

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**Determinación de la concentración de partículas contaminantes en el área
urbana de Torreón, Coahuila.**

POR:

RICARDO GADIEL BRAVO BRAVO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO

DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA.

DICIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DEL (LA) C. RICARDO GADIEL BRAVO BRAVO, QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

REVISADA POR EL COMITÉ ASESOR:

PRESIDENTE:



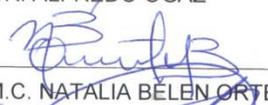
ING. JOEL LIMONES AVITIA

VOCAL:



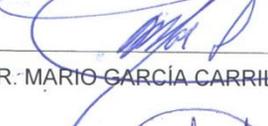
DR. ALFREDO OGAZ

VOCAL:



M.C. NATALIA BÉLEN ORTEGA MORALES

VOCAL:



DR. MARIO GARCÍA CARRILLO



M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2017.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Determinación de la concentración de partículas contaminantes, en el área urbana de Torreón, Coahuila.

POR:

RICARDO GADIEL BRAVO BRAVO

TESIS:

QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

REVISADA POR EL COMITÉ ASESOR:

ASESOR PRINCIPAL: _____

ING. JOEL LIMONES AVITIA

ASESOR: _____

DR. ALFREDO OGAZ

ASESOR: _____

M.C. NATALIA BELEN ORTEGA MORALES

ASESOR: _____

DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2017.



AGRADECIMIENTOS

A MI ALMA MATER

Gracias ALMA MATER, por ser mi segundo hogar que me acogió durante mi carrera profesional, gracias porque a través de eso tuve la oportunidad de conocer a grandes personas como compañeros, amigos y profesores, gracias por ser una excelente institución que me convirtió a ser mejor persona durante mi preparación profesional, hoy egreso pero te llevo en mi corazón, ¡Buitre por siempre!

A MI ASESOR

Usted Ing. Joel Limones Avitia, a quien admiro y respeto por ser un extraordinario profesionista, pero sobre todo una excelente persona y amigo, gracias por compartir todos sus conocimientos y experiencias. ¡Gracias!

A MIS MAESTROS Y ASESORES

Muchas gracias por formar parte de este sueño que ustedes me ayudaron a construirlo a través de sus enseñanzas en clases, siempre recordare sus consejos inculcados, ya que hicieron lo posible este logro.

A MIS AMIGOS

Amistad es una palabra muy valiosa y a lo largo de mi formación profesional tuve la oportunidad de conocer personas maravillosas a las cual agradezco a Dios por ponerlos en mi camino, gracias por esa amistad sincera que sin dudarlos han estado conmigo en los buenos y malos momentos apoyándome Martha Morales, Francisco López, Nery Mejía, Josué Ramírez, Brenda Guzmán, Gabriela Galindo, Priscila Morales, Jesús Castañeda, Norma Rangel, Sergio López, Jerez Hernández, a todos muchas gracias por su apoyo pero sobre todo por sus gran AMISTAD, nunca me olvidare de ustedes queridos amigos.

DEDICATORIAS

A DIOS

Primero que todo, primero que nada Dedico este logro a mi padre Dios por darme la vida y la salud, por nunca dejarme solo, por ser mi fortaleza para nunca rendirme, por acompañarme siempre y por permitirme llegar a este momento tan esperado por mucho tiempo.

A MI PADRE

Eugenio Bravo López, por ser el mejor papá del mundo, el mejor amigo que siempre está conmigo en las buenas y en las malas, eres una gran persona papa y te admiro y te respeto por cumplir como padre y sacarnos adelante siempre, te agradezco por darme la confianza y el apoyo incondicional que me permitió culminar mis estudios. A usted que cada enseñanza, consejo y regaño fueron esenciales para no rendirme y levantarme con más fuerza, hoy este triunfo es también de usted.

A MI MADRE

Meyda Bravo Velazquez, agradezco a Dios por darme a la mejor mamá del mundo a ti te dedico este logro, gracias por tu entrega día a día, por tus consejos, valores y enseñanzas que contribuyeron en mi formación profesional, por hacer de mi la persona que soy, gracias por acompañarme en cada decisión que he tomado en mi vida y aun así apoyarme, siempre estaré orgulloso de usted madre hoy este triunfo es también de usted. Gracias por ser mi madre, la AMO MUCHO.

A MIS HERMANAS

Marlith Jessuri Bravo Bravo, Jasbeli Eunice Bravo Bravo y Breadne Pholette Bravo Bravo. A ustedes dedico este logro porque ustedes son parte fundamental de mi vida, son mi fortaleza y la razón por el cual las fuerzas me sobran para luchar día con día, gracias por estar conmigo en los buenos y malos momento, gracias por sus cariño y amor hacia mí, al igual ustedes siempre están presentes en mí y sin importar la distancia yo las AMO.

A MIS ABUELOS

Fidencio Bravo Pérez, Celia López González, Francisco Bravo Morales, Francisca Velazquez. Abuelos queridos que siempre están al pendiente de su nieto a ustedes dedico este logro, gracias por cuidarme siempre, por brindarme consejos desde mi niñez para que yo siguiera en el camino correcto y aquí sigo de pie por ustedes, gracias por ser el pilar de la familia los AMO mucho.

A MIS TÍOS

Dionisio López Bravo y Margarita López Núñez. A ustedes tíos que son como unos padres para mí, se los Dedico ya que usted forma parte de este logro, gracias por todo el apoyo brindado tanto económicamente y a través de sus consejos los quiero mucho.

Wilfrido Bravo López. A usted también va Dedicado este logro tío, gracias por estar siempre conmigo apoyándome, a pesar de la distancia usted siempre esta ha estado al pendiente gracias por formar parte de este sueño y por invertir su valioso tiempo y sobre todo porque ha invertido económicamente en mi formación.

Esdras Bravo López. A usted que es como un hermano mayor para mí, le agradezco todo el apoyo incondicional para conmigo, es un excelente ser humano y lo aprecio mucho, hay muchas cosas que decir pero lo principal es el agradecimiento hacia usted por eso también le Dedico este logro, gracias por todo el consejo brindado y al contribuir económicamente a mi formación lo quiero tío.

Antonio Verdugo Bravo. Se lo Dedico a un gran ser humano como lo es usted querido tío, gracias por siempre apoyarme de manera incondicional y por contribuir también a mi formación, le tengo mucho aprecio y de ante mano sepa que lo quiero mucho.

Jhovani Bravo Velazquez, Onar bravo Velazquez, Ada Graciela Reyes y Virgilio Velazquez Bravo. A ustedes también les Dedico este logro ya que ustedes formaron parte de este sueño a través de sus consejos y apoyo todos son un ejemplo a seguir y gracias por que han invertido su valioso tiempo y sobre todo invirtieron económicamente en mi formación.

RESUMEN

La contaminación atmosférica es la presencia en la atmósfera de sustancias no deseables, en concentraciones tales que pueden afectar significativamente la salud y el bienestar de las personas. En general, las emisiones se clasifican en emisiones provenientes de Fuentes Fijas y Fuentes Móviles. En el ambiente urbano existe una gran variedad de compuestos contaminantes entre ellos las partículas atmosféricas constituyen uno de los contaminantes atmosféricos más importantes, debido a que contienen compuestos con conocida actividad genotóxica, mutagénica y/o carcinogénica. Muchas fuentes liberan partículas finas en la atmósfera, incluyendo automóviles, camiones pesados, la quema de madera y la cocción de alimentos. Partículas menores PM 2.5 también pueden formarse en la atmósfera por reacciones químicas que transforman los contaminantes gaseosos en compuestos semivolátiles que pueden dividirse. PM10 en el ambiente es una mezcla compleja de partículas antropogénica y de origen natural en el aire. Como resultados se obtuvieron graficas donde se observa que en comparativa de los años 2007, 2009 es visible el incremento del contaminante evaluado, claramente se puede observar que hay un incremento notoriamente en las emisiones de partículas: Para el mes de febrero tenemos se obtuvo un incremento del 20 microgramos/m³ entre el año 2007 y 2009. Para el mes de marzo se obtuvo un incremento de 50 microgramos/m³ entre el año 2007 y 2009. Correspondiente al mes de abril hubo un decremento de menos de 30 microgramos/m³ en comparativa que va del año 2007 y 2009. Para el siguiente mes hubo un incremento de 40 microgramos/m³ entre al año 2007 al 2009 del mes de mayo en el área urbana de Torreón Coahuila.

PALABRAS CLAVES: Atmosfera, Calidad del aire, Efectos, Material Particulado, Salud.

INDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
RESUMEN	v
INDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE IMÁGENES	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVO	3
2.1 Objetivo General	3
2.2 - Objetivo Especifico	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 Introducción a la contaminación atmosférica	4
3.2 El aire	6
3.3 Calidad del Aire	7
3.4 Partícula	9
3.5 Fuente de Emisiones de las Partículas Atmosféricas	11
3.5.1 Fuentes Fijas o Estacionarias	12
3.5.2 Fuentes Móviles.....	13
3.6 Clasificación por tamaño de partículas	14
3.6.1 Partículas Gruesas (PM 10)	15
3.6.2 Partículas Finas (PM 2.5).....	15
3.6.3 Partículas Ultrafinas (UFPs, diámetro <100 nm).....	16
3.7 Impacto ambiental	17
3.8 Daño a la Salud por Partículas	19
3.8.1 Daños a la Salud por Partículas Gruesas (pm10).....	22
3.8.2 Daños a la salud por Partículas Finas (pm2.5)	23
3.8.3 Daños a la salud por Partículas Ultrafinas (<100 nm)	25
3.9 Marco Legal	26
3.9.1 Fuentes Fijas	27
3.9.2 Fuentes Móviles.....	28

IV. MATERIALES Y MÉTODOS	29
V. RESULTADOS	30
VI. DISCUSIÓN	33
VII. CONCLUSIÓN	34
7.1 Recomendaciones	35
VIII. LITERATURA CITADA	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Muestra los síntomas a la exposición de partículas finas a menos de (60 µg/m ³) (Martínez. L <i>et al.</i> , 2011).....	25
Tabla 2. Datos tomados de la caseta ubicada en el Tec. De la Laguna, correspondiente al año 2007 y 2009.	30
Tabla 3. Tabla comparativa en relación al año 2007 y 2009 de la Media, Mediana, Moda y Varianza.	32

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Contaminación del aire en el mundo por partículas, según la OMS Organización Mundial de la Salud (OMS, 2005).	6
Imagen 2. Tamaño de las partícula PM10 y PM2.5 (Belan <i>et al.</i> , 2016).....	14
Imagen 3. Áreas de exposición y alojamiento de las partículas en el cuerpo humano (Canales-Rodríguez <i>et al.</i> , 2014).	20
Imagen 4. Las partículas gruesas solo afectan la parte superior del aparato respiratorio, ya que los pm10 son respirables (Colosi y Rovelli, 2009).....	23
Imagen 5. Las partículas finas afectan todo el sistema respiratorio y puede provocar hasta la muerte (Colosi y Rovelli, 2009).	24
Imagen 6. Gráfica de barras, comparativo correspondiente a los años 2007 y 2009.....	31
Imagen 7. Gráfica de línea, se puede identificar el incremento de las partículas, y la diferencia es notoria entre años.	31
Imagen 8. Gráfica representativa de la Media, Mediana, Moda y Varianza.	32

I. INTRODUCCIÓN

El aumento de la industrialización y las actividades humanas intensifican la emisión de diversos contaminantes, incluidos los oligoelementos, a la atmósfera e introducen sustancias nocivas en el medio ambiente (ŠUČUR *et al.*, 2010).

La contaminación atmosférica implica concentraciones anormales de alguna sustancia en el aire. El exceso de nitrógeno, dióxido de carbono o cantidades diminutas de cloro son evidencias de contaminación tanto como el humo común. El agente contaminante puede ser un gas, líquido (neblina), sólido, o incluso emanaciones como del radio. No se pueden establecer reglas duras y rápidas en cuanto a qué concentraciones constituyen contaminación, pero cualquier salida del aire normal se presume como una prueba de contaminación. El agente contaminante puede ser dañino para la vida de las plantas y animales, puede ser una molestia y sucio nuestras prendas de vestir y edificios, puede formar mezclas explosivas con el aire, puede dañar la maquinaria o un proceso de fabricación o puede ser perjudicial para salud humana (DRINKER, 1939).

La gran escala de la industrialización y la aceleración de la urbanización Junto con las emisiones de las fábricas, el escape de los automóviles y la quema de carbón llevan al deterioro de la calidad del aire urbano y al estallido de neblina en la mayoría de los países en desarrollo y algunos países desarrollados (Li *et al.*, 2017).

La contaminación de la atmósfera de la comunidad por contaminantes atmosféricos o por gas, en cierta medida, es una parte integral de la escena industrial y nunca será totalmente eliminada. Una visión común y extrema ignora la factibilidad práctica y exige la pureza del aire del campo en nuestras ciudades. (HEMEON y HATCH, 1947).

Lo que bien es cierto es que la contaminación de la atmosfera y el ambiente entorno se está deteriorando día con día debido a las emisiones de contaminantes de las fuentes fijas y móviles que existen en nuestro hábitat,

tenemos que hacer conciencia de lo que estamos haciendo ya que la contaminación puede ser de manera natural y antropogénica y esto nos afecta de manera directa ya que modifica nuestro medio natural y nos perjudica a largo plazo en la salud. Las principales fuentes de contaminación atmosférica de origen técnico de las grandes ciudades industriales son metalúrgicas, plantas químicas, empresas de materiales de construcción, plantas de energía térmica y plantas de calefacción (KHARYTONOV *et al.*, 2015).

En general, las emisiones se clasifican en emisiones provenientes de Fuentes Fijas o Estacionarias y de Fuentes Móviles. En particular, la determinación de emisiones de Fuentes Móviles es compleja debido no solo a que las fuentes se desplazan por el área de interés sino que al mismo tiempo lo hacen bajo diferentes regímenes de operación y con diversas tecnologías de motorización (Tolvett-Caro *et al.*, 2016).

Las actividades humanas, por ejemplo, la industria y el movimiento vehicular, se consideran las principales fuentes de emisión de material particulado que, en conjunto con factores meteorológicos y topográficos, hacen que el comportamiento del PM10 varíe temporalmente de manera irregular en la atmósfera. El material particulado es una mezcla de sustancias sólidas y líquidas suspendidas en el aire que, dependiendo de sus características físicas y químicas, pueden generar varios efectos nocivos en la salud de los seres humanos y en los ecosistemas ambientales. PM10 partículas cuyo diámetro es inferior a 10 micrómetros, pueden causar múltiples enfermedades tales como afecciones pulmonares, asma, obstrucción pulmonar crónica y cáncer pulmonar (Jhovana y Javier, 2012)

II. OBJETIVO

2.1 Objetivo General

Determinar el impacto ambiental atmosférico en la ciudad de Torreón Coahuila por el aumento de las emisiones de partículas suspendidas totales en el aire ambiente, debido a las actividades industriales.

2.2.- Objetivo Especifico

Conocer la calidad de aire referente a la concentración de material particulado proveniente de fuentes fijas en la atmosfera urbana de la Ciudad de Torreón Coahuila.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Introducción a la contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica es la presencia en la atmósfera de sustancias no deseables, en concentraciones, tiempo y circunstancias tales que pueden afectar significativamente el confort, la salud y el bienestar de las personas o el uso y disfrute de sus propiedades (Echeverri-Londoño y Maya-Vasco, 2008).

La contaminación atmosférica se debe principalmente a la combustión de combustibles fósiles para el transporte, la energía y otras actividades humanas, aunque las fuentes naturales desempeñan un papel importante en la determinación del impacto final de esas emisiones antropógenas. Sin más medidas para controlar las emisiones, los problemas de contaminación del aire sólo empeorarán a medida que aumenten las poblaciones y la combustión de combustibles fósiles. Aunque el agotamiento del ozono estratosférico y el cambio climático se han identificado como problemas globales, la mayoría de la contaminación atmosférica ha sido históricamente vista y tratada como escala local o urbana. Ahora tanto las comunidades científicas como las políticas reconocen cada vez más que varios contaminantes atmosféricos importantes tienen distribuciones regionales (Bergin *et al.*, 2005).

La tasa de emisión acelerada al aire (atmósfera) por los seres humanos -post revolución industrial y en especial post segunda guerra mundial (últimos 150 años)- de gases como el anhídrido carbónico (un gas incoloro e inodoro), metano y óxidos de nitrógeno, entre otros, ha producido ya un cambio físico químico en la alta atmósfera, conocido como el “efecto invernadero” (Castilla, 2015).

La atención se ha desplazado hacia la contaminación atmosférica regional por una serie de razones. En primer lugar, el cambio demográfico y los patrones de crecimiento del desarrollo descentralizaron las fuentes de emisiones industriales y relacionadas con el transporte a escala regional. En segundo lugar, la gestión de la calidad del aire a escala urbana ha abordado efectivamente algunos de

los problemas urbanos más aparentes, como el humo, el plomo, el CO y las partículas suspendidas totales, permitiendo que los problemas regionales pasen a primer plano. Del mismo modo, el control de las emisiones urbanas ha hecho que la contribución regional sea una fracción cada vez mayor de las concentraciones totales de contaminantes en una zona urbana (Bergin *et al.*, 2005).

Es necesario caracterizar la contaminación que surge de las actividades antropogénicas en las grandes áreas urbanas para comprender sus efectos sobre la salud, así como su influencia en la química atmosférica a escala regional y mundial y el forzamiento radiactivo. Varios estudios han monitoreado el flujo de salida de las grandes ciudades y la evolución de las propiedades químicas y físicas de los aerosoles a medida que se emiten desde su fuente y se diluyen en masas de aire regionales. Las mediciones de campo en diferentes áreas geográficas son esenciales para mejorar nuestra comprensión de cómo las partículas de aerosol se forman y procesan en la atmósfera (Freney *et al.*, 2014).

Las grandes ciudades propician la concentración de personas y actividades, lo cual plantea serios retos para la convivencia humana. Los procesos industriales y el transporte en vehículos automotores obtienen la energía a partir de la combustión de materiales fósiles, lo cual infortunadamente se acompaña de residuos o subproductos nocivos para la salud que son vertidos al entorno aéreo. La exposición a las partículas suspendidas “respirables” (menores de 10 micras) y “finas” (menores de 2,5 micras), provenientes principalmente de la combustión de materiales fósiles, es la razón principal de la morbilidad y mortalidad asociada a la contaminación del aire (Martínez. L *et al.*, 2011).

Contaminación del aire

Según la OMS, 92% de la población mundial respira un aire exterior demasiado contaminado

Estudio a partir de 3.000 bases de datos sobre la calidad del aire 2008 - 2015

Promedio anual
En microgramos de PM_{2.5}* por m³ de aire



La OMS recomienda un nivel de seguridad de 10 microgramos por m³ de aire de partículas PM_{2.5}*

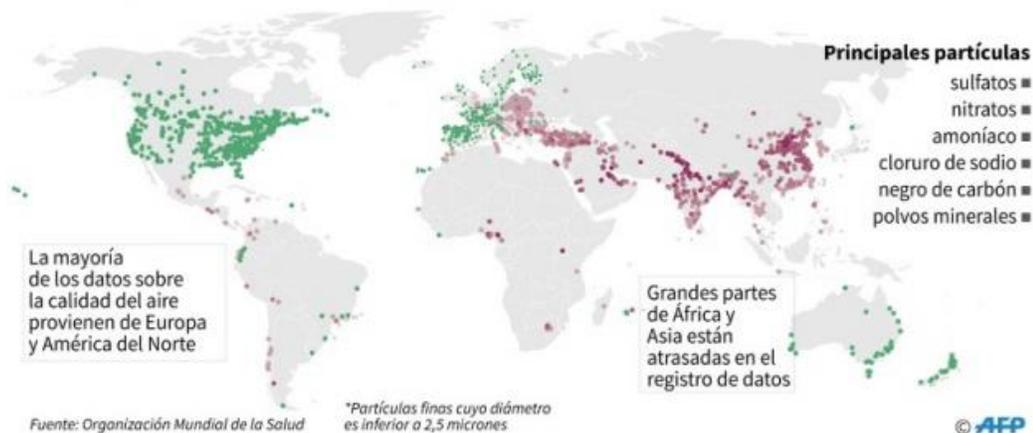


Imagen 1. Contaminación del aire en el mundo por partículas, según la OMS Organización Mundial de la Salud (OMS, 2005).

3.2 El aire

El aire es un fluido que forma la atmósfera de la tierra. Este es una mezcla gaseosa que se compone principalmente de 21 partes de oxígeno y 78 partes de nitrógeno. El resto se compone de vapor de agua, gases nobles y bióxido de carbono (INNEC, 2016).

El aire está compuesto por diferentes partículas y estas tienen una más específica. El conjunto de todas ellas está envolviendo a la tierra, generando un peso sobre ella, cuando estas partículas colisionan sobre una superficie genera una fuerza llamada presión. La presión del aire influye sobre el tiempo atmosférico (Ambiental, 2011).

El aire limpio es uno de los requisitos básicos de la salud y el bienestar de la sociedad. Sin embargo la contaminación del aire ya que es un problema causado principalmente por el desarrollo urbano, industrial y demográfico que demanda el uso de bienes y servicios, es la consecuencia de la generación de

emisiones de contaminantes a la atmósfera, sigue siendo una importante amenaza para la salud en todo el mundo (OMS, 2005)

3.3 Calidad del Aire

Según el INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA Y CAMBIO CLIMÁTICO (INECC), el deterioro de la calidad del aire puede en muchos casos percibirse con facilidad, especialmente en las grandes ciudades, al disminuir la visibilidad del paisaje o causar irritación de los ojos, garganta, etc. Sin embargo, más allá de ver el aire limpio o sucio, es necesario evaluar de manera cuantitativa su calidad, mediante la medición de la concentración de los contaminantes que se presentan. Los indicadores de la calidad del aire permiten, entre otras cosas, evaluar el estado de la contaminación atmosférica y comunicar al público cuál es la calidad del aire que respira. Una de las formas para evaluar la calidad del aire es comparando las concentraciones de los contaminantes obtenidas de las redes de monitoreo con los límites máximos permisibles establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) publicadas por la Secretaría de Salud (INEEC, 2016)

La calidad ambiental se define como la armonía de factores térmicos, acústicos, luminosos y del aire que se respira, que no ha de suponer peligro para la salud y ha de resultar fresco y agradable (Carazo-Fernández *et al.*, 2013).

La predicción del tiempo futuro y la calidad del aire asociada es un campo científico importante. La búsqueda de mejores pronósticos permite comprender mejor la dinámica atmosférica y la termodinámica, así como la dispersión, la advección y la transformación química de los contaminantes (YUVAL y BRODAY, 2010).

Los seres humanos requieren de un suplemento regular de aire y éste debe ser de calidad aceptable, lo cual es un derecho humano fundamental. A lo largo de la historia la humanidad ha estado en contacto con los contaminantes atmosféricos, sin embargo a medida que se desarrollaron las ciudades y se

consolidó la revolución industrial la contaminación del aire se ha visto como algo común y cotidiano (CRUZ-CAMPAS *et al.*, 2013).

Las tendencias de los índices de calidad del aire indican que los esfuerzos para controlar y abatir el problema de la contaminación del aire en las grandes ciudades de México. La dificultad en diseñar estrategias de control efectivas para reducir los niveles de contaminantes atmosféricos recae en la naturaleza altamente no lineal de la química atmosférica y la complejidad de las interacciones químicas y físicas que se dan en la atmósfera (Mendoza y Garcia, 2009).

La calidad del aire en los fondos urbanos depende de las emisiones locales, pero también de las emisiones regionales y de las características geográficas y meteorológicas de la zona. Diferentes situaciones meteorológicas dan lugar a episodios característicos de contaminación atmosférica. En consecuencia, la formación, el transporte y la dispersión de los contaminantes en las zonas urbanas deben estudiarse localmente (Pérez *et al.*, 2010).

Aunque se acepta comúnmente que la contaminación atmosférica está dominada por las emisiones locales, muchos estudios informan que las plumas de contaminantes nocivos pueden ser transportadas por el viento A través de los océanos y continentes y advierten sobre el creciente peligro de degradación de la calidad del aire (Elperin *et al.*, 2016).

Para mejorar la calidad del aire, una tarea importante es cuantificar el grado de contaminación del aire mediante la medición de la concentración de PM y mediante la identificación de posibles contaminantes (Guéguen *et al.*, 2012).

En la actualidad, PM₁₀ es uno de los principales índices generales de contaminación en la evaluación de la calidad del medio ambiente atmosférico. Cuando el diámetro medio ambiente aerodinámico es inferior a 2,5 μm , se llama PM_{2.5}. En la actualidad, las personas gradualmente se dan cuenta de que el tamaño de partícula bajo los 10 μm pone en peligro el medio ambiente y la

salud humana; En particular, la contaminación por PM_{2.5} es la más grave (Qiu *et al.*, 2015).

La rápida urbanización no sólo plantea desafíos logísticos a los funcionarios, también el control de la calidad del aire dentro de estas aglomeraciones es una cuestión importante que debe abordarse (Freutel *et al.*, 2013).

El efecto de la contaminación del aire sobre el ambiente y el bienestar de la población ha sido una preocupación frecuente y los gobiernos tienen la misión y la facultad de establecer estándares de calidad del aire que aseguran la protección de la salud y el bienestar público. Estos indican los niveles ambientales de contaminación que no pueden ser excedidos legalmente en una región (Morales *et al.*, 2012).

Los intereses de la comunidad de las ciencias atmosféricas incluyen las emisiones de partículas y precursores de fuentes, su transporte y transformación en el aire hasta las ubicaciones de los receptores, y finalmente la eliminación de la contaminación de la atmósfera (Davidson *et al.*, 2005).

La calidad del aire en muchas ciudades en vías de desarrollo o intermedia pueden verse afectadas por contaminantes atmosféricos específicamente el material particulado (MP) y los contaminantes no convencionales con efectos carcinogénicos, esto debido al uso del suelo, época del año y la actividad antropogénica (Rojano *et al.*, 2014).

La calidad del aire en las principales ciudades del mundo se ha visto afectada negativamente por contaminantes como las partículas (PM) y otros contaminantes del aire. Las concentraciones de estos contaminantes atmosféricos dependen de una serie de variables que incluyen topografía local, meteorología y fuentes (Oladoyin-Salako y Hopke, 2012).

3.4 Partícula

La "partícula" es un término que se emplea para describir cualquier material sólido o líquido dividido finamente, que es dispersado y arrastrado por el aire y que tiene un tamaño que varía entre 0.0002 y 500 pm. Los términos "aerosol" y "partículas" se utilizan a veces indistintamente, pues los aerosoles se definen como dispersiones de sólidos o líquidos en un medio gaseoso (Echeverri-Londoño y Maya-Vasco, 2008).

Dependiendo del contexto físico, el término "partículas" puede referirse a polvo, arena, gotitas, nieve, aerosoles, semillas, esporas, polen, etc. El movimiento de partículas en el aire está determinado por una interacción de difusión turbulenta, sedimentación gravitatoria y advección por un flujo medio. Incluso aparte de la gravedad, la situación es altamente anisotrópica e inhomogénea ya que tanto la velocidad media del viento como la difusividad turbulenta varían con la altura (Belan *et al.*, 2016).

¿Es una partícula un objeto local o un objeto global? Por un lado, una partícula es un objeto local detectado por un aparato local, tal como un detector fotoeléctrico o una cámara de burbujas de experimentos de alta energía. Los estados de partículas locales corresponden a los objetos reales observados por los detectores de tamaño finito. Son estados propios de los operadores locales. Por otro lado, los estados de partículas globales, tales como las partículas de Fock, es decir, los estados propios del operador de números en el espacio de Fock, pueden definirse solamente bajo ciertas condiciones. Los estados de partículas globales son más fáciles de definir y se aproximan bien a los estados de partículas locales detectados por mediciones locales. Por lo tanto, los estados de partículas globales, cuando están disponibles, dan una buena descripción aproximada de la física de las partículas "reales" detectadas por los detectores (Colosi y Rovelli, 2009).

Las partículas atmosféricas varían en tamaño hasta decenas de micrómetros de diámetro y exhiben una gama de composición química. En la literatura relativa a las partículas atmosféricas, se utiliza partícula para describir tanto la materia sólida como la líquida, las partículas en suspensión se refieren a partículas

transportadas por el aire en las proximidades del aparato de muestreo y el diámetro aerodinámico se utiliza como indicador del tamaño de partícula (Pryor y Barthelmieb, 1996).

Las partículas atmosféricas (sólidas o líquidas), juegan un papel muy importante en la contaminación del aire; muchos contaminantes gaseosos son convertidos por procesos heterogéneos en partículas. Las partículas inhalables PM₁₀ (10 μm), se mantienen en suspensión por largos períodos de tiempo y se obtienen por procesos de combustión, aglomeración o por condensación. Las PM₁₀ se subdividen en fracción gruesa PM_{10-2,5} (diámetro 2,5-10 μm) y fina (PM_{2,5}, 2,5 μm) (Morales *et al.*, 2012).

3.5 Fuente de Emisiones de las Partículas Atmosféricas

Los contaminantes presentes en la atmósfera proceden de dos tipos de fuentes emisoras: las naturales y las antrópicas. Estas últimas se relacionan con las actividades humanas. Las emisiones naturales provienen fundamentalmente de los volcanes, incendios forestales y descomposición de la materia orgánica en el suelo y en los océanos (Morales *et al.*, 2012).

En general, las emisiones se clasifican en emisiones provenientes de Fuentes Fijas o Estacionarias y de Fuentes Móviles. (Tolvett-Caro *et al.*, 2016)

Tanto las fuentes naturales como las antropogénicas emiten partículas a la atmósfera. Las partículas provienen de procesos de combustión, actividades industriales o fuentes naturales. También se originan como resultado de la oxidación de contaminantes gaseosos en la atmósfera y su reacción con vapor de agua. Las emisiones de partículas incluyen polvos, aspersión marina, emisiones volcánicas, emanaciones de la flora, e incendios de bosques. Las emisiones antropogénicas provienen de fuentes estacionarias, fuentes fugitivas (polvos de las carreteras e industrias), y fuentes móviles. Las partículas gruesas provienen de procesos mecánicos como la erosión, trituración, molienda y la

dispersión producida por el viento, así como la pulverización de materia sólida debido a la acción de vehículos (Echeverri-Londoño y Maya-Vasco, 2008)

Las Partículas finas provienen generalmente de actividades que queman combustibles fósiles, tales como tráfico, fundición y procesamiento de metales, y estas son más abundantes en áreas urbanas (Shi *et al.*, 2015).

Las fuentes de contaminación del aire incluyen tráfico, actividades de combustión de combustibles fósiles, actividades portuarias, procesamiento de madera, pintura en aerosol, lavado de automóviles, actividades agrícolas, así como muchas otras fuentes. La contaminación por partícula fina puede ser emitida directamente o formada secundariamente en la atmósfera. La composición química de PM es muy diversa incluyendo compuestos orgánicos, compuestos biológicos, y metales (Schantz *et al.*, 2016). En las áreas urbanas las fuentes principales de MP son los procesos de combustión, las emisiones de los motores de los vehículos y las actividades industriales (Meléndez-Gélvez *et al.*, 2012).

Se han identificado más de 70 fuentes primarias de PM en Los Ángeles, incluyendo la emisión de vehículos, la combustión de combustibles industriales, la calefacción doméstica, la cocción de carne y la quema de biomasa. Algunas de las principales fuentes de PM se dividen más: las emisiones de vehículos se dividen en vehículos de gasolina y diesel, y la quema de biomasa incluye la quema de leña y la quema de paja (Zhang *et al.*, 2015).

3.5.1 Fuentes Fijas o Estacionarias

La caracterización de las partículas en suspensión en el área ha demostrado una importante contribución del polvo fugitivo del suelo por la actividad agrícola y la picadura de caliza y las emisiones de partículas del complejo de reingeniería y termoeléctrica que cubre un área considerable independientemente de la dirección del viento. Además, la industria del cemento contribuye con las emisiones de partículas durante la extracción de

materiales en minas a cielo abierto, hendimiento, transporte e incineración a alta temperatura (Sosa *et al.*, 2013).

Las fuentes de contaminación del aire pueden dividirse en dos categorías, fuentes puntuales y fuentes fugitivas. Las fuentes puntuales típicamente incluyen chimeneas estacionarias. En contraste, las fuentes fugitivas son abiertas, tales como los suelos y las pilas de carbón expuestos a la erosión del viento (Angulo *et al.*, 2011).

Las emisiones de los electrodomésticos de leña residenciales representan hasta un 80% de la carga de partículas finas de aire en varias comunidades y pueden aportar compuestos orgánicos policíclicos más mutágenos a la atmósfera que cualquier otra fuente única (Hawthorne *et al.*, 1989).

3.5.2 Fuentes Móviles

Los vehículos son un importante emisor de partículas así como la gasolina y diesel son una fuente importante de materia particulada fina (MP) ambiental. El PM emitido por vehículo se compone principalmente de carbono elemental (EC) y aerosol orgánico primario (POA) (Li *et al.*, 2016).

Las emisiones procedentes del transporte por carretera provienen de fuentes de escape y de no escape. Las fuentes más significativas de PM sin escape son la abrasión de componentes de frenos y neumáticos de vehículos de motor y la abrasión de la propia superficie de la carretera (Thorpe *et al.*, 2007).

Por otro lado, todos los vehículos emiten partículas, pero aquellos con motores diésel emiten más material particulado que los de gasolina y de menor tamaño. Estos vehículos emiten además partículas ultrafinas, de tamaño menor de 2,5 micras. Estos factores hacen que la preocupación por el posible impacto de estas partículas PM 2,5 sobre la salud de los ciudadanos sea cada vez más importante (Linares y Díaz, 2009).

El transporte es una de las principales fuentes contaminantes de la atmósfera del planeta por la combustión de la mezcla aire-combustible y las reacciones incompletas y colaterales que transcurren durante el proceso de oxidación a

altas temperaturas en los motores; se tiene estimado que el 65% de las emisiones anuales de contaminantes son de origen vehicular. Los motores de combustión interna emiten sustancias que provocan el «efecto invernadero», fundamentalmente dióxido de carbono (CO₂) y óxidos nitrosos. Compuestos orgánicos volátiles, óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado (PM₁₀ y Monóxido de Carbono (CO), se reconocen internacionalmente como los contaminantes primarios más importantes de la atmósfera, provocados por el transporte (DÍAZ-PERRAMÓN *et al.*, 2012).

3.6 Clasificación por tamaño de partículas

Las partículas suelen exhibir amplias distribuciones de tamaño que pueden extenderse a lo largo de la escala de longitud tanto de partículas finas como gruesas. También, partículas de tipo idéntico pueden estar presentes como precipitados primarios y secundarios con diferentes tamaños medios (Song y Rettenmayr, 2007).

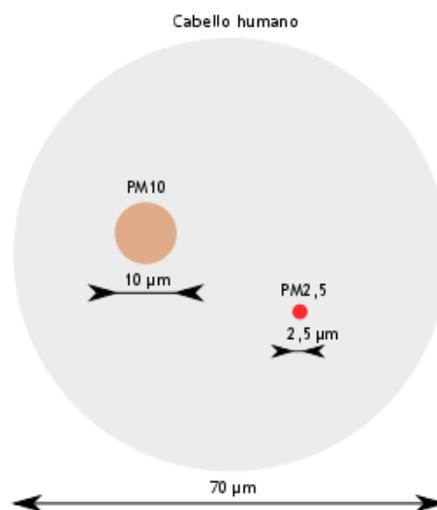


Imagen 2. Tamaño de las partícula PM10 y PM2.5 (Belan *et al.*, 2016).

El tamaño de las partículas también es importante. Por ejemplo, el tamaño de partícula afecta a la velocidad de vaporización, que depende del área superficial

de las partículas. Por lo tanto, el tamaño de partícula debe controlarse (Jung *et al.*, 2014).

Las partículas menor a 10 micrómetro (0,01 mm) en el diámetro aerodinámico se llaman partículas respiratorias o PM10 (PM, partículas) y PM 2.5 denota partículas finas menor a 2.5 Micrómetro en diámetro aerodinámico El tamaño y la forma de las partículas son factores críticos en el control del grado de que las partículas en el aire penetran en el tracto respiratorio humano (Wu *et al.*, 2006).

3.6.1 Partículas Gruesas (PM 10)

Las PM10 o partículas gruesas (PM10 – 2.5) también llamadas partículas inhalables, son las partículas menores a 10 micrómetros pero más grandes que 2.5 micrómetros de diámetro, se consideran como contaminantes constituidos por material líquido y sólido de muy diversa composición y tamaño, que se encuentran en el aire (Canales-Rodríguez *et al.*, 2014).

La primera son aquellas partículas gruesas en su mayoría con pH básico producto de la combustión no controlada; algunas están relacionadas con la desintegración mecánica de la materia o la suspensión de partículas en el ambiente. Las partículas con diámetros superiores a 10 pm provienen de procesos mecánicos como la erosión, trituración, molienda y la dispersión producida por el viento, así como la pulverización de materia sólida debido a la acción de vehículos (Echeverri-Londoño y Maya-Vasco, 2008).

Los componentes químicos de PM10 son muy diversos. Se extienden de sustancias casi neutras y altamente solubles tales como sulfato de amonio, nitrato de amonio y cloruro de sodio a través de partículas de hollín compuestas en gran parte de carbono elemental revestido de compuestos orgánicos y minerales esencialmente insolubles como partículas de arcilla (HarrisonU y Yin, 2000).

3.6.2 Partículas Finas (PM 2.5)

Las partículas finas son las de diámetro aerodinámico $\leq 2,5 \mu\text{m}$ (MP2,5) (Meléndez-Gélvez *et al.*, 2012).

Las partículas finas persisten en la atmósfera durante una semana o más, y la edad media de PM fina puede ser de varios días incluso en masas de aire continental cerca de los centros urbanos, lo que hace probable que muchas generaciones de química de oxidación jueguen un papel importante (Ye *et al.*, 2016).

Mientras que PM2.5 (PM con diámetro aerodinámico, $\text{dpb}2.5 \mu\text{m}$) es más perjudicial para la salud Asociada con un aumento de la morbilidad y la mortalidad (Andreou y Rapsomanikis, 2009).

Entre todos los contaminantes nocivos en el aire, las partículas finas con un diámetro aerodinámico de 2,5 micrómetros o menos (PM2,5) son las más perjudiciales para la salud humana porque son lo suficientemente pequeñas para invadir incluso las vías aéreas más pequeñas y penetrar en los pulmones (Shi *et al.*, 2015).

3.6.3 Partículas Ultrafinas (UFPs, diámetro <100 nm)

Entre los numerosos componentes de la contaminación producida por vehículos, las partículas ultrafinas (UFPs, diámetro <100 nanómetros nm) son de interés como una amenaza potencial para la salud de las poblaciones que viven y trabajan cerca de las principales carreteras. Mientras que la fracción ultrafina tiene una contribución mínima a las medidas actuales de las partículas. (Hagler *et al.*, 2009)

La comprensión de los niveles de partículas ácidas ultrafinas en la atmósfera es crucial para que los epidemiólogos estudien el impacto de las partículas ultrafinas en la salud humana. Sin embargo, hasta el momento no se dispone de técnicas de medición fiables para obtener el número de concentraciones de partículas ácidas ultrafinas debido a que la determinación de la concentración numérica y la distribución de tamaños de partículas ácidas ultrafinas es una tarea extremadamente difícil. Por lo tanto, existe una necesidad urgente de

desarrollar un método que pueda usarse para cuantificar la concentración numérica de partículas ácidas ultrafinas en el aire (Wang *et al.*, 2012).

3.7 Impacto ambiental

El rápido desarrollo de la industrialización ha llevado al aumento de la contaminación (Ochoa-Gutiérrez y Mause, 2014).

La contaminación ambiental por material particulado (MP) es uno de los mayores problemas mundiales de la atmósfera (Meléndez-Gélvez *et al.*, 2012).

Actualmente los problemas relacionados con la contaminación atmosférica, el calentamiento global del planeta, los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y el deterioro de la capa de ozono, más la deposición acida de contaminantes y los daños que producen sobre la salud humana y los diversos ecosistemas acuáticos y terrestres, provocan que se inviertan cuantiosos recursos en el control de las emisiones a la atmósfera (DÍAZ-PERRAMÓN *et al.*, 2012).

Las recientes iniciativas de investigación en México se han centrado en la medición de contaminantes atmosféricas, con especial énfasis en el ozono y las partículas en suspensión, con el objetivo de establecer controles de contaminación en la mayoría de las industrias (Sosa *et al.*, 2013).

Se ha demostrado que la contaminación del aire tiene efectos desfavorables para la salud. Los estudios epidemiológicos en diversas partes del mundo han reportado aumento en la mortalidad y en la morbilidad por exposición a diversos contaminantes presentes en el aire de las grandes concentraciones urbanas (Martínez. L *et al.*, 2011).

La contaminación del aire se ha convertido en el principal problema de muchas ciudades, y está afectando a miles de millones de personas en todo el mundo (Shi *et al.*, 2015).

El tráfico de carreteras en las zonas urbanas contribuye significativamente a la concentración total de partículas en suspensión en el aire (Sparks *et al.*, 2014). Los vehículos diesel son una fuente sustancial de materia particulada fina (PM) ambiental, contribuyendo tanto a las concentraciones de carbono elemental

atmosférico (EC) como de aerosoles orgánicos primarios (POA). Muchos estudios anteriores han medido las emisiones de (POA) de los vehículos diesel debido a sus efectos potencialmente dañinos sobre el medio ambiente y la salud humana (May *et al.*, 2013).

Las emisiones de partículas de diésel causan grandes contaminaciones en el aire urbano, porque contribuyen a la formación de hidrocarburos aromáticos policíclicos. Muchos de los efectos tóxicos y cancerígenos del aire contaminado en las ciudades se han vinculado a los hidrocarburos aromáticos policíclicos adsorbidos en el material particulado (Meléndez-Gélvez *et al.*, 2012).

En una atmósfera urbana, el principal aporte a las PM 2,5, entre un 70 y un 80 %, se debe al tráfico rodado, y tienen un componente natural menos importante que las PM 10, por lo que parece prioridad, un indicador más fiable para medir la actividad antropogénica (Linares y Díaz, 2009).

Los contaminantes del aire consisten en una compleja combinación de gases y materia particulada (PM). En particular, las PM finas (partículas con un diámetro aerodinámico menor de 2,5 μm o PM_{2,5}) afectan profundamente la salud humana, la visibilidad, el ecosistema, el clima y el clima, y estos efectos PM son en gran medida dependientes de las propiedades del aerosol, incluyendo . La concentración numérica, el tamaño y la composición química. PM se emite directamente en la atmósfera (primaria) o se forma en la atmósfera a través de la conversión gas-a-partícula. Las mediciones atmosféricas y los estudios de modelado han revelado nubes convectivas revitalizadas resultantes de niveles elevados de aerosoles sobre las regiones urbanas. Además, se ha demostrado que los efectos de los aerosoles sobre la precipitación urbana aumentan la tasa de lluvia en condiciones limpias, pero disminuyen la precipitación en condiciones contaminadas, lo que sugiere una distinción plausible de los efectos de los aerosoles sobre las precipitaciones entre países desarrollados y en desarrollo (Zhang *et al.*, 2015).

La mayor atención a la contaminación atmosférica generalizada se debe a nuestra preocupación por sus efectos ecológicos. El impacto ambiental de la deposición atmosférica ha sido estudiado durante más de un siglo, y

probablemente el primer efecto que se describió sobre una base científica fue el declive de los líquenes epífitos en áreas con altos niveles de contaminación atmosférica (Wolterbeek, 2002).

La contaminación atmosférica constituye uno de los principales problemas ambientales actuales y por tanto uno de los retos que debe enfrentar la sociedad. En particular, el transporte automotor es una de las principales fuentes emisoras de estos gases, cuyo efecto dañino se manifiesta mediante diferentes fenómenos, por ejemplo, en los niveles más bajos de la atmósfera, estos componentes gaseosos, al ser respirados, afectan la salud humana y, los que llegan a niveles superiores, son causa del incremento del efecto invernadero, que a su vez da origen al cambio climático que tanto afecta hoy al planeta (Amarales-Contreras *et al.*, 2008).

3.8 Daño a la Salud por Partículas

Según la OMS, ORGANIZACIÓN MUNDIA DE LA SALUD, La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma (OMS, 2016).

El tamaño de las partículas es un factor muy importante en la determinación de los efectos sobre la salud (Echeverri-Londoño y Maya-Vasco, 2008).

La presencia de altas concentraciones de partículas en el aire puede causar o agravar enfermedades cardiovasculares y pulmonares, por ejemplo, reduciendo la función pulmonar y ocasionando ataques de asma, bronquitis crónica y susceptibilidad a infecciones respiratorias, también puede causar arritmias y ataques de corazón y afectar, además, los sistemas nervioso central y reproductivo e incluso causar cáncer propiciando muerte prematura (CRUZ-CAMPAS *et al.*, 2013).

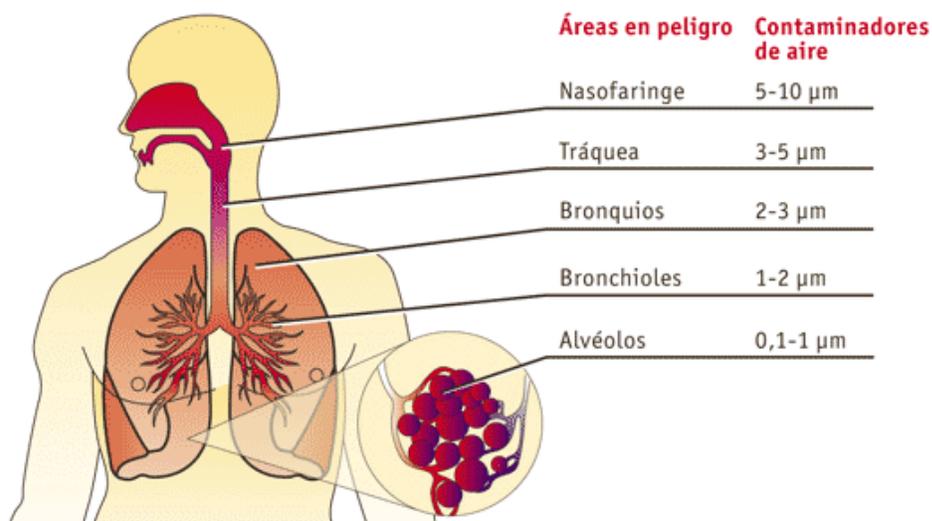


Imagen 3. Áreas de exposición y alojamiento de las partículas en el cuerpo humano (Canales-Rodríguez *et al.*, 2014).

Las partículas en la atmósfera influyen en la salud humana y la esperanza de vida y también influyen en el clima de la Tierra a través del presupuesto de radiación (Ye *et al.*, 2016).

El número de estudios epidemiológicos sobre el impacto adverso de los contaminantes atmosféricos sobre la salud de la población ha crecido rápidamente en las últimas décadas; Y han proporcionado pruebas sólidas de que tanto las exposiciones a corto como a largo plazo a contaminantes aéreos están asociadas con mayores riesgos de mortalidad y morbilidad en adultos y niños. Los estudios de epidemiología de la reproducción sobre el papel de la exposición materna a las partículas y otros contaminantes atmosféricos en los resultados adversos del nacimiento han producido datos convincentes sobre el impacto nocivo de estos contaminantes en el desarrollo fetal. Las políticas de salud pública en todo el mundo con respecto a los riesgos de contaminación atmosférica generalmente se han dirigido a controlar las exposiciones de contaminantes individuales, aunque el aire contaminado que respiramos es una mezcla compleja de contaminantes en estados sólidos y gaseosos (Jedrychowski *et al.*, 2017).

Los estudios epidemiológicos de todo el mundo han vinculado constantemente el aumento de la exposición a las partículas (PM) con el aumento de la mortalidad y morbilidad cardiovasculares (Zhu *et al.*, 2008).

Desde comienzos de la década de 1990, los estudios epidemiológicos han demostrado consistentemente que los efectos adversos para la salud están asociados con partículas (PM). Las concentraciones diarias de PM₁₀ y PM_{2.5} están relacionadas con los efectos cardio-respiratorios de la salud e incluso con la mortalidad. Estudios de cohortes en los Estados Unidos han demostrado que la exposición a largo plazo a PM_{2.5} ambiental es un factor particularmente importante en la reducción de la esperanza de vida (Schrooten *et al.*, 2006).

Las partículas suspendidas en el aire se inhalan durante la respiración normal ya menos que sean despejadas por las defensas de las vías respiratorias, como el sistema de tránsito mucociliar (MCT), pueden permanecer y afectar la salud pulmonar y de las vías respiratorias (Donnelley *et al.*, 2012).

La toxicidad de las partículas de aerosol puede estar relacionada con la presencia de metales de transición, compuestos orgánicos, compuestos biológicos y contaminantes ácidos, especialmente nitrato y sulfato (Shen *et al.*, 2010).

Como es conocido, los niños son más vulnerables que los adultos a los factores ambientales y en particular a la contaminación. La población infantil es la más vulnerable a los riesgos medio ambientales debido a su inmadurez anatomofisiológica y a su dependencia psicosocial. Su constante estado de desarrollo y crecimiento hace que sus órganos y sistemas no sean completamente funcionales, es decir, los niños son más susceptibles a las amenazas medioambientales porque sus sistemas corporales aún se están desarrollando, ya que presentan cambios rápidos en el crecimiento, variaciones en la inmadurez de los órganos y los tejidos y déficit cuantitativos y cualitativos en su sistema inmunitario (Linares y Díaz, 2009).

El MP que proviene del diésel es un contaminante muy tóxico debido a sus propiedades cancerígenas y tiene el potencial de causar problemas respiratorios y cardiovasculares así como reacciones alérgicas. Varios estudios

epidemiológicos relacionan la exposición al MP proveniente de los vehículos con muertes prematuras, enfermedades cardiovasculares y cáncer de pulmón (Meléndez-Gélvez *et al.*, 2012).

La contaminación del aire puede provocar o agravar afecciones respiratorias crónicas como el asma, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (epoc) y las enfermedades cardiovasculares, y es especialmente dañina para personas con enfermedades crónicas, así como para mujeres embarazadas, ancianos y niños. Los trabajadores y la población que permanece por largos periodos en exteriores contaminados son grupos humanos de alto riesgo (Martínez. L *et al.*, 2011).

Al referirse a contaminación del aire, las Infecciones Respiratorias Agudas (IRA's) son un problema importante de salud pública y representan una de las principales causas de atención médica a nivel mundial. Son problemas clínicos de etiología múltiple que se presentan en forma aguda o crónica, con variación estacional predominantemente en invierno (Ramírez-Rembao *et al.*, 2009).

Por lo general, los componentes del aire entran en contacto con los organismos a través de la piel y las mucosas; las vías respiratorias son la vía principal y la más sensible. La inhalación de los contaminantes atmosféricos, gases o partículas da como resultado un aumento en las citosinas, las quimosinas pro-inflamatorias, los neutrófilos, los linfocitos B y los macrófagos alveolares, que ocurre en la población general ante exposiciones prolongadas o ante concentraciones altas de contaminantes (Sánchez y Caraballo, 2015).

3.8.1 Daños a la Salud por Partículas Gruesas (pm10)

Las partículas gruesas (PST, polvo en suspensión total) mayores de 10 μm se consideran menos tóxicas porque se depositan principalmente en las cavidades nasal y oral (Meléndez-Gélvez *et al.*, 2012).

PM10

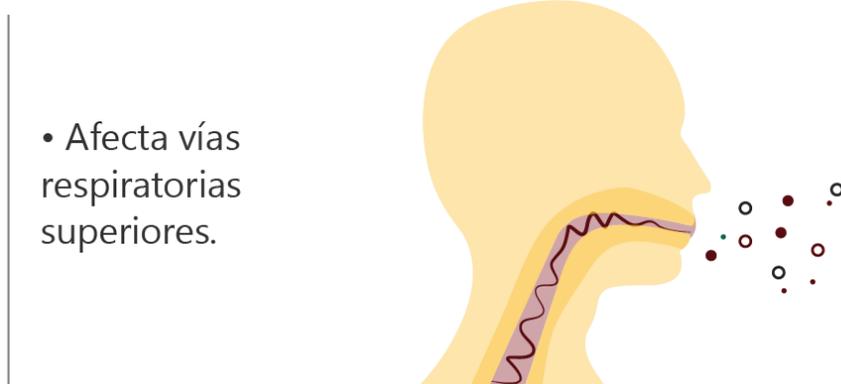


Imagen 4. Las partículas gruesas solo afectan la parte superior del aparato respiratorio, ya que los pm10 son respirables (Colosi y Rovelli, 2009).

3.8.2 Daños a la salud por Partículas Finas (pm2.5)

Las partículas finas son las de mayor peligrosidad al ser totalmente respirables porque pueden penetrar a los pulmones y permanecer mayor tiempo en ellos, llevando consigo adsorbidas sustancias orgánicas de alta toxicidad, están implicadas en diversas condiciones médicas, incluyendo cáncer, artritis reumatoide, ataque al corazón y el envejecimiento (Meléndez-Gélvez *et al.*, 2012).

Las emisiones de partículas finas son motivo de preocupación porque pueden penetrar profundamente en el pulmón donde pueden exacerbar condiciones tales como bronquitis y asma, llevando a una posible muerte prematura en individuos ya comprometidos. Aunque existe abundante evidencia estadística de que PM 10 y PM 2.5 están asociados con tales efectos, no se ha encontrado ningún modo de acción (Sloss y Smith, 2000).

Se ha demostrado que la exposición a estas partículas finas causa enfermedades respiratorias y puede conducir a muerte prematura por enfermedades del corazón y pulmones (Shi *et al.*, 2015).

Además, estas partículas finas penetran más profundamente en los alvéolos pulmonares y, por tanto, es plausible que induzcan efectos más adversos para la salud que las partículas de diámetro mayor, como las PM10 o las partículas totales en suspensión (PST) (Linares y Díaz, 2009).

PM2.5

- Afecta todo el sistema respiratorio.
- Propicia enfermedades cardiovasculares.
- Puede ser mortal.

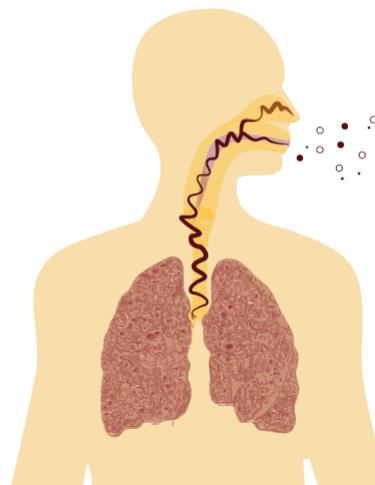


Imagen 5. Las partículas finas afecta todo el sistema respiratorio y puede provocar hasta la muerte (Colosi y Rovelli, 2009).

La PM urbana fina se ha asociado inequívocamente con impactos adversos para la salud humana. Los efectos en la salud humana de la PM fina van desde alergias agravantes hasta el desarrollo de enfermedades crónicas graves y muerte prematura. Tanto los estudios epidemiológicos como toxicológicos han indicado que las partículas más pequeñas están más estrechamente vinculadas con resultados adversos para la salud (Zhang *et al.*, 2015).

El mayor impacto en la salud puede deberse al material en partículas finas (-2,5 mm de diámetro aerodinámico, PM2,5), que puede ser inhalado profundamente en las secciones no unilatada y alveolar del pulmón. La introducción de la norma PM2.5 en los Estados Unidos en 1997 refleja el creciente reconocimiento del impacto de las partículas finas en la salud humana (Ho *et al.*, 2002).

Tabla 1. Muestra los síntomas a la exposición de partículas finas a menos de ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Martínez. L *et al.*, 2011)

VARIABLE	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
ARDOR EN LOS OJOS	4.53
CONGESTIÓN NASAL	3.19
DIFICULTAD RESPIRATORIA	2.25
GARGANTA IRRITADA	2.69
TOS	3.64
ESTORNUDOS	4.68
DOLOR DE CABEZA	3.62
VOZ AFECTADA	1.57
GRIPA	2.64
ASMA	0.45

3.8.3 Daños a la salud por Partículas Ultrafinas (<100 nm)

Dado su pequeño tamaño, se ha demostrado que los UFP penetran eficazmente en el sistema respiratorio e incluso se transfieren a órganos extra pulmonares, incluyendo el sistema nervioso central (Hagler *et al.*, 2009).

Recientemente, la atención científica se ha movido hacia las partículas ultrafinas ('UFP': partículas <100 nm) porque estas partículas pueden entrar fácilmente en el sistema respiratorio humano y depositar en las áreas más profundas de los pulmones, transportando compuestos tóxicos (Spinazzé *et al.*, 2007).

Las partículas ultrafinas pueden contribuir a los efectos sobre la salud debido a su alto número de concentración o área superficial, alta eficiencia de deposición en la región pulmonar y alta propensión a penetrar el epitelio (Kuhlbusch *et al.*, 2004).

Se ha publicado recientemente una amplia evidencia que apoya la hipótesis de que las partículas ultrafinas (UFPs, diámetro 100 nm) se asocian con efectos cardiovasculares debido a su alta eficiencia de deposición en las regiones pulmonares y su propensión a penetrar el epitelio y llegar a la sangre y otros órganos (Zhu *et al.*, 2008).

Aunque las partículas ultrafinas (menos de 100 nanómetros nm) contribuyen de forma despreciable a la masa PM total del ambiente, están típicamente presentes en concentraciones altas en ambientes urbanos y tienen una probabilidad mayor que las partículas más grandes de depositarse en la región pulmonar después de la inhalación. Además, la PM fina puede entrar en tejidos extra pulmonares (por ejemplo, el corazón, el tracto reproductivo y el intestino) a través de la circulación sanguínea. Para las partículas ultrafinas, los órganos más allá de los pulmones, como el corazón, el tracto reproductivo, el intestino, el cerebro y el hígado, también son considerados como objetivos. Se cree que una gran área superficial de PM ultrafina, una alta capacidad redox y la capacidad de formar especies radicales inducen efectos inflamatorios y dañan el ADN (Zhang *et al.*, 2015).

3.9 Marco Legal

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación. Esta Norma tiene por objeto establecer los valores límites permisibles de concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y los criterios para su evaluación, con la finalidad de proteger la salud de la población (SEGOB, 2014).

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-035-SEMARNAT-1993, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas

suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición (SEMARNAT, 1993a)

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-085-SEMARNAT-2011 Establece los niveles máximos permisibles de emisión de humo, partículas, monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) de los equipos de combustión de calentamiento indirecto que utilizan combustibles convencionales o sus mezclas, con el fin de proteger la calidad del aire (PROFEPA, 2016).

Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012, Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire. Especificar las condiciones mínimas que deben ser observadas para el establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire (PROFEPA, 2012).

NMX-AA-010-SCFI-2001. Contaminación atmosférica fuentes fijas determinación de la emisión de partículas contenidas en los gases que fluyen por un conducto - método isocinético (NMX, 2001).

3.9.1 Fuentes Fijas

Norma Oficial Mexicana NOM-040-SEMARNAT-2002, Protección ambiental-Fabricación de cemento hidráulico-Niveles máximos permisibles de emisión de partículas a la atmósfera.

NOM-043-SEMARNAT-1993 Norma Oficial Mexicana, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas (semarnat, 1993b).

NORMA Oficial Mexicana NOM-085-ECOL-1994, Contaminación atmosférica. Para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos

o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión (SEGOB, 1994).

NOM-097-SEMARNAT-1995. Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera de material particulado y óxidos de nitrógeno en los procesos de fabricación de vidrio, y es de observancia obligatoria para los responsables de la industria vidriera que cuenten con hornos de fundición de vidrio con capacidad superior a 5 ton/día (SEMARNAT, 1996).

3.9.2 Fuentes Móviles

NORMA Oficial Mexicana NOM-044-SEMARNAT-2006. Que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales, hidrocarburos no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas y opacidad de humo provenientes del escape de motores nuevos que usan diesel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos, así como para unidades nuevas con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos equipadas con este tipo de motores (SEMARNAT, 2006).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en la ciudad de Torreón, estado de Coahuila, durante el periodo enero-junio de 2017 con el objetivo de determinar el impacto ambiental en el aire por el aumento de la emisión de partículas por la acción de las actividades industriales. Para la determinación del aumento del contaminante denominado partículas, esto se llevó a cabo, mediante la consulta del registro de los datos de contaminación atmosférica, capturados por la caseta de monitoreo ubicada de manera estratégica en la ciudad de Torreón Coahuila.

Se tomaron los datos de la estación meteorológica de la ciudad de Torreón Coahuila ubicada en el Tecnológico de la Laguna, Blvd. Revolución y Calz. Cuauhtémoc en la Colonia Luis Echeverría en Torreón, Ubicada en las coordenadas geográficas de Latitud norte: 25.5352459 | Longitud oeste: -103.43485190, Altitud: 1128 metros sobre el nivel del mar, dicha estación es operada y administrada por la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de Coahuila. Los periodos evaluados comprenden los años 2007 – 2009.

La estación de monitoreo opera las 24 horas del día, todos los días del año, salvo cuando está en mantenimiento programado. La estación realiza el monitoreo atmosféricos de los principales contaminantes como son partículas suspendidas totales (PST's), Plomo (PB), Arsénico (AS), Bario (BA) y Cadmio (CD). La estación de monitoreo es operada y administrada por la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de Coahuila.

4.1 Análisis Estadístico

El diseño estadístico fue completamente al azar ya que los análisis estadísticos fueron realizados con el programa ESTAFUANL Versión 1.1 para la comparación de medias donde se utilizó el método de Tukey. Así mismo la metodología a emplear será un diseño estadístico no experimental, obteniendo las siguientes variables estadísticas; media, mediana, moda y varianza mediante el método Tukey.

V. RESULTADOS

De acuerdo a los datos obtenidos del análisis estadístico de los valores obtenidos por la caseta de monitoreo ambiental que opera y administra la Secretaria del Medio Ambiente del Estado de Coahuila se obtuvieron los valores que se describen en la siguiente Tabla 2. En ella se pueden observar los datos tomados originalmente de la caseta de monitoreo ubicada en el Tecnológico de la laguna, correspondientes al año 2007 y 2009.

Tabla 2. Datos tomados de la caseta ubicada en el Tec. De la Laguna, correspondiente al año 2007 y 2009.

CASETA UBICADA EN TEC. DE LA LAGUNA	CONTAMINANTE Microgramo/m³	CONTAMINANTE Microgramo/m³
24 HRS DE MUESTREO	PST'S DEL AÑO 2007	PST'S DEL AÑO 2009
26 Y 27 de febrero	199.9	220
04 Y 05 de marzo	189.8	241
20 Y 21 de abril	180.5	151
02 Y 03 de mayo	60	100

En las siguientes graficas se pueden observar que en comparativa de los años 2007, 2009 es visible el incremento, del contaminante evaluado, esto debido al resultado surgido al comparar los datos correspondientes de los años en referencia., claramente se puede observar Tabla 2 que hay un incremento notoriamente en las emisiones de particulas:

Para el mes de febrero tenemos se obtuvo un incremento del 20 microgramos/m³ entre el año 2007 y 2009.

Para el mes de marzo se obtuvo un incremento de 50 microgramos/m³ entre el año 2007 y 2009.

Correspondiente al mes de abril hubo un decremento de menos de 30 microgramos/m³ en comparativa que va del año 2007 y 2009.

Para el siguiente mes hubo un incremento de 40 microgramos/m³ entre al año 2007 al 2009 del mes de mayo en el área urbana de Torreón Coahuila.

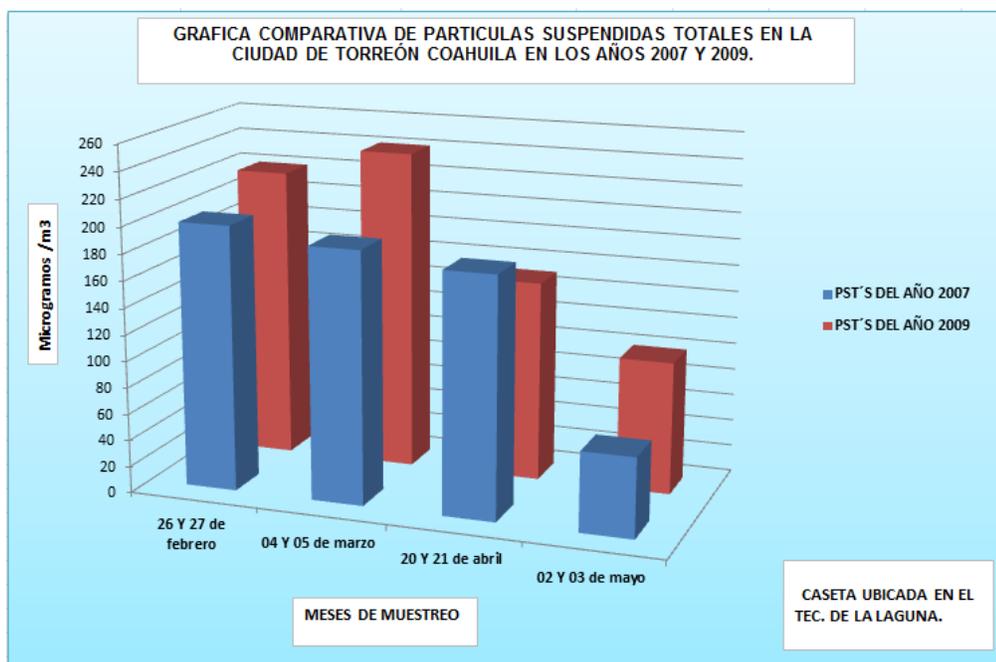


Imagen 6. Grafica de barras, comparativo correspondiente a los años 2007 y 2009.

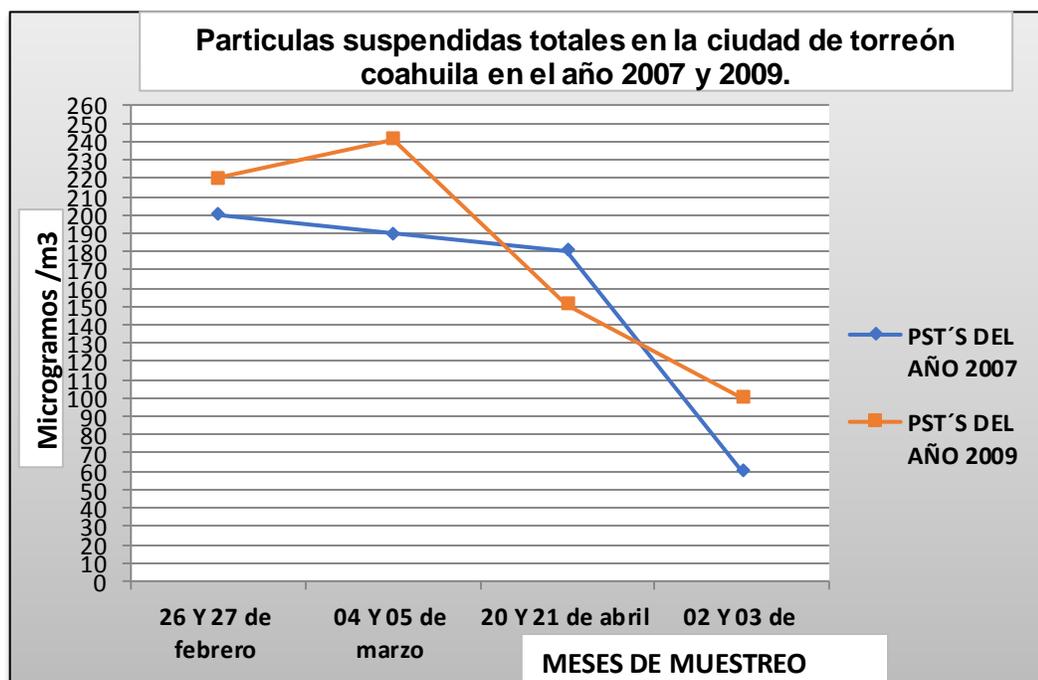


Imagen 7. Grafica de línea, se puede identificar el incremento de las partículas, y la diferencia es notoria entre años.

Con los datos obtenidos de las casetas de monitoreo con respecto a los años se calcularon algunos valores estadísticos en la siguiente tabla muestra una comparación de los valores estadísticos determinados, como lo es la Media, Mediana, Moda y Varianza, correspondientes a los datos tomados de cada año 2007 y 2009.

Tabla 3. Tabla comparativa en relación al año 2007 y 2009 de la Media, Mediana, Moda y Varianza.

Valores Estadísticos Determinados	PST'S correspondientes al año 2007	PST'S correspondientes al año 2009
MEDIA	157.55	178
MEDIANA	185.15	185.5
MODA	No existe MODA	No existe MODA
VARIANZA	4292.096667	4182



Imagen 8. Grafica representativa de la Media, Mediana, Moda y Varianza.

VI. DISCUSIÓN

Una vez analizados los datos en las cuales en tres fechas de las cuatro analizadas, estas me indican que existe un incremento de partículas suspendidas totales en la atmosfera. En una de las fechas analizadas existe un decremento de material particulado en la atmosfera, por lo que se sugiere que en futuros análisis se tomen en consideración las variables atmosféricas existentes en la fecha que arroja como resultado el decremento de la concentración de partículas en la atmosfera urbana.

Además en el resultado de los valores estadísticos determinados en la Moda no se obtuvieron datos ya que los resultados arrojados por el año 2007 y 2009 los datos no son repetitivos entonces la moda no existe.

VII. CONCLUSIÓN

De acuerdo a la metodología empleada y en base a los resultados obtenidos en presente estudio se concluye lo siguiente:

De acuerdo a la hipótesis establecida que me dicen: Existen partículas contaminantes en la atmosfera de la ciudad de Torreón Coahuila. Comparando mis resultados con la hipótesis, se supone que en tres fechas de las cuatro analizadas, estas me indican que existe un incremento de partículas suspendidas totales en la atmosfera urbana de la ciudad de Torreón Coahuila.

En una de las fechas analizadas existe un decremento de material particulado en la atmosfera, por lo que se sugiere que en futuros análisis se tomen en consideración las variables atmosféricas existentes en la fecha que arroja como resultado el decremento de la concentración de partículas en la atmosfera urbana.

Además en el resultado de los valores estadísticos determinados como lo es la Media, Moda, Mediana, y varianza, menos en la Moda no se obtuvieron datos ya que los resultados arrojados por el año 2007 y 2009 los datos no son repetitivos entonces la moda no existe.

De acuerdo a las tablas de resultados, se determina que existe concentración de particulas en las zonas aledañas al Tecnológico de la Laguna, pudiendo esto originar un problema medio ambiental y de salud, ya que los PST'S, pueden causar enfermedades al ser humano.

Se conoce que los puntos evaluados se ubican dentro de la mancha urbana, la cual cada día crece incrementando por la concentración de particulas, la probabilidad de provocar enfermedades. Durante el periodo de evaluación se presentaron vientos fuertes en la región lo que incremento la presencia de

material particulado como polvos, polen, etc. Que aumentan la concentración de partículas.

7.1 Recomendaciones

Se recomienda que para futuras tesis que evalúen material particulado presente en la atmosfera y que el ser humano respira, se analicen las diferentes variables atmosféricas como: velocidad y dirección del viento, temperaturas en la región, precipitaciones pluviales. Ya que dichas variables atmosféricas puede ayudar a la disminución o incremento del material particulado que respira la población urbana de la ciudad de Torreón.

VIII. LITERATURA CITADA

- Amarales-Contreras, M. C. M., M. C. R. Biart-Hernández, I. L. Ordieres-Bouzareñs y I. K. Socarrás Stable 2008. "Fuentes móviles: Control de sus emisiones y medidas para su mitigación." *Revista Transporte, Desarrollo y Medio Ambiente* 29: 52-57.
- Ambiental, R. E. 2011. Conceptos basicos (en linea): <http://www.lineaverdemunicipal.com/Recurso-Educación-Ambiental/Aire-Ozono-Juegos.pdf> (Fecha de consulta: 25 de noviembre de 2017).
- Andreou, G. y S. Rapsomanikis 2009. "Origins of n-alkanes, carbonyl compounds and molecular biomarkers in atmospheric fine and coarse particles of Athens, Greece." *Science of the Total Environment*. 407: 5750–5760.
- Angulo, L. C., J. I. Huertas y G. M. Restrepo 2011. "Caracterización de Partículas Suspendidas (PST) y Partículas Respirables (PM10) producidas en Áreas de Explotación Carbonífera a Cielo Abierto." *Información Tecnológica* 2: 23-24.
- Belan, S., V. Lebedev y G. Falkovich 2016. "Particle Dispersion in the Neutral Atmospheric Surface Layer." *Boundary-Layer Meteorol* 159: 23-40.
- Bergin, M. S., J. Jason-West, T. J. Keating y A. G. Russell 2005. "REGIONAL ATMOSPHERIC POLLUTION AND TRANSBOUNDARY AIR QUALITY MANAGEMENT." *Annual Reviews* 30: 1-37.
- Canales-Rodríguez, M. Á., M. Quintero-Núñez, T. G. Castro-Romero y R. O. García-Cuento 2014. "Las Partículas Respirables PM10 y su Composición Química en la Zona Urbana y Rural de Mexicali, Baja California en México." *Las Partículas Respirable* 25: 13-22.
- Carazo-Fernández, L., F.-A. Ramón, F. J. González-Barcala y J. A. Rodríguez Portal 2013. "Contaminación del aire interior y su impacto en la patología respiratoria." *Arch Bronconeumol* 49: 22-27.
- Colosi, D. y C. Rovelli 2009. "What is a particle?" *CLASSICAL AND QUANTUM GRAVITY* 26: 22.
- CRUZ-CAMPAS, M. E., A. GÓMEZ-ÁLVAREZ, M. QUINTERO-NÚÑEZ y J. VARELA SALAZAR 2013. "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE RESPECTO DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES (PST) Y METALES PESADOS (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) EN LA CIUDAD DE HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO, DURANTE UN PERIODO ANUAL." *Rev. Int. Contam. Ambient.* 29: 269-283.
- Davidson, C., I., R. F. Phalen y P. A. Solomon 2005. "Airborne Particulate Matter and Human Health: A Review." *Aerosol Science and Technology* 39: 737-749.
- DÍAZ-PERRAMÓN, M., S. PIRE-RIVAS y J. A. DÍAZ-ABREU 2012. "Emisiones de Material Particulado de vehículos diesel en La Habana. Caracterización y análisis normativo." *Materiai Particuiado - Vehicuios Diesel - Opacidad* 32: 22-31.

- Donnelley, M., K. S. Morgan, K. K. W. Siu y D. W. Parsons 2012. "Dry deposition of pollutant and marker particles onto live mouse airway surfaces enhances monitoring of individual particle mucociliary transit behaviour." *Synchrotron Radiation* 19: 551–558.
- DRINKER, P. 1939. "Atmospheric Pollution." *Harvard School of Public Health* 31: 1316-1320.
- Echeverri-Londoño, C. A. y G. J. Maya-Vasco 2008. "RELATION BETWEEN FINE PARTICLES (PM2.5) AND BREATHABLE PARTICLES (PM10) IN MEDELLIN CITY." *Revista Ingenierías, Universidad de Medellín* 6: 23-42.
- Elperin, T., A. Fominykh y B. Krasovtsov 2016. "Effect of raindrop size distribution on scavenging of aerosol particles from Gaussian air pollution plumes and puffs in turbulent atmosphere." *Process Safety and Environment Protection*: 1-45.
- Freney, E. J., K. Sellegri, F. Canonaco, A. Colomb, A. Borbon, V. Michoud, J.-F. Doussin, S. Crumeyrolle, N. Amarouche, J.-M. Pichon, T. Bourianne, L. Gomes, A. S. H. Prevot, M. Beekmann y A. Schwarzenböeck 2014. "Characterizing the impact of urban emissions on regional aerosol particles: airborne measurements during the MEGAPOLI experiment." *Atmos. Chem. Phys.* 14: 1412, 2014.
- Freutel, F., J. Schneider, F. Drewnick, D.-L. Von der Weiden-Reinmüller, M. Crippa, A. S. H. Prévôt, U. Baltensperger, L. Poulain, A. Wiedensohler, J. Sciare, R. Sarda-Estéve, J. F. Burkhardt, S. Eckhardt, A. Stohl, V. Gros, A. Colomb, V. Michoud, J. F. Doussin, A. Borbon, M. Haeffelin, Y. Morille, M. Beekmann y S. Borrmann 2013. "Aerosol particle measurements at three stationary sites in the megacity of Paris during summer 2009: meteorology and air mass origin dominate aerosol particle composition and size distribution." *Atmos. Chem. Phys.* 13: 933–959.
- Guéguen, F., P. Stille, V. Dietze y R. Gieré 2012. "Chemical and isotopic properties and origin of coarse airborne particles collected by passive samplers in industrial, urban, and rural environments." *Atmospheric Environment* 62: 631-645.
- Hagler, G. S. W., R. W. Baldauf, E. D. Thoma, T. R. Long, R. F. Snow, J. S. Kinsey, L. Oudejans y B. K. Gullett 2009. "Ultrafine particles near a major roadway in Raleigh, North Carolina: Downwind attenuation and correlation with traffic-related pollutants." *Atmospheric Environment*. 43: 1229–1234.
- Harrison, R. M. y J. Yin 2000. "Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health?" *The Science of the Total Environment*. 249: 85-101.
- Hawthorne, S. B., M. S. Krieger, D. J. Miller y M. B. Mathiason 1989. "Collection and Quantitation of Methoxylated Phenol Tracers for Atmospheric Pollution from Residential Wood Stoves." *Environmental Protection Agency* 23: 470-475.
- HEMEON, W. C. L. y T. F. HATCH 1947. "Atmospheric Pollution." 39: 568-571.

- Ho, K. F., S. C. Lee, J. C. Tu, S. C. Zou y K. Fung 2002. "Carbonaceous characteristics of atmospheric particulate matter in Hong Kong." *The Science of the Total Environment* 300: 59-67.
- INEEC 2016. "INDICADORES DE LA CALIDAD DEL AIRE (EN LINEA)." INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA Y CAMBIO CLIMATICO: <http://sinaica.inecc.gob.mx/scica/> (FECHA DE CONSULTA: 04 DE JUNIO DEL 2017).
- INNEC 2016. "Conceptos basicos (en linea)." <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/621/conceptos.pdf> (fecha de consulta: 25 de noviembre de 2017).
- Jedrychowski, W. A., R. Majewska, J. D. Spengler, D. Camann, E. L. Roen y F. P. Perera 2017. "Prenatal exposure to fine particles and polycyclic aromatic hydrocarbons and birth outcomes: a two-pollutant approach." *Int Arch Occup Environ Health* 90: 255–264.
- Jhovana, R. y O. Javier 2012. "AJUSTE DE CURVAS MEDIANTE MÉTODOS NO PARAMÉTRICOS PARA ESTUDIAR EL COMPORTAMIENTO DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR MATERIAL PARTICULADO PM10." *Revista EIA* 18: 19-31.
- Jung, E. J., Y. J. Lee, S. R. Kim, W. T. Kwon, D. J. Choi y Y. Kim 2014. "Purification and particle size control of b-SiC powder using thermocycling process." *Advances in Applied Ceramics* 113: 352-357.
- KHARYTONOV, M., A. BENSELHOUB, L. SHUPRANOVA, R. KRYVAKOVSKA y V. KHLOPOVA 2015. "ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC POLLUTION IN DNIPROPETROVSK PROVINCE (UKRAINE)." *Studia Universitatis* 25: 125-130.
- Kuhlbusch, T. A. J., S. Neumann y H. Fissan 2004. "Number Size Distribution, Mass Concentration, and Particle Composition of PM1, PM2.5, and PM10 in Bag Filling Areas of Carbon Black Production." *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 1: 660–671.
- Li, P., Y. Wang y Q. Dong 2017. "The analysis and application of a new hybrid pollutants forecasting model using modified Kolmogorov–Zurbenko filter." *Science of the Total Environment*. 30: 2-13.
- Li, X., T. R. Dallmann, A. A. May, D. S. Tkacik, A. T. Lambe, J. T. Jayne, P. L. Croteau y A. A. Presto 2016. "Gas-Particle Partitioning of Vehicle Emitted Primary Organic Aerosol Measured in a Traffic Tunnel." *American Chemical Society*. 50: 12146–12155.
- Linares, C. y J. Díaz 2009. "Efecto del as partículas de diámetro inferior a 2,5 micras (PM2,5) sobre los ingresos hospitalarios en niños menores de 10 años en Madrid." *Gac Sanit* 23: 192-197.
- Martínez. L, E., C. M. Quiroz y J. A. Rúa 2011. "Morbilidad respiratoria asociada con la exposición a material particulado en el ambiente." *Facultad Nacional de Salud Pública* 29: 454-460.
- May, A. A., A. A. Presto, C. J. Hennigan, N. T. Nguyen, T. D. Gordon y A. L. Robinson 2013. "Gas-Particle Partitioning of Primary Organic Aerosol Emissions: (2) Diesel Vehicles." *American Chemical Society* 47: 8288–8296.

- Meléndez-Gélvez, I., M. L. Martínez-Montañez y A. Quijano-Parra 2012. "Actividad mutagénica y genotóxica en el material particulado fracción respirable MP2,5 en Pamplona, Norte de Santander, Colombia." *latreia* 25: 347-356.
- Mendoza, A. y M. R. Garcia 2009. "APLICACIÓN DE UN MODELO DE CALIDAD DEL AIRE DE SEGUNDA GENERACIÓN A LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA, MÉXICO." *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25: 73-85.
- Morales, J., Y. Cano, L. Sánchez, J. Torres, I. Stanislao y B. Montilla 2012. "Evaluación preliminar de los niveles de partículas atmosféricas PM10y PM2,5 en la ciudad de Maracaibo, Venezuela." *MULTICIENCIAS* 12: 156-161.
- NMX 2001. "NMX-AA-010-SCFI-2001. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA - FUENTES FIJAS - DETERMINACIÓN DE LA EMISIÓN DE PARTÍCULAS CONTENIDAS EN LOS GASES QUE FLUYEN POR UN CONDUCTO - MÉTODO ISOCINÉTICO(en línea)." *NORMAS MEXICANAS*:
http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Varios/Leyes_y_Normas_SEMARNAT/NMX/Atm%C3%B3sfera/1.2001.pdf (FECHA DE CONSULTA: 04 DE JUNIO DEL 2017).
- Ochoa-Gutiérrez, K. S. y M. A. Mauses 2014. "Experimental and mathematical evaluation of molecular adsorption models for organic pollutants on TiO₂-P25 particles." *Ingeniería y Competitividad* 16: 309-320.
- Oladoyin-Salako, G. y P. K. Hopke 2012. "Impact of percentile computation method on PM 24-h air quality standard." *Journal of Environmental Management* 107: 110-113.
- OMS 2005. "Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre(en línea)."
http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/who_sde_phe_oe_h_06.02_spa.pdf (fecha de consulta: 25 de noviembre de 2017).
- OMS 2016. "Calidad del aire ambiente (exterior) y salud(EN LINEA)."
ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD:
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/> (FECHA DE CONSULTA: 04 DE JUNIO DEL 2017).
- Pérez, N., J. Pey, M. Cusack, C. Reche, X. Querol, A. Alastuey y M. Viana 2010. "Variability of Particle Number, Black Carbon, and PM10, PM2.5, and PM1 Levels and Speciation: Influence of Road Traffic Emissions on Urban Air Quality." *Aerosol Science and Technology* 44: 487-499.
- PROFEPA 2012. "Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012, Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire.(EN LINEA)."
PROCURADURIA FEDERAL DE PROTECCIÓN AL AMBIENTE: <http://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-156-semarnat-2012> (FECHA DE CONSULTA: 04 DE JUNIO DEL 2017).
- PROFEPA 2016. "NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-085-SEMARNAT-2011 Establece los niveles máximos permisibles de emisión de humo,

- partículas, monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) de los equipos de combustión de calentamiento indirecto que utilizan combustibles convencionales o sus mezclas, con el fin de proteger la calidad del aire(EN LINEA)." PROCURADURIA GENERAL DE PROTECCION AL AMBIENTE:
<http://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-085-semarnat-2011> (RECUPERADO EL 04 DE JUNIO DEL 2017).
- Pryor, S. C. y R. J. Barthelmieb 1996. "PM 10 in Canada." *The Science of the Total Environment*. 177: 57-71.
- Qiu, B., Q. Li, W. Hong y G. Xing 2015. "Characterization of the Key Material for Elimination of PM_{2.5} Particles in the Atmosphere." *Journal of Spectroscopy* 5: 1-6.
- Ramírez-Rembao, M., R. I. Rosa y R. García-Cueto 2009. "Influencia de los Contaminantes Atmosféricos en las Infecciones Respiratorias Agudas en Mexicali-Baja California, México." *Información Tecnológica*. 20: 89-100.
- Rojano, R., H. Arregoces y G. Restrepo 2014. "Composición Elemental y Fuentes de Origen de Partículas Respirables (PM₁₀) y Partículas Suspendidas Totales (PST) en el Área Urbana de la Ciudad de Riohacha, Colombia." *Información Tecnológica*. 25: 3-12.
- Sánchez, J. y L. Caraballo 2015. "Repercusión de la contaminación del aire en la aparición de asma." *Revista Alergia México* 62: 287-301.
- Schantz, M. M., D. Cleveland, N. A. Heckert, J. R. Kucklick, S. D. Leigh, S. E. Long, J. M. Lynch, K. E. Murphy, R. Olfaz, A. L. Pintar, B. J. Poter, S. A. Rabb, S. S. Vander-pol, S. A. Wise y R. Zeisler 2016. "Development of two fine particulate matter standard reference materials (<4 µm and <10 µm) for the determination of organic and inorganic constituents." *Anal Bioanal Chem.*: 1-10.
- Schrooten, L., I. De Vlieger, F. Lefebvre y R. Torfs 2006. "Costs and benefits of an enhanced reduction policy of particulate matter exhaust emissions from road traffic in Flanders." *Atmospheric Environment*. 40: 904–912.
- SEGOB 1994. "NORMA Oficial Mexicana NOM-085-ECOL-1994, Contaminación atmosférica - Fuentes fijas - Para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión(EN LINEA)." DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN:
http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4769948&fecha=02/12/1994 (FECHA DE CONSULTA: 04 DE JUNIO DEL 2017).
- SEGOB 2014. "Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014, Salud ambiental. Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5} en el aire ambiente y criterios para su evaluación.(En Línea)." DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN:

http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20/08/2014 (CONSULTA: 04 DE JUNIO DEL 2017).

SEMARNAT 1993a. "NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-035-SEMARNAT-1993 QUE ESTABLECE LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES EN EL AIRE AMBIENTE Y EL PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN.(EN LINEA)." SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES:

<http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/monitoreo/normatividad/NOM-035-SEMARNAT-1993.pdf> (FECHA DE CONSULTA: 04 DE JUNIO DEL 2017).

semarnat 1993b. "NOM-043-SEMARNAT-1993 NORMA OFICIAL MEXICANA, QUE ESTABLECE LOS NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION A LA ATMOSFERA DE PARTICULAS SOLIDAS PROVENIENTES DE FUENTES FIJAS(en linea)." SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES:

<http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ecol/ecol043.pdf> (fecha de consulta: 04 de junio del 2017).

SEMARNAT 1996. "NOM-097-SEMARNAT-1995 NORMA OFICIAL MEXICANA, QUE ESTABLECE LOS LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION A LA ATMOSFERA DE MATERIAL PARTICULADO Y OXIDOS DE NITROGENO EN LOS PROCESOS DE FABRICACION DE VIDRIO EN EL PAIS(EN LINEA)." DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN: <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ecol/ecol097.pdf> (FECHA DE CONSULTA: 04 DE JUNIO DEL 2017).

SEMARNAT 2006. "NORMA Oficial Mexicana NOM-044-SEMARNAT-2006, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales, hidrocarburos no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas y opacidad de humo provenientes del escape de motores nuevos que usan diesel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos, así como para unidades nuevas con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos equipadas con este tipo de motores(en linea)." DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN:

http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/658/1/NOM_044_SEMARNAT_2006_12_OCT_06.pdf (fecha de consulta: 04 de junio del 2017).

Shen, Z., J. Cao, R. Arimoto, Y. Han, C. Zhu, J. Tian y S. Liu 2010. "Chemical Characteristics of Fine Particles (PM1) from Xi'an, China." *Aerosol Science and Technology* 44: 461–472.

Shi, Y., Y. Ji, H. Sun, F. Hui, J. Hu, Y. Wu, J. Fang, H. Lin, J. Wang, H. Duan y M. Lanza 2015. "Nanoscale characterization of PM2.5 airborne pollutants reveals high adhesiveness and aggregation capability of soot particles." *scientific reports*: 1-10.

Sloss, L. L. y I. M. Smith 2000. "PM 10 and PM 2.5 :an international perspective." *Fuel Processing Technology* 65-66: 127-141.

- Song, X. y M. Rettenmayr 2007. "Modeling recrystallization in a material containing fine and coarse particles." *Computational Materials Science* 40: 234–245.
- Sosa, G., E. Vega, E. González-Avalos, V. Mora y D. López-Veneroni 2013. "Air Pollutant Characterization in Tula Industrial Corridor, Central Mexico, during the MILAGRO Study." *Hindawi Publishing Corporation BioMed Research International*: 13.
- Sparks, C., T. Reponen, S. A. Grinshpun, P. Ryan, M. Yermakov, M. Simmons, M. Alam y L. A. Howard 2014. "Concentration Gradient Patterns of Traffic and Non-Traffic- Generated Fine and Coarse Aerosol Particles." *Journal of Environmental Health* 76: 122-129.
- Spinazzé, A., G. Fanti, F. Borghi, L. Del Buono, D. Campagnolo, S. Rovelli, A. Cattaneo y D. M. Cavallo 2007. "Field comparison of instruments for exposure assessment of airborne ultrafine particles and particulate matter." *Atmospheric Environment*. 154: 274-284.
- ŠUĆUR, K. M., M. P. ANIČIĆ, M. N. TOMAŠEVIĆ, D. Z. ANTANASIJEVIĆ, A. A. PERIĆ-GRUJIĆ y M. D. RISTIĆ 2010. "Urban deciduous tree leaves as biomonitors of trace element (As, V and Cd) atmospheric pollution in Belgrade, Serbia." *J. Serb. Chem. Soc* 75: 1453–1461.
- Thorpe, A. J., R. M. Harrison, P. G. Boulter y I. S. McCrae 2007. "Estimation of particle resuspension source strength on a major London Road." *Atmospheric Environment*. 41: 8007–8020.
- Tolvett-Caro, S., P. Henríquez y M. Osses 2016. "Análisis de variables significativas para la generación de un inventario de emisiones de fuentes móviles y su proyección." *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería* 24: 32-39.
- Wang, D.-W., H. Guo y C. k. Chan 2012. "Measuring Ambient Acidic Ultrafine Particles Using Iron Nanofilm Detectors: Method Development." *Aerosol Science and Technology* 46: 521-532.
- Wolterbeek, B. 2002. "Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives." *Environmental Pollution*. 120: 11-21.
- Wu, Y.-S., G.-C. Fang, J.-B. Lin, J.-G. Lin, S.-H. Huang y J.-Y. Rau 2006. "Atmospheric pollutants study of particles and metallic elements during high wind speed (wind speed /6 m/s) near Taiwan Strait around central Taiwan." *Toxicology and Industrial Health* 22: 1-13.
- Ye, P., X. Ding, Q. Ye, E. S. Robinson y N. M. Donahue 2016. "Uptake of Semivolatile Secondary Organic Aerosol Formed from α -Pinene into Nonvolatile Polyethylene Glycol Probe Particles." *American Chemical Society*. 120: 1459–1467.
- YUVAL y D. M. BRODAY 2010. "Studying the Time Scale Dependence of Environmental Variables Predictability Using Fractal Analysis." *ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY* 44: 4629–4634.
- Zhang, R., G. Wang, S. Guo, M. L. Zamora, Q. Ying, Y. Lin, W. Wang, M. Hu y Y. Wang 2015. "Formation of Urban Fine Particulate Matter." *American Chemical Society*. 30: 1-53.

Zhu, Y., D. C. Fung, N. Kennedy, W. C. Hinds y A. Eiguren-Fernandez 2008.
"Measurements of Ultrafine Particles and Other Vehicular Pollutants
inside a Mobile Exposure System on Los Angeles Freeways." *Journal of
the Air & Waste Management Association*. 58: 424–434.