.*: 287-301.
- Lilian, C.-G., M.-C. J. Humberto y M.-T. Antonieta 2012. "Impacto de la contaminación ambiental en el niño clínicamente sano." *Acta Pediatr Mex 33(3)*: 142-147.
- M, B., D. D, G. N, B. V y C. L. 2006a. " Los efectos de salud evitables del aire contaminación en tres ciudades latinoamericanas: Santiago, Sao Paulo y Ciudad de México." *Environmental Research. 100*: 431-440.
- M, B., D. D, G. N, B. V y C. L. 2006b. "Los efectos de salud evitables del aire contaminación en tres ciudades latinoamericanas: Santiago, Sao Paulo y Ciudad de México." *Environmental Research. 100*: 431-440.
- N, R., S. M y G. EW. 2016a. " Niveles de partículas se asocian con el empeoramiento temprano del asma en los niños con enfermedad persistente. ." *Am J Respir Crit Care Med 73*: 1098-105.
- N, R., S. M y G. EW. 2016b. "Niveles de partículas se asocian con el empeoramiento temprano del asma en los niños con enfermedad persistente. ." *Am J Respir Crit Care Med 73*: 1098-105.
- P, C., R. L, C. A y B. M. 2013. "Asma en latino america:un desafío de salud pública y una oportunidad de investigación." *Allergy 64(1)*: 5-17.
- R, H. y J. S. 2013. "Oficina Regional de la OMS para Europa. Directrices de calidad del aire. ." *Global Update 25 (6)*.
- Radwan, M., E. Dziwirska, P. Radwan, L. Jakubowski, W. Hanke y J. Jurewicz 2018. "Air Pollution and Human Sperm Sex Ratio." *Am J Mens Health: 1557988317752608*.
- Robertson, S. y M. R. Miller 2018. "Ambient air pollution and thrombosis." *Part Fibre Toxicol 15*: 1.
- Rodrino, S., H. I. Jorge, K. M. Edna, R. Natalia y R. Jesus 2015. "Síntomas respiratorios asociados con la exposición a la contaminación del aire en cinco localidades de Bogotá." *biomedica 35*: 167-76.
- Salud., S. d. 1993. "Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de nitrógeno (NO2)." *Diario Oficial de la Federación*.
- Salud., S. d. y S. AMBIENTAL. 1993a. " CRITERIOS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE CON RESPECTO AL OZONO (O3)."
- salud., S. d. y S. ambiental. 1993b. "Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO)." *Diario Oficial de la Federación. .*
- SALUD., S. D., C. F. P. L. P. C. R. SANITARIOS., C. d. E. y. M. d. Riesgos., I. M. D. PETROLEO., I. M. D. S. SOCIAL., U. N. A. D. MEXICO., P. U. d. M. Ambiente., S. D. S. P. D. D. FEDERAL. y S. D. M. A. Y. R. NATURALES. 2010. "Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de azufre (SO2)." *Diario Oficial de la Federación*.
- SINAICA 2018. "sistemas de medicion de la calidad del aire." *Instituto Nacional de Ecologia y Cambio Climatico*.
- Toledo-Corral, C. M., T. L. Alderete, R. Habre, K. Berhane, F. W. Lurmann, M. J. Weigensberg, M. I. Goran y F. D. Gilliland 2018. "Effects of air pollution exposure on glucose metabolism in Los Angeles minority children." *Pediatr Obes 13*: 54-62.

- Toledo, M. F., B. M. Saraiva-Romanholo, R. C. Oliveira, L. F. da Silva y D. Sole 2018. "Contaminación del aire y su relación con la función pulmonar en adolescentes en Madrid España." *Allergol Immunopathol (Madr)* 46: 160-166.
- U.S, E. 2018. "Periconception Exposure to Air Pollution and Risk of Congenital Malformations." *J Pediatr* 193: 76-84 e6.
- Vahedian, M., N. Khanjani, M. Mirzaee y A. Koolivand 2017. "Associations of short-term exposure to air pollution with respiratory hospital admissions in Arak, Iran." *J Environ Health Sci Eng* 15: 17.
- Valeriy, V.-F. y F. Alina 2017. "Optimización de emisiones de la red de carreteras de infraestructura urbana." *Ingeniería Industrial* 38, N^o(2): 143-153.
- Vanker, A., R. P. Gie y H. J. Zar 2018. "Early-life exposures to environmental tobacco smoke and indoor air pollution in the Drakenstein Child Health Study: Impact on child health." *S Afr Med J* 108: 71-72.
- Vedal, S., B. Han, A. Szpiro y Z. Bai 2017. "Design of an Air Pollution Monitoring Campaign in Beijing for Application to Cohort Health Studies." *Int J Environ Res Public Health* 14.
- Velasco, R. J., R. A. Broome, N. Fann, T. J. Cristina, C. Fulcher, H. Duc y G. G. Morgan 2015. "The health benefits of reducing air pollution in Sydney, Australia." *Environ Res* 143: 19-25.
- Victor, D. G., V. Ramanathan y D. Zaelke 2015. "Air pollution: Harmful soot spurs climate-policy action." *Nature* 517: 21.
- Vivanco-Hidalgo, R. M., G. A. Wellenius, X. Basagana, M. Cirach, A. G. Gonzalez, P. Ceballos, A. Zabalza, J. Jimenez-Conde, C. Soriano-Tarraga, E. Giralt-Steinhauer, A. Alastuey, X. Querol, J. Sunyer y J. Roquer 2018. "Short-term exposure to traffic-related air pollution and ischemic stroke onset in Barcelona, Spain." *Environ Res* 162: 160-165.