



Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Tendencia de la Calidad del Aire en Monterrey y su Zona Metropolitana

Trabajo realizado por:

Hugo Alejandro Vásquez Cortez

Dirigido por:

Dr. José María Baldasano Recio

Máster en:

Ingeniería Ambiental

Barcelona, 16 de junio de 2017

Departamento de Ingeniería de Proyectos y de la
Construcción

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Agradecimientos

Primero que nada, quiero agradecer a mi madre, Nancy, ya que gracias a ella soy la persona que hoy en día y estoy en donde estoy. Ella siempre me impulsó y motivó a superar todos los retos que se me impusieron delante de mí y a cumplir todos mis sueños y metas, aunque éstas estuvieran complicadas de cumplir. Ella siempre fue la persona que me motivó para poder realizar un Máster ya sea dentro o fuera de México y siempre le estaré eternamente agradecido por todo su apoyo a lo largo de estos dos años.

Así mismo, a mis familiares, ya que sin su apoyo incondicional no hubiera podido llevar a cabo este Máster. A Dios, del cual siempre caminé de su mano y quien siempre me cuidó a lo largo de estos dos años ya estando en Barcelona o viajando por el resto de Europa. A mis amigos y amigas de Monterrey, los cuales siempre estuvieron al pendiente del progreso de mi Máster y siempre me brindaron su apoyo. A mis compañeros del Máster, que, a pesar de ser de países diferentes, una sola lengua y un solo propósito nos unió como grupo y generación.

A mi asesor, el Dr. José Ma. Baldasano Recio, que gracias a él aprendí muchas cosas dentro y fuera del aula de clases. Su forma de enseñar y motivación acerca del estudio de la calidad del aire me impulsó a elegir un proyecto de dicho tema sabiendo cual es la situación de Monterrey. Sus asesorías a lo largo del proyecto me ayudaron para desarrollar el proyecto en tiempo y forma.

Al Instituto de Innovación y Transferencia Tecnológica de Nuevo León (i²T²) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), los cuales me eligieron para poder representar a México en el extranjero y me brindaron la oportunidad de cumplir el sueño de muchos jóvenes profesionales. Ellos me brindaron el apoyo económico para poder realizar este Máster y el realizar esta Tesis sobre la ciudad de dónde vengo es una forma de ayudar para poder impulsar una mejor vida de los Regios.

A todos ellos y a muchas personas más agradezco su apoyo y sus ánimos, buenos deseos, las largas pláticas, entre otras cosas, ya que el salirme de mi país por tanto tiempo para estudiar y empezar una nueva vida fuera de la ciudad en donde nací fue una de las decisiones más difíciles en mi vida, sin embargo, no me arrepiento de haberlo hecho ya que esto me ayudó a crecer como persona, a conocer nuevas culturas y a enfrentar mis miedos a los cambios. Gracias a todo esto he crecido y me he convertido en una mejor persona a lo largo de estos dos años, por lo cual estoy sumamente agradecido con todas aquellas personas que han marcado mi vida.

Hugo Alejandro Vásquez Cortez

Tabla de Contenido

Agradecimientos.....	2
Índice de Figuras.....	5
Índice de Tablas.....	7
Resumen.....	10
1. Planteamiento del Problema.....	12
1.1 Monterrey y su Zona Metropolitana.....	12
1.1.1 Principales Actividades.....	14
1.2 Justificación del Problema.....	15
1.3 Objetivo y Alcances del Proyecto.....	17
2. Estudio de la zona.....	17
2.1 Extensión Territorial y Localización.....	17
2.2 Geografía y Topología.....	18
2.3 Precipitación.....	19
2.4 Radiación Solar.....	20
2.5 Temperatura.....	21
2.6 Vientos Predominantes.....	22
3. Estudio de la Calidad del Aire.....	23
3.1 Origen de la Contaminación en el Aire.....	23
3.1.1 Fuentes Antropogénicas.....	23
3.1.2 Fuentes Naturales.....	23
3.2 Principales Contaminantes Atmosféricos.....	24
3.2.1 Contaminantes Primarios.....	24
3.2.2 Contaminantes Secundarios.....	24
3.2.3 Dióxido de Azufre (SO ₂).....	24
3.2.4 Monóxido de Carbono (CO).....	25
3.2.5 Óxidos de Nitrógeno (NO _x).....	25
3.2.6 Materia Particulado.....	26
3.2.7 Ozono (O ₃).....	27
4. Sistema de Monitoreo Ambiental.....	27
4.1 Estaciones de Medida.....	28
4.1.1 Aparatos y Métodos de medición.....	31
4.2 Base de Datos de Calidad del Aire.....	34
4.3 Normativa.....	34
4.3.1 Normativa Mexicana.....	34
4.3.2 Normativa EPA.....	35
4.3.3 Normativa UE.....	36
4.3.4 Valores Guía de la OMS.....	37
5. Diagnóstico de la Contaminación del Aire.....	38

5.1	<i>Antecedentes</i>	38
5.2	<i>Programas Sobre la Calidad del Aire del AMM</i>	39
5.2.1	ProAire 1997-2000	40
5.2.2	ProAire 2008-2012	41
5.3	<i>Metodología de Investigación</i>	43
5.4	<i>Análisis de las Bases de Datos</i>	44
5.5	<i>Análisis de Excedencias</i>	47
5.6	<i>Relación de Aspectos Climáticos con la Contaminación</i>	51
5.6.1	Vientos Predominantes	51
5.6.2	Temperatura	52
5.6.3	Radiación Solar	53
5.6.4	Precipitación	55
5.7	<i>Orígenes y Patrones de Inmisión de Contaminantes</i>	56
5.7.1	Dióxido de Azufre (SO ₂)	56
5.7.2	Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	61
5.7.3	Monóxido de Carbono (CO)	65
5.7.4	PM ₁₀	69
5.7.5	PM _{2.5}	73
5.7.6	Ozono (O ₃)	77
5.8	<i>Análisis de Nivel de Cumplimiento de Normativas</i>	81
5.8.1	Dióxido de Azufre (SO ₂)	81
5.8.2	Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	87
5.8.3	Monóxido de Carbono (CO)	92
5.8.4	PM ₁₀	95
5.8.5	PM _{2.5}	100
5.8.6	Ozono (O ₃)	103
6.	Conclusiones y Recomendaciones	106
7.	Bibliografía	110

Índice de Figuras

Fig. 1.1. Ubicación de Nuevo León (Cuentame INEGI, 2017)	12
Fig. 1.2. Vista panorámica de Monterrey y su Zona Metropolitana	13
Fig. 1.3. Número de habitantes en Monterrey y su Zona Metropolitana (INEGI, 2016)	13
Fig. 1.4. Concentraciones promedio anuales para PM ₁₀ y PM _{2.5} , O ₃ y SO ₂ – 2011 (Green, 2012)	16
Fig. 2.1. Área Metropolitana de Monterrey (AMM) (Azull, 2017)	18
Fig. 2.2. Mapa de los principales escenarios en Nuevo León (Cuentame INEGI, 2017)	19
Fig. 2.3. Precipitación Pluvial del 2016 en el AMM (Aire N.L., 2017)	20
Fig. 2.4. Radiación solar Promedio del 2016 en el AMM (Aire N.L., 2017)	21
Fig. 2.5. Temperatura promedio, máxima y mínima del 2016 en el AMM (Aire N.L., 2017)	21
Fig. 2.6. Velocidad promedio de 2016 en el AMM (Aire N.L., 2017)	22
Fig. 3.1. Contaminación en el AMM (Villasáez, 2017)	26
Fig. 4.1. Ubicación de las estaciones en el AMM	30
Fig. 5.1. Número de superaciones de 1993 a 2016 de NO ₂ . Normativa MX: 395 µg/m ³ ; OMS: 200 µg/m ³ . Medición Horaria	48
Fig. 5.2. Número de superaciones de 1993 a 2016 de SO ₂ . Normativa MX: 288 µg/m ³ ; OMS: 20 µg/m ³ . Medición Diaria	48
Fig. 5.3. Número de superaciones de 1993 a 2016 de O ₃ . Normativa MX: 137.2 µg/m ³ ; OMS: 100 µg/m ³ . Medición Octohoraria	49
Fig. 5.4. Número de superaciones de 1993 a 2016 de PM ₁₀ . Normativa MX: 75 µg/m ³ ; OMS: 50 µg/m ³ . Medición Diaria	49
Fig. 5.5. Número de superaciones de 1993 a 2016 de PM _{2.5} . Normativa MX: 45 µg/m ³ ; OMS: 25 µg/m ³ . Medición Diaria	50
Fig. 5.6. Vientos predominantes en las diferentes estaciones en el AMM. Año 2015.	52
Fig. 5.7. Temperatura registrada en la estación Noreste de 1993 a 2016	52
Fig. 5.8. Temperatura registrada en la estación Suroeste de 1993 a 2016	53
Fig. 5.9. Radiación solar anual de 1993 a 2016	54
Fig. 5.10. Radiación solar mensual de 2010 a 2016 en la estación Noroeste 2	54
Fig. 5.11. Acumulado de precipitación pluvial anual de 1993 a 2006	55
Fig. 5.12. Promedio anual de SO ₂ desde 1993 a 2016	56
Fig. 5.13. Promedio mensual de SO ₂ de los años 2014, 2015 y 2016	58
Fig. 5.14. Promedio semanal de SO ₂ en agosto y diciembre de 2016	59
Fig. 5.15. Datos horarios de SO ₂ en verano e invierno de 2016	59
Fig. 5.16. Análisis espacial del SO ₂ en 1993 y 2013	60
Fig. 5.17. Distribución de parques industriales en el AMM (Mexico Industrial Maps, 2017)	60
Fig. 5.18. Promedio anual de NO ₂ desde 1993 a 2016	61

Fig. 5.19. Promedio mensual de NO ₂ en los años 2014, 2015 y 2016	62
Fig. 5.20. Promedio semanal de NO ₂ en julio y diciembre de 2016.....	63
Fig. 5.21. Datos horarios de NO ₂ en verano e invierno de 2016	63
Fig. 5.22. Análisis espacial del NO ₂ en 1993 y 2012.....	64
Fig. 5.23. Promedio anual de CO desde 1993 a 2016	65
Fig. 5.24. Vehículos registrados en N.L. de 1993 a 2015 (INEGI, 2015)	66
Fig. 5.25. Promedio mensual de CO en los años 2014, 2015 y 2016	67
Fig. 5.26. Promedio semanal de CO en agosto y diciembre de 2016	67
Fig. 5.27. Datos horarios de CO en verano e invierno de 2016	68
Fig. 5.28. Análisis espacial del CO en 1993 y 2013.....	68
Fig. 5.29. Promedio anual de PM ₁₀ de 1993 a 2016.....	69
Fig. 5.30. Promedio mensual de PM ₁₀ en los años 2014, 2015 y 2016.....	71
Fig. 5.31. Promedio semanal de PM ₁₀ en agosto y diciembre de 2016	72
Fig. 5.32. Datos horarios de PM ₁₀ en verano e invierno de 2016	72
Fig. 5.33. Análisis espacial del PM ₁₀ en 1993 y 2016	73
Fig. 5.34. Promedio anual de PM _{2.5} de 1993 a 2016	74
Fig. 5.35. Promedio mensual de PM _{2.5} en los años 2014, 2015 y 2016	75
Fig. 5.36. Promedio semanal de PM _{2.5} en julio y noviembre de 2016	76
Fig. 5.37. Datos horarios de PM _{2.5} en verano e invierno de 2016	76
Fig. 5.38. Análisis espacial del PM _{2.5} en 2004 y 2012.....	77
Fig. 5.39. Promedio anual de O ₃ de 1993 a 2016	78
Fig. 5.40. Promedio mensual de O ₃ en los años 2014, 2015 y 2016	79
Fig. 5.41. Promedio semanal de O ₃ en agosto y diciembre de 2016	79
Fig. 5.42. Datos horarios de O ₃ en verano e invierno de 2016	80
Fig. 5.43. Análisis espacial del O ₃ en 1993 y 2013	80
Fig. 5.44. Promedio anual de SO ₂ desde 1993 a 2016 de acuerdo a la normativa MX y EPA.....	82
Fig. 5.45. Promedio diario del SO ₂ de 1993 a 2002 en la estación Noreste.....	83
Fig. 5.46. Promedio diario del SO ₂ de 2003 a 2010 en la estación Noreste.....	84
Fig. 5.47. Promedio diario del SO ₂ de 2011 a 2016 en la estación Noreste.....	85
Fig. 5.48. Análisis horario del SO ₂ de 1993 a 2016 en la estación Noreste.....	87
Fig. 5.49. Promedio anual de NO ₂ desde 1993 a 2016 de acuerdo a las normativas EPA, UE y valores guía de la OMS	88
Fig. 5.50. Datos horarios del NO ₂ de 1993 a 2002 en la estación Centro	89
Fig. 5.51. Datos horarios del NO ₂ de 2003 a 2010 en la estación Centro	90
Fig. 5.52. Datos Horarios del NO ₂ de 2011 a 2016 en la estación Centro.....	91

Fig. 5.53. Datos horarios del NO ₂ de 1993 a 2016 en la estación Centro	92
Fig. 5.54. Análisis octohorarios del CO de 1993 a 2002 en la estación Noreste	93
Fig. 5.55. Análisis octohorarios del CO de 2003 a 2010 en la estación Noreste	94
Fig. 5.56. Análisis octohorarios del CO de 2011 a 2016 en la estación Noreste	95
Fig. 5.57. Promedio anual de PM ₁₀ desde 1993 a 2016 de acuerdo a las normativas MX, UE y valores guía de la OMS	96
Fig. 5.58. Promedio diario de PM ₁₀ de 1993 a 2002 en la estación Suroeste	97
Fig. 5.59. Promedio diario de PM ₁₀ de 2003 a 2010 en la estación Suroeste	98
Fig. 5.60. Promedio diario de PM ₁₀ de 2011 a 2016 en la estación Suroeste	99
Fig. 5.61. Promedio anual de PM _{2.5} desde 2003 a 2016 de acuerdo a las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS	100
Fig. 5.62. Promedio diario de PM _{2.5} de 2003 a 2010 en la estación Suroeste	101
Fig. 5.63. Promedio diario de PM _{2.5} de 2011 a 2016 en la estación Suroeste	102
Fig. 5.64. Análisis octohorarios del O ₃ de 1993 a 2002 en la estación Suroeste	103
Fig. 5.65. Análisis octohorarios del O ₃ de 2003 a 2010 en la estación Suroeste	104
Fig. 5.66. Análisis octohorarios del O ₃ de 2011 a 2016 en la estación Suroeste	105

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos de localización, superficie y altitud de Monterrey y su Zona Metropolitana	18
Tabla 2. Tipo de estaciones en relación con las fuentes de emisión	28
Tabla 3. Estaciones Meteorológicas en el AMM (Secretaria de Desarrollo Sustentable de Nuevo León, 2017)..	29
Tabla 4. Parámetros medidos en las estaciones meteorológicas del AMM (Secretaria de Desarrollo Sustentable de Nuevo León, 2017).....	30
Tabla 5. Equipos de Medición utilizados para medir el CO atmosférico en las estaciones del AMM (TECO, 2010) (TECO, 2004) (Ecotech, 2015)	31
Tabla 6. Equipos de Medición utilizados para medir los Óxidos de Nitrógeno atmosféricos en las estaciones del AMM (TECO, 2015) (TECO, 1996) (Ecotech, 2015)	32
Tabla 7. Equipos de Medición utilizados para medir PM ₁₀ en las estaciones del AMM (Met One, 2013) (TECO, 2010).....	32
Tabla 8. Equipos de Medición utilizados para medir PM _{2.5} en las estaciones del AMM (Met One, 2013) (TECO, 2010).....	33
Tabla 9. Equipos de Medición utilizados para medir O ₃ en las estaciones del AMM (TECO, 2011) (Ecotech, 2015)	33
Tabla 10. Normativa Oficial Mexicana (DOF-México, 2014) (México-DF, 1993) (DOF-México, 2010) (DOF-México, 1994) (DOF-México, 2014).....	35
Tabla 11. Normativa de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) (NAAQS, 2015)	35

Tabla 12. Normativa Europea (European Union Law, 2008)	37
Tabla 13. Umbrales de Alerta de la Normativa Europea (European Union Law, 2008).....	37
Tabla 14. Normativa de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2005)	38
Tabla 15. Análisis de la calidad de datos de 1993 a 2002	45
Tabla 16. Análisis de la calidad de datos de 2003 a 2010.....	46
Tabla 17. Análisis de la calidad de datos de 2011 a 2016.....	47
Tabla 18. Análisis de incidencias anuales del SO ₂ de 1993 a 2016	81
Tabla 19. Análisis diario de incidencias del SO ₂ en el Periodo 1 (1993 a 2002) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS.....	82
Tabla 20. Análisis diario de incidencias de SO ₂ en el Periodo 2 (2003 a 2010) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS.....	84
Tabla 21. Análisis diario de incidencias de SO ₂ en el Periodo 3 (2011 a 2016) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS.....	85
Tabla 22. Análisis de incidencias anuales del NO ₂ de 1993 a 2016.....	87
Tabla 23. Análisis horario de incidencias de NO ₂ en el Periodo 1 (1993 a 2002) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS	89
Tabla 24. Análisis horario de incidencias de NO ₂ en el Periodo 2 (2003 a 2010) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS	90
Tabla 25. Análisis horario de incidencias de NO ₂ en el Periodo 3 (2011 a 2016) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS	91
Tabla 26. Análisis octohorario de incidencias de CO en el Periodo 1 (1993 a 2002) sobre las normativas MX, EPA y UE.....	92
Tabla 27. Análisis octohorario de incidencias de CO en el Periodo 2 (2003 a 2010) sobre las normativas MX, EPA y UE.....	93
Tabla 28. Análisis octohorario de incidencias de CO en el Periodo 3 (2011 a 2016) sobre las normativas MX, EPA y UE.....	94
Tabla 29. Análisis de incidencias anuales de PM ₁₀ de 1993 a 2016	96
Tabla 30. Análisis diario de incidencias de PM ₁₀ en el Periodo 1 (1993 a 2002) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS.....	97
Tabla 31. Análisis diario de incidencias de PM ₁₀ en el Periodo 2 (2003 a 2010) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS.....	98
Tabla 32. Análisis diario de incidencias de PM ₁₀ en el Periodo 3 (2011 a 2016) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS.....	99
Tabla 33. Análisis de incidencias anuales de PM _{2.5} de 2003 a 2016	100
Tabla 34. Análisis diario de incidencias de PM _{2.5} en el Periodo 2 (2003 a 2010) sobre las normativas MX, EPA y valores guía de la OMS	101
Tabla 35. Análisis diario de incidencias de PM _{2.5} en el Periodo 3 (2011 a 2016) sobre las normativas MX, EPA y valores guía de la OMS	102
Tabla 36. Análisis octohorario de incidencias de O ₃ en el Periodo 1 (1993 a 2002) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS	103

Tabla 37. Análisis octohorario de incidencias de O ₃ en el Periodo 2 (2003 a 2010) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS	104
Tabla 38. Análisis octohorario de incidencias de O ₃ en el Periodo 3 (2011 a 2016) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS	105

Resumen

La contaminación atmosférica es un tema global la cual ha ido incrementando en las principales ciudades del mundo debido a su acelerado crecimiento. El Área Metropolitana de Monterrey (AMM) constituye el centro de la actividad industrial y económica del Estado del Nuevo León. El crecimiento acelerado de la población, así como de la industria ha deteriorado y alterado la calidad del aire, lo que ha ocasionado que las autoridades correspondientes tomen sus debidas precauciones y medidas para prevenir que los niveles de contaminación sigan aumentando conforme pasan los años. A principios de los 90's se empezaron a implementar estas medidas con la instalación de estaciones de medidas las cuales ayudarían a tener un panorama global de la condición en la que se encuentra el AMM, y conforme fue creciendo, se fueron instalando más estaciones de medidas hasta llegar a un total de 10 estaciones. Sin embargo, el grado de profundidad para la realización de un diagnóstico de la condición ambiental de cada contaminante varía en función de la información disponible.

El objetivo principal de este trabajo es dar un panorama general de cuál ha sido la evolución de los principales contaminantes: dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO), material particulado (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$) y Ozono (O_3), con el fin de poder proponer mejoras en los programas existentes y futuros. Junto con la Secretaria de Desarrollo Sustentable de Nuevo León, se obtuvieron las bases de datos de las inmisiones de 1993 a 2016 las cuales sirvieron para la elaboración de este trabajo.

La metodología utilizada para este estudio se basó en el análisis de 24 años (1993 a 2016) repartidos en tres periodos, los cuales comprenden las diferentes etapas en las cuales se fueron instalando los diferentes equipos y sus estaciones de medida. El diagnostico se basó en hacer un análisis de los orígenes y patrones de inmisiones para determinar sus tendencias horarias, semanales, mensuales y anuales y espacial. Posteriormente, se realizó un análisis de cumplimiento de normativa, tomando en cuenta la normativa mexicana, las normativas de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), las directrices de la Unión Europea (UE) y los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS), haciendo una comparación entre las cuatro y para evaluar los límites que se tiene en México con los que se utilizan en otros países y poder obtener conclusiones de la condición en la que se encuentra el AMM.

El diagnóstico de la condición ambiental del AMM muestra que la contaminación del aire ha sido un problema para la sociedad desde el momento en que se empezó su medición. De acuerdo a los resultados obtenidos el Periodo 1 (1993-2002) fueron los años donde la mayoría de los contaminantes alcanzaron niveles sobrepasando los límites establecidos de las normativas y valores guía de la OMS. Los municipios más afectados son: Santa Catarina, San Nicolás de los Garza y García,

los cuales se encuentran cerca de las pedreras, sin embargo, el crecimiento acelerado de los vehículos en circulación también afecta a todas las zonas, principalmente por el tipo de combustible que se utiliza en Nuevo León.

En la actualidad, el problema se enfoca en los tres siguientes contaminantes: PM_{10} , $PM_{2.5}$ y O_3 , de los cuales existe evidencia previa de otros estudios de que el AMM posee una alta concentración de estos contaminantes. Desde que se empezaron a recopilar los datos de material particulado se cumplió la normativa muy pocas veces, sin embargo, en la actualidad se tiene por encima de todos los límites permitidos de las tres normativas y los valores guía de la OMS, teniendo más de 300 días en un año con mala calidad del aire por cuestión de estos contaminantes.

1. Planteamiento del Problema

1.1 Monterrey y su Zona Metropolitana

El estado de Nuevo León, México, es uno de los 31 estados de la República Mexicana, y tiene una extensión territorial de 64,156 km², lo cual equivale al 3.27% del territorio nacional. Colinda al norte, con los estados de Coahuila y Tamaulipas y Estados Unidos; al este, con Tamaulipas; al sur, con Tamaulipas y San Luis Potosí, y al oeste, con San Luis Potosí, Coahuila y Zacatecas. Cuenta con 51 municipios entre los cuales Monterrey es su capital.



Fig. 1.1. Ubicación de Nuevo León (Cuentame INEGI, 2017)

La ciudad de Monterrey es conocida como “La ciudad de las montañas” ya que se encuentra rodeado por la Sierra de las Mitras, el Cerro de la Silla, el Cerro del Topo Chico, la Sierra Madre Oriental, el Cerro de la Loma Larga, el Cerro del Obispado. Colinda al norte, con General Escobedo, San Nicolás, García y Apodaca; al este, con Guadalupe y Juárez; al sur, con Santiago, y al oeste, con Santa Catarina, San Pedro Garza García.



Fig. 1.2. Vista panorámica de Monterrey y su Zona Metropolitana

Según los datos de la INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), en el último censo del año 2015, el estado de Nuevo León contaba con 5,119,504 habitantes, los cuales el 84% (4,297,917 habitantes) se encuentran en Monterrey y su Zona Metropolitana, los cuales se distribuyen de la siguiente manera:

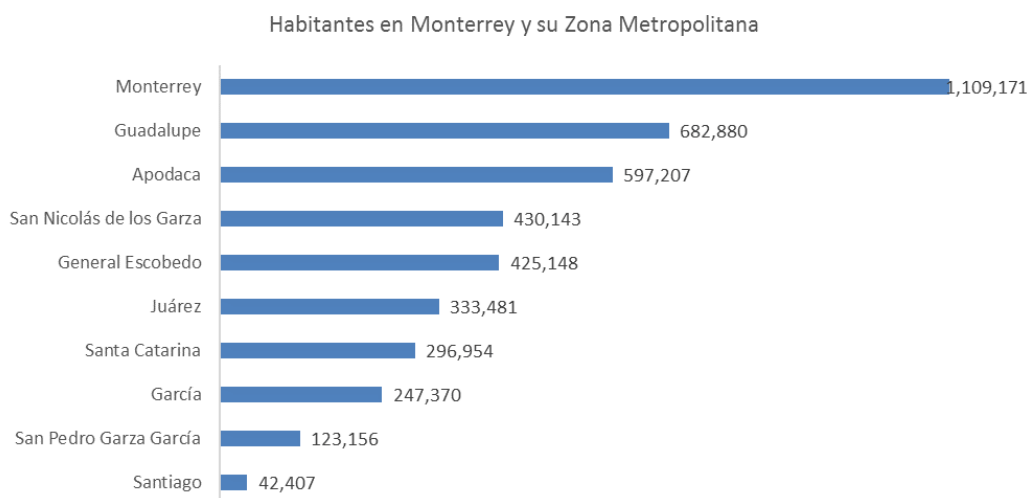


Fig. 1.3. Número de habitantes en Monterrey y su Zona Metropolitana (INEGI, 2016)

1.1.1 Principales Actividades

Nuevo León aporta el 7.3% del PIB (Producto Interno Bruto) a nivel estatal. En México se dividen las actividades económicas en tres sectores:

- **Sector Primario:** aquel que incluye todas las actividades donde los recursos naturales se aprovechan tal y como se obtienen de la naturaleza. Entre las actividades se encuentran las siguientes:
 - Agricultura
 - Ganadería
 - Minería
 - Pesca
 - Explotación Forestal
- **Sector Secundario:** aquel que utiliza la maquinaria y procesos automatizados para la transformación de la materia prima que se obtiene del sector primario:
 - Construcción
 - Industria Manufacturera
- **Sector Terciario:** aquel que recibe los productos elaborados del sector secundario para su aprovechamiento o venta:
 - Comercio
 - Servicios
 - Transportes

Nuevo León aporta los siguientes porcentajes al PIB estatal de acuerdo a los datos recopilados del INEGI del año 2014:

- Actividades Primarias: 1%
- Actividades Secundarias: 38%
- Actividades Terciarias: 61%

Aunque la actividad primaria aporta poco, esta tiene los primeros lugares a nivel nacional en los siguientes aspectos:

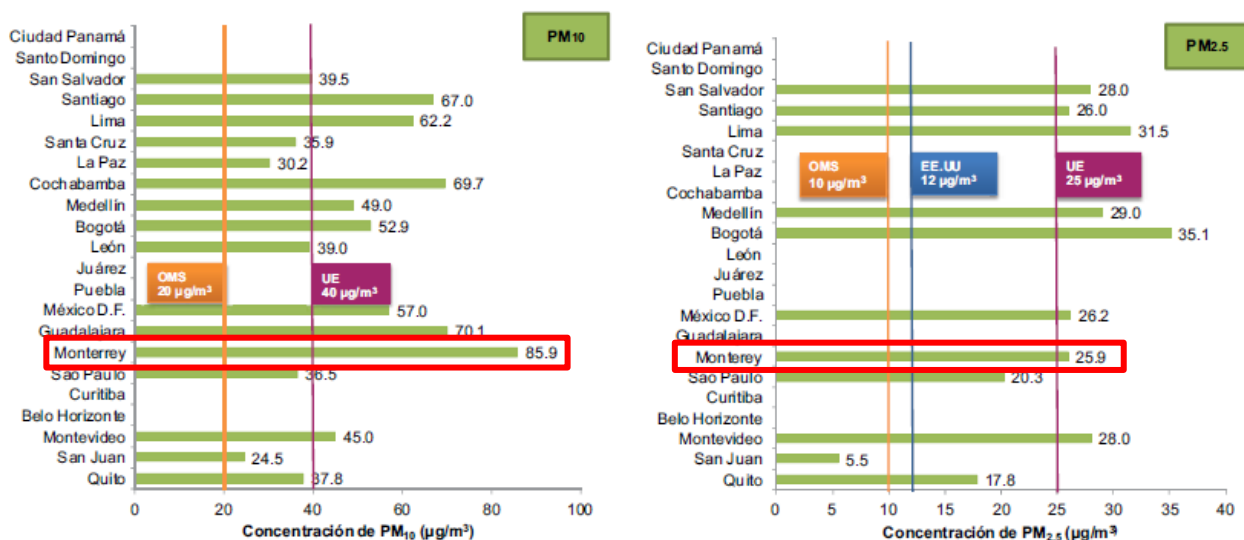
- **Producción Agrícola:** tiene el tercer lugar a nivel nacional de producción de mandarinas, teniendo una producción de más de 35 mil toneladas el cual equivale al 16% de la producción total a nivel nacional.
- **Producción Pecuaria:** tiene el tercer lugar a nivel nacional de producción de huevo, teniendo una producción de más de 119 mil toneladas el cual equivale al 4.5% de la producción total a nivel nacional.
- **Producción Minera:** tiene el primero lugar en la extracción de barita y tercer lugar en la extracción de azufre a nivel nacional, teniendo una producción de más de 110 mil y 88 mil

toneladas correspondientemente, el cual equivale al 82.3 y 8.9% de la producción total a nivel nacional.

1.2 Justificación del Problema

En el año 2012, el Clean Air Institute (CAI) (Green, 2012) emitió un informe sobre la calidad del aire en América Latina, dando a conocer el estado actual, mayores retos y recomendaciones para las principales ciudades ubicadas en Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, México, Perú, Uruguay y Venezuela, enfocándose en el estudio de los siguientes contaminantes: Material Particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), Ozono (O_3), Dióxido de Nitrógeno (NO_2) y Dióxido de Azufre (SO_2).

Del análisis de las siguientes ciudades: Ciudad de México, Bogotá, Sao Paulo y Santiago, se deduce que han mejorado significativamente, sin embargo, la calidad del aire en las zonas urbanas sigue teniendo un deterioro significativo. En el mismo informe se menciona que Monterrey fue una de las principales ciudades más contaminadas de América Latina situada primer lugar en contaminación de PM_{10} y O_3 , cuarto lugar en SO_2 y séptimo lugar en $PM_{2.5}$, para el año 2011, superando los niveles límites de la OMS, EU y EUA, mientras que para el NO_2 está dentro de los límites establecidos (Fig. 1.4).



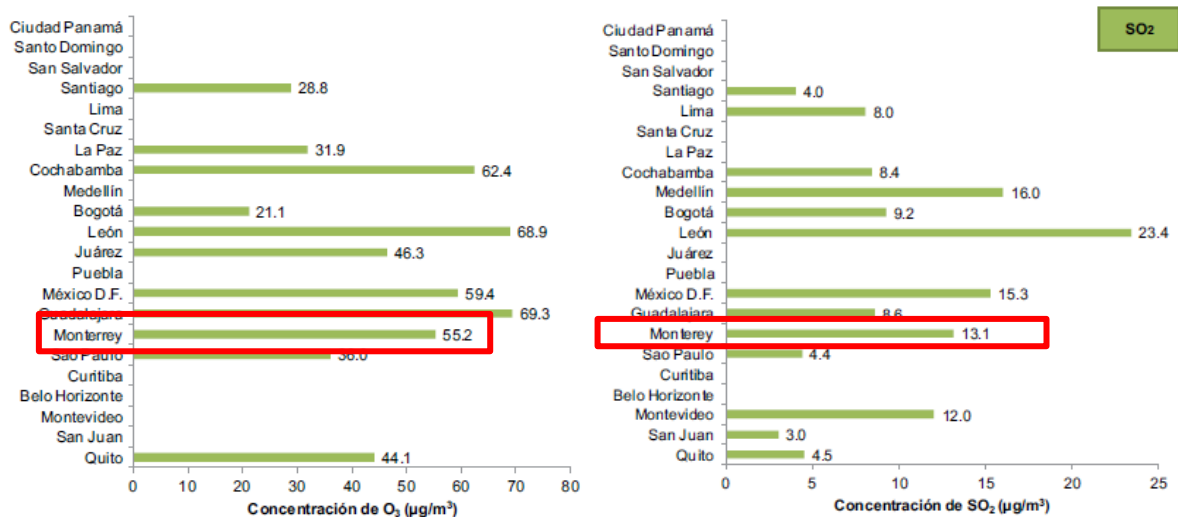


Fig. 1.4. Concentraciones promedio anuales para PM₁₀ y PM_{2.5}, O₃ y SO₂ – 2011 (Green, 2012)

Según este informe, el 10 de febrero de 2014 se emitió un comunicado en el boletín oficial del Gobierno de Nuevo León sobre el inicio de los estudios de la calidad del aire de Monterrey y su Zona Metropolitana en conjunto con la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA, por sus siglas en inglés) y autoridades del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) el cual tendría una duración de dos años, analizando los datos desde el 2011 al 2015. Dicho proyecto buscaba establecer un plan de acción con el objetivo de dar herramientas a las autoridades locales para la gestión de la calidad del aire en la zona. Entre los resultados del proyecto destacaron lo siguiente:

- Las actividades de extracción de materiales en conjunto con la erosión aportan el 28% de la contaminación por partículas finas en la región.
- La reacción de las emisiones de industriales y de automotores, de gases de óxidos de azufre y de óxidos de nitrógeno, contribuyen significativamente a la formación de partículas finas de nitratos y sulfatos de amonio en el 34% de las partículas.
- Las partículas gruesas de PM₁₀ contienen mayoritariamente componentes del suelo en un 43% y 20 % de carbono
- Para la contaminación de COV (Compuestos Orgánicos Volátiles) tienen un aporte importante de emisiones vehiculares y de evaporación de gasolinas
- La mayor parte de los precursores de ozono analizados, provienen de fuentes móviles

Dado todos estos resultados se ha trabajado en programas para mejorar la calidad del aire titulados “ProAire”, sin embargo, el 27 de diciembre de 2015 se emitió un comunicado en el Boletín Oficial del

Gobierno de Nuevo León titulado “Recomendaciones a la población ante pre-contingencia atmosférica”, el cual fue la primera contingencia emitida en Nuevo León por la mala calidad del aire, en particular por concentraciones altas de PM₁₀, la cual dio por terminado el 29 de diciembre de dicho año. Posteriormente en los meses siguientes se empezaron a analizar las revisiones de las actividades de las pedreras las cuales las mayorías fueron suspendidas por no cumplir los requisitos legales.

1.3 Objetivo y Alcances del Proyecto

Aplicar criterios de diagnóstico de calidad del aire, análisis y validación de datos de 1993 a 2016 de los principales contaminantes atmosféricos, haciendo una comparación de la normativa mexicana con la normativa de la OMS y teniendo como base la normativa de la UE (Unión Europea) y de los EUA (Estados Unidos de América), en la zona de Monterrey y su Zona Metropolitana para poder identificar las principales causas de la contaminación del aire en dicha región.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Análisis de la calidad de los datos de las diferentes estaciones meteorológicas en la zona.
- Análisis a diferentes escalas de los contaminantes principales: CO, NO₂, O₃, SO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}.
- Comparación de los resultados con la normativa mexicana con la de OMS, UE y EUA.
- Analizar las diferencias entre las diferentes normativas para proponer mejoras o cambios significativos en la normativa mexicana.
- Analizar el efecto de la zona y su relación con la concentración de contaminantes atmosféricos.
- Analizar las zonas donde existen altos índices de contaminación
- Buscar las posibles causas de la contaminación del aire
- Analizar los programas existentes para el mejoramiento de la calidad del aire contra los resultados obtenidos.

2. Estudio de la zona

2.1 Extensión Territorial y Localización

Como se ha dicho en el apartado 1.1, el estudio se localiza en el estado de Nuevo León, principalmente en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM). En la Tabla 1 se resumen los municipios del AMM que se estudiarán, así como un mapa de donde se ubican:

Tabla 1. Datos de localización, superficie y altitud de Monterrey y su Zona Metropolitana

Municipio	Coordenadas		Superficie (km ²)	Altitud Media (m)
	Latitud	Longitud		
Apodaca	25°46'53.58"N	100°11'15.32"O	183.5	430
García	25°48'33.27"N	100°35'23.83"O	853.2	697
General Escobedo	25°47'59.87"N	100°18'43.82"O	207.1	500
Guadalupe	25°40'38.75"N	100°15'34.93"O	151.3	500
Juárez	25°39'5.76"N	100° 6'21.32"O	277.8	396
Monterrey	25°41'10.74"N	100°18'57.93"O	969.7	535
San Nicolás de los Garza	25°44'57.34"N	100°17'12.93"O	86.8	501
San Pedro Garza García	25°39'26.27"N	100°24'6.27"O	69.4	540
Santa Catarina	25°40'36.98"N	100°27'3.18"O	984.5	680
Santiago	25°24'59.25"N	100° 9'32.92"O	763.8	445

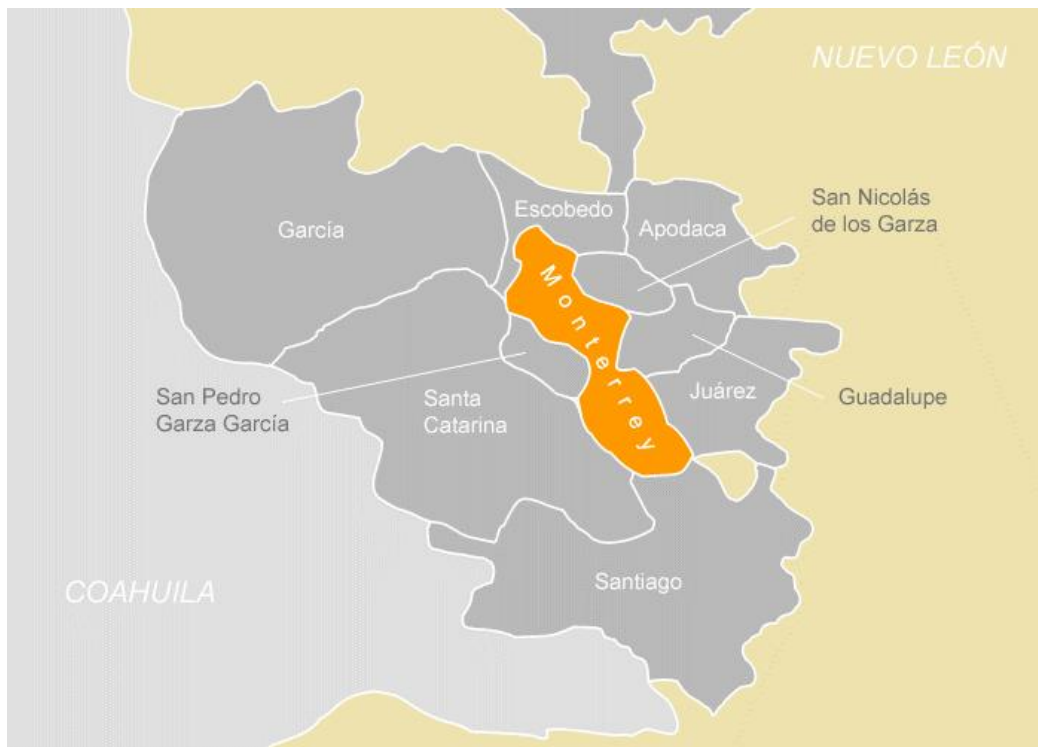


Fig. 2.1. Área Metropolitana de Monterrey (AMM) (Azull, 2017)

2.2 Geografía y Topología

La superficie estatal forma parte del escenario natural de la Sierra Madre Oriental, Grandes Llanuras de Norteamérica y Llanura Costera del Golfo del Norte. Para el AMM se encuentra delimitada principalmente por la Sierra Madre Oriental y el Cerro de la Silla, los cuales forman parte del escenario natural de la zona.

El Cerro de la Silla cuenta con elevaciones entre 1,200 y 1,800 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), hacia el sur por la Sierra Madre Oriental con elevaciones superiores a 2,400 m.s.n.m. y otras entre 1,900 y 2,200 m.s.n.m. También se encuentra al norte por el Río Pesquería, al este por los límites del Municipio de Juárez y al oeste por el Cerro de las Mitras con elevaciones entre 1,900 y 2,000 m.s.n.m.

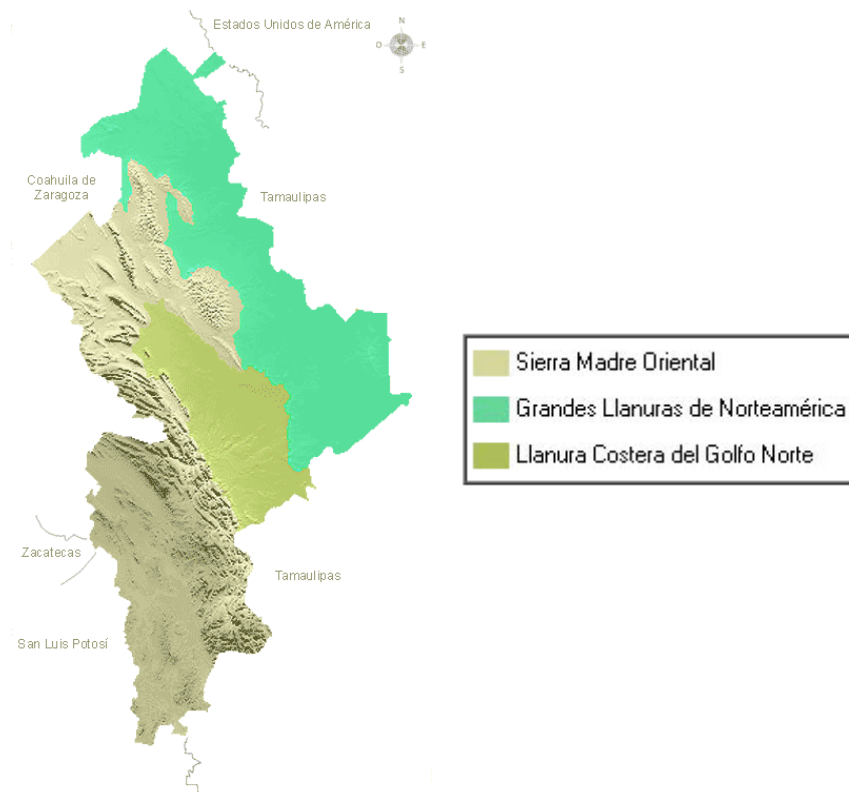


Fig. 2.2. Mapa de los principales escenarios en Nuevo León (Cuentame INEGI, 2017)

La flora se localiza en una región predominantemente semiárida, lo que permite una vegetación diversa. Los matorrales ocupan más de la mitad de la superficie del estado, mientras que los bosques de coníferas y encinos se encuentran en las zonas altas. Por otro lado, la fauna que se encuentra en la zona es diversa. Por ser una zona semiárida encontramos diferentes tipos de mamíferos. En el caso de matorrales zorros, rata canguro, víboras de cascabel, entre otros; mientras que en los bosques se puede encontrar oso negro, ardillas, venado cola blanca, entre otros.

2.3 Precipitación

La precipitación media estatal es de 650 mm anuales, presentándose lluvias principalmente en los meses de agosto y septiembre (INEGI, 2016). El resto del año se tiene una precipitación baja a

excepción del mes de mayo, donde se llegan a presentar precipitaciones mayores a 500 mm. En la Fig. 2.3 se presentan los resultados del acumulado de la precipitación de los reportes del Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA) en el año 2016.

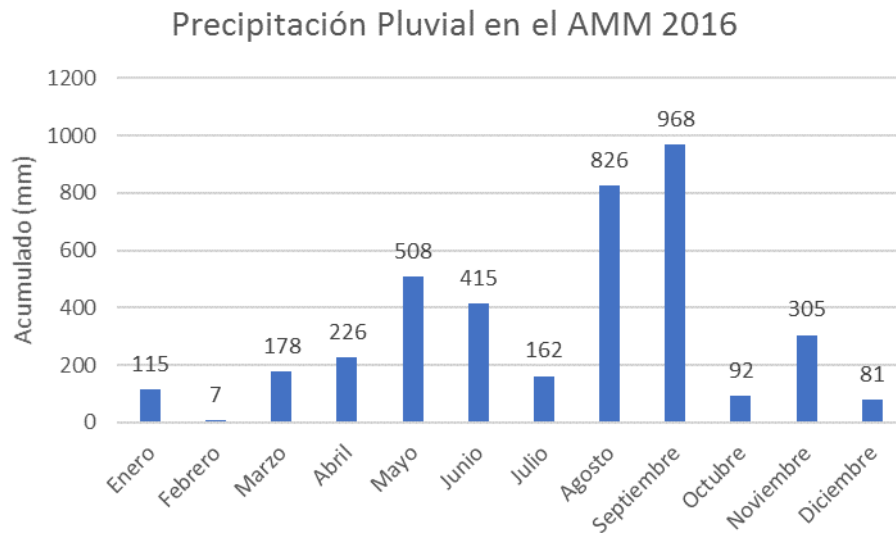


Fig. 2.3. Precipitación Pluvial del 2016 en el AMM (Aire N.L., 2017)

2.4 Radiación Solar

Cuando se habla de radiación solar nos referimos al flujo de energía que se recibe del sol en forma de ondas electromagnéticas en diferentes frecuencias. A alta exposición puede ser perjudicial a la salud consiguiendo tener quemaduras y hasta cáncer de piel. En el medio ambiente, la combinación de la luz solar junto con compuestos en la atmosfera genera el ozono (O_3), el cual que nos importa para este estudio es el troposférico. En cuanto a la vegetación este es un factor positivo ya que ayuda en el crecimiento de las plantas (a niveles de radiación bajos).

En el caso de Nuevo León, por ser un estado donde la mayoría del tiempo se tiene un clima seco, se prevé que la radiación solar sea alta en épocas de verano. De acuerdo a los reportes del SIMA, en el 2016 se obtuvo niveles promedio de 168 W/m^2 en el mes de Julio, teniendo como media anual de 117 W/m^2 (Fig. 2.4).

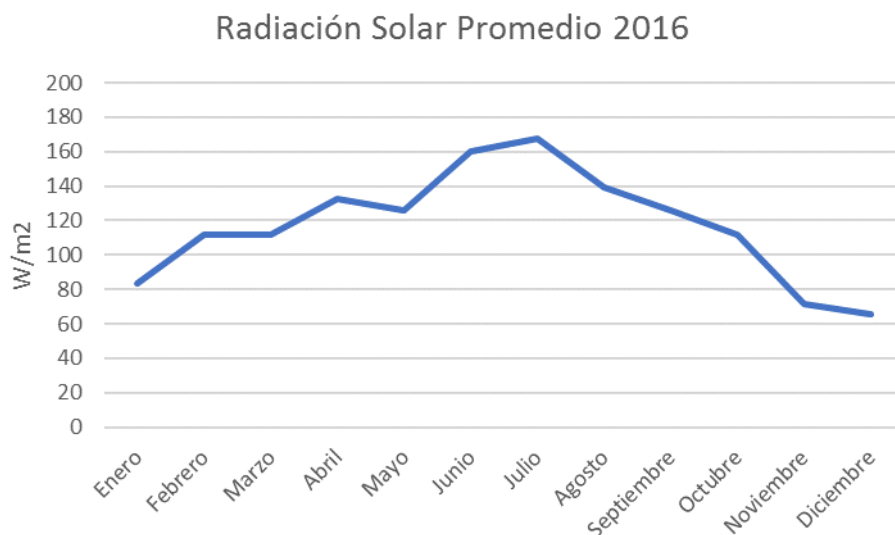


Fig. 2.4. Radiación solar Promedio del 2016 en el AMM (Aire N.L., 2017)

2.5 Temperatura

Las temperaturas de la zona son variables y se han llegado a tener hasta 45°C en los meses de mayo y junio. De acuerdo a los reportes del SIMA, en el 2016 se obtuvieron temperaturas de, como máxima de 41°C y como mínima de 2°C. En la Fig. 2.5 se resume la variación de la temperatura del 2016.

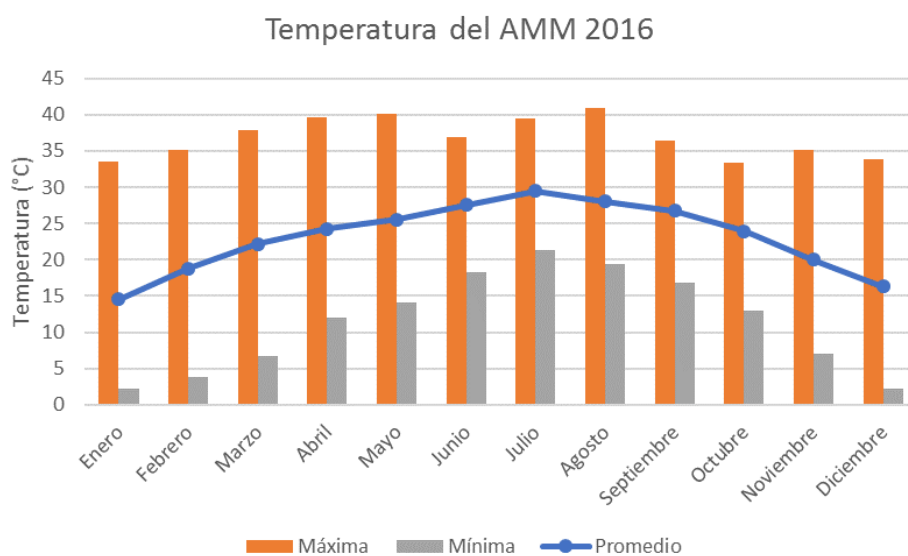


Fig. 2.5. Temperatura promedio, máxima y mínima del 2016 en el AMM (Aire N.L., 2017)

2.6 Vientos Predominantes

Según estudios realizados en la zona, se han encontrado que los vientos predominantes provienen del este, en específico del sureste y noroeste. Uno de estos estudios realizados en la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) donde se analiza los parámetros meteorológicos utilizando el modelo de la rosa de los vientos de enero 2005 a diciembre 2006, concluyen que “la dirección como la velocidad del viento varían de acuerdo a las estaciones del año y presentan un comportamiento similar de un año a otro” (Evangelina, 2007).

Entre la discusión de los resultados se menciona que en los meses de enero y febrero la dirección del viento es hacia el noreste con velocidades de viento bajas (3 a 4 m/s); marzo y abril predomina una dirección hacia el sur con velocidades de 3 m/s; mayo y junio mostraron velocidades más altas a 5 m/s con una dirección hacia el sur y de agosto a diciembre presentaron una dirección hacia el oeste y noroeste con un descenso en la velocidad a partir del mes de octubre. Otro estudio, de la misma manera realizado en la UANL, en la descripción de la zona del estudio menciona que los vientos predominantes son de noreste y sureste y que dominan en la primera mitad del año. (León, 2009)

En la página del SIMA de Nuevo León se pueden obtener los reportes realizados de la calidad del aire entre otros factores meteorológicos, los cuales revisando los datos del 2016 concuerdan con los resultados de los trabajos previamente mencionados. En la Fig. 2.6 se observa la velocidad promedio en los diferentes meses, las cuales predominan al este.

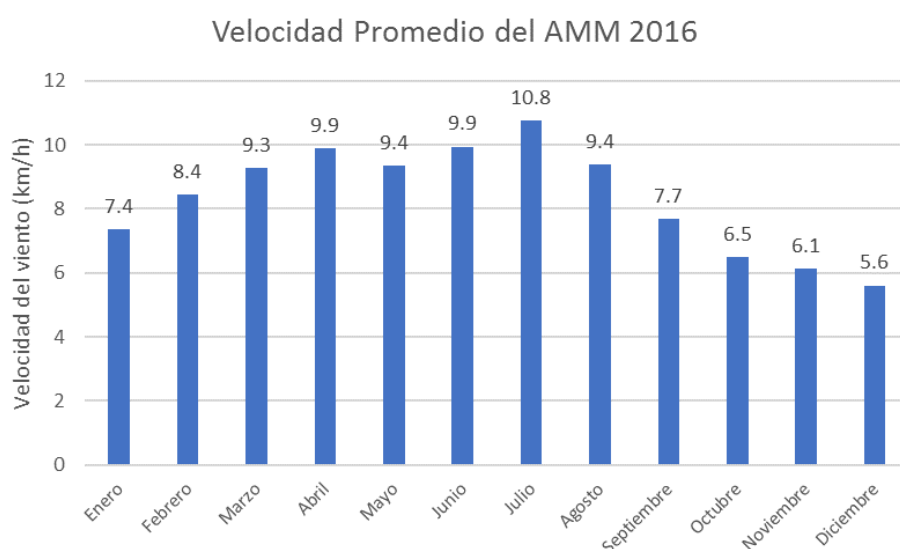


Fig. 2.6. Velocidad promedio de 2016 en el AMM (Aire N.L., 2017)

3. Estudio de la Calidad del Aire

Para el presente estudio es necesario definir que es la contaminación atmosférica, por lo cual tomaremos las definiciones establecidas por la OMS y la EU.

- Por parte de la OMS, define la contaminación atmosférica como *“la contaminación del medio ambiente interior o exterior por cualquier agente químico, físico o biológico que modifique las características naturales de la atmósfera, las cuales pueden causar problemas respiratorios y otras enfermedades que pueden ser fatales.”* (WHO, 2017)
- De acuerdo a la definición de la Directiva Europea 2008/50/CE relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa, define un contaminante atmosférico como *“toda sustancia presente en el aire ambiente que pueda tener efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto”*.

En lo que respecta a ambas definiciones concuerdan que la contaminación atmosférica tiene efectos nocivos en la salud, por eso la remediación de los mismos tienen que ser prioridad en toda ciudad, país donde los indicadores estén muy elevados.

3.1 Origen de la Contaminación en el Aire

3.1.1 Fuentes Antropogénicas

Las fuentes antropogénicas dependen de la población y de diversas actividades humanas para mejorar la calidad de vida. Estas actividades están relacionadas principalmente con el suministro de energía, industrias, transporte, agricultura, entre otras. A continuación, se presentan algunos tipos principales de fuentes. Algunas fuentes más importantes podemos nombrar las siguientes:

- Fuentes Fijas: Instalaciones industriales, construcción, mineras, generación de energía, generación de residuos municipales, agricultura.
- Fuentes Móviles: Transporte

3.1.2 Fuentes Naturales

Este tipo de fuente es aquella que es producida por agentes naturales, sin intervención humana. En el caso de la contaminación atmosférica las erupciones volcánicas provocan distintos elementos contaminantes, entre ellos azufre, metano y dióxido de carbono. Otra fuente son las corrientes de aire que arrastran el polvo desde las zonas áridas o de las afueras de las ciudades. Los procesos biogénicos naturales también suponen un aporte de COVs a la atmósfera e incluyen las emisiones de

plantas, árboles, animales, incendios forestales, procesos anaerobios en turberas y pantanos, etc, los cuales emiten gran cantidad de gases como monóxido y dióxido de carbono, partículas y cenizas.

3.2 Principales Contaminantes Atmosféricos

Las directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire publicadas en 2005 ofrecen una perspectiva de los efectos de los principales contaminantes atmosféricos definiendo los umbrales y límites de emisión. Estas directrices aplican en todo el mundo y se basa en criterios de estudios realizados por expertos en el tema y pruebas realizadas. Los contaminantes que mencionan las directrices son: Partículas (PM₁₀ y PM_{2.5}), Ozono (O₃), Óxidos de Nitrógeno (NO_x) y Dióxido de Azufre (SO₂). El Monóxido de Carbono no lo incluye ya que no es tan nocivo para la salud, sin embargo, se incluirá en este trabajo ya que este se produce por la combustión incompleta en los vehículos, lo cual es una de las principales fuentes móviles que afectan a las diferentes ciudades del mundo.

3.2.1 Contaminantes Primarios

Los contaminantes primarios son aquellas sustancias vertidas directamente a la atmósfera desde diferentes fuentes de emisión (Macano, 2017). Estos pueden ser gaseosos: dióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, COV's o partículas o líquidos en suspensión, también conocidos como aerosoles.

3.2.2 Contaminantes Secundarios

Los contaminantes atmosféricos secundarios no se emiten directamente a la atmósfera desde los focos emisores, sino que se producen como consecuencia de las transformaciones y reacciones químicas y fotoquímicas que sufren los contaminantes primarios en el aire (Macano, 2017). Entre los contaminantes secundarios se encuentra principalmente material particulado secundario (SIA y SOA) y el ozono troposférico.

3.2.3 Dióxido de Azufre (SO₂)

La OMS define al dióxido de azufre como “un gas incoloro con un olor penetrante que se genera con la combustión de fósiles (carbón y petróleo) y la fundición de metales que contienen azufre” (WHO, 2017). Estudios sugieren que es probable que la reducción de las concentraciones de dióxido de azufre pueda así mismo disminuir la exposición de otros contaminantes.

Cuando el SO_2 se combina con partículas o con la humedad del aire, este puede llegar a formar ácido sulfúrico, el cual es un causante potencial de la lluvia ácida, la cual puede afectar a la vegetación, las edificaciones y la acidificación de las aguas superficiales.

La exposición a este gas de corta duración puede tener efectos en el sistema respiratorio, dando síntomas de tos y dificultades para respirar. Mientras que la exposición a altas concentraciones puede llegar a irritar el tracto respiratorio, causar reacciones asmáticas y bronquitis. (PRTR España, 2017)

3.2.4 Monóxido de Carbono (CO)

Según la definición de la EPA, el monóxido de carbono “es un gas inodoro e incoloro que puede causar la muerte. Se produce cada vez que se usan combustibles como gas natural, gas propano, gasolina, petróleo, madera o carbón” (EPA, 2017).

Como su definición dice, es un gas que se produce por un proceso de la combustión incompleta, teniendo como fuente principal los vehículos motorizados. También, en el interior de las viviendas se puede generar por el uso de chimeneas, hornos y calefacciones. Cuando este gas es liberado y permanece en la atmósfera, se oxida y se convierte en dióxido de carbono (CO_2).

La exposición a concentraciones bajas a este gas puede llegar a provocar dolores de cabeza y falta de aliento; en el caso de una exposición continua puede producir síntomas de dolores de cabeza más intensos, cansancio, náuseas, irritabilidad y confusión. Una exposición a constantemente a este gas puede causar daños neurológicos a largo plazo, por ejemplo, la dificultad de aprender y retener datos. Así mismo, para mujeres que estén embarazadas, estar expuestas a altos niveles de CO puede afectar el desarrollo mental del feto y hasta inducir aborto (ATSDR, 2017).

3.2.5 Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

El monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2) constituyen dos de los óxidos de nitrógeno más importantes tanto ambiental como toxicológicamente. Estos gases son liberados del escape de vehículos motorizados, por la combustión de carbón, petróleo o gas natural.

En el aire reaccionan con otras sustancias. En este caso, el dióxido de nitrógeno en el momento de reaccionar con sustancias químicas producidas por la luz solar lleva a la formación de ácido nítrico, el cual es uno de los constituyentes de la lluvia ácida, y al momento de reaccionar con la luz solar conlleva a la formación de ozono troposférico.

La exposición a niveles bajos puede llegar a irritar los ojos, nariz, garganta, falta de aliento y puede producir líquido en los pulmones 1 o 2 días luego de la exposición. A niveles altos de exposición se puede producir dilatación de los tejidos en la garganta y las vías respiratorias superiores. (ATSDR, 2017)

3.2.6 Materia Particuladoo

Se pueden definir como aquellas partículas de polvo, metálicas, cenizas, cemento, polen. Están formadas por compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados y material orgánico derivados de procesos de combustión (black carbon). Estas tienen procedencia tanto de fuentes naturales como antropogénicas. En el caso de las fuentes naturales provienen del polvo levantado por las corrientes de aire, tormentas y erupciones volcánicas. La fuente principal es a nivel urbano donde provienen del tráfico, las actividades industriales, minería, construcción, entre otras.

Entre los dos tipos mencionados el más perjudicial es el $PM_{2.5}$ ya que este puede llegar a penetrar y alojarse en el interior de los pulmones. Una exposición prolongada puede llegar a desarrollar cardiopatías y neumopatías, así como cáncer de pulmón. Por otro lado, las partículas PM_{10} son menos perjudiciales ya que no llegan a atravesar los alveolos pulmonares, sin embargo, estas pueden llegar a quedar retenidas en la mucosa de las fosas nasales provocando la dificultad para respirar (WHO, 2017).

No obstante, estas partículas también afectan en las ciudades ya que provocan capas de polvo en la superficie que puede afectar seriamente la salud de la población y a los organismos terrestres como a los organismos acuáticos, así como, a los edificios y a la vegetación.

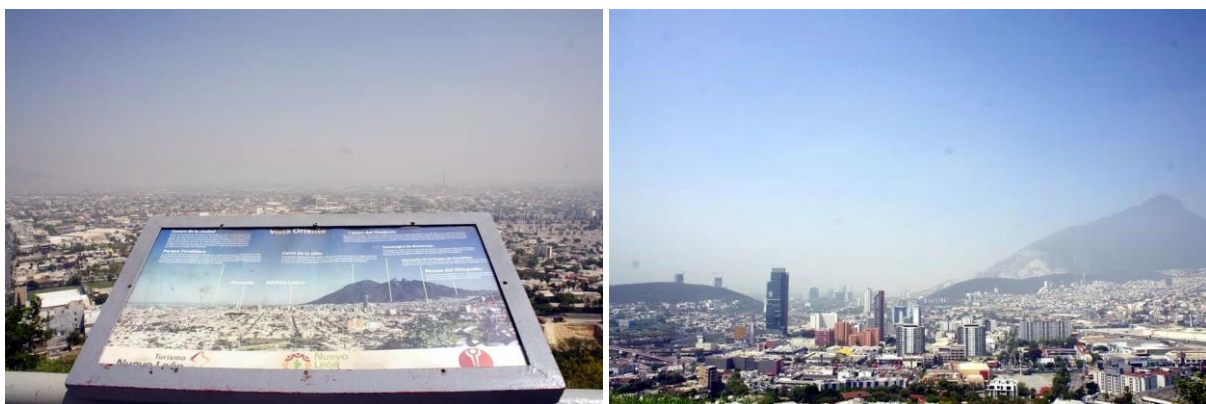


Fig. 3.1. Contaminación en el AMM (Villasáez, 2017)

3.2.7 Ozono (O₃)

Existen dos tipos de ozono: el que está en la atmosfera superior de la Tierra, el ozono estratosférico, el cual se produce de forma natural en la atmosfera superior y sirve como capa protectora contra los rayos ultravioletas del sol, y el que está al nivel del suelo, el ozono troposférico, el cual es creado por reacciones fotoquímicas entre los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV). Este último se forma cuando los contaminantes provenientes de los vehículos motorizados, plantas industriales, plantas de energía, reaccionan con la luz solar (fotoquímicamente). Este ozono se produce en los días más calurosos y soleados (EPA, 2017).

Personas con asma, niños y adultos mayores, y aquellas que están haciendo actividades al aire libre, son las que están más expuestas. Puede causar ataque de tos, irritación de la garganta y la inflamación de las vías respiratorias. También, afecta a los ecosistemas sensibles, sobre todo cuando están en crecimiento, incluidos los bosques, parques, refugios de vida silvestre y áreas silvestres.

4. Sistema de Monitoreo Ambiental

La política de protección del ambiente atmosférico tiene un doble objetivo temporal: contribuir a satisfacer la demanda social del derecho de disfrutar de un aire sano y no hipotecar el derecho de las generaciones futuras a mantener y, si es posible, mejorar su calidad de vida.

La vigilancia de la contaminación atmosférica se lleva a cabo mediante las redes de vigilancia y previsión. La red es un conjunto de aparatos de medida de los diferentes contaminantes que proporcionan los datos de los niveles de inmisión comunicándolos a centros de análisis y coordinación. La comunicación de la red automática se realiza vía radio, teléfono e internet y la gestión de los datos está totalmente informatizada. Esta red se extiende según las necesidades que se manifiesten en los diferentes puntos o zonas que se encuentren sometidos a algún problema relacionado con la contaminación atmosférica, ya sea de origen industrial, doméstico o proceda del tránsito rodado.

Entre las principales funciones de una red de vigilancia de contaminantes atmosféricos serían las siguientes:

- Determinación del estado de la calidad del aire y el grado de cumplimiento de límites con respecto a los objetivos que establezca la legislación vigente.
- Observación de la evolución de contaminantes en el tiempo.
- Detección rápida de posibles situaciones de alerta o emergencia, así como seguimiento de la evolución de la concentración de contaminantes.
- Informar a la población sobre la calidad del aire.

- Aportar información para el desarrollo de modelos de predicción.
- Proporcionar datos para la formulación, en su caso, de Planes de Mejora de la Calidad del Aire y Planes de Acción a Corto Plazo.
- Intercambio de información de la Administración Autonómica con la Estatal y Comunitaria.
- Investigación.

Las estaciones de monitoreo ambiental se pueden clasificar en relación a la fuente de emisión los cuales se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Tipo de estaciones en relación con las fuentes de emisión

Tipo	Descripción
Trafico	Estaciones influenciadas principalmente por la contaminación procedente de una calle o carretera próxima
Industrial	Estaciones influenciadas principalmente por fuentes industriales aisladas o zonas industriales.
Fondo	Estaciones que no están influenciadas ni por el tráfico ni por la industria, sino que el nivel de contaminación es la contribución integrada de todas las fuentes a barlovento de la estación.

Las estaciones miden, en tiempo real y mediante sensores automáticos, los siguientes contaminantes:

- Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2.5})
- Dióxido de azufre (SO₂).
- Sulfuro de hidrógeno (SH₂)
- Óxidos de nitrógeno (NO_x: NO y NO₂)
- Monóxido de carbono (CO)
- Ozono (O₃)
- BTX (benceno, tolueno y xilenos)

Aquellas estaciones que disponen de torre meteorológica, donde se miden, además, los siguientes parámetros meteorológicos:

- Dirección y velocidad del viento
- Precipitación Pluvial
- Humedad relativa
- Temperatura ambiental
- Presión Atmosférica
- Radiación solar

4.1 Estaciones de Medida

En el AMM se encuentran 10 estaciones de medida la cuales fueron instaladas periódicamente desde 1992 hasta el 2014. Las primeras cinco estaciones instaladas en 1992, las cuales fueron

ubicadas en los municipios de Guadalupe, dos en Monterrey, San Nicolás de los Garza y Santa Catarina. Posteriormente en 2009 se instalaron dos más en los municipios de García y Escobedo, en 2011 otra en Apodaca, en 2012 en Juárez y por último otra en el 2014 en San Pedro Garza García.

Las primeras estaciones instaladas en 1992 median las emisiones de CO, O₃, SO₂, NO₂ y PM₁₀, y no fue hasta el 2003 que se instalaron los equipos para la medición de PM_{2.5}. A partir de entonces, las siguientes estaciones instaladas ya incluían el análisis de todos los contaminantes anteriormente mencionados. En la Tabla 3 y 4 se indican las características y propiedades de las estaciones instaladas en el AMM junto a sus parámetros de medición.

Tabla 3. Estaciones Meteorológicas en el AMM (Secretaria de Desarrollo Sustentable de Nuevo León, 2017)

Zona	Simbolo	Coordenadas Geográficas	Elevación	Municipio	Domicilio	Operando desde
Sureste	SE	Latitud 25°40'05"N Longitud 100°14'58"W 25.668 N, 100.249 W	492 msnm	Guadalupe , Nuevo León.	Zoo. La Pastora Ave. Eloy Cavazos y Pablo Livas, Col. Pastora, Cd. Guadalupe, Nuevo León, C.P. 67150	20-nov-92
Noreste	NE	Latitud 25°44'43"N Longitud 100°15'18"W 25.75 N, 100.255 W	476 msnm	San Nicolás de los Garza, Nuevo León.	Antonio Soto Gamma Esq. Artículo 123, Col. Unidad Laboral, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, C.P. 66440.	20-nov-92
Centro	CE	Latitud 25°40'33"N Longitud 100°20'18"W 25.67 N, 100.338 W	560 msnm	Obispado Monterrey, Nuevo León.	Patios de Agua y Drenaje. 5 de Mayo y Ave. México, Col. Obispado, Monterrey, Nuevo León, C.P. 64040	20-nov-92
Noroeste	NO	Latitud 25°45'25"N Longitud 100°21'57"W 25.757 N, 100.366 W	571 msnm	Sn. Bernabé Monterrey, Nuevo León.	Talleres del Metro (Monterrey) Ave. Solidaridad al Poniente y calle Bemitre, Col. San Bernabé, Monterrey, Nuevo León. C.P. 64217	20-nov-92
Suroeste	SO	Latitud 25°40'32"N Longitud 100°27'53"W 25.676 N, 100.464 W	694 msnm	Santa Catarina , Nuevo León.	Edificio de Servicios Públicos de Santa Catarina José María Morelos 333 entre Colegio de Niñas y Vicente Guerrero, Col. Centro, Santa Catarina, Nuevo León, C.P. 66350.	20-nov-92
Noroeste 2	NO2	Latitud 25°46'60"N Longitud 100°35'09" W 25.783 N, 100.586 W	716 msnm	García , Nuevo León.	Sierra Real y Sierra García Fraccionamiento Sierra Real, García, Nuevo León, C.P. 66023.	24-jul-09
Norte	N	Latitud 25°48'02"N Longitud 100°20'40" W 25.800 N, 100.344 W	528 msnm	Escobedo , Nuevo León.	Ave. Unión y Barcelona Fraccionamiento Santa Luz, Gral. Escobedo, Nuevo León, C.P. 66052.	22-dic-09
Noreste 2	NE2	Latitud 25°46'38"N Longitud 100°11'18" W 25.777 N, 100.188 W	432 msnm	Apodaca , Nuevo León.	Calle Mariano Abasolo 103, entre Escobedo y Porfirio Díaz Col. Centro, Apodaca, Nuevo León, C.P. 66612.	01-jun-11
Sureste 2	SE2	Latitud 25°38'46" N Longitud 100°05'44" W 25.646 N, 100.096 W	387 msnm	Juárez , Nuevo León.	Lázaro Garza Ayala # 215, cruz con Guerrero, Zona Centro, Cd. Juárez, Nuevo León, C.P. 67260.	01-oct-12
Suroeste 2	SO2	Latitud 25°39'55" N Longitud 100°24'46" W 25.665 N, 100.413 W	636 msnm	San Pedro Garza García, Nuevo León.	General Garza Ayala y Diego Saldívar, Fracc. Los Sauces, San Pedro, Garza, García, Nuevo León, C.P. 66237.	26-feb-14

Tabla 4. Parámetros medidos en las estaciones meteorológicas del AMM (Secretaría de Desarrollo Sustentable de Nuevo León, 2017)

Parámetros		Unidad	
Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
CO	Monóxido de carbono	ppm	Partes por millón
NO _x	Óxidos de Nitrógeno	ppb	Partes por billón
NO ₂	Dióxido de Nitrógeno	ppb	Partes por billón
NO	Monóxido de Nitrógeno	ppb	Partes por billón
O ₃	Ozono	ppb	Partes por billón
PM ₁₀	Partículas menores a 10 micras	µg/m ³	Microgramo por metro cúbico
PM _{2.5}	Partículas menores a 2.5 micras	µg/m ³	Microgramo por metro cúbico
SO ₂	Dióxido de azufre	ppb	Partes por billón
PRS	Presión atmosférica	mmHg	Milímetros de mercurio
HR	Humedad relativa	%	Porcentaje
TOUT	Temperatura ambiental	°C	Grados centígrados
WS	Velocidad de viento	km/h	Kilómetros por hora
WDR	Dirección de viento	°Azimut	Grados azimutales
RAINF	Precipitación pluvial	mm/h	Milímetros por hora
SR	Radiación solar	kW/m ²	Kilowatts por metro cuadrado

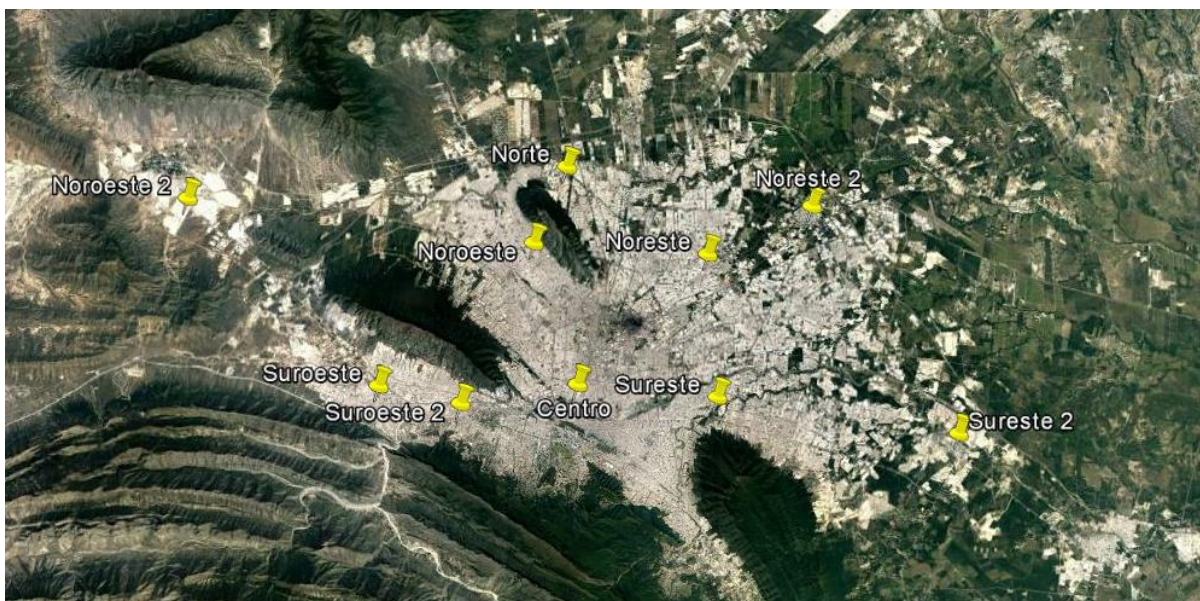


Fig. 4.1. Ubicación de las estaciones en el AMM

4.1.1 Aparatos y Métodos de medición

A consecuencia de que las estaciones existentes se han ido instalando, algunas de ellas presentan diferentes modelos y tecnologías de medición. A continuación, se presentarán los modelos, métodos y los rangos de medición de los diferentes equipos instalados de las estaciones en el AMM.

Monóxido de carbono

De acuerdo a la normativa mexicana NOM-034-SEMARNAT-1993 que “establece los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos”, señala que se requiere un método de referencia de fotometría de absorción de radiación infrarroja, con capacidad de detección de 0 a 50 ± 0.5 ppm. Los equipos para su medición son dos del fabricante Termo Fisher Scientific (TECO) modelos 48i y 48C, y otro del fabricante Ecotech modelo Serinus 30. En la Tabla 5 se observa la distribución de los equipos en las diferentes estaciones.

Tabla 5. Equipos de Medición utilizados para medir el CO atmosférico en las estaciones del AMM (TECO, 2010) (TECO, 2004) (Ecotech, 2015)

Estación	Marca	Modelo	Unidad de Medida	Método de Medición	Límite inferior detectable	Rangos
N	TECO	48i	ppm	IR Correlation of filter gas	0.04 ppm	1 - 10,000 ppm
CE	TECO	48C	ppm	IR Correlation of filter gas	0.04 ppm	1 - 10,000 ppm
NO	TECO	48C	ppm	IR Correlation of filter gas	0.04 ppm	1 - 10,000 ppm
SO	TECO	48C	ppm	IR Correlation of filter gas	0.04 ppm	1 - 10,000 ppm
NE	TECO	48C	ppm	IR Correlation of filter gas	0.04 ppm	1 - 10,000 ppm
SE	TECO	48C	ppm	IR Correlation of filter gas	0.04 ppm	1 - 10,000 ppm
NO2	TECO	48i	ppm	IR Correlation of filter gas	0.04 ppm	1 - 10,000 ppm
NE2	Ecotech	Serinus 30	ppm	IR Correlation of filter gas	<0.04 ppm	0 - 200 ppm
SE2	TECO	48i	ppm	IR Correlation of filter gas	0.04 ppm	1 - 10,000 ppm
SO2	TECO	48i	ppm	IR Correlation of filter gas	0.04 ppm	1 - 10,000 ppm

Óxidos de Nitrógeno (NO_x, NO, NO₂)

De acuerdo con la normativa mexicana NOM-037-SEMARNAT-1993 que “establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de nitrógeno en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición”, señala que se requiere un método de referencia de dióxido de nitrógeno en el aire ambiente de quimioluminiscencia en fase gaseosa. Los equipos utilizados para su medición son dos del fabricante Termo Fisher Scientific (TECO) modelos 42i y 42C, y otro del fabricante Ecotech modelo Serinus 40. En la Tabla 6 se observa la distribución de los equipos en las diferentes estaciones.

Tabla 6. Equipos de Medición utilizados para medir los Óxidos de Nitrógeno atmosféricos en las estaciones del AMM (TECO, 2015) (TECO, 1996) (Ecotech, 2015)

Estación	Marca	Modelo	Unidad de Medida	Método de Medición	Límite inferior detectable	Rangos
N	TECO	42i	ppb	Quimioluminiscencia	0.40 ppb	0-0.05 a 20 ppm
CE	TECO	42C	ppb	Quimioluminiscencia	0.40 ppb	0-0.05 a 100 ppm
NO	TECO	42C	ppb	Quimioluminiscencia	0.40 ppb	0-0.05 a 100 ppm
SO	TECO	42C	ppb	Quimioluminiscencia	0.40 ppb	0-0.05 a 100 ppm
NE	TECO	42C	ppb	Quimioluminiscencia	0.40 ppb	0-0.05 a 100 ppm
SE	TECO	42C	ppb	Quimioluminiscencia	0.40 ppb	0-0.05 a 100 ppm
NO2	TECO	42i	ppb	Quimioluminiscencia	0.40 ppb	0-0.05 a 20 ppm
NE2	Ecotech	Serinus 40	ppb	Quimioluminiscencia	<0.04 ppm	0 a 200 ppm
SE2	TECO	42i	ppb	Quimioluminiscencia	0.40 ppb	0-0.05 a 20 ppm
SO2	TECO	42i	ppb	Quimioluminiscencia	0.40 ppb	0-0.05 a 20 ppm

Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2.5})

De acuerdo a la normativa 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”, señala que se requiere un método de referencia para determinar la concentración de muestreo de alto volumen con rangos de concentraciones de 2 a 750 µgr/m³. Los equipos utilizados para su medición tanto de PM₁₀ y PM_{2.5} es uno del fabricante Met One modelo BAM 1020 y otro del fabricante Termo Fisher Scientific modelo FH62C14. En la Tablas 7 y 8 se observa la distribución de los equipos en las diferentes estaciones.

Tabla 7. Equipos de Medición utilizados para medir PM₁₀ en las estaciones del AMM (Met One, 2013) (TECO, 2010)

Estación	Marca	Modelo	Unidad de Medida	Método de Medición	Rangos
N	Met One	BAM 1020	µg/m ³	Beta Rays Decay	0.1 mg a 10 mg
CE	Met One	BAM 1020	µg/m ³	Beta Rays Decay	0.1 mg a 10 mg
NO	Met One	BAM 1020	µg/m ³	Beta Rays Decay	0.1 mg a 10 mg
SO	Met One	BAM 1020	µg/m ³	Beta Rays Decay	0.1 mg a 10 mg
NE	Met One	BAM 1020	µg/m ³	Beta Rays Decay	0.1 mg a 10 mg
SE	Met One	BAM 1020	µg/m ³	Beta Rays Decay	0.1 mg a 10 mg
NO2	TECO	FH62C14	µg/m ³	Beta Rays Decay	0 a 1,000 µg/m ³
NE2	TECO	FH62C14	µg/m ³	Beta Rays Decay	0 a 1,000 µg/m ³
SE2	Met One	BAM 1020	µg/m ³	Beta Rays Decay	0.1 mg a 10 mg
SO2	TECO	FH62C14	µg/m ³	Beta Rays Decay	0 a 1,000 µg/m ³

Tabla 8. Equipos de Medición utilizados para medir PM_{2.5} en las estaciones del AMM (Met One, 2013) (TECO, 2010)

Estación	Marca	Modelo	Unidad de Medida	Método de Medición	Rangos
N	TECO	FH62C14	µg/m ³	Beta Rays Decay	0 a 1,000 µg/m ³
CE	TECO	FH62C14	µg/m ³	Beta Rays Decay	0 a 1,000 µg/m ³
NO	TECO	FH62C14	µg/m ³	Beta Rays Decay	0 a 1,000 µg/m ³
SO	TECO	FH62C14	µg/m ³	Beta Rays Decay	0 a 1,000 µg/m ³
NE	TECO	FH62C14	µg/m ³	Beta Rays Decay	0 a 1,000 µg/m ³
SE	TECO	FH62C14	µg/m ³	Beta Rays Decay	0 a 1,000 µg/m ³
NO2	TECO	FH62C14	µg/m ³	Beta Rays Decay	0 a 1,000 µg/m ³
NE2	TECO	FH62C14	µg/m ³	Beta Rays Decay	0 a 1,000 µg/m ³
SE2	Met One	BAM 1020	µg/m ³	Beta Rays Decay	0.1 mg a 10 mg
SO2	TECO	FH62C14	µg/m ³	Beta Rays Decay	0 a 1,000 µg/m ³

Ozono (O₃)

De acuerdo a la normativa mexicana NOM-036-SEMARNAT-1993 que “establece los métodos de medición para determinar la concentración de Ozono en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición”, señala que se requiere un método de referencia para determinar la concentración basado en la capacidad del ozono de emitir luz al reaccionar con etileno, en otras palabras, un equipo de luminiscencia química. Los equipos utilizados para su medición es uno del fabricante Termo Fisher Scientific (TECO) modelo 49i, y otro del fabricante Ecotech modelo Serinus 10. En la Tabla 9 se observa la distribución de los equipos en las diferentes estaciones.

Tabla 9. Equipos de Medición utilizados para medir O₃ en las estaciones del AMM (TECO, 2011) (Ecotech, 2015)

Estación	Marca	Modelo	Unidad de Medida	Método de Medición	Límite inferior detectable	Rangos
N	TECO	49i	ppb	Luminiscencia Química	1.0 ppb	0-0.05 a 200 ppm
CE	TECO	49C	ppb	Luminiscencia Química	1.0 ppb	0-0.05 a 200 ppm
NO	TECO	49C	ppb	Luminiscencia Química	1.0 ppb	0-0.05 a 200 ppm
SO	TECO	49C	ppb	Luminiscencia Química	1.0 ppb	0-0.05 a 200 ppm
NE	TECO	49C	ppb	Luminiscencia Química	1.0 ppb	0-0.05 a 200 ppm
SE	TECO	49C	ppb	Luminiscencia Química	1.0 ppb	0-0.05 a 200 ppm
NO2	TECO	49i	ppb	Luminiscencia Química	1.0 ppb	0-0.05 a 200 ppm
NE2	Ecotech	Serinus 10	ppb	Luminiscencia Química	0.5 ppb	0 a 20 ppm
SE2	Ecotech	Serinus 10	ppb	Luminiscencia Química	0.5 ppb	0 a 20 ppm
SO2	TECO	49i	ppb	Luminiscencia Química	1.0 ppb	0-0.05 a 200 ppm

4.2 Base de Datos de Calidad del Aire

Las bases de datos utilizada para este estudio han sido proporcionadas por la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Gobierno de Nuevo León. En total se proporcionaron 24 bases de datos para el período comprendido entre 1993 y 2016. Las mediciones son medidas horarias tanto para los contaminantes como para los parámetros meteorológicos.

Contaminantes:

- Monóxido de carbono (CO)
- Monóxido de Nitrógeno (NO)
- Dióxido de Nitrógeno (NO₂)
- Óxidos de nitrógeno (NO_x)
- Ozono (O₃)
- Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2.5})

Parámetros meteorológicos:

- Presión Atmosférica (PRS)
- Precipitación Pluvial (RAINF)
- Humedad relativa (HR)
- Radiación solar (SR)
- Temperatura ambiental (TOUT)
- Velocidad del viento (WSR)
- Dirección del viento (WDV)

4.3 Normativa

Las normativas consideradas para definir los criterios de calidad del aire para este estudio son cuatro: Normativa Mexicana, OMS (Organización Mundial de la Salud), EPA (Environmental Protection Agency) y UE (Unión Europea). Principalmente se tomó como referencia la normativa de la OMS ya que es en la que está fundamentada la normativa mexicana. Las normativas de la EPA y de la UE se usaron como referencias complementarias para hacer una comparación de cómo se analizan los diferentes contaminantes en EUA y la UE.

4.3.1 Normativa Mexicana

La normativa oficial mexicana tiene un número de identificación en cuestión de los valores límites de la calidad del aire permisibles para la concentración de los diferentes contaminantes en el aire y sus criterios de evaluación las cuales han sido publicadas en el Diario Oficial de la Federación (DOF) de México. Así mismo, la SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) que se encarga de la protección, conservación y aprovechamiento de los recursos naturales del país por medio de una política ambiental y que tiene también sus propias normativas, las cuales establecen

los métodos de medición para determinar las concentraciones de los diferentes contaminantes y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. En la Tabla 10 se indican los criterios usados en este estudio basados en esta normativa, sus valores límites y tiempo de medición.

Tabla 10. Normativa Oficial Mexicana (DOF-México, 2014) (México-DF, 1993) (DOF-México, 2010) (DOF-México, 1994) (DOF-México, 2014)

Normativa	Contaminante	Valores Límites	Periodo
NOM-020-SSA1-2014	O ₃	Límite Horario: 0.095 ppm (186.2 µg/m ³)	Nunca en el año
		Límite 8 horas: 0.070 ppm (137.2 µg/m ³)	1 vez al año
NOM-021-SSA1-1993	CO	Límite 8 horas: 11.00 ppm (12.59 mg/m ³)	1 vez al año
NOM-022-SSA1-2010	SO ₂	Límite 24 Horas: 0.110 ppm (288 µg/m ³)	1 vez al año
		Límite Anual: 0.025 ppm (66 µg/m ³)	Promedio Anual
		Límite 8 horas: 0.200 ppm (524 µg/m ³)	2 veces al año
NOM-023-SSA1-1993	NO ₂	Límite 1 Hora: 0.21 ppm (395 µg/m ³)	1 hora 1 vez al año
NOM-025-SSA1-2014	PM ₁₀	Límite 24 Horas: 75 µg/m ³	Promedio Diario
		Límite Anual: 40 µg/m ³	Promedio Anual
	PM _{2.5}	Límite 24 Horas: 45 µg/m ³	Promedio Diario
		Límite Anual: 12 µg/m ³	Promedio Anual

4.3.2 Normativa EPA

La normativa de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) está basada en la Normativa Nacional de la Calidad del Aire Ambiental (NAAQS, por sus siglas en inglés) las cuales están codificadas en el Código de Regulaciones Federales, título 40: Protección del Medio Ambiente que se encarga de proteger la salud humana y medio ambiente. En la Tabla 11 se pueden apreciar los límites de la normativa.

Tabla 11. Normativa de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) (NAAQS, 2015)

Contaminante	Primario / Secundario	Valor Límite	Periodo	Forma
CO	Primario	9 ppm (10.3 mg/m ³)	8 Horas	No debe exceder más de una vez por año
		35 ppm (40 mg/m ³)	1 Hora	

NO ₂	Primario	100 ppb (188 µg/m ³)	1 Hora	98% de las concentraciones máximas diarias de 1 hora, promediado en 3 años
	Secundario	53 ppb (99.6 µg/m ³)	1 Año	Promedio Anual
O ₃	Primario y Secundario	0.070 ppm (137.9 µg/m ³)	8 Horas	Concentración máxima diaria máxima de 8 horas anuales, promedio en 3 años
PM _{2,5}	Primario	12.0 µg/m ³	1 Año	Media anual, promedio de 3 años
		15.0 µg/m ³	1 Año	Media anual, promedio de 3 años
	Primario y Secundario	35 µg/m ³	24 Horas	98% de las concentraciones, promedio de 3 años
PM ₁₀	Primario y Secundario	150 µg/m ³	24 Horas	No debe exceder más de una vez al año en promedio en 3 años
SO ₂	Primario	75 ppb (197 µg/m ³)	1 Hora	99% de las concentraciones máximas diarias de 1 hora, promediado en 3 años
		0.5 ppm (1310 µg/m ³)	3 Horas	No debe exceder más de una vez por año

Actualmente estos valores son los que se presentan como los principales a medir en su página oficial sin embargo ponen hincapié en alguno de estos contaminantes como datos adicionales:

- El nivel de la norma anual de NO₂ se muestra en términos de ppb con el propósito de una comparación más clara con el nivel estándar de 1 hora.
- Los estándares anteriores de SO₂ (0,14 ppm (367 µg/m³) 24 horas y 0,03 ppm (78.6 µg/m³) anuales) seguirán siendo válidos en ciertas áreas del país.

4.3.3 Normativa UE

La Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa, define y establece objetivos de calidad del aire ambiente para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto. Esta directiva determina los siguientes límites para los siguientes seis contaminantes los cuales se resumen en la Tabla 12. Así mismo, se anexan los umbrales de alerta en la Tabla 13.

Tabla 12. Normativa Europea (European Union Law, 2008)

Contaminante	Valor límite	Periodo	Forma
CO	10 mg/m ³	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias	Promedio Octohorario
SO ₂	350 µg/m ³	1 hora	No podrá superarse más de 24 veces por año civil
	125 µg/m ³	1 día	No podrá superarse más de 3 veces por año civil
NO ₂	200 µg/m ³	1 hora	No podrá superarse más de 18 veces por año civil
	40 µg/m ³	Año Civil	Promedio Anual
PM ₁₀	50 µg/m ³	1 hora	No podrá superarse más de 35 veces por año civil
	40 µg/m ³	Año Civil	Promedio Anual
PM _{2.5}	25 µg/m ³	Año Civil	Promedio Anual
O ₃	120 µg/m ³	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias	No podrá superarse más de 25 días por año civil, promediados en un período de tres años

Tabla 13. Umbrales de Alerta de la Normativa Europea (European Union Law, 2008)

Contaminante	Valor límite	Periodo
SO ₂	500 µg/m ³	3 Horas consecutivas
NO ₂	400 µg/m ³	3 Horas consecutivas
O ₃	180 µg/m ³	Información: 1 hora
	240 µg/m ³	Alerta: 3 Horas consecutivas

4.3.4 Valores Guía de la OMS

Los valores guías de la OMS fue tomados de las “Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y del dióxido de azufre” el cual tiene su última actualización mundial en el año 2005. Está basada en la protección de la salud y el bienestar de los humanos y tienen como objetivo ofrecer orientación sobre la manera de valorar los efectos de contaminación del aire en la salud, así mismo de informar a los responsables de la formulación de políticas y proporcionar objetivos apropiados para una amplia variedad de opciones de opciones en

materia política en relación a la gestión de la calidad del aire en diferentes partes del mundo (OMS, 2005). A continuación, se presentan los valores guías en la Tabla 14.

Tabla 14. Normativa de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2005)

Contaminante	Valores Limites	Periodo
O ₃	Límite 8 horas: 100 µg/m ³	Promedio Octohorario
SO ₂	Límite 24 Horas: 20 µg/m ³	Promedio Diario
NO ₂	Límite 1 Hora: 200 µg/m ³	Promedio Horario
	Límite Anual: 40 µg/m ³	Promedio Anual
PM ₁₀	Límite 24 Horas: 50 µg/m ³	Promedio Diario
	Límite Anual: 20 µg/m ³	Promedio Anual
PM _{2.5}	Límite 24 Horas: 25 µg/m ³	Promedio Diario
	Límite Anual: 10 µg/m ³	Promedio Anual

5. Diagnóstico de la Contaminación del Aire

En este apartado se analizará la metodología a emplear para el presente estudio, así como los resultados obtenidos del análisis de los datos de la calidad del aire de las bases de datos, del análisis de los contaminantes en base a las normativas vigentes y del análisis fuera de las normativas para poder entender el comportamiento de los contaminantes en el AMM.

5.1 Antecedentes

- En 1982 se diseñó el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA).
- En 1991 se estableció el programa de verificación vehicular con el objetivo de prevenir y controlar las emisiones contaminantes provenientes de vehículos automotores en circulación en el AMM.
- En 1993 el diésel nacional de 1% de azufre es sustituido por diésel industrial de 0.5% de azufre.
- En 1994 entra en vigor la norma NOM-ECOL-086-1994, la cual establece que a partir del 1 de enero de 1998 los proveedores deberán surtir las gasolinas Pemex Magna un contenido máximo de azufre de 4% en peso.

- En 1994 se inauguró la segunda línea de metro que comunica los municipios de Escobedo, San Nicolás de los Garza y Monterrey.
- En 1996, Pemex introdujo en el AMM la gasolina Premium, la cual tiene un octanaje de 92, mientras que la Magna tiene 87 de octanaje.
- En 1997 el diésel industrial de 0.5% de azufre es sustituido por el diésel industrial de bajo contenido de azufre de 0.05% de azufre.
- En 1997 se establece la norma oficial NOM-001-SECRE-1997, sobre la calidad del gas natural.
- En 1998 se consolida la instalación de sistemas de recuperación de vapores en las gasolineras.
- En 2003 se establece la norma oficial NOM-001-SECRE-2003, sobre la calidad del gas natural, sustituyendo a la norma NOM-001-SECRE-1997. Los principales cambios que se introdujeron fueron: incremento en el contenido de inertes (nitrógeno y bióxido de carbono) y establece valor de temperatura de rocío en $< -2^{\circ}\text{C}$.
- En 2005 entra en vigor la norma NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, la cual establece especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental.
- En 2013 inicia la obra de la construcción de la Línea 3 del metro.

5.2 Programas Sobre la Calidad del Aire del AMM

Los Programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire (ProAire) tienen su fundamento en el Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica (PICCA) que se implementó en la Ciudad de México en 1990.

ProAire es un instrumento de gestión para revertir las tendencias del deterioro de la calidad del aire (SEMARNAT, 2015), el cual establece metas, medidas, estrategias y acciones, que ayudarán a reducir las emisiones a la atmósfera en las diferentes ciudades de la República Mexicana. Cuenta con tres aspectos fundamentales:

1. Diagnóstico de la situación actual de la calidad del aire.
2. Estrategia de mejora de la calidad del aire.
3. Espacio de acuerdos para implementar la estrategia.

Se han realizado dos estudios ProAire, para dos periodos: 1997-2000 y 2008-2012. Adicionalmente en la actualidad está en elaboración otro para el periodo de 2015-2024.

Así mismo en todo México está establecido el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), el cual fue establecido en el año 1982. Este valore es de referencia para informa a la población de las

grandes ciudades sobre los niveles de contaminación del aire que prevalecen en su zona de residencia o de trabajo. Utiliza un criterio de evaluación de 0 a 500 punto, donde 100 puntos representa el valor de la norma de exposición aguda establecida para cada parámetro, de tal forma que, cualquier contaminante que este por debajo de los 100 puntos se considera satisfactoria.

5.2.1 ProAire 1997-2000

El objetivo general consistió en “reducir el actual promedio anual del valor máximo diario de contaminación en el Área Metropolitana de Monterrey, de los 70 puntos IMECA, a un promedio para el año 2000 de aproximadamente 50 puntos IMECA; y por consecuencia, reducir la probabilidad de poner en operación el Programa de Respuesta a Contingencias Ambientales, que se pone en marcha cuando se registra un valor del IMECA superior a los 100 puntos”.

Entre las principales estrategias para mejorar la contaminación atmosférica están las siguientes: (Gobierno N.L., ProAire, 2000)

- Ciencia y Tecnología, Educación, Capacitación y Comunicación
 - Realizar un estudio de evaluación y expansión y reforzamiento de la red de monitoreo de la calidad del aire.
 - Firmar un convenio con instituciones de educación superior para actividades de capacitación, investigación e intercambio de información.
 - Actualizar el inventario de emisiones para los sectores industria, comercio, servicios, transporte y suelos y vegetación.
 - Desarrollar una campaña de educación para la comunidad sobre la contaminación del aire y por ruido.
 - Desarrollar una campaña de capacitación y de certificación de personal para el manejo adecuado de equipos de combustión.
- Gestión Ambiental
 - Identificar alternativas para la constitución de un fideicomiso ambiental para la generación y administración de recursos económicos dedicados a desarrollar acciones del Programa.
 - Promover el otorgamiento de incentivos fiscales y sistemas de financiamiento en la adquisición de equipo de control de partículas y de conversión a gas natural.
 - Promover la renovación de la flota de transporte público y de flotillas de uso intensivo (vehículos de reparto) mediante incentivos de carácter fiscal para su conversión a gas natural.

- Establecer mecanismos de integración de políticas metropolitanas de desarrollo urbano, transporte y vialidad, y medio ambiente.
- Implantar criterios de regulación tecnológica y vial para el transporte público.
- Promover la creación de rutas de autobuses para reducir el uso de vehículos privados y estimular el transporte institucional, de escolares y de personal; reglamentar las paradas de autobuses.
- Promover la ampliación de la red del metro.
- Desarrollar reglamentos específicos de contaminación atmosférica y por ruido.
- Instrumentar el Sistema de Vigilancia Epidemiológica en el Área Metropolitana de Monterrey.
- Impulsar la realización de estudios de monitoreo microambiental y de exposición a contaminantes.
- Prevención de la Contaminación
 - Establecer convenios con las pedreras para controlar y reducir las emisiones de partículas.
 - Establecer convenios con la industria para controlar y reducir emisiones de precursores de ozono.
 - Establecer convenios con industrias altamente contaminantes en partículas y bióxido de azufre.
 - Introducir combustibles más limpios para uso industrial y vehicular en el Área Metropolitana de Monterrey.
 - Reforzar la inspección y vigilancia de establecimientos industriales, comerciales y de servicios.
 - Reforzar el Programa de Verificación Vehicular, incluyendo su renovación técnica y administrativa.
 - Diseñar e instrumentar una campaña de abatimiento de emisión de partículas por erosión del viento.

5.2.2 ProAire 2008-2012

El objetivo general consistía en revertir las tendencias de deterioro de la calidad del aire, es decir, reducir significativamente el número de días en que se rebasaba la norma de partículas PM_{10} y de partículas finas $PM_{2.5}$, así como reducir las excedencias a la norma de O_3 , al tiempo que se mantenía dentro de norma los restantes contaminantes criterio.

Entre las principales estrategias para el combatir la contaminación atmosférica estaban las siguientes: (Gobierno N.L., ProAire, 2012)

- Reducción de emisiones en fuentes naturales.
 - Recuperar y ampliar las áreas verdes en el AMM.
 - Consolidar el Plan de Ordenamiento Ecológico Territorial (OET) de los municipios periféricos del AMM.
- Reducción y control de emisiones en vehículos y transporte.
 - Generar, promover e instrumentar un sistema de movilidad sustentable.
 - Garantizar y sostener la renovación y mantenimiento de la flota de uso intensivo (taxis, transporte urbano, vehículos de reparto, transporte escolar y de personal).
 - Implantar criterios de regulación para el transporte público y de carga.
 - Actualizar el diagnóstico de la movilidad del AMM para mejorar el Sistema Integrado de Transporte Público.
 - Promover el uso de combustibles de contenido ultra-bajo de azufre (UBA) en el sector transporte.
- Reducción y control de emisiones en la industria, comercios y servicios.
 - Fortalecer un programa permanente de inspección y vigilancia del sector industrial, comercial y de servicio en el AMM.
 - Crear un programa de reducción de emisiones en fuentes fijas prioritarias del AMM.
 - Establecer un programa de reducción de emisiones a la atmósfera del sector de empresas dedicadas a realizar el aprovechamiento de minerales y sustancias no reservadas a la Federación.
 - Incentivar el cambio hacia el uso de combustibles más limpios y de tecnologías de control de emisiones de la combustión.
 - Implementar un programa de control de vapores de gasolina en terminales de almacenamiento y distribución, así como en estaciones de servicio (gasolineras).
 - Reducir las emisiones de bióxido de azufre en la refinería de Cadereyta.
- Protección a la salud.
 - Establecer un programa de vigilancia epidemiológica, enfocado a evaluar los efectos de la contaminación atmosférica en la salud de la población del AMM.
 - Evaluar y actualizar el Programa de Respuesta a Contingencias Atmosféricas.
- Fomento a la educación ambiental.
 - Impulsar la realización de estudios de exposición a contaminantes.

- Establecer estrategias de comunicación y planes de difusión sobre los efectos y riesgos a la salud.
- Establecer un plan integral de coordinación metropolitana.
- Diseñar e instrumentar un programa de difusión, comunicación y educación no formal sobre la problemática de la calidad del aire en el AMM, dirigida a la población en general, buscando su participación activa.
- Diseñar e instrumentar una campaña para la reducción de emisiones por la resuspensión de polvos en caminos no pavimentados y áreas erosionadas.
- Fortalecimiento de los instrumentos de gestión ambiental.
 - Fortalecer el Programa de Auditoría Ambiental Voluntario en el AMM.
 - Fortalecer la red de monitoreo de calidad del aire del Área Metropolitana de Monterrey.
 - Desarrollar y ejecutar un programa de actividades de capacitación, investigación e intercambio de información sobre calidad del aire.
 - Actualizar el inventario de emisiones (IE).
 - Crear un fideicomiso ambiental.
 - Homologar los criterios, códigos y lineamientos municipales en materia de calidad del aire.

5.3 Metodología de Investigación

En la Zona Metropolitana de Veracruz, México (Gonzalez, 2016) se realizó un estudio apoyado por la Universidad Veracruzana y la Universidad Politécnica de Catalunya, se realizó una investigación sobre la tendencia de la calidad del aire entre los años 2013 y 2015 según los datos recolectados por dos nuevas estaciones instaladas en el 2013 en Xalapa y Minatitlan. En la metodología aplicada se utilizaron criterios de calidad para los conjuntos de datos, seguida de la validación de datos y estadísticas, y un análisis posterior para determinar las tendencias horarias, semanales y anuales de NO₂, O₃, SO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}. Los indicadores se compararon con las normas mexicanas, las directrices de la OMS, los estándares de la UE y la EPA para evaluar la calidad del aire en ambos sitios.

Otro estudio realizado en el distrito de Yong-san de Seúl, Corea, entre los años 1987 y 2013 (Khan, 2016), comparó los niveles de SO₂ con otros contaminantes importantes simultáneamente (CO, NO, NO₂, O₃ y PM₁₀), separando los años en tres periodos: de 1987 a 1988, de 1999 a 2000 y de 2004 a 2013. Del mismo modo los datos se analizaron a través de varias escalas de tiempo (mensual, estacional y anual) con el objetivo de evaluar la eficacia de la estrategia de reducción, y de predecir futuras tendencias de las concentraciones de los contaminantes a considerar.

Con el mismo objetivo de los estudios previamente mencionados, la metodología de investigación a seguir será la siguiente:

1. Revisión de la bibliografía sobre estudios previos realizados en México y otros países.
2. Análisis de la calidad de datos proporcionados de 1993 a 2016.
3. Análisis de la relación de los aspectos climatológicos y geográficos con la contaminación.
4. Análisis de los datos en diferentes escalas temporales: horaria, semanal, mensual y anual.
5. Comparativa de la normativa mexicana con los estándares de la OMS, EU y EPA.
6. Discusión y propuestas de mejoras sobre programas y la legislación en México.

Se realizará una división de los datos en tres periodos:

- **Periodo 1: 1993 a 2002**
 - **Justificación:** Periodo en el cual estuvieron sólo las primeras cinco estaciones (Sureste, Noreste, Centro, Noroeste y Suroeste) instaladas y en funcionamiento tomando las medidas de los siguientes contaminantes: CO, NO₂, O₃, SO₂ y PM₁₀.
- **Periodo 2: 2003 a 2010**
 - **Justificación:** Periodo en el cual se integra el análisis del PM_{2.5} y se instalan dos estaciones más: Noroeste 2 y Norte
- **Periodo 3: 2011 a 2016**
 - **Justificación:** Periodo en el cual se instalaron las últimas tres estaciones: Noreste 2, Sureste 2 y Suroeste 2, las cuales, al igual que las estaciones previamente instaladas, tomaban medidas de los seis contaminantes de interés.

5.4 Análisis de las Bases de Datos

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012 sobre el establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire, en el apartado 10 sobre el Manejo de datos de calidad del aire, subíndice 10.4.2 se establece que “se asegurará que la compleción de datos, tanto de parámetros meteorológicos como de contaminantes, cumpla con un mínimo de 75% de datos, para generar los indicadores de estado y tendencias de calidad del aire” para la protección de la salud humana.

Por otro lado, las directrices de la UE y EPA dictan el mismo porcentaje para poder asegurar su validez al agregar los datos y calcular los parámetros estadísticos, sin embargo, en los criterios de la

Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo, establece que para la media anual es necesario el 90% de los valores horarios o de los valores correspondientes a 24 horas a lo largo del año.

En el Periodo 1 (1993 – 2002), se mantuvo una buena cantidad de datos de 1993 a 1997, a excepción de en 1995, donde se tienen valores de 70 y 72% en la estación Noroeste. Luego, entre los años 1998 a 2003 la continuidad de toma de datos empeoró en las estaciones Suroeste y Centro obteniendo porcentajes de 15 y 14% respectivamente.

En algunas estaciones no se registró ningún dato, por lo que los espacios están en blanco. En la estación Sureste en 1999 no se registró ningún dato para el O₃, en la estación Noreste en el 2000 para PM₁₀ y en la estación del Centro en los años 2001 y 2002 para el SO₂. También se puede observar que la calidad de los datos de ciertos contaminantes se vio afectada conforme fue pasando el tiempo.

Tabla 15. Análisis de la calidad de datos de 1993 a 2002

Año	Cont.	SE	NE	CE	NO	SO	Año	Cont.	SE	NE	CE	NO	SO
1993	CO	84%	92%	95%	89%	94%	1998	CO	36%	73%	64%	94%	95%
	NO2	81%	93%	94%	95%	93%		NO2	33%	92%	60%	35%	91%
	O3	94%	94%	95%	95%	92%		O3	39%	40%	62%	95%	95%
	SO2	94%	94%	94%	95%	94%		SO2	15%	95%	94%	95%	95%
	PM10	98%	98%	98%	99%	98%		PM10	87%	32%	93%	95%	86%
1994	CO	95%	93%	94%	96%	92%	1999	CO	95%	93%	94%	93%	94%
	NO2	93%	93%	91%	96%	92%		NO2	94%	92%	91%	71%	94%
	O3	95%	94%	95%	96%	93%		O3		13%	29%	92%	94%
	SO2	67%	90%	95%	95%	93%		SO2	82%	93%	94%	93%	94%
	PM10	97%	98%	99%	99%	96%		PM10	96%	48%	98%	39%	96%
1995	CO	94%	95%	93%	91%	93%	2000	CO	84%	95%	95%	89%	95%
	NO2	93%	92%	83%	72%	94%		NO2	84%	93%	80%	87%	91%
	O3	95%	94%	90%	78%	94%		O3	33%	95%	82%	87%	95%
	SO2	94%	95%	93%	70%	95%		SO2	84%	95%	14%	89%	95%
	PM10	99%	97%	98%	99%	96%		PM10	88%		98%	86%	97%
1996	CO	94%	94%	94%	94%	95%	2001	CO	91%	92%	94%	94%	73%
	NO2	95%	94%	94%	94%	95%		NO2	92%	67%	75%	88%	70%
	O3	95%	91%	95%	92%	95%		O3	89%	92%	79%	92%	66%
	SO2	94%	95%	95%	94%	95%		SO2	94%	92%		90%	77%
	PM10	97%	75%	97%	99%	99%		PM10	87%	69%	71%	53%	88%
1997	CO	94%	95%	95%	95%	95%	2002	CO	89%	92%	94%	93%	94%
	NO2	92%	96%	95%	95%	92%		NO2	68%	46%	76%	74%	94%
	O3	93%	95%	90%	95%	95%		O3	87%	91%	94%	89%	94%
	SO2	94%	94%	95%	95%	95%		SO2	89%	93%		93%	94%
	PM10	79%	87%	82%	78%	80%		PM10	89%	91%	93%	97%	94%

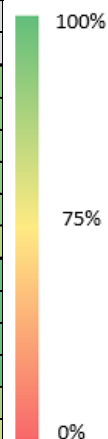
Para el segundo periodo (2003 – 2010), se implementaron en las cinco estaciones la medición de PM_{2.5} y se instalaron dos estaciones nuevas: Noroeste 2 y Norte. Se observa una mejora significativa

con respecto a la cantidad de datos de los primero cinco contaminantes en todas las estaciones. Sin embargo, se tiene poca disponibilidad de datos de PM_{2.5}. De acuerdo a como se empezaron las mediciones, se tienen la siguiente información

- El PM_{2.5} se empezó a medir a partir del 1º de junio de 2003
- La estación Noroeste 2 empezó su funcionamiento el 1º de agosto de 2009
- La estación Norte empezó su funcionamiento el 22 de diciembre de 2009

Tabla 16. Análisis de la calidad de datos de 2003 a 2010

Año	Cont.	SE	NE	CE	NO	SO	Año	Cont.	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N
2003	CO	86%	88%	81%	86%	88%	2007	CO	97%	98%	97%	99%	99%		
	NO2	60%	63%	59%	60%	59%		NO2	98%	99%	98%	90%	99%		
	O3	84%	88%	82%	87%	88%		O3	98%	99%	98%	100%	98%		
	SO2	50%	75%	63%	59%	72%		SO2	98%	99%	98%	100%	100%		
	PM10	90%	94%	86%	90%	93%		PM10	95%	97%	95%	99%	98%		
	PM2.5	79%	82%	81%	77%	79%		PM2.5	26%	61%	74%	86%	56%		
2004	CO	96%	97%	98%	98%	90%	2008	CO	83%	96%	97%	98%	94%		
	NO2	97%	98%	89%	89%	73%		NO2	85%	99%	97%	98%	98%		
	O3	96%	97%	98%	99%	96%		O3	85%	99%	97%	98%	98%		
	SO2	98%	98%	98%	99%	96%		SO2	85%	99%	97%	98%	99%		
	PM10	96%	96%	97%	97%	94%		PM10	81%	98%	95%	95%	98%		
	PM2.5	19%	77%	82%	68%	74%		PM2.5	60%	68%	80%	79%	81%		
2005	CO	93%	97%	99%	97%	98%	2009	CO	98%	99%	96%	96%	99%	98%	93%
	NO2	94%	97%	98%	96%	71%		NO2	99%	82%	97%	95%	91%	98%	93%
	O3	94%	97%	99%	96%	98%		O3	98%	100%	96%	98%	99%	98%	93%
	SO2	94%	97%	99%	96%	99%		SO2	96%	99%	96%	98%	99%	98%	93%
	PM10	92%	95%	98%	95%	98%		PM10	97%	98%	95%	97%	98%	97%	93%
	PM2.5		47%	56%	53%	70%		PM2.5	97%	68%	74%	66%	66%	91%	87%
2006	CO	99%	98%	98%	100%	98%	2010	CO	100%	95%	99%	99%	100%	97%	99%
	NO2	98%	98%	97%	99%	73%		NO2	95%	87%	96%	81%	100%	97%	99%
	O3	99%	98%	98%	100%	97%		O3	98%	94%	99%	100%	100%	97%	99%
	SO2	99%	98%	98%	100%	98%		SO2	100%	88%	91%	99%	100%	97%	99%
	PM10	95%	98%	97%	97%	77%		PM10	96%	96%	97%	96%	98%	89%	90%
	PM2.5		69%	70%	67%	68%		PM2.5	89%	65%	73%	72%	82%	13%	84%



En el último periodo (2011 – 2016), se instalaron las últimas tres estaciones (Noreste 2, Sureste 2 y Suroeste 2). De acuerdo a como se empezaron las mediciones, se tienen la siguiente información:

- La estación Noroeste 2 empezó su funcionamiento el 1º de junio de 2011.
- La estación Sureste 2 empezó su funcionamiento el 1º de octubre de 2012.
- La estación Suroeste 2 empezó su funcionamiento el 1º de febrero de 2014.

Se puede apreciar que de los años 2011 a 2013 se tienen suficientes datos a excepción de PM_{2.5}, sin embargo, a partir del 2014 la cantidad de los datos empezó a bajar. De igual manera, las estaciones

Noroeste 2 y Norte presentan problemas en la obtención de datos, puesto que en todos los años no se tiene registro, sobre todo en los años 2015 y 2016.

Tabla 17. Análisis de la calidad de datos de 2011 a 2016

Año	Cont.	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SO2
2011	CO	97%	97%	99%	100%	100%	98%	100%	58%		
	NO2	96%	96%	94%	100%	90%	97%	99%	58%		
	O3	96%	95%	99%	100%	100%	97%	99%	57%		
	SO2	98%	91%	99%	100%	100%	98%	100%	58%		
	PM10	96%	97%	98%	99%	99%	96%	97%	56%		
	PM2.5	90%	80%	90%	91%	92%		42%	34%		
2012	CO	92%	98%	97%	99%	99%	98%	94%	100%	23%	
	NO2	92%	94%	97%	99%	100%	93%	94%	100%	25%	
	O3	92%	99%	96%	98%	100%	97%	94%	91%	23%	
	SO2	92%	96%	95%	99%	100%	99%	94%	93%	21%	
	PM10	91%	98%	96%	98%	99%	96%	93%	97%	24%	
	PM2.5	88%	87%	92%	96%	88%	5%		60%	20%	
2013	CO	93%	91%	98%	100%	99%	99%	99%	100%	99%	
	NO2	48%	98%	92%	98%	86%	99%	100%	99%	95%	
	O3	96%	91%	97%	96%	90%	99%	82%	98%	71%	
	SO2	96%	100%	52%	100%	99%	99%	99%	100%	99%	
	PM10	95%	98%	97%	99%	98%	92%	94%	94%	97%	
	PM2.5	47%	32%	45%	66%	60%				48%	
2014	CO	97%	99%	98%	100%	78%	1%	96%	52%	62%	82%
	NO2		74%	91%	91%	78%	1%	65%	59%	56%	82%
	O3	98%	99%	92%	100%	81%	99%	99%	10%	8%	46%
	SO2	40%	37%		98%	82%		88%	86%	61%	81%
	PM10	95%	98%	95%	96%	94%	92%	96%	87%	73%	84%
	PM2.5	63%	81%	72%	59%	74%			34%	2%	44%
2015	CO	94%	87%	98%	95%	31%		71%	33%	88%	58%
	NO2		81%	95%	68%	14%		54%	46%	89%	59%
	O3	97%	88%	97%	85%	31%	96%	70%	15%	50%	43%
	SO2	75%	83%	6%	96%	31%		64%	42%	24%	51%
	PM10	93%	94%	95%	95%	92%	84%	77%	90%	96%	88%
	PM2.5	48%	65%	51%	87%	63%			78%		45%
2016	CO	98%	79%	98%	97%	81%	20%	77%	39%	29%	94%
	NO2			87%	74%	37%		28%	19%	97%	85%
	O3	96%	78%	19%	96%	93%	87%	24%		38%	89%
	SO2	90%	74%	40%	85%	92%		41%	94%	52%	93%
	PM10	97%	98%	97%	98%	97%	84%	98%	94%	99%	97%
	PM2.5	46%	4%		37%	65%			71%		53%

5.5 Análisis de Excedencias

Analizando las bases de datos, se encontró que existen excedentes de gran magnitud a través de los años de las concentraciones de los diferentes contaminantes. Haciendo una comparativa de los valores guía de la OMS con la normativa mexicana, se obtuvo la cantidad de veces que se superó el límite para ambas normativas. A continuación, se presentan resultados analizados de la estación Suroeste, por ser la que muestra mayor cantidad de datos registrados.

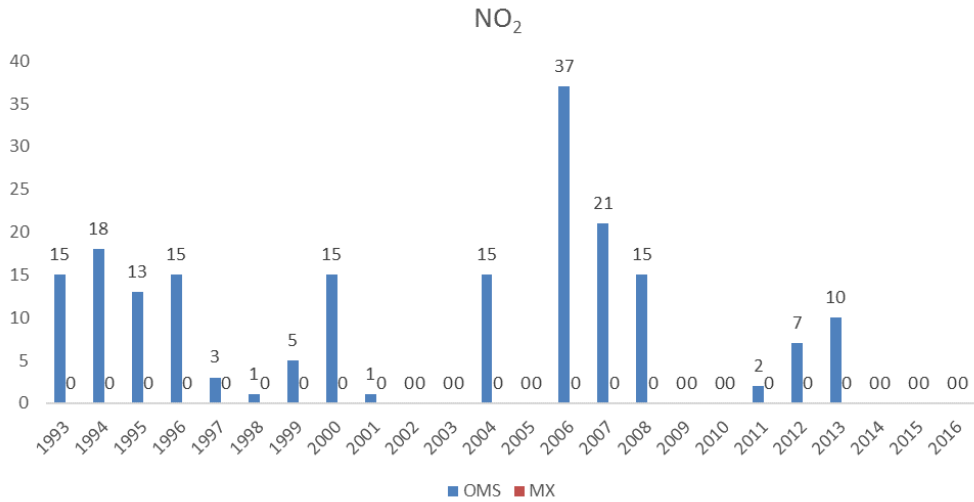


Fig. 5.1. Número de superaciones de 1993 a 2016 de NO₂. Normativa MX: 395 µg/m³; OMS: 200 µg/m³. Medición Horaria

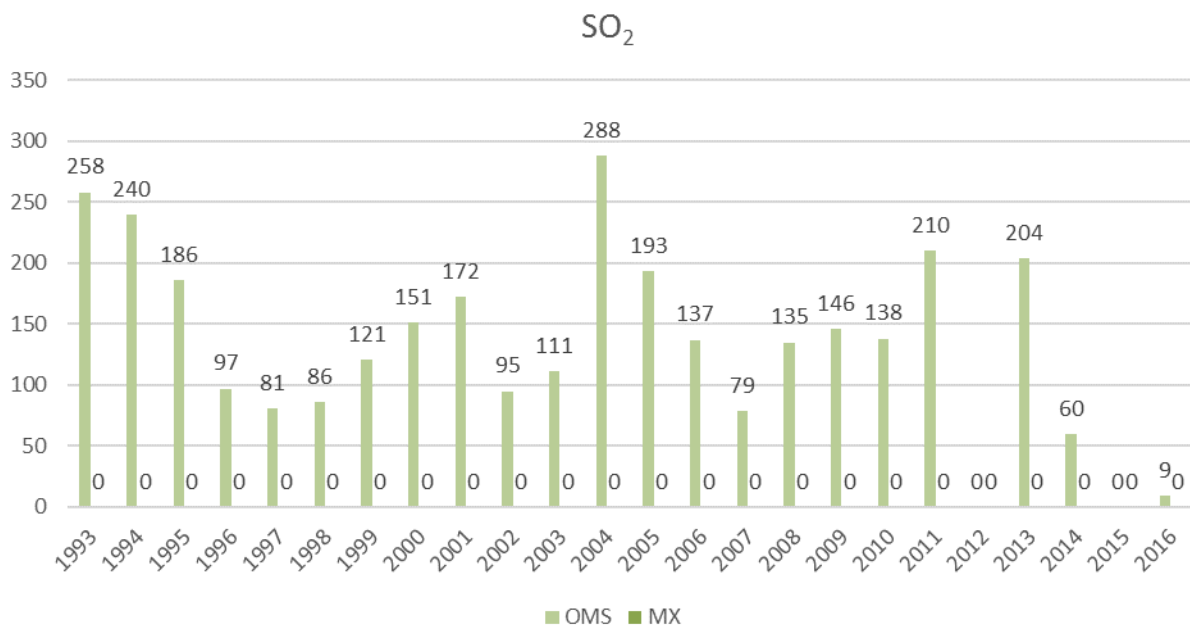


Fig. 5.2. Número de superaciones de 1993 a 2016 de SO₂. Normativa MX: 288 µg/m³; OMS: 20 µg/m³. Medición Diaria

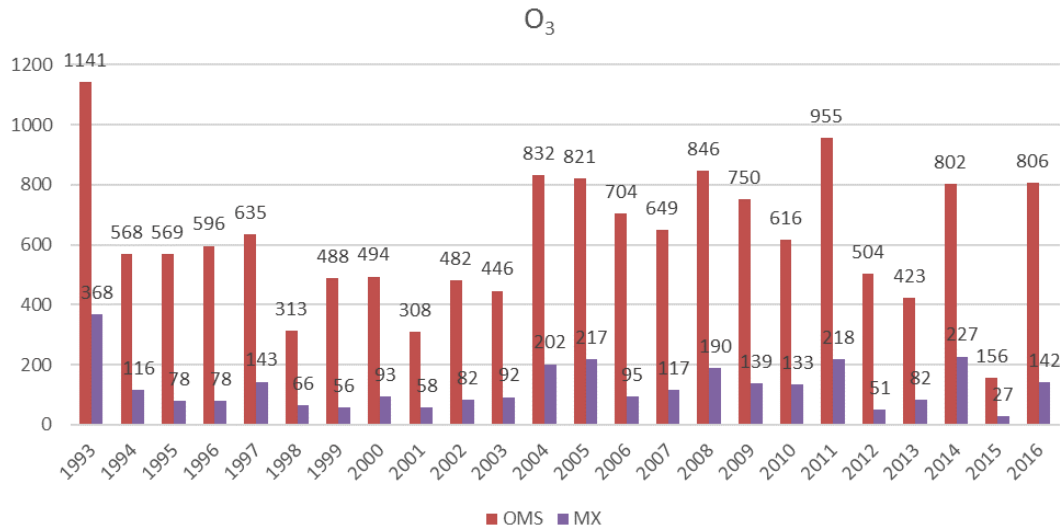


Fig. 5.3. Número de superaciones de 1993 a 2016 de O₃. Normativa MX: 137.2 µg/m³; OMS: 100 µg/m³. Medición Octohoraria

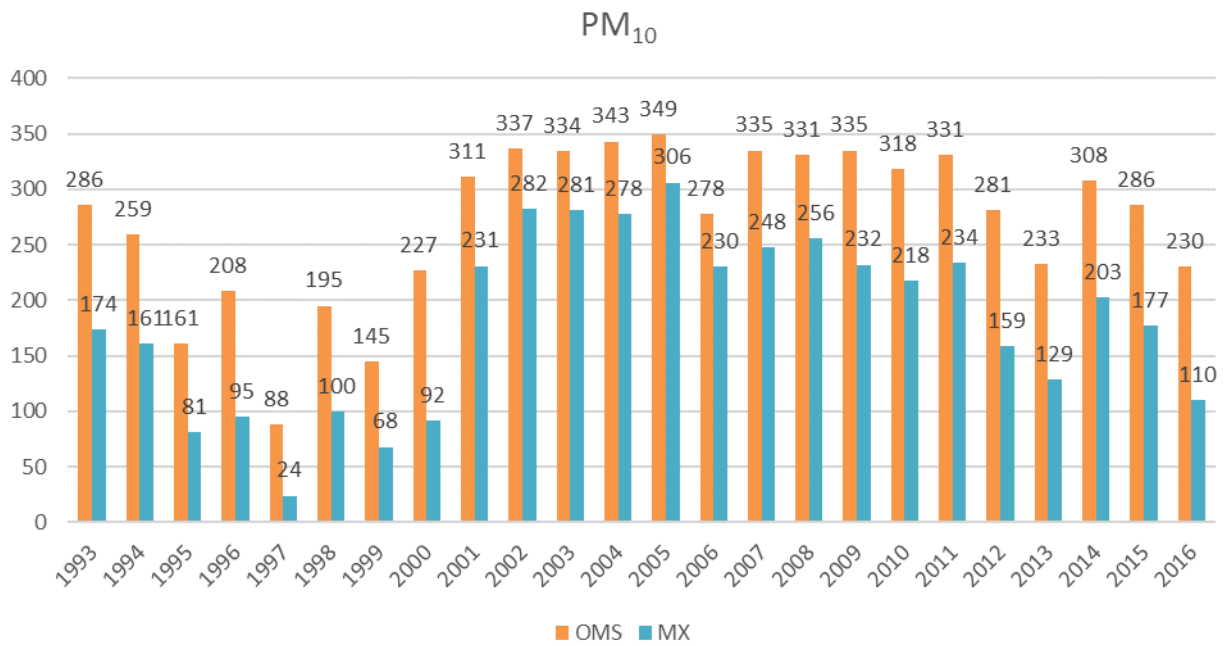


Fig. 5.4. Número de superaciones de 1993 a 2016 de PM₁₀. Normativa MX: 75 µg/m³; OMS: 50 µg/m³. Medición Diaria

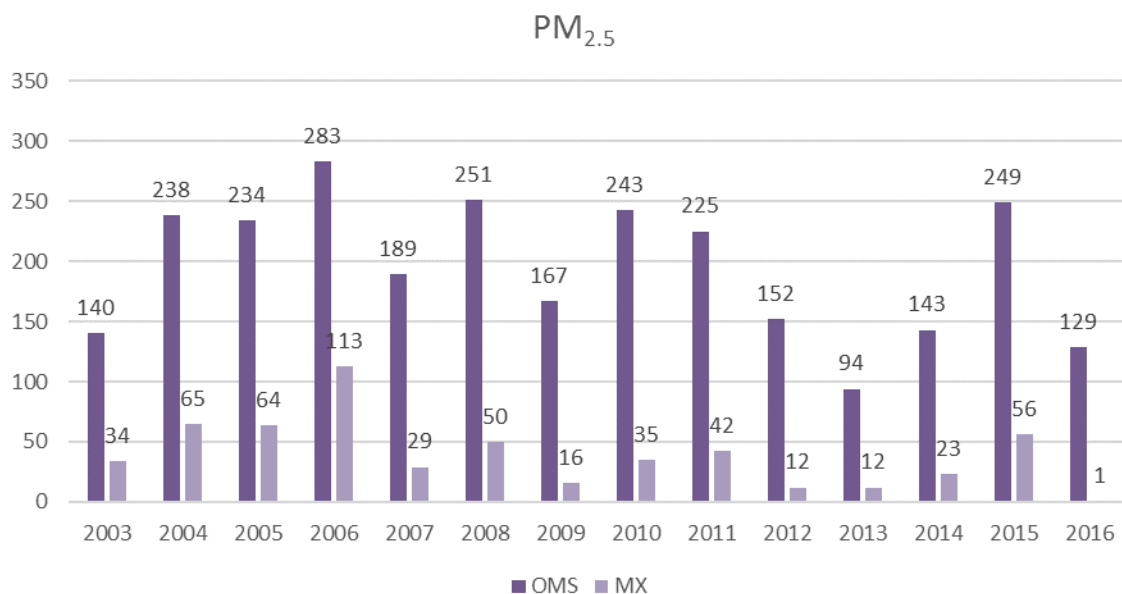


Fig. 5.5. Número de superaciones de 1993 a 2016 de $PM_{2.5}$. Normativa MX: $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$; OMS: $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Medición Diaria

En el caso del NO_2 y SO_2 (Fig. 5.1 y 5.2) se observa que no existe dato que evidencie que se haya superado la normativa mexicana, sin embargo, en ambos casos si se exceden los valores guía de la OMS. La normativa mexicana no es tan estricta como los valores guía de la OMS, ya que para el SO_2 se estableció como valor límite de $288 \mu\text{g}/\text{m}^3$ diaria, mientras que en los valores guía de la OMS establece un valor límite de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ diaria. Por tal motivo, en el análisis existen más de 200 excedencias en un solo año de acuerdo a los valores guía de la OMS, las cuales desde el 2013 no se presentan. En el último año se presentaron sólo 9 excedencias, por lo cual se aprecia una disminución de las emisiones de este contaminante, sin embargo, los demás contaminantes se mantienen a lo largo del tiempo concentraciones preocupantes.

En cuanto al O_3 (Fig. 5.3), la medición es octohoraria, se aprecia que su primera medición arroja valores de más de 1000 excedencias en un solo año de acuerdo a los valores guía de la OMS, las cuales descendieron hasta la mitad en los siguientes años y no fue hasta el 2004 cuando éstas volvieron a aumentar hasta por encima de las 800 excedencias, situación que ha permanecido hasta la actualidad.

De 2001 a 2011, en cuanto al PM_{10} (Fig. 5.4), se tuvieron excedencias por más de 300 veces de acuerdo a los valores guía de la OMS, es decir, prácticamente todo el año se tuvo mala calidad de aire con respecto a este contaminante. Por otro lado, de $PM_{2.5}$ (Fig. 5.5) sólo se tienen datos a partir del 2003, sin embargo, las excedencias son similares a las de PM_{10} , teniendo más de 200 excedencias

por año en el mismo periodo de tiempo mencionado. Así mismo, haciendo la comparativa con la normativa mexicana, las excedencias están muy cercanas a las obtenidas con los valores guía de la OMS ya que los límites establecidos para ambos no son tan diferentes como en el caso del SO₂.

5.6 Relación de Aspectos Climáticos con la Contaminación

5.6.1 Vientos Predominantes

En la Fig. 5.6 se observan las diferentes estaciones existentes junto con su gráfica de la rosa de los vientos del año 2015. Se observa que la dirección predominante es de componente Este, sin embargo, en la estación Noroeste observamos que la dirección predominante es Nornoroeste. Las estaciones Norte, Noroeste, Suroeste, Noroeste 2 y Noreste 2 son las que presentan mayor velocidad del viento entre 3 y 5 m/s, mientras que las demás estaciones presentan valores entre 2 y 3 m/s. Así mismo, la estación Suroeste 2 presenta dos variables donde el viento proviene del Estesureste y Noroeste, lo cual se puede deber a una variación que existió en ese año ya que ninguna otra estación presenta rangos tan significativos como en esa estación.

Las estaciones suroeste, Noroeste y Suroeste 2, se encuentran la mayoría de las pedreras en lo que respecta el AMM, por lo que la dirección del viento junto con los trabajos realizados por las empresas en la zona, puede que aumente la concentración. Así mismo, el tráfico rodado por esta zona es grande ya que conecta con Coahuila, la cual es una carretera muy transitada por vehículos pesados.

La falta de datos también afecta a esta medida, ya que en el 2016 no se tienen registros de las estaciones Sureste 2 y Noroeste 2 respecto a la dirección del viento, por tal motivo se necesitan hacer los mantenimientos necesarios para los equipos correspondientes.

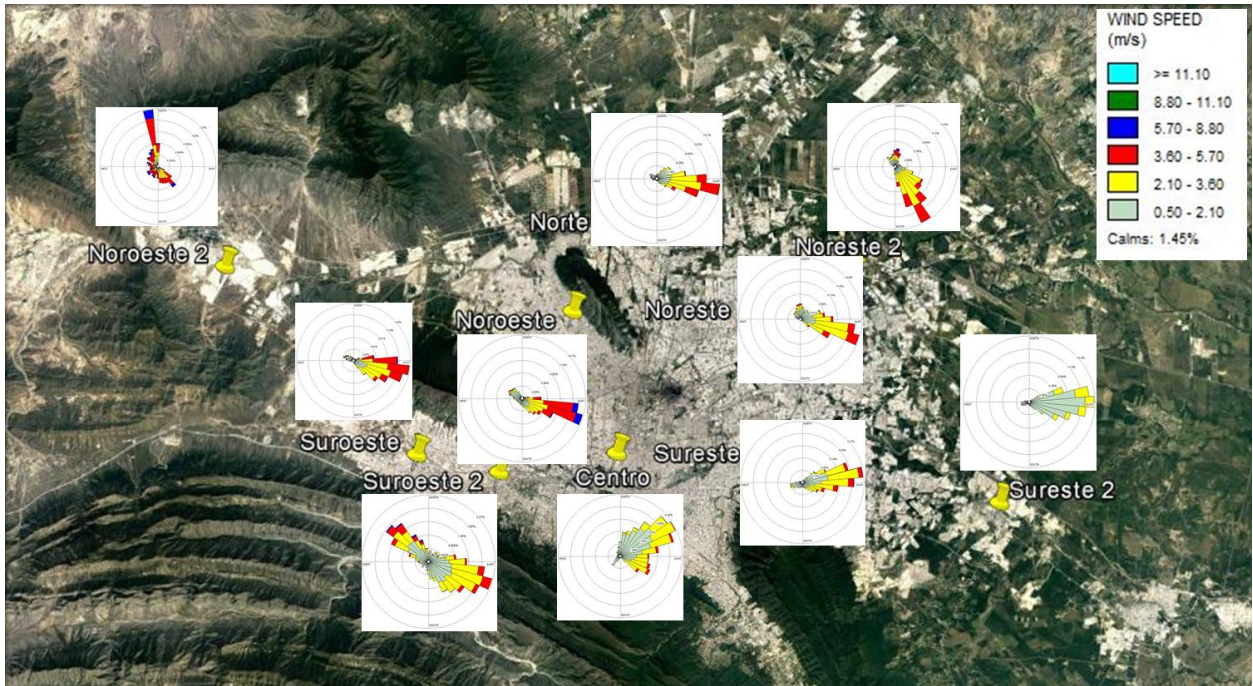


Fig. 5.6. Vientos predominantes en las diferentes estaciones en el AMM. Año 2015.

5.6.2 Temperatura

La temperatura en el AMM presenta extremos. Según los datos de la INEGI, en verano se presentan temperaturas que rebasan los 30°C en promedio mientras que en invierno la temperatura puede descender hasta los 8°C en promedio. Para hacer una comparativa de las temperaturas registradas a través de los años, se escogieron dos estaciones: Noreste y Suroeste, las cuales servirán para poder realizar una comparativa en dos zonas diferentes del AMM.

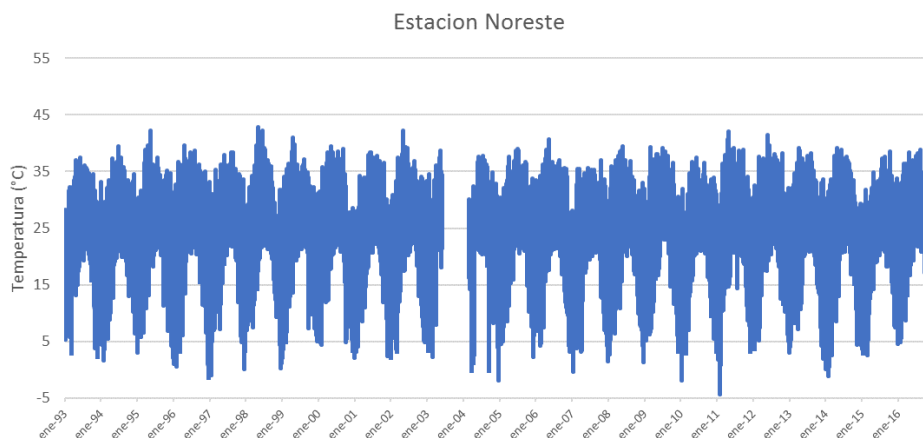


Fig. 5.7. Temperatura registrada en la estación Noreste de 1993 a 2016

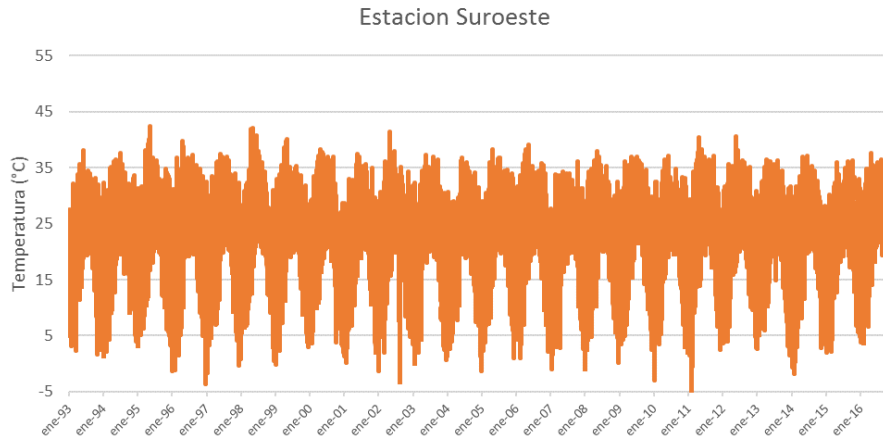


Fig. 5.8. Temperatura registrada en la estación Suroeste de 1993 a 2016

En ambas estaciones (Fig. 5.7 y 5.8), se observa que las temperaturas más elevadas del año se dieron durante la época de verano llegando entre los 35 y 45°C, mientras que en invierno desciende entre los 5 y -2°C. También se observa que, donde antes las temperaturas llegaban por debajo de los 0°C, en los últimos dos años analizados se registraron temperaturas mínimas de 1.5°C para el 2015 y de 2°C para el 2016, lo cual ya no es debido al comportamiento de la zona, sino es debido al calentamiento global.

5.6.3 Radiación Solar

Como se mencionó en el apartado 3.2.7, la luz solar (radiación solar) es un componente fundamental en la formación del ozono troposférico, donde intervienen los óxidos de nitrógeno y COV's emitidos por los vehículos motorizados, industrias, la vegetación, entre otras fuentes, por lo que, con situaciones de radiación solar elevada, la formación del ozono troposférico es mayor.

Se observa en la Fig. 5.9 la concentración de radiación solar registrada entre los años de 1993 a 2004 esta estaba por encima de los 2000 kW/m², donde después de ese año fue disminuyendo y manteniéndose entre los rangos de 1200 y 1600 kW/m².

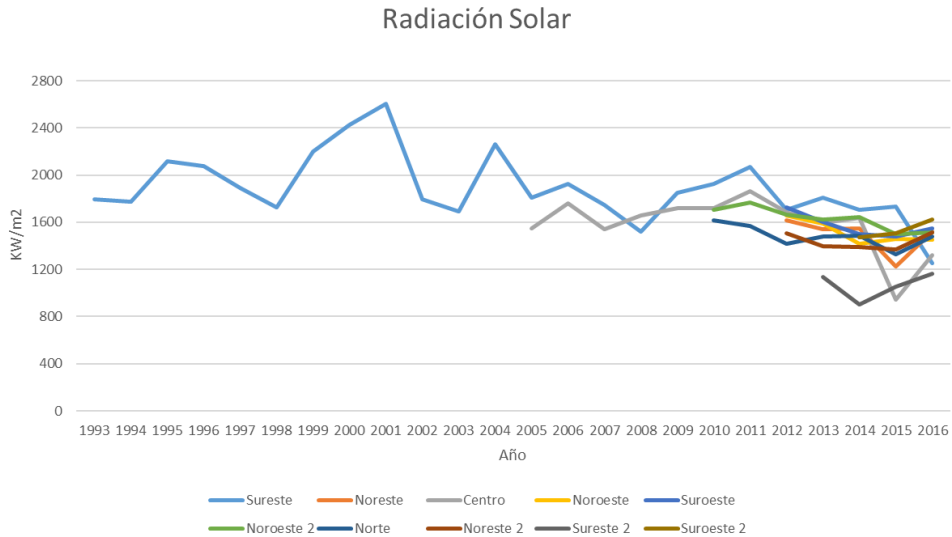


Fig. 5.9. Radiación solar anual de 1993 a 2016

En la Fig. 5.10 se observa la evolución de las medidas en los diferentes meses del año donde, la estación Noroeste, de 2010 a 2016, es la estación que registró mayores cantidades de radiación solar en comparación a las otras estaciones. Se observa que en los meses de abril a agosto se presenta el mayor índice de radiación solar, la cual empieza a descender a partir de septiembre, por lo que se espera que en un análisis mensual la concentración de O_3 aumente en estas fechas.

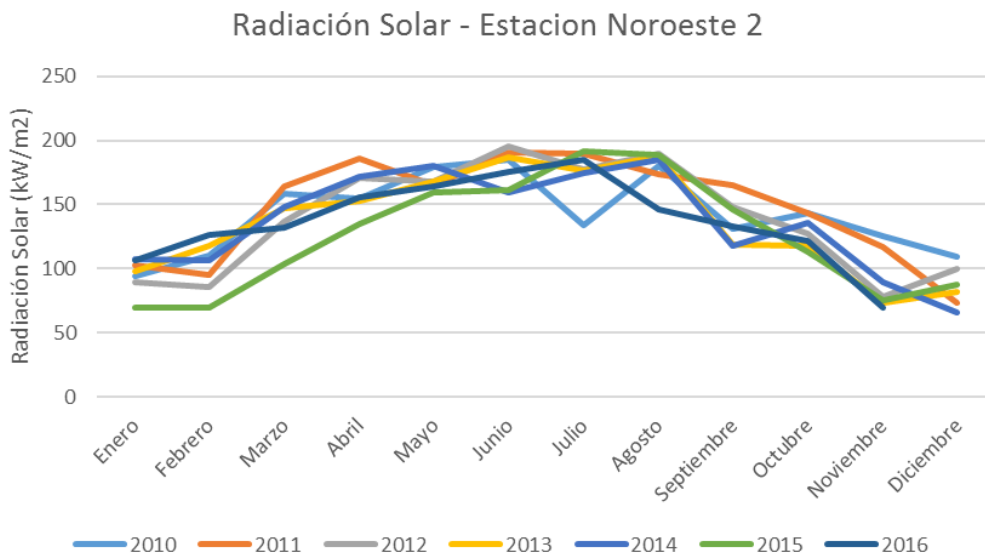


Fig. 5.10. Radiación solar mensual de 2010 a 2016 en la estación Noroeste 2

5.6.4 Precipitación

Las precipitaciones constituyen un mecanismo importante y muy eficiente para la remoción de contaminantes atmosféricos especialmente, del material particulado. En algunas zonas de Europa entre 20% y 30 % de las deposiciones acidas total las cuales están muy condicionada por las lluvias que se dan durante el año. Algunos estudios han establecido que el lavado por precipitaciones húmedas es mucho más eficiente que el producido por los procesos de remoción seca (Rubio, 2001), por lo que las remociones húmedas están condicionadas a la cantidad de lluvias existentes en las zonas.

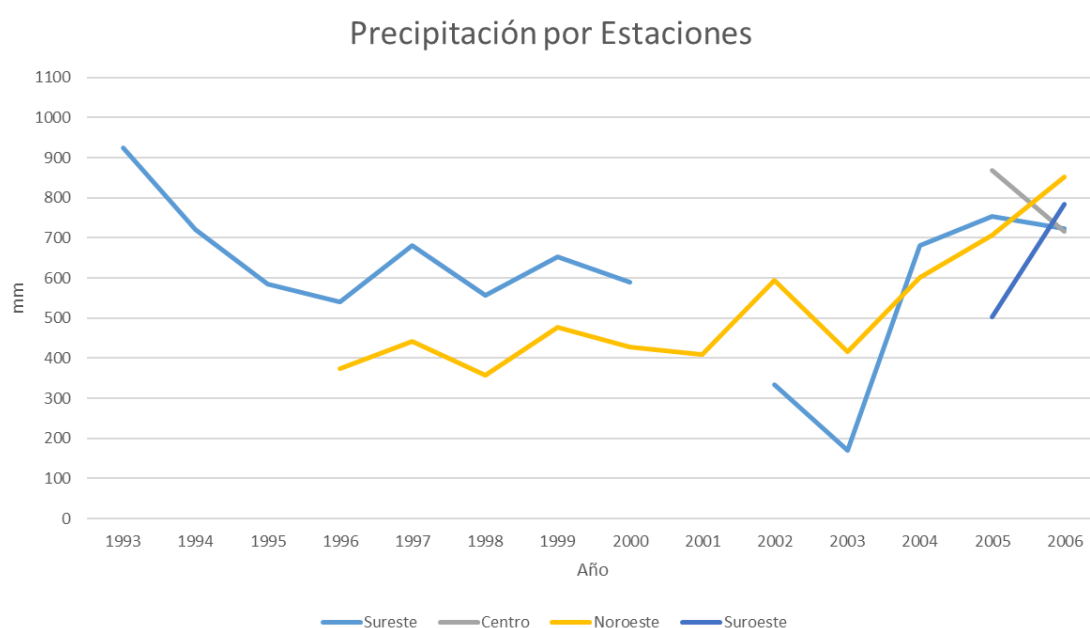


Fig. 5.11. Acumulado de precipitación pluvial anual de 1993 a 2006

En la Fig. 5.11, se analizan los datos de las primeras cuatro de las cinco estaciones instaladas entre 1993 y 2006: Sureste, Centro, Noroeste y Suroeste, por ser las que contenían la mayor cantidad de datos para su análisis. La estación Noreste no presentó ningún registro sino hasta el 2011 por lo cual se excluyeron los datos de esta estación. Durante 14 años se tuvieron valores de entre 400 y 900 mm de precipitación, y en el 2007 se obtuvieron más bien valores por debajo de los 100 mm, por lo cual no se tomaron en cuenta los datos a partir de ese año por la incertidumbre de las bases de datos. Así mismo la estación Centro y Suroeste presentan datos solo a partir del 2005, por lo que se puede esperar que en los años restantes y en la actualidad se hayan presentado valores cercanos a los que se obtuvieron en los años presentados.

Las bases de datos de las estaciones de medida sirven para el SINAICA (Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire), el cual presenta los niveles de calidad del aire y de datos meteorológicos en los diferentes estados de la República Mexicana e incorpora las redes y sus respectivas estaciones presentes en el AMM. Entrando en cada una de ellas sólo se pueden obtener datos a partir de agosto de 2016 donde se muestran promedios de 0.003 a 0.01 mm de precipitación mensual lo cual indica que las mediciones no se están haciendo de forma correcta.

5.7 Orígenes y Patrones de Inmisión de Contaminantes

5.7.1 Dióxido de Azufre (SO₂)

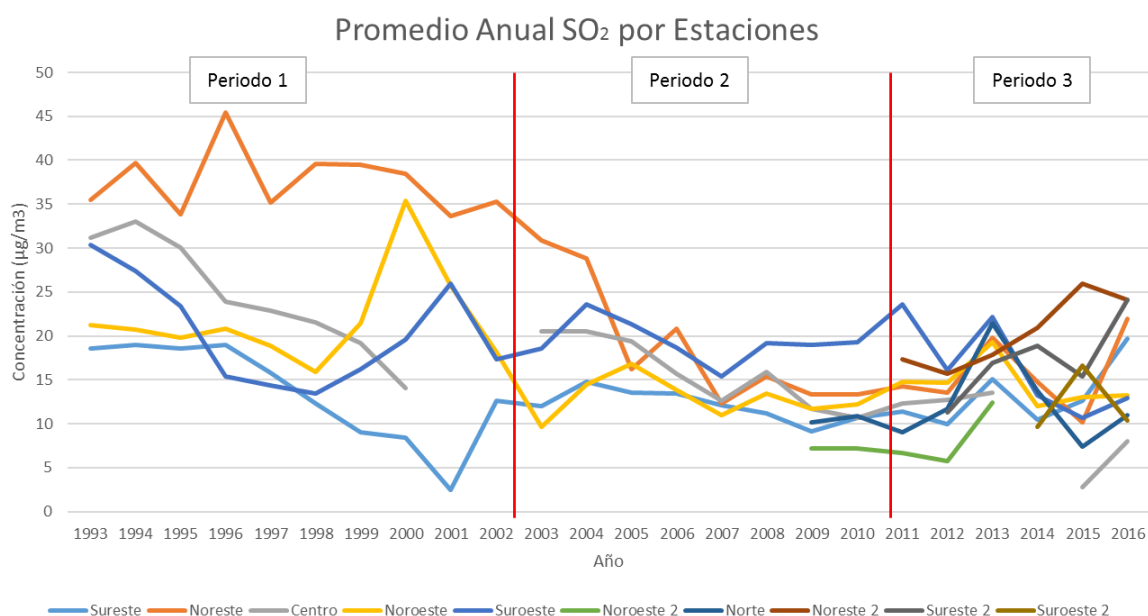


Fig. 5.12. Promedio anual de SO₂ desde 1993 a 2016

En la Fig. 5.12 se observa la evolución temporal de dióxido de azufre. En el Periodo 1 se tuvieron niveles de inmisión que superan los 45 µg/m³, sobre todo en la estación Noreste, la cual es considerada zona de parques industriales. A partir del Periodo 2 se observa un descenso marcado concentraciones situadas entre los 10 y 25 µg/m³ en todas las estaciones. Finalmente, en el último periodo se observa en casi todas las estaciones un ligero incremento de las concentraciones, lo cual puede estar provocado por los vientos, sin embargo, la estación Noreste 2 desde que inició su funcionamiento ha mostrado un aumento más pronunciado a partir del año 2012, ello puede deberse a que se encuentra en Apodaca, la cual es considerada una zona industria y donde se encuentra una termoeléctrica de la CFE (Comisión Federal de Electricidad). En las demás estaciones

se observa que ascienden los niveles a comparación del Periodo 2, las cuales pueden ir en incremento por el efecto de los vientos predominantes las cuales vienen desde el Este y las actividades realizadas en el Noreste pueden estar afectando a las zonas restantes.

En México, la mayoría de los automóviles presentan motores de gasolina, mientras que los vehículos de transporte de público y mercancías presentan motores diésel. Un estudio realizado en el ITESM (Instituto Tecnológico Superior de Monterrey) se recopiló datos de inventario de emisiones por sector en el AMM, y se encontró que las emisiones de SO₂ provienen en un 92% de la industria y sólo en un 8% de vehículos de motor (Obregón, 2004). Otro estudio sobre los inventarios de emisiones del AMM en 1995 (Obregón, 2004), menciona que la industria de generación de energía eléctrica, industria química y de minerales no metálicos, son a las contribuyentes más importante en cuanto a emisiones de SO₂.

En el Informe de Evaluación 2008-2011 del Programa de gestión para Mejorar la Calidad del Aire del AMM, de acuerdo al censo industrial de 2009, en el AMM existen 23,000 establecimientos industriales, los cuales se dividen en industrias de siderurgia, fabricación de maquinaria, artículos metálicos, automoción, productos químicos, celulosa y papel, vidrio, barro, loza cerámica, textil, cemento, electrónica, productos eléctricos, curtidería y productos de hule, cigarros, calzado, cerveza, aceites, jabones, productos lácteos, manufactura de frutas, legumbres y carnes, entre otras (Dirección de Calidad del Aire, 2012). Datos más actualizados de la Secretaría de Economía, con una fecha de actualización del 15 de mayo de 2017, indican que en Nuevo León se encuentran 29,540 industrias registradas (SIEM, 2017). Esto supone un incremento del 22% en 7 años.

Teniendo en cuenta estos datos, en el Programa de gestión para Mejorar la Calidad del Aire del AMM se han impuesto medidas en los sectores de vehículos, transportes e industrias que han ayudado disminuir las emisiones. Las medidas implementadas para el sector de vehículos y transporte se optaron por construir la Ecovía, una línea nueva de metro y el establecimiento de una edad límite de 10 años en los vehículos de transporte urbano de pasajeros. En cuanto al sector industrial se fortaleció un programa permanente de inspección y vigilancia ambiental, el cual se basa en la identificación de licencias de funcionamiento y de las Cédulas de Operación Anual estatales. Otra medida en el programa fue el incentivar el cambio hacia el uso de combustibles más limpios y de tecnologías de control de emisiones de combustión, donde se encuentran proyectos para el desarrollo de procesos para la reducción de óxidos de azufre en gases de combustión (Dirección de Calidad del Aire, 2012).

Analizando los últimos tres años en la Fig. 5.13, se observa que a partir del 2014 empiezan a descender los niveles >30 a 15 µg/m³. En el 2015, el nivel se mantiene por debajo de 20 µg/m³, a excepción de la estación del Noreste 2. En el 2016, las concentraciones vuelven a ascender en ciertas

estaciones, en particular Noreste, Sureste, Noreste 2 y Sureste 2, que corresponden a los municipios de San Nicolás, Guadalupe, Apodaca y San Pedro respectivamente, considerados municipios con alto índice de industrias manufactureras y de elevado tránsito.

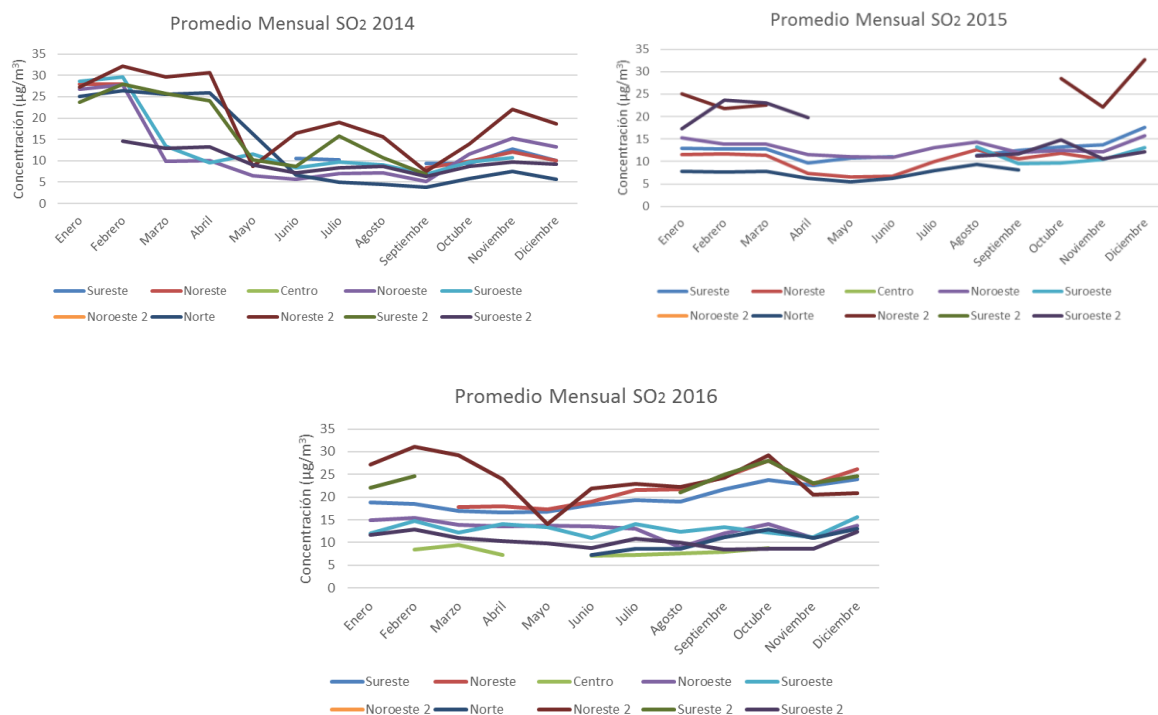


Fig. 5.13. Promedio mensual de SO₂ de los años 2014, 2015 y 2016

Se consideraron las estaciones Sureste y Noreste 2 para un análisis semanal y horario del 2016 por ser las estaciones con mayor número de datos. En cuanto al análisis semanal es posible notar en la Fig. 5.13 que en la estación Suroeste los valores se mantienen estables tanto en verano como en invierno, entre niveles de 20 y 25 µg/m³. Por otro lado, en la estación Noreste 2, observa un incremento de la concentración de SO₂ durante el fin de semana que alcanza los 30 µg/m³, las cuales pueden deberse principalmente por la movilización de vehículos en las zonas o por el efecto de eventos meteorológicos ocurridos en las fechas escogidas para el análisis.

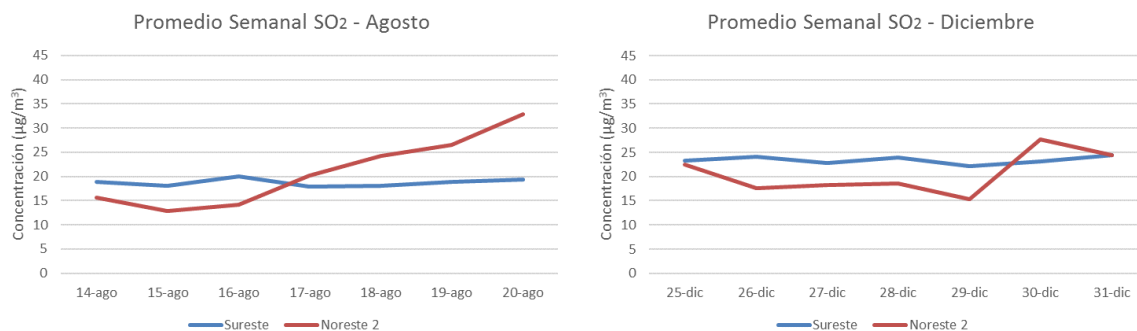


Fig. 5.14. Promedio semanal de SO₂ en agosto y diciembre de 2016

En la Fig. 5.14 se pueden observar los gráficos asociados al análisis horario realizado. En la estación Sureste se observa que a lo largo del día mantiene una concentración de entre 10 y 30 µg/m³. Sin embargo, en la estación Noreste 2 se observa que a partir de las 17 horas empiezan a incrementar los niveles de SO₂, los cuales pueden alcanzar valores de 70 y 80 µg/m³ entre las 23 y 0 horas, los cuales empiezan a descender entre la 1 y 3 de la madrugada. Esto puede ser provocado por diversos factores independientes o simultáneos: cambio de las condiciones atmosféricas desde la puesta hasta la salida del sol donde los vientos pueden cambiar de dirección, la puesta en marcha de diferentes fábricas que se encuentran en la zona, movilización de la población a las diferentes zonas del AMM, entre otras.

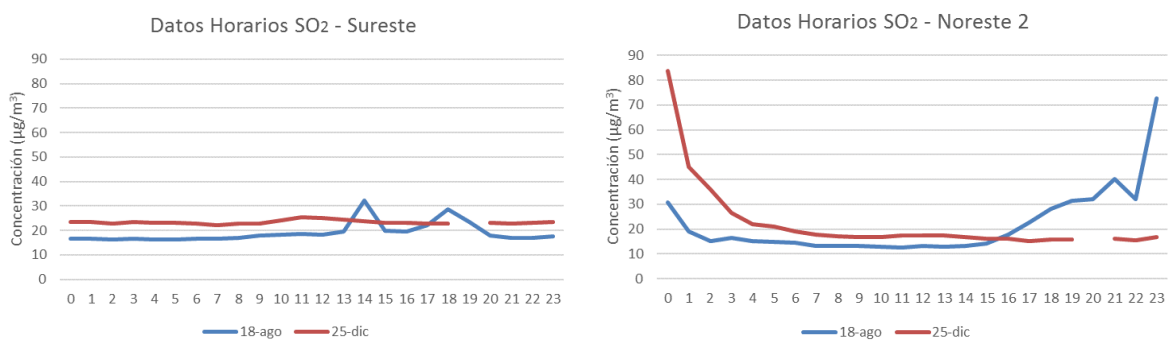


Fig. 5.15. Datos horarios de SO₂ en verano e invierno de 2016

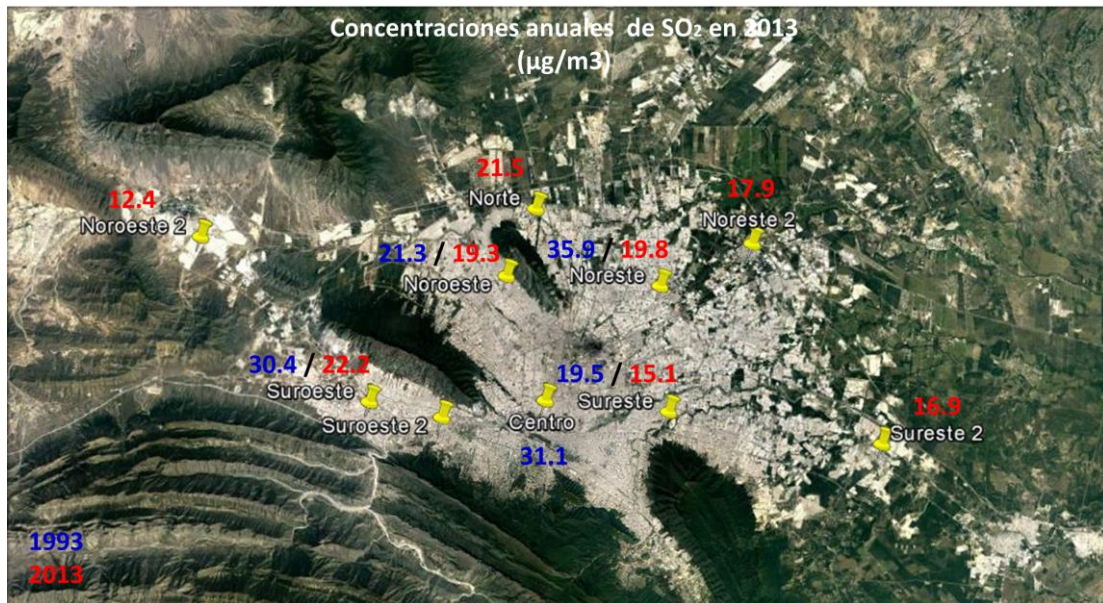


Fig. 5.16. Análisis espacial del SO₂ en 1993 y 2013

En la Fig. 5.16, se muestra la distribución espacial de las concentraciones en 1993 y 2013. Se observa que las mayores concentraciones se centran entre las siguientes estaciones: Sureste (Guadalupe), Noreste (San Nicolás), Norte (Escobedo) y Noroeste (Monterrey) y Noreste 2 (Apodaca). En las zonas mencionadas están ubicadas gran parte de los parques industriales que se distribuyen en el AMM (Fig. 5.17), los cuales suelen ser emisores de SO₂ importantes por la utilización de combustibles fósiles y la fundición de metales. En las estaciones restantes, las concentraciones obtenidas pueden deberse a la influencia de los vientos o la movilización de la población, los cuales generan el arrastre de los contaminantes hacia dichas zonas. También se observa una reducción significativa comparando los dos años, sobre todo en las estaciones Noreste y Suroeste.

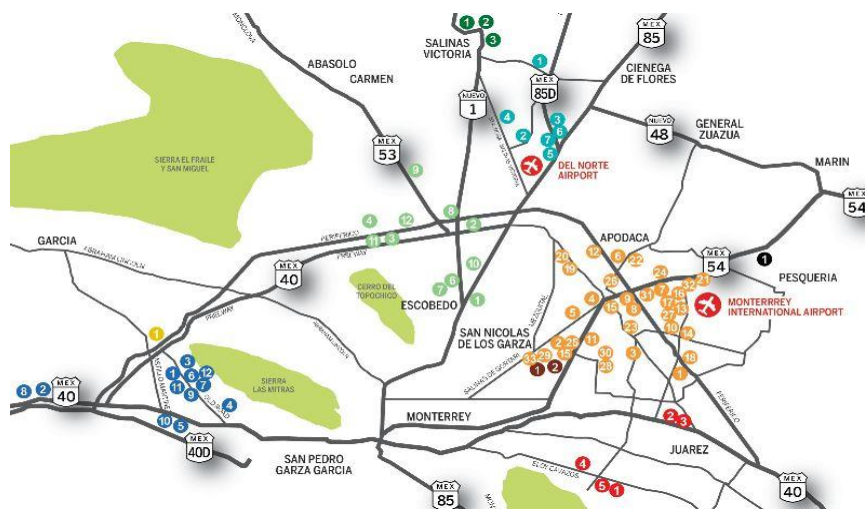


Fig. 5.17. Distribución de parques industriales en el AMM (Mexico Industrial Maps, 2017)

5.7.2 Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

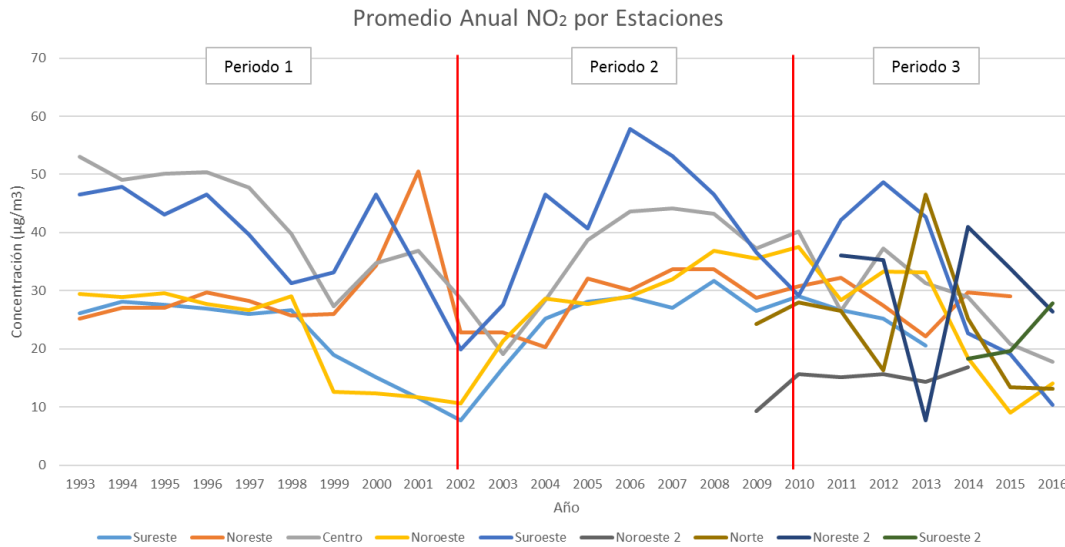


Fig. 5.18. Promedio anual de NO₂ desde 1993 a 2016

La evolución del NO₂ es algo incierta en la zona, como se puede observar en la Fig. 5.18, a lo largo de los años no existe una tendencia clara. Es decir, en ciertas estaciones los niveles ascienden mientras que en otras disminuyen. En el Periodo 1, se observa que las concentraciones ascienden hasta llegar por arriba de los 50 µg/m³ en las estaciones Centro, Noreste y Suroeste, mientras que en otras estaciones descienden hasta los 10 µg/m³ en las estaciones Noroeste y Sureste. En el Periodo 2, se observa que alcanzan niveles de aproximadamente de 60 µg/m³ en la estación Suroeste, mientras que en las demás estaciones las concentraciones tienden a estar entre los 30 y 40 µg/m³. Por último, en el Periodo 3 existe una tendencia a descender hasta valores entre los 10 y 30 µg/m³ en todas las estaciones. En el Periodo 3 los niveles se dispersan en todas las zonas haciendo algo difícil su análisis. En los últimos dos años se aprecia una tendencia la cual es a descender, lo cual se puede dar por regulaciones que se empezaron a introducir por los programas existentes.

De acuerdo al reporte anual de 2016 de la CFE, el estado de Nuevo León es el estado con más ventas de electricidad en el 2016, teniendo una cifra de venta de 18,609,543.17 MWh, distribuidos en 1,848,549 usuarios, de los cuales un 88.6% equivale al sector doméstico, 9.8% comercial, 0.5% servicios, 0.3% agrícola y 0.5% industrial (CFE, 2016). En Nuevo León, existen dos Centrales Termoeléctricas, que, de acuerdo al Programa de Obras e inversión del Sector Eléctrico 2007 – 2016 de la CFE, el principal combustible utilizado en las centrales de Nuevo León, ubicadas al Noreste del AMM, es gas natural (CFE, 2015), lo cual la generación de esta electricidad en la termoeléctrica puede ser factor de las emisiones de este contaminante.

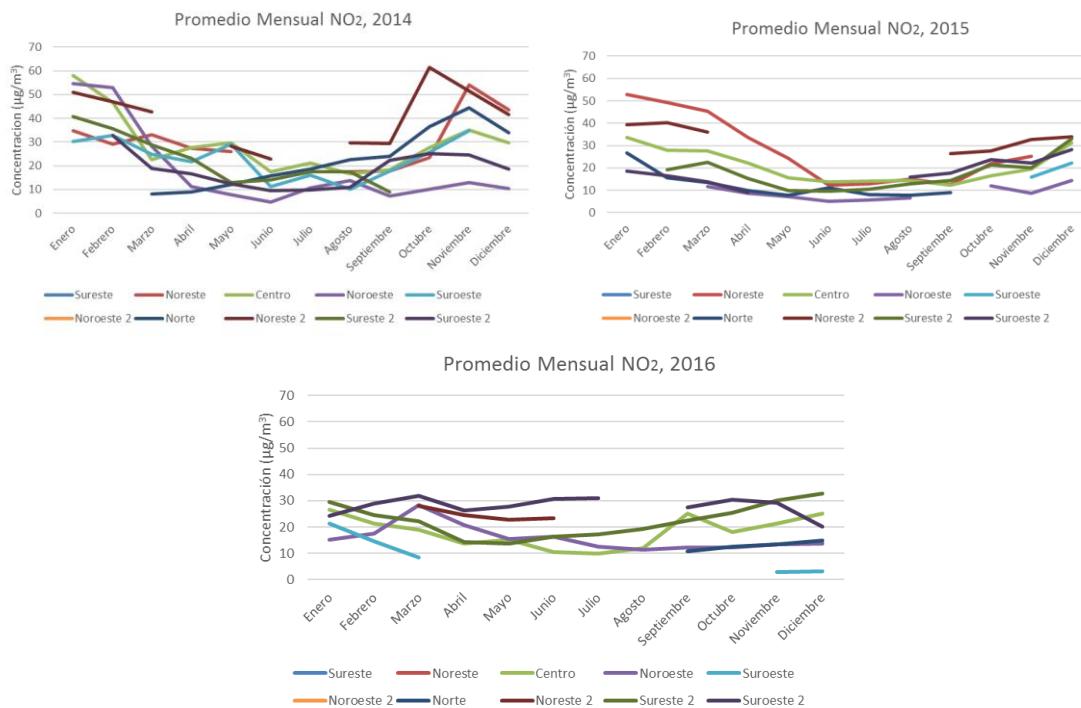


Fig. 5.19. Promedio mensual de NO₂ en los años 2014, 2015 y 2016

En las gráficas de la Fig. 5.19, se observa una ligera tendencia de disminución de las inmisiones en los meses de verano y ascienden en los meses de invierno. Así mismo, se observa que las inmisiones han disminuido de forma considerable tomando como referencia el 2014, donde se tenían concentraciones cercanas a los 60 µg/m³, tanto a principio como a finales del año, mientras que en el 2016 se registraron concentraciones cercanas a los 30 µg/m³ a lo largo del año. Esto se puede deber a las medidas tomadas por el Programa de gestión para Mejorar la Calidad del Aire del AMM, explicadas en el apartado 5.2.2.

Para realizar el análisis semanal (Fig. 5.20) se consideraron las estaciones: Sureste 2 y Suroeste 2, y una semana correspondiente al mes de julio y otra correspondiente al mes de diciembre del 2016. Ambas estaciones presentan diferentes patrones por el hecho de la zona en donde se encuentran. La estación Sureste 2 se encuentra en el municipio de Juárez donde la actividad industrial y vehicular no es tan alta, y mientras que la estación Suroeste 2 se ubica en San Pedro, cerca de Santa Catarina, que es considerada una zona industrial y de mucho movimiento de vehículos de carga.

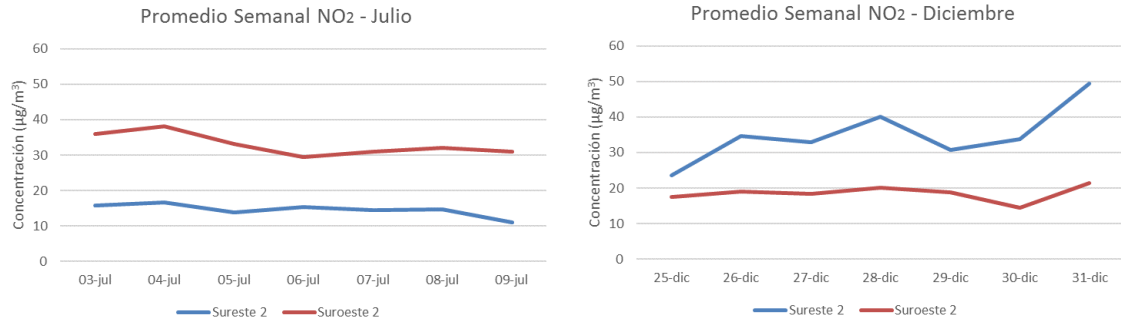


Fig. 5.20. Promedio semanal de NO₂ en julio y diciembre de 2016

Se observan dos comportamientos estacionales, en verano la estación Suroeste 2 presenta mayores niveles de inmisión a lo largo de la semana, con valores entre 30 y 40 µg/m³, mientras que en invierno las inmisiones disminuyen hasta estar por debajo de los 20 µg/m³. Lo contrario ocurre en la estación en la estación Sureste, donde en verano las inmisiones están por debajo de los 20 µg/m³ mientras que en invierno ascienden hasta valores cercanos a los 50 µg/m³. Esto se puede deber a que en invierno las industrias suelen paralizar sus producciones debido a las vacaciones de invierno, lo que ocasiona la disminución de las inmisiones. Adicionalmente, en estas fechas existe mucha movilidad hacia el Suroeste por el hecho de que esta la carretera hacia Reynosa, Tamaulipas, la cual es muy utilizada para viajar al extranjero, ya que conecta a México con Estados Unidos.

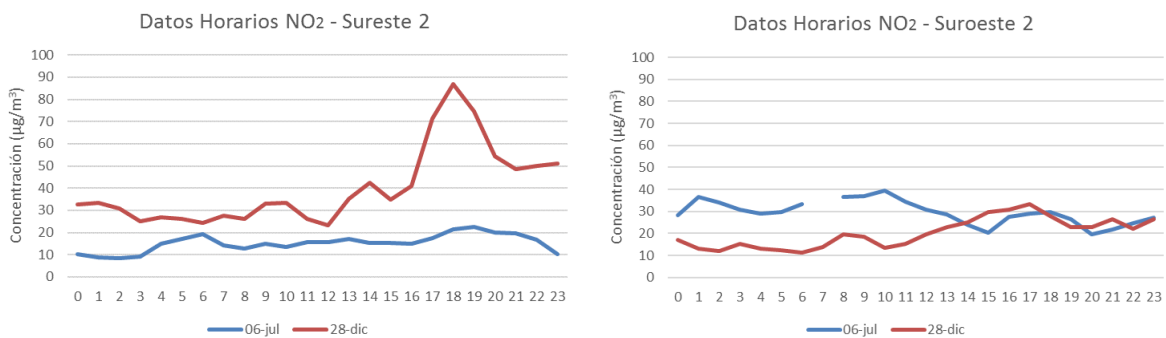


Fig. 5.21. Datos horarios de NO₂ en verano e invierno de 2016

Analizando los datos horarios (Fig. 5.21) se observa que, en diciembre, en la estación Sureste 2, las inmisiones tienden a incrementar a partir de las 17 horas alcanzando un pico a las 18 horas con niveles cercanos 90 µg/m³, mientras que en julio las inmisiones <20 µg/m³. Por otro lado, en la estación Suroeste 2 se mantienen estables durante el día y <40 µg/m³.

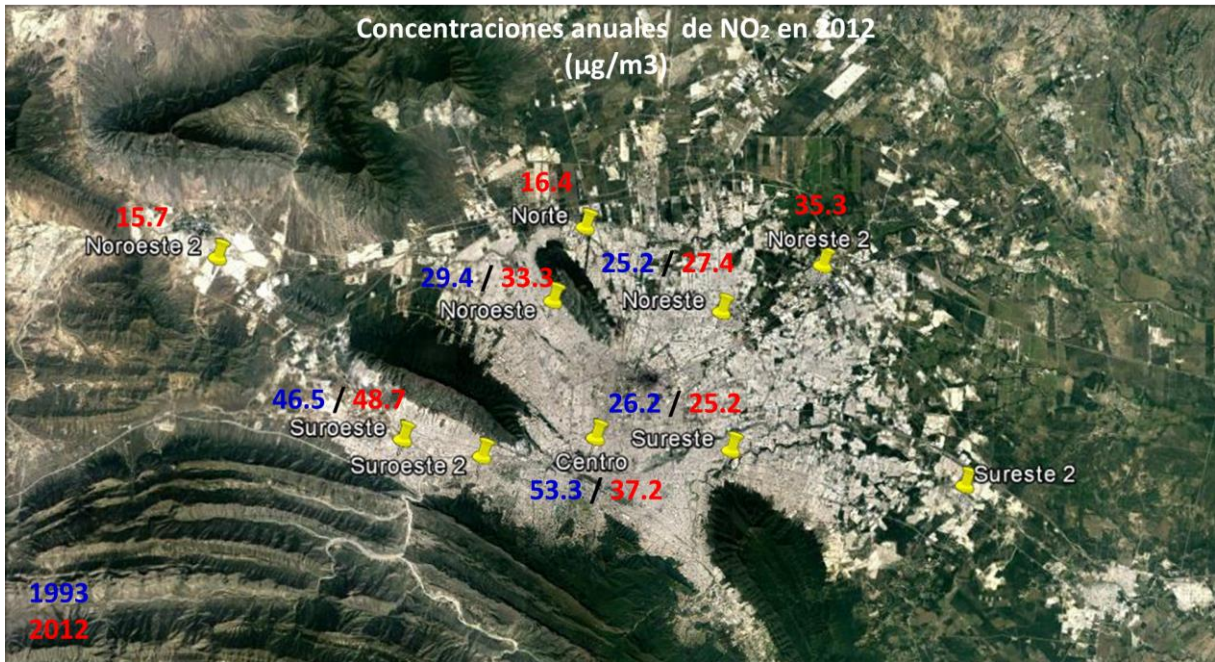


Fig. 5.22. Análisis espacial del NO₂ en 1993 y 2012

Haciendo un análisis espacial de las concentraciones anuales de 1993 y 2012, en la Fig. 5.22 se observa que las estaciones Suroeste (Santa Catarina) y Norte (Escobedo), Noroeste (Monterrey) y Centro (Monterrey) son las que presentan las mayores concentraciones. En estas zonas la movilización de los vehículos es mayor, principalmente por ser rutas para las zonas industriales y de movilización de transportes pesados que van hacia las carreteras. Entre las demás zonas las concentraciones son bajas, sin embargo, en dicho año no se tienen datos para las estaciones Sureste y Suroeste 2 las cuales también suelen ser zonas de alto movimiento de vehículos. La reducción de las concentraciones es más significativa en las estaciones Centro, mientras que en otras aumentaron las concentraciones (Suroeste y Noroeste), lo cual se puede deber al incremento de vehículos en el AMM.

5.7.3 Monóxido de Carbono (CO)

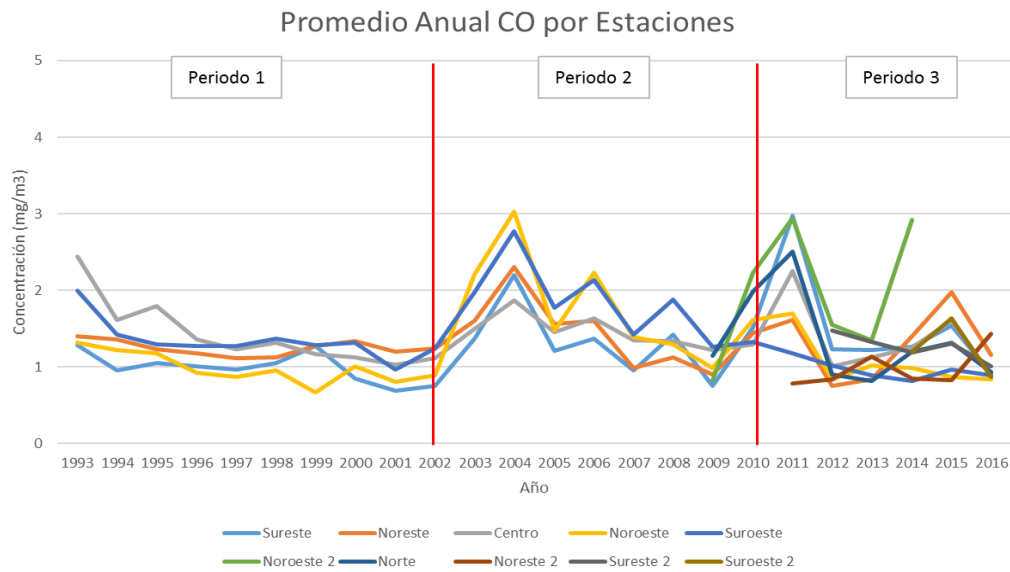


Fig. 5.23. Promedio anual de CO desde 1993 a 2016

En el análisis de los datos de CO anuales (Fig. 5.23), es posible observar que en el Periodo 1 la tendencia es descender hasta niveles entre 1.0 y 1.5 mg/m³, sin embargo, en el Periodo 2, a partir del 2003, los niveles ascienden hasta los 3 mg/m³, posteriormente descienden de forma escalonada hasta el 2009 llegando a niveles similares a los que se tenían en el Periodo 1. Finalmente, en el Periodo 3 se observa el mismo patrón de que en los primeros ascienden los niveles hasta los 3 mg/m³ y después desciende a niveles intermedios entre 1 y 2 mg/m³.

Según los datos de la INEGI, la composición del parque vehicular indica que los vehículos particulares tipo sedán representan el 52%, los vehículos pick-up ocupan el segundo lugar con 40%, el 3% corresponde a los camiones y cerca del 3% a los taxis (INEGI, 2017). El transporte público contribuye con el 1% del parque vehicular (Sánchez, 2003). En la Fig. 5.24 se observa el incremento notorio de los vehículos desde el año 2001 teniendo un descenso en el 2014 y aumentado en el 2015 lo que puede concretar la suposición de que el incremento acelerado de los vehículos en la zona pueda estar afectando las concentraciones de CO en la atmósfera.

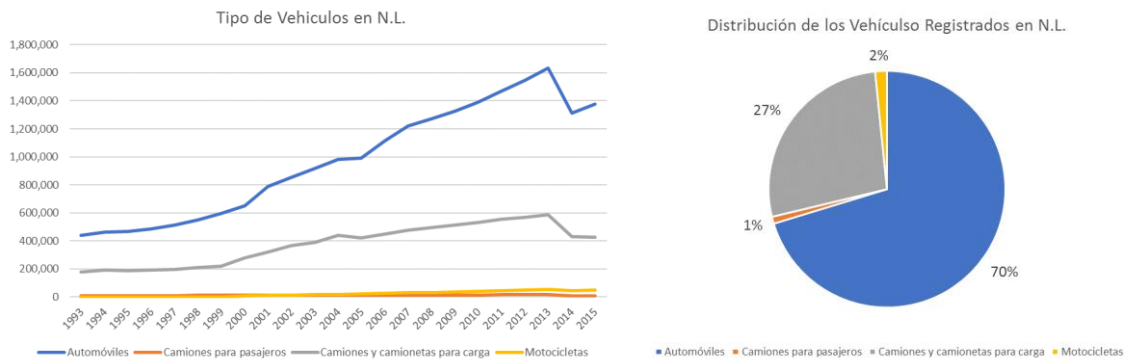


Fig. 5.24. Vehículos registrados en N.L. de 1993 a 2015 (INEGI, 2015)

Un elemento adicional que contribuye a la mayor intensidad de las emisiones del sector transporte, es la velocidad a la que se desplazan los vehículos en las zonas urbanas. En un estudio acerca de estrategias de control de contaminación del aire por emisiones del transporte en el AMM, se menciona que la velocidad promedio vehicular en el AMM es de 20 a 30 kilómetros por hora (Sánchez, 2003). A pesar de que existen interrupciones viales por motivos de remodelación de pavimento o manifestaciones, éstas son de muy baja frecuencia. Aunque es difícil cuantificar el impacto ambiental ocasionado por estas obstrucciones viales, es una realidad que, al disminuir significativamente la velocidad de viaje, se incrementan las emisiones vehiculares de HC y CO, sobre todo en los vehículos con carburador (Sánchez, 2003). Según los datos reportados por la INECC sobre el inventario de emisiones en el 2014 de CO₂, el cual se forma al oxidarse el CO, las fuentes móviles representan el primer lugar de emisiones contribuyendo con un 26.2% del total (INECC, 2014).

En la Fig. 5.25 que representa el promedio mensual de las emisiones de CO de los últimos meses del año, las concentraciones son >3 mg/m³, mientras que el resto del año las concentraciones se encuentran entre 1 y 2 mg/m³. A pesar de que la fuente principal de emisión se produce en el sector de transporte, también se debe de tomar en cuenta que a nivel doméstico existen aparatos que queman combustibles fósiles, tales como estufas, hornillas o calentadores. En invierno, la población utiliza estos aparatos domésticos con mayor frecuencia, aumentando la emisión de este contaminante. Este incremento se observa más pronunciadamente en el 2014.

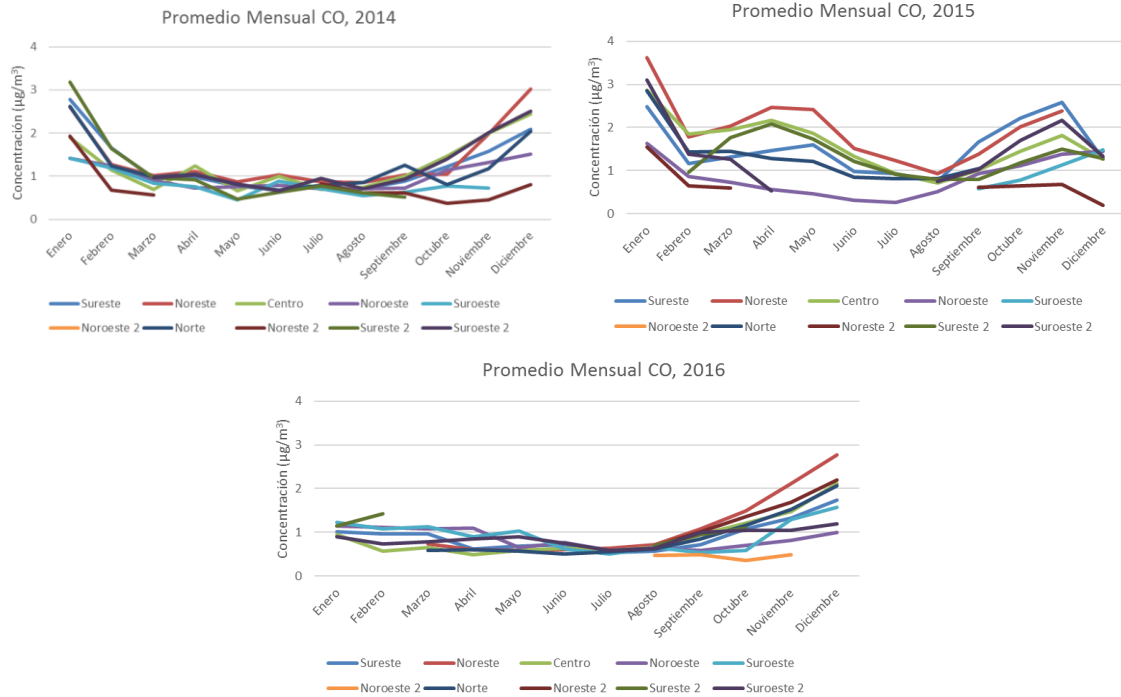


Fig. 5.25. Promedio mensual de CO en los años 2014, 2015 y 2016

Al realizar un análisis semanal (Fig. 5.26), las estaciones Noreste y Noroeste 2 muestran que en verano los niveles se mantienen estables en toda la semana con rangos cercanos a 1 mg/m^3 , mientras que en invierno empiezan a variar y ascender pudiendo alcanzar a los 4 mg/m^3 . En ambas estaciones se observa el mismo comportamiento ya que no se encuentran tan alejadas una de la otra. Sin embargo, la estación Noreste se ubica entre San Nicolás y Apodaca, donde en ambos municipios hay zonas industriales y son municipios con alto movimiento de transporte urbano.

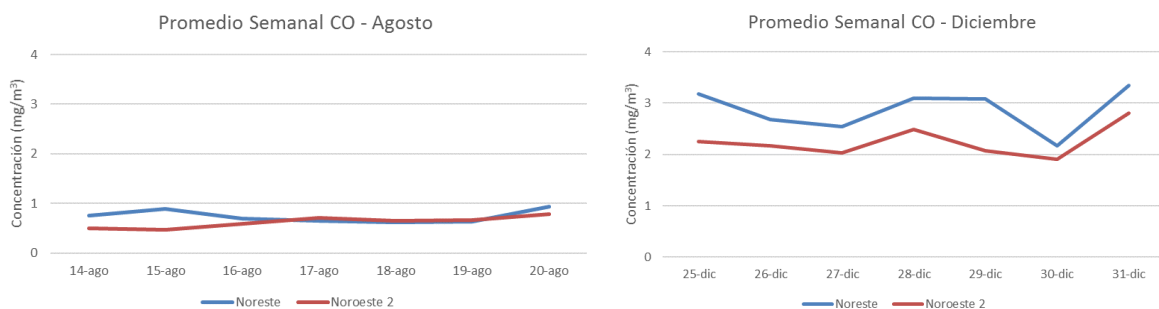


Fig. 5.26. Promedio semanal de CO en agosto y diciembre de 2016

El análisis horario (Fig. 5.27) muestra que en invierno las horas en las cuales las concentraciones de CO son más elevadas son a partir de las 16 horas hasta las 5 horas, ya que la temperatura empieza a disminuir, lo que ocasiona que la población utilice más los aparatos domésticos que proporcionan calor. También se puede observar que, en la estación Noreste, los aumentos que se dan en la concentración durante el invierno son mayores que los que se dan en la estación Noreste 2.

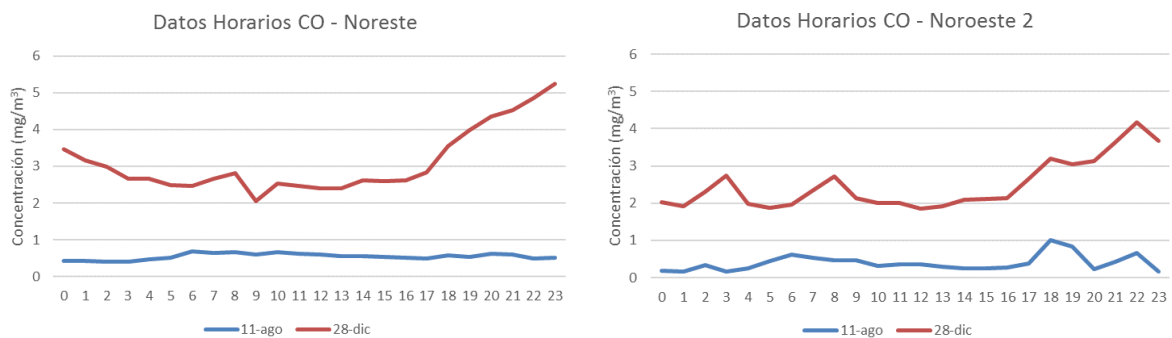


Fig. 5.27. Datos horarios de CO en verano e invierno de 2016

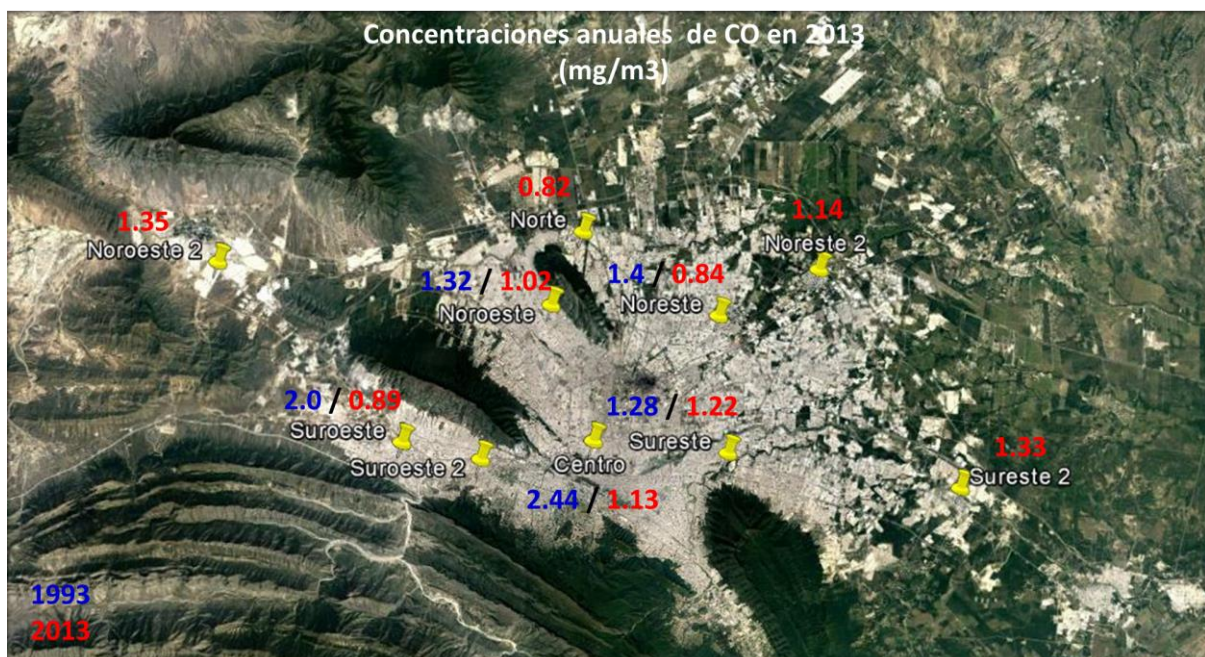


Fig. 5.28. Análisis espacial del CO en 1993 y 2013

Al realizar el análisis espacial (Fig. 5.28) se observa que la estación Noroeste 2 (García), Sureste 2 (Juárez) y Sureste (Monterrey), son las zonas que presentan la mayor concentración de este contaminante. Las zonas industriales parecen no afectar este contaminante, por lo cual la mayoría

de la emisión de este contaminante debe provenir de la movilización de los vehículos y por el tipo de combustible utilizado y de los aparatos electrodomésticos utilizados por los ciudadanos. Por ser el año analizado no se tienen los datos de la estación Suroeste 2, sin embargo, de acuerdo a la Fig. 5.23, en el año 2016, se registró una media anual 0.87, por lo cual se puede considerar que en dicha zona no existe gran problema con este contaminante.

5.7.4 PM₁₀

La evolución de este contaminante es uno de los más preocupantes ya que desde que se empezaron a registrar las concentraciones de este contaminante siempre han sido altas. En la Fig. 5.29, en el Periodo 1, se observa que, al principio de la serie, la concentración tiende a disminuir, sin embargo, a partir de 1998 empieza a incrementar hasta llegar a concentraciones anuales por encima de los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ anuales. En el Periodo 2, la estación Sureste se mantuvo durante seis años con concentraciones $>100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en las demás estaciones se tuvieron niveles entre 60 y 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el año 2000 la concentración anual de PM₁₀ fue de 57.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, concentración que fue aumentando de forma acelerada hasta alcanzar 87.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2005. En el último periodo se observa que existe una disminución a partir del 2012, sin embargo, hasta la fecha, se mantiene entre los rangos de 50 y 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en todas las estaciones.

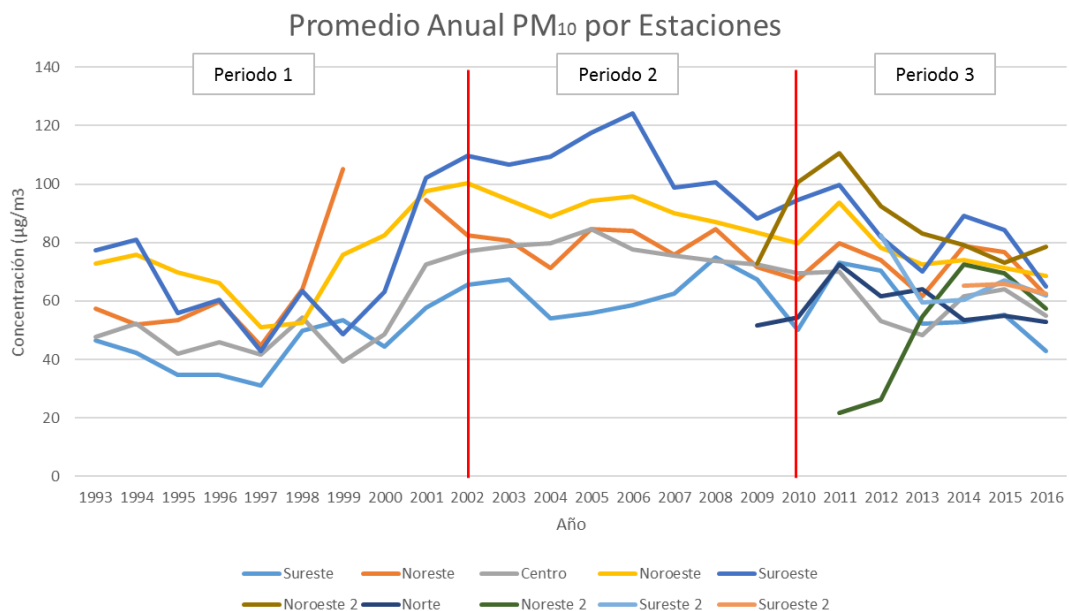


Fig. 5.29. Promedio anual de PM₁₀ de 1993 a 2016

Según un estudio realizado en el ITESM (Cardona, 1999) y los reportes del Programa de Administración de la Calidad del Aire del AMM 1997-2000 (Gobierno N.L., ProAire, 2000) las principales fuentes reportadas en el inventario de emisiones de 1995 identificadas fueron:

- **Industrial:** La contribución corresponde al 23% de la industria química, 20% de minerales no metálicos, 17% de productos de consumo de vida media, 12% de productos de consumo de vida larga y el 6% de minerales metálicos, siendo así la industria de minerales no metálicos la de mayor contribución. Estas industrias están localizadas al Este y contribuyeron con 45,946 ton/año de PM₁₀, de acuerdo al inventario de emisiones de 1995. Otro factor que también contribuyó, fueron los vientos predominantes que soplan del Este, los cuales arrastran estas partículas hacia las demás zonas del AMM, sobre todo hacia el centro de Monterrey.
- **Servicios:** Su fuente es diversa, principalmente por combustión residencial y combustión comercial e institucional.
- **Transporte:** Puede ser directa por la combustión de gasolina y diésel o las indirectas debido a los frenos, neumáticos y pavimento y la resuspensión de partículas que se da cuando los vehículos transitan sobre calles pavimentadas y no pavimentadas. Según el reporte de 1995 el transporte contribuye con 5,941 ton/año, lo cual representa el 0.73% de las emisiones (Gobierno N.L., ProAire, 2000).
- **Pedreras:** Ubicadas al Noroeste del AMM, a un costado del cerro de las Mitras. Éstas tienen un impacto importante en la salud de los habitantes de la zona, ya que la fluctuación en dirección e intensidad del viento arrastran las partículas generadas por las operaciones de las empresas. De acuerdo a un estudio del Programa de Administración de Calidad del Aire del AMM 1997-2000, éstas emiten 36,080 ton/año de PST de las cuales 5,333 a 8,980 ton/año son de PM₁₀. Sus fuentes de emisión que más aportan son el transporte y manejo del material (35%), la molienda y el tamizado de la materia prima (31%), las caídas de material (21%) y las bandas transportadoras (4%) (Gobierno N.L., ProAire, 2000).
- **Fuentes Naturales:** Son las fuentes que más contribuyen a la contaminación por partículas. Estas zonas se encuentran principalmente localizadas en los sectores occidentales del AMM. Se estimó una emisión de 12,195 ton/año de las emisiones fue en áreas donde se localizan asentamientos humanos irregulares; las áreas agrícolas aportan el 23.8%; el matorral nativo se debe el 11.4%; las áreas planas sin cubierta contribuyen con el 10.9%, el pasto inducido con el 1.3% y las minas abandonadas el 0.4% (Gobierno N.L., ProAire, 2000).

Haciendo un análisis mensual de los últimos 3 años (Fig. 5.30), se observa que, en todos los años, la concentración de PM₁₀ tiende a ser >80 µg/m³, haciéndose más notorio en los primeros y últimos

meses del año. La condición de la calidad del aire es preocupante ya que han alcanzado a estar por encima de los $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sobre todo en las estaciones Noroeste y Suroeste. Otro punto a analizar es que en año 2016, las concentraciones alcanzaron valores alrededor de los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el primer cuarto del año, que representa una disminución en comparación con los años anteriores que presentaban niveles próximos a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

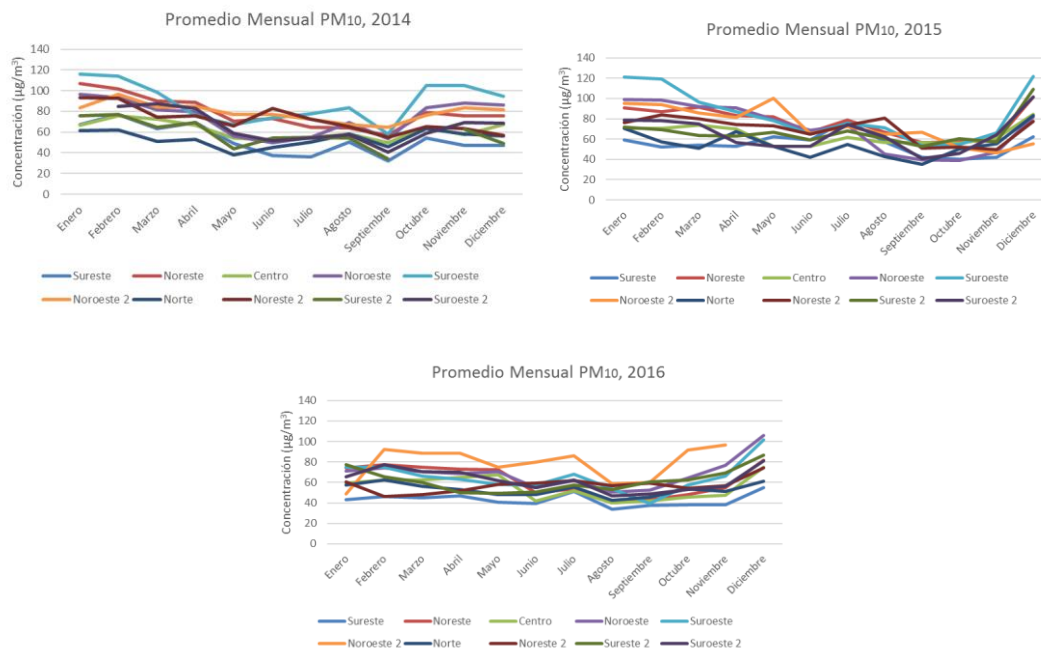


Fig. 5.30. Promedio mensual de PM_{10} en los años 2014, 2015 y 2016

Para el análisis semanal y horario se eligieron las estaciones Noroeste y Suroeste por ser las que presentaban las mayores concentraciones de PM_{10} en el 2016. En el análisis semanal (Fig. 5.31) se registraron concentraciones con niveles altos en ambas temporadas, donde en verano se registraron concentraciones por alrededor de los $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en invierno se llegó a niveles cercanos a los $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$. No se observa una tendencia en ninguna de las temporadas que indique el aumento o la disminución de las concentraciones en algún día de la semana, sin embargo, se observa que las concentraciones suelen ser elevadas durante toda la semana las cuales afectan a toda la población.

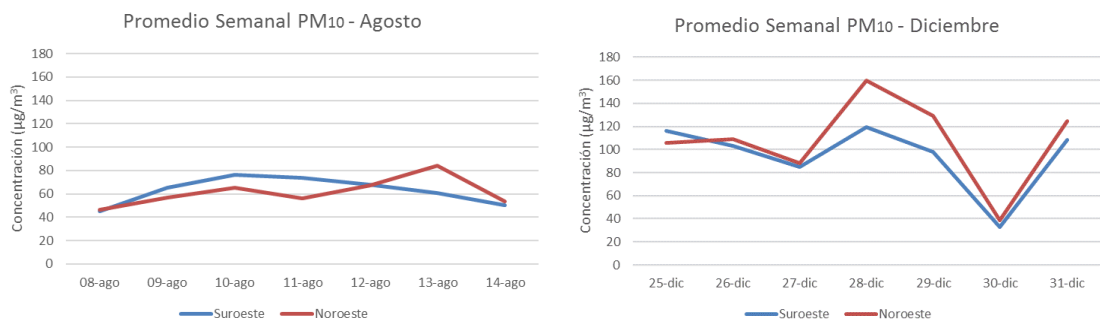


Fig. 5.31. Promedio semanal de PM₁₀ en agosto y diciembre de 2016

En el análisis horario (Fig. 5.32), se observa que en invierno a ciertas horas existe una tendencia donde las concentraciones descienden en las primeras horas del día (entre 50 y 150 µg/m³), sin embargo, a partir de las 16 horas los niveles empiezan a ascender. Este comportamiento se puede deber a la movilidad de la población al salir de sus labores diarios. Así mismo se observa que en verano se pueden llegar a tener concentraciones >250 µg/m³, mientras que en invierno los niveles son cercanos a 400 µg/m³. De acuerdo a la Guía de Calidad del Aire de la OMS (OMS, 2005), expone que en estudios múltiples realizados en Europa (29 ciudades) y en los Estados Unidos (20 ciudades) exponen que los índices de mortalidad a corto plazo con PM₁₀ son de 0.62% y 0.46%. Estos resultados indican que exposiciones breves a PM₁₀ suponen riesgos en la salud, por consiguiente, cabe suponer que una concentración de 150 µg/m³ dará lugar a un incremento aproximado de la mortalidad del 5%.

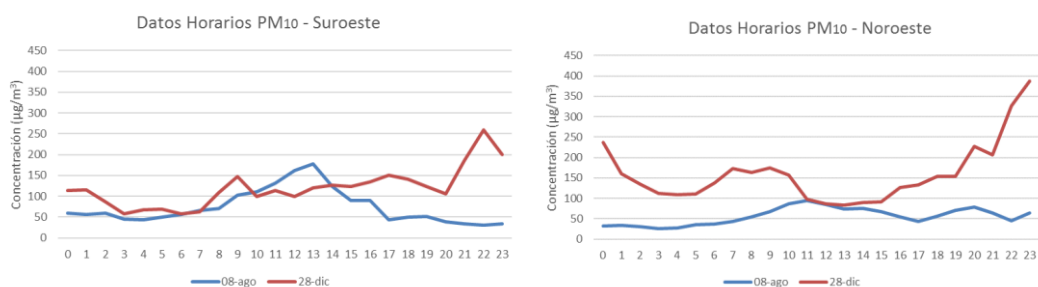


Fig. 5.32. Datos horarios de PM₁₀ en verano e invierno de 2016

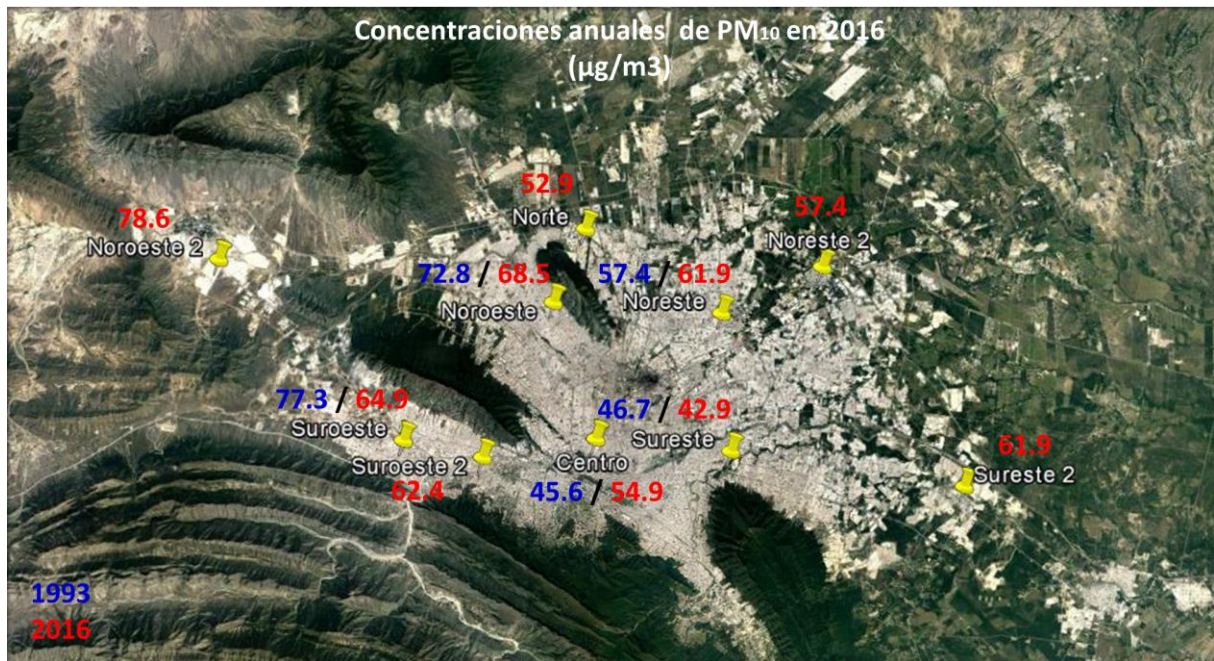


Fig. 5.33. Análisis espacial del PM₁₀ en 1993 y 2016

En el análisis espacial del año 1993 y 2016 (Fig. 5.33), se puede observar que las estaciones Suroeste (Santa Catarina), Noroeste (Monterrey), Noroeste 2 (García) y Suroeste 2 (San Pedro) son las zonas más afectadas por este contaminante. A la redonda de estas estaciones se encuentran la mayoría de las empresas dedicadas a la extracción de piedra (pedreras) las cuales son la principal fuente de este contaminante, además del efecto de los vientos que tienen componente el cual arrastra los contaminantes de otras zonas hacia las previamente mencionadas. En las otras zonas, aunque no sean las que presentan mayores concentraciones, los niveles son altos los cuales afectan la salud y de mortalidad a corto plazo en los habitantes de las zonas. También se observa que las concentraciones en algunas estaciones han ido disminuyendo a comparación de los registros de 1993, sin embargo dicha reducción no es significativa para los valores que se tienen hoy en día.

5.7.5 PM_{2.5}

PM_{2.5} comenzó a medirse en las primeras 5 estaciones en el 2003, por lo que en el Periodo 1 no se tienen datos y se incluyó como medida estándar conforme fueron instaladas las 5 estaciones restantes. Adicionalmente, las medidas obtenidas en las estaciones que fueron instaladas posteriormente no eran precisas, sobre todo en las estaciones Noroeste 2 y Norte, por lo cual existe una escasez de datos de los PM_{2.5} lo que dificulta su discusión, sobre todo en el Periodo 3.

En la Fig. 5.34 se aprecia el mismo comportamiento a través de los años observado con los PM₁₀. En el Periodo 2, se observan niveles entre 25 y 45 µg/m³. Posteriormente, a partir del 2009 se da un descenso en los niveles, los cuales se mantuvieron entre 15 y 30 45 µg/m³ hasta el 2010. A pesar de tener datos escasos para el Periodo 3, los niveles se mantuvieron los niveles como se tenían en el 2010, sin embargo, se observa en la estación Norte incremento en el 2011 por encima de los 35 µg/m³.

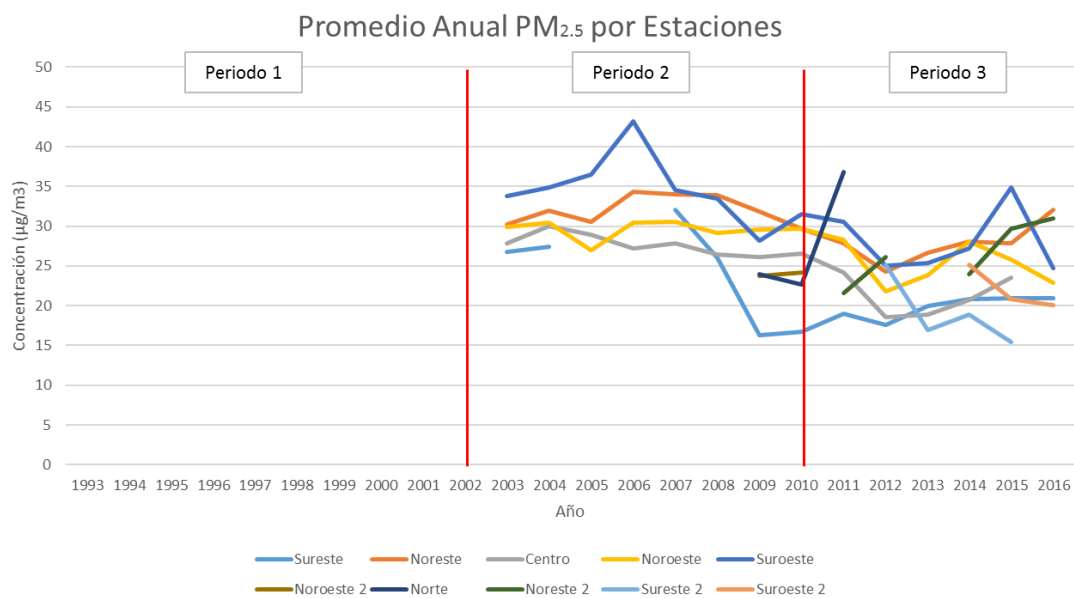


Fig. 5.34. Promedio anual de PM_{2.5} de 1993 a 2016

Debido a su tamaño, los PM_{2.5} representan una mayor peligrosidad que los PM₁₀, por lo cual afectan la calidad de vida de la población expuesta incrementando la incidencia de enfermedades respiratorias en el AMM. Según un estudio realizado en el AMM sobre la evaluación a la exposición a estas partículas (Rojas, 2006), en el 2005 las infecciones respiratorias agudas ocuparon el primer lugar de incidencia en el AMM (tasa por 1000 habitantes de 63.2%). El continuo desarrollo urbano e industrial de Monterrey ha deteriorado y alterado la calidad del aire y por eso la salud de sus habitantes se encuentra amenazada por las partículas. La Guía de la Calidad del Aire de la OMS (OMS, 2005), establece que la concentración media histórica de PM_{2.5} en el estudio de seis ciudades sobre la exposición prolongada y la mortalidad de los ciudadanos fue de 18 µg/m³ (intervalo entre 11 y 29.6 µg/m³), por lo que observando estos niveles que se tienen en ciertas zonas del AMM resulta preocupante ya que la mayoría de las estaciones son >20 µg/m³.

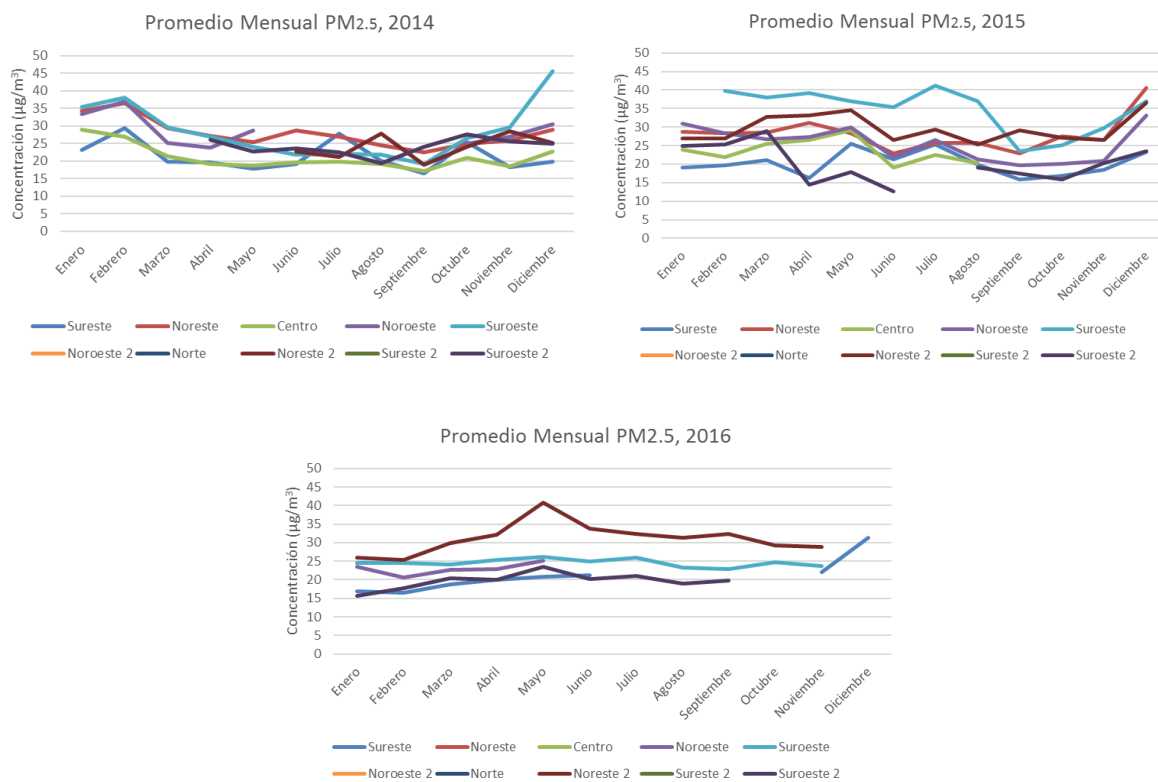


Fig. 5.35. Promedio mensual de PM_{2.5} en los años 2014, 2015 y 2016

En la Fig. 5.35, se observa que en los últimos tres años la media mensual se encuentra alrededor de los 45 µg/m³, haciéndose más notorio en los últimos dos años sobre todo en los meses de abril y mayo. También se observa que en noviembre y diciembre las concentraciones suelen incrementar hasta los 30 µg/m³. Otra observación es que, en épocas de verano, en el 2014, las concentraciones se mantienen estables en todas las estaciones con rangos entre 15 y 30 µg/m³, sin embargo, éstas llegan a aumentar en invierno, sobre todo en la estación Suroeste la cual alcanzó niveles por arriba de los 45 µg/m³. Posteriormente en el 2015, las concentraciones se mantuvieron en un rango de 35 y 40 µg/m³ y en el 2016 se mantuvieron entre los 20 y 25 µg/m³. La estación Noroeste 2, presenta un comportamiento similar, con la diferencia de que en el 2014 y 2015 se mantuvo por debajo de los niveles de la estación Suroeste, pero en el 2016 estuvo por niveles cercanos a los 40 µg/m³ en épocas de verano, recordando que dicha estación se encuentra ubicado en la zona donde la mayoría de las pedreras trabajan. De acuerdo a Anuario Estadístico de la Minería Mexicana (SGM, 2016), la producción de piedra caliza, la cual es la principal producción en las pedreras del Estado, de 9.5 millones de toneladas producidos en el 2011, en el 2014 se produjeron más de 95 millones de toneladas y en el 2015 más de 101 millones de toneladas de piedra caliza, por lo cual se considera que la principal influencia de este contaminante en la zona de Suroeste es debido a la excesiva producción de las pedreras.

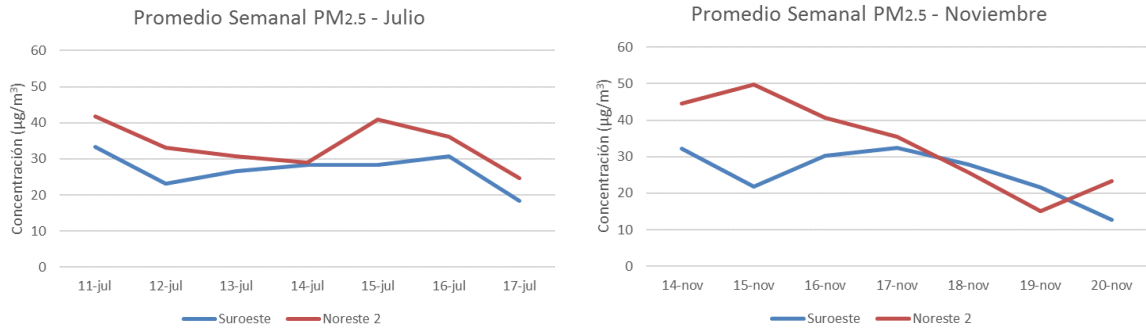


Fig. 5.36. Promedio semanal de PM_{2.5} en julio y noviembre de 2016

Para realizar un análisis semanal y horario se tomaron en cuenta las estaciones Suroeste y Noreste 2 por ser las más afectadas. En la tendencia semanal (Fig. 5.36) se observa que los niveles son similares en ambas épocas del año con niveles cercanos a los 50 µg/m³ existiendo un descenso los últimos tres días de la semana. También se observa que en la estación Noreste 2 existe un índice alto de este contaminante. Los vientos provenientes desde el Este puede que estén afectando la zona de Apodaca, la cual es uno de los municipios ubicados con los límites del AMM y que más allá de sus límites se considera zonas rurales, el polvo proveniente de esta zona este afectando el municipio de Apodaca.

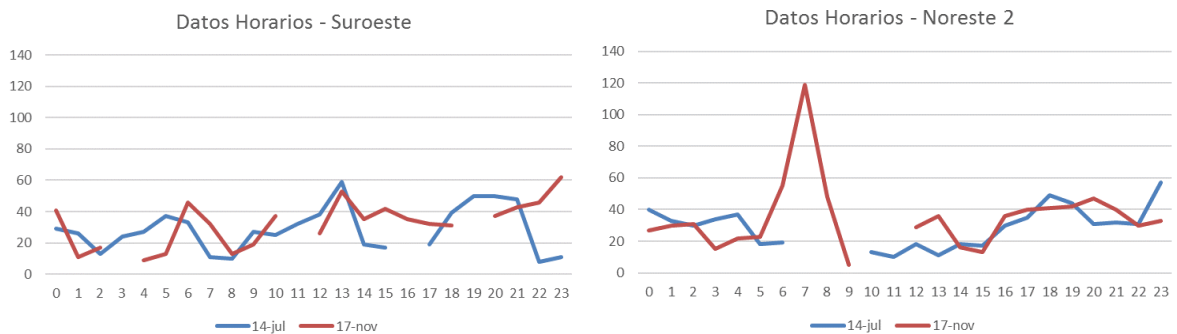


Fig. 5.37. Datos horarios de PM_{2.5} en verano e invierno de 2016

La falta de datos se hace aún más notoria en el análisis horario donde en ciertas horas del día no existen datos y hace el análisis aún más complicado. En la Fig. 5.37, se observa que en ambas temporadas se mantienen niveles cercanos a 60 µg/m³, sin embargo, en la estación Noreste 2 existe un pico entre las 6 y 8 de la mañana que llega hasta los 120 µg/m³, el cual se puede deber a la movilización de la gente hacia sus trabajos, ya que son las horas a las cuales comienzan las jornadas

laborales o por algún factor meteorológico que haya existido ese día en especial, ya sea por vientos o precipitaciones.

En la Fig. 5.38 se muestra el análisis espacial de las concentraciones anuales de 2004 y 2012, en el cual no se tienen datos de las estaciones Sureste 2 y Suroeste 2 ya que éstas fueron instaladas en el 2013 y 2014, respectivamente. Se consideran sólo las primeras cinco estaciones instaladas ya que las últimas estaciones instaladas ya que no se cuenta con buenos registros de las últimas estaciones instaladas. Se puede observar que las zonas más afectadas son las que están cercanas a las pedreras, tal cual como en el caso de los PM_{10} , sin embargo, es posible evidenciar que la estación Noreste (San Nicolás) también se ve afectada por este contaminante. Todas las zonas incluidas en el análisis son áreas céntricas al AMM, ya que por falta de datos no fue posible analizar las zonas que se encuentran en las afueras del AMM. Estas concentraciones anuales siguen estando por encima de los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tomando como referencia la normativa mexicana, la cual es de $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

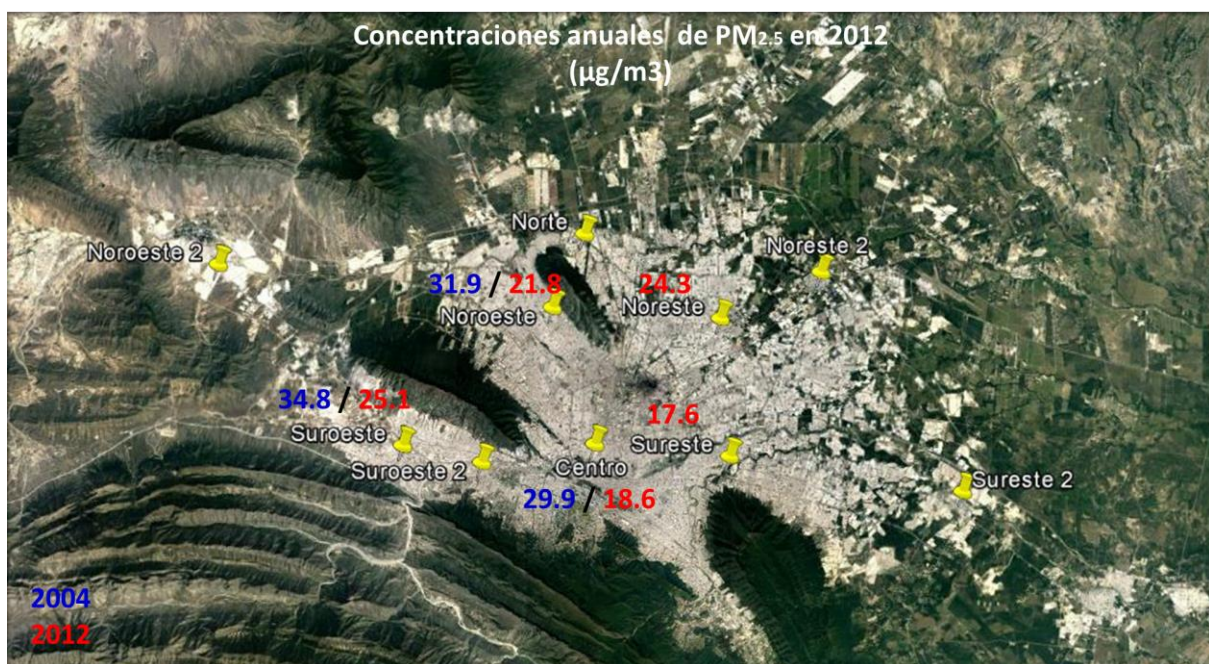


Fig. 5.38. Análisis espacial del $PM_{2.5}$ en 2004 y 2012

5.7.6 Ozono (O_3)

A temprana hora del día en las zonas urbanas, las concentraciones de NO_x permanecen relativamente bajas. Conforme aumenta la actividad en la ciudad, la concentración de los NO_x aumenta rápidamente. Con la influencia de la luz solar, se registra un aumento en la concentración de O_3 , a la vez que la de su precursor, NO , disminuye (Sierra, 2011).

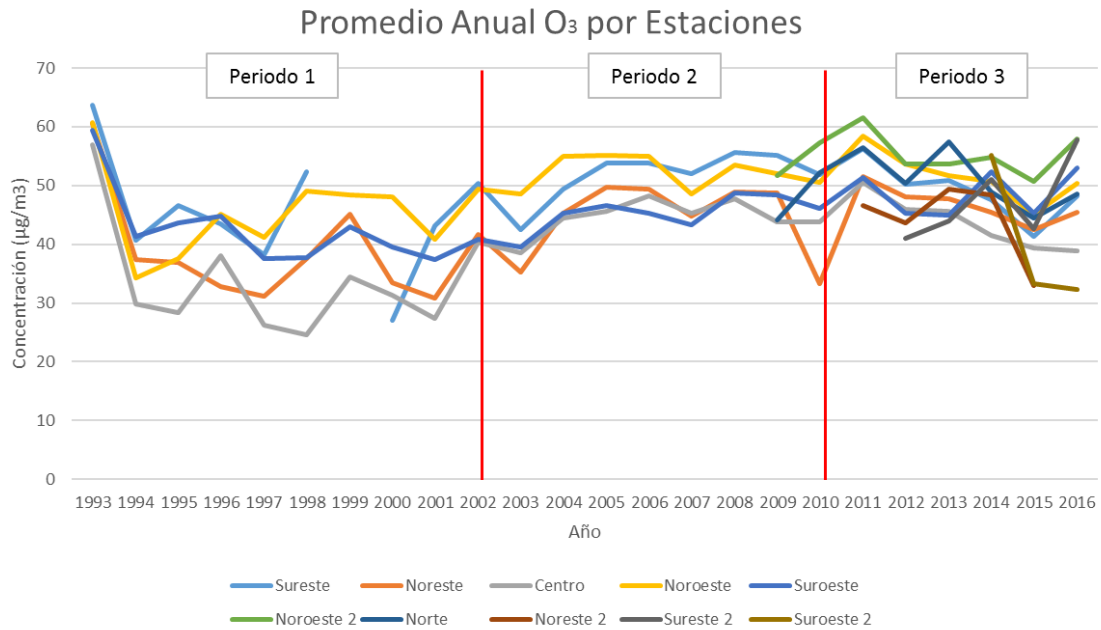


Fig. 5.39. Promedio anual de O₃ de 1993 a 2016

En la Fig. 5.39, se observa que en el Periodo 1 existió un descenso en 1994 de casi un 50% de las inmisiones que se tenían en 1993 y a partir de esa fecha las concentraciones se mantuvieron entre 30 y 50 µg/m³. En el Periodo 2, hubo un incremento en las concentraciones las cuales se mantuvieron entre 40 y 60 µg/m³ las cuales continuaron de la misma forma para el Periodo 3. El último año del Periodo 3 se da un incremento de las concentraciones (decir a qué valores), excepto en las estaciones Sureste 2 y Noreste 2, en las cuales hubo un descenso hasta alcanzar valores de aproximadamente 30 µg/m³ y en la estación Centro, la cual reportó un valor cerca de los 40µg/m³. Algunos estudios realizados con la intención de evaluar cuál es la sensibilidad del O₃ en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) concluyen que la formación de O₃ es sensible a cambios en la emisión de NO_x y otros compuestos, como los COV's (West, 2004) (Tie, 2001).

Tomando en cuenta las medias mensuales de los últimos 3 años (Fig. 5.40), se observa que, en época de verano las formaciones de este contaminante están entre 40 y 80 µg/m³, mientras que época de invierno estas alcanzan niveles entre 20 y 40 µg/m³. En algunas puede que exista más radiación lo cual se debe a la altura de la zona, lo cual incrementa la formación de este contaminante en la atmósfera.

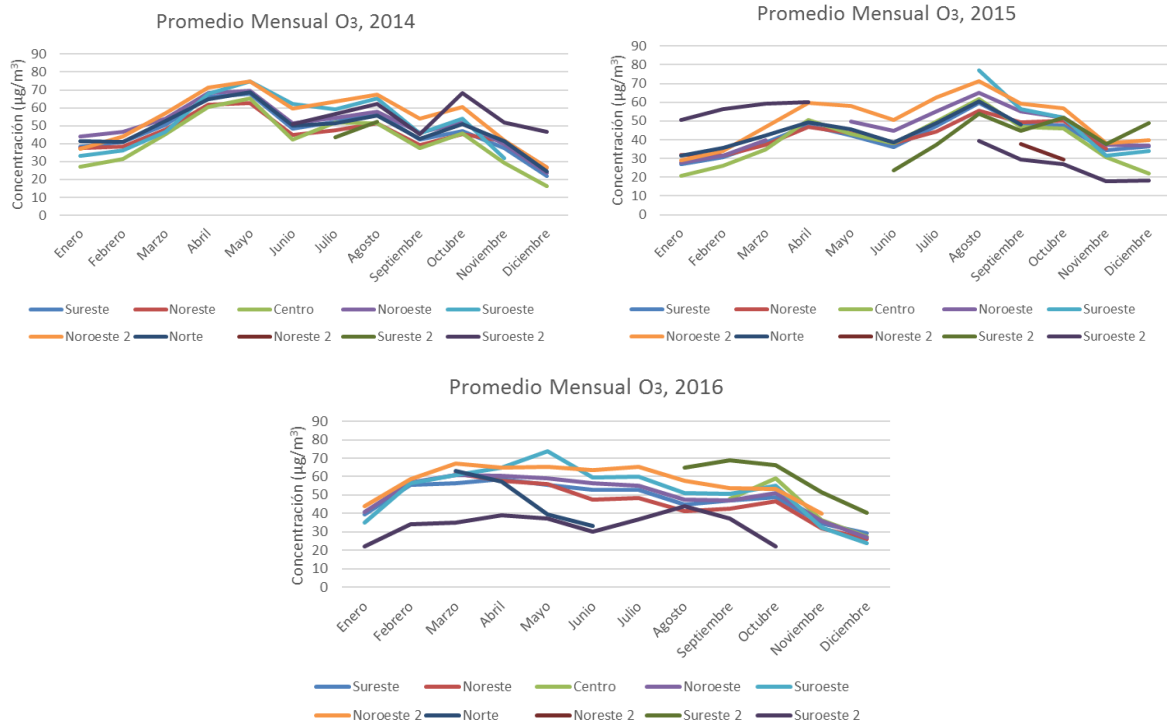


Fig. 5.40. Promedio mensual de O₃ en los años 2014, 2015 y 2016

Se consideraron las estaciones Suroeste y Sureste 2 para el análisis semanal y horario por ser las que muestran mayores concentraciones. En la Fig. 5.41, se observa que, en el análisis semanal, en épocas de verano se pueden alcanzar concentraciones cercanas a los 100 µg/m³ mientras que en invierno sólo llegan a los 50 µg/m³, por lo cual se puede concluir que la radiación solar, es un factor importante en esta zona para la formación de este contaminante. También se observa que las concentraciones en la estación Sureste, en comparación con la Suroeste, son más elevadas, lo cual se puede deber a la alta concentración del tráfico rodado y las industrias que se han ido instalando en la zona.

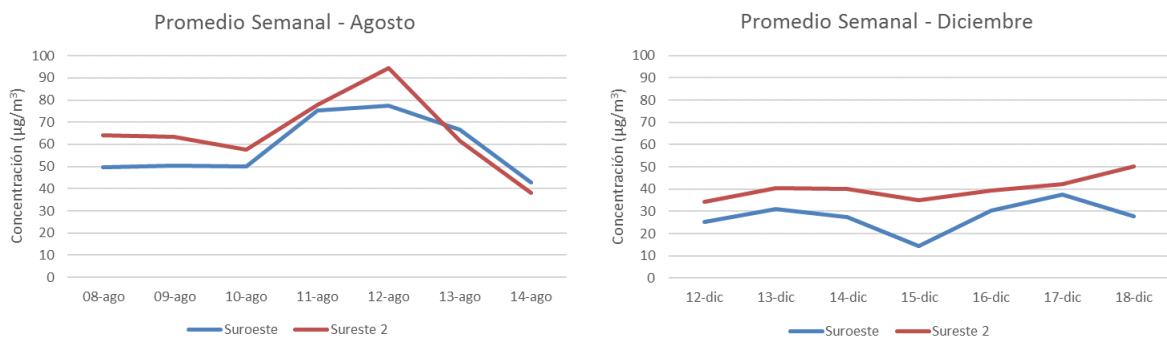


Fig. 5.41. Promedio semanal de O₃ en agosto y diciembre de 2016

En la Fig. 5.42, se puede observar el análisis horario, el cual pone en evidencia la relación que existe entre las concentraciones de O₃ y la radiación solar, ya que cuando el sol se alza y hay mayor intensidad de radiación solar, se da un incremento de las concentraciones de O₃, la cual disminuye a medida que el sol se va poniendo, es decir a medida que disminuye la intensidad de la radiación solar. Sin embargo, es preocupante los niveles que se tienen, ya que, en un día de verano, se pueden alcanzar concentraciones de hasta 250 µg/m³, mientras que en invierno cercanos a los 50 µg/m³. Según la Guía de la Calidad del Aire de la OMS (OMS, 2005) una concentración >160 µg/m³ durante 8 horas puede llegar a tener cambios mensurables, aunque transitorios en la salud humana, en la función pulmonar y la inflamación de los pulmones.

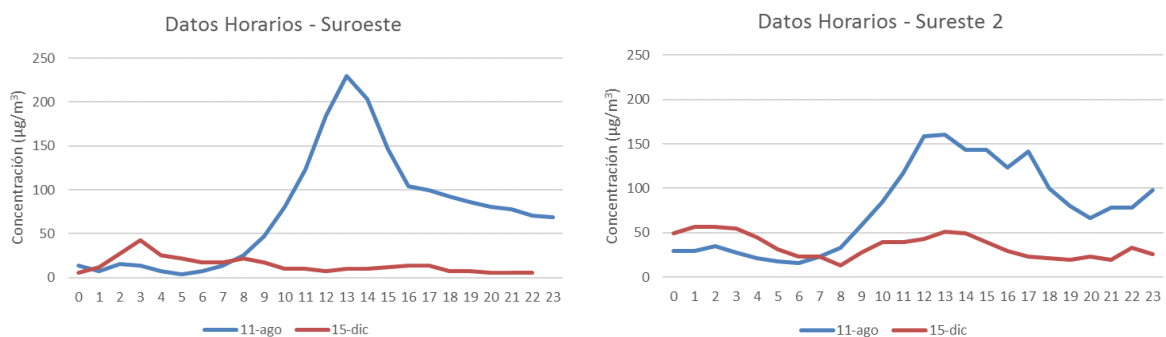


Fig. 5.42. Datos horarios de O₃ en verano e invierno de 2016

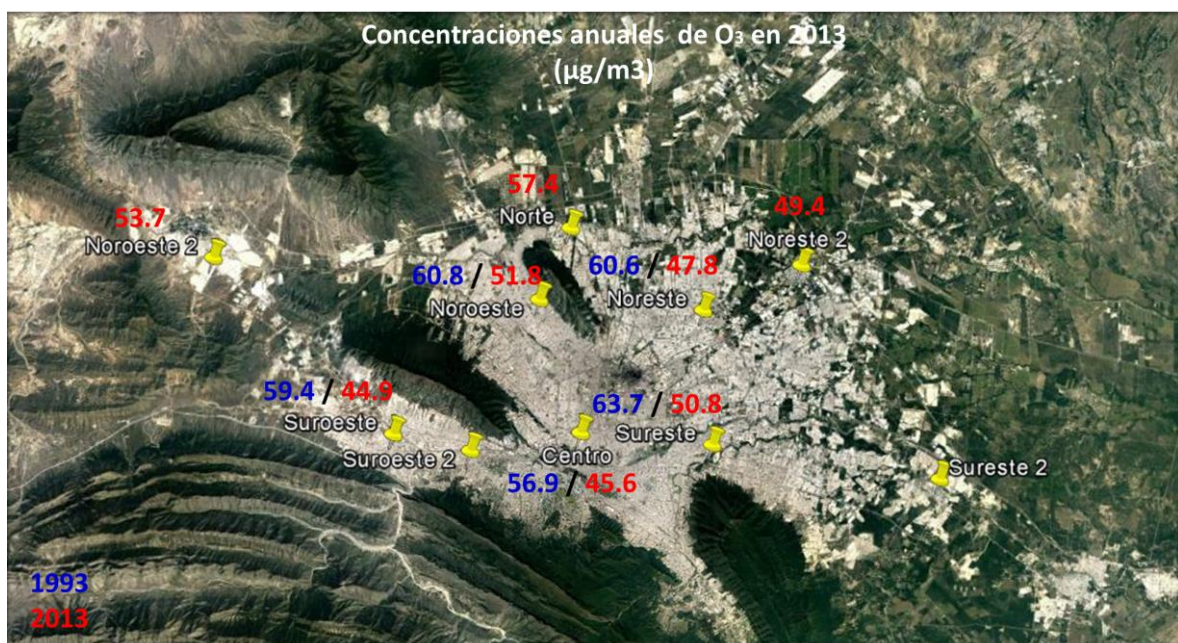


Fig. 5.43. Análisis espacial del O₃ en 1993 y 2013

Por último, en la Fig. 5.43, se observan las concentraciones anuales del año 1993 y 2013, el cual presenta el mayor número de registros en los últimos años. Se observa que las concentraciones más altas se ubican en el centro del AMM, en especial en las estaciones Noroeste (Monterrey), Norte (Escobedo), Sureste (Guadalupe) y Centro (Monterrey). Recordando que las concentraciones de este contaminante dependen de los niveles disponibles en la atmósfera de NO_x y COV's, se puede concluir que su formación está ligada con los vehículos que transitan en las zonas, así como de los combustibles utilizados. En las zonas restantes sus concentraciones siguen estando altas, sobre todo en la estación Noroeste 2 (García), lo cual se supone se debe a motivos meteorológicos, como los vientos provenientes del este, que arrastran a la mayoría de los contaminantes hacia esa zona.

5.8 Análisis de Nivel de Cumplimiento de Normativas

En este apartado se analizará cada contaminante haciendo un análisis entre las tres normativas vigentes y los valores guía de la OMS expuestas en el apartado 4.3. Las normativas, por ser de países diferentes, cada uno tiene su forma de analizar tanto la calidad de los datos como de las inmisiones, por lo que en algunos contaminantes solo se analizaran de ciertas formas. Así mismo, se presentarán las excedencias por año para realizar una comparativa de cada normativa.

5.8.1 Dióxido de Azufre (SO₂)

Con respecto a la medición anual del SO₂, sólo existe dos normativas vigentes que aplican por ser las únicas que contienen un límite: mexicana y EPA. Tomando en cuenta todos los datos analizados y la calidad de los datos mostrados en el apartado 5.2, se observa en la Tabla 18 y Fig. 5.44 que cumple tanto la normativa mexicana como de la EPA. En la Tabla 18 se presentan las concentraciones máximas y el año donde se presentó dicho valor. Se observa que en el año 2013 y 2016 se tuvieron los valores máximos entre los 10 y 20 µg/m³, sin embargo, dichas concentraciones son bajas a comparación de la que se registró en 1996, la cual es de 45.5 µg/m³

Tabla 18. Análisis de incidencias anuales del SO₂ de 1993 a 2016

	Sureste	Noreste	Centro	Noroeste	Suroeste	Noroeste 2	Norte	Noreste 2	Sureste 2	Suroeste 2
Valor Max (µg/m ³)	19.73	45.45	33.04	35.43	30.38	12.43	21.46	24.06	16.92	10.34
Año Valor Máx.	2016	1996	1994	2000	1994	2013	2013	2016	2013	2016
MX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EPA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

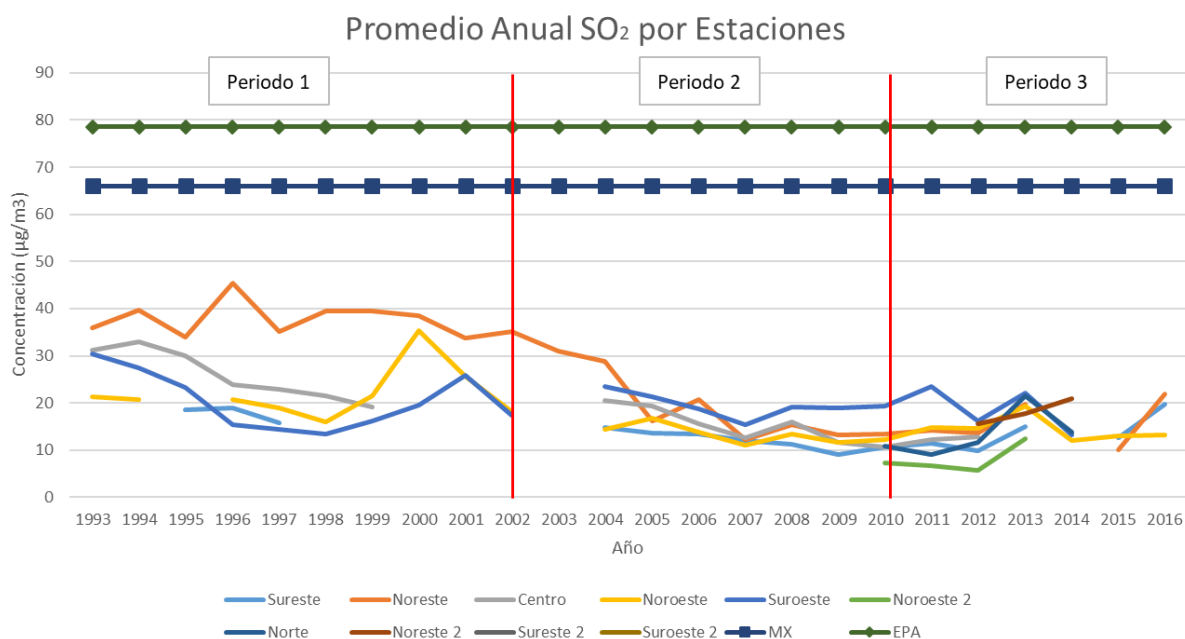


Fig. 5.44. Promedio anual de SO₂ desde 1993 a 2016 de acuerdo a la normativa MX y EPA

En la Fig. 5.44, la única estación que presentaba la cantidad de datos necesarios fue la Noreste, por lo cual no fue posible tener resultados de la misma. Sin embargo, siguiendo la tendencia a partir del 2004 se deduce que esta va en descenso. Las reducciones de este contaminante conforme pasaron los años es significativa, por lo que los programas existentes pudieron ayudar en su mitigación. En todo caso, se cumplen las normativas a nivel anual ya que no se presentaron excedencias en ninguno de los años.

Por otro lado, se tienen las mediciones diarias (24 horas), para las cuales se tomaron en cuenta las cuatro normativas. Para realizar un análisis adicional, también se consideraron los umbrales de alerta de la normativa de la UE.

Tabla 19. Análisis diario de incidencias del SO₂ en el Periodo 1 (1993 a 2002) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS

Año	Periodo 1																								
	1993					1994					1995					1996					1997				
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO
C. de Datos	90%	93%	90%	93%	93%	67%	88%	93%	89%	88%	89%	93%	91%	59%	89%	78%	90%	92%	88%	83%	88%	91%	88%	83%	77%
MX	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EPA	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UE	0	0	0	0	0	-	11	0	0	0	2	1	-	0	0	0	0	8	0	0	0	0	4	0	0
U. Alerta	0	1	0	0	0	-	1	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
OMS	112	254	227	171	258	-	250	269	188	240	140	239	223	-	186	144	270	193	167	97	98	241	185	155	81

Año	1998					1999					2000					2001					2002				
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO
C. de Datos	12%	86%	81%	75%	70%	55%	89%	83%	79%	79%	68%	81%	13%	78%	91%	44%	79%	S/D	76%	72%	81%	84%	S/D	87%	85%
MX	-	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0	-	0	0	-	0	-	0	0	-	0	0	0	0
EPA	-	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0	-	0	0	-	0	-	0	0	-	0	0	0	0
UE	-	10	0	0	0	-	2	0	1	0	-	8	-	4	0	-	5	-	1	0	5	-	0	0	
U. Alerta	-	3	0	0	0	-	1	0	0	0	-	4	-	0	0	-	0	-	0	0	0	0	0	0	
OMS	-	223	175	115	86	-	260	163	165	121	-	238	-	234	151	-	200	-	176	172	63	224	-	126	95

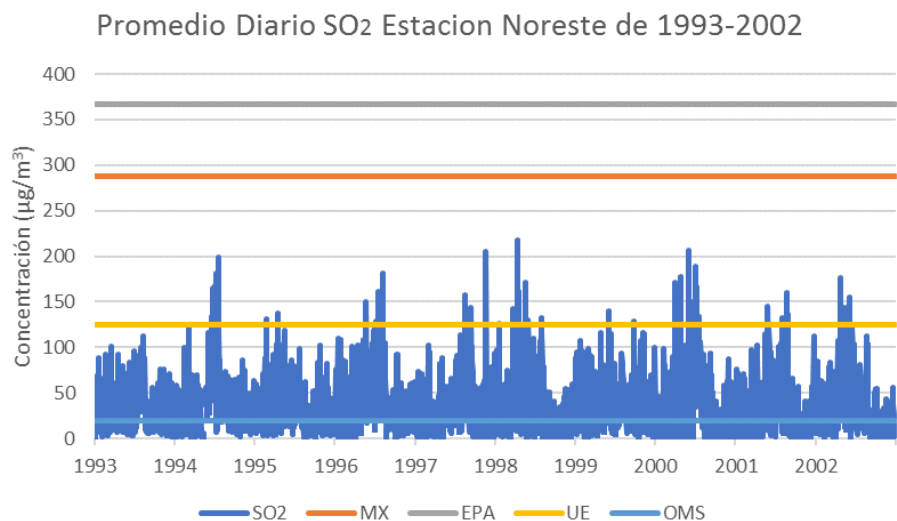


Fig. 5.45. Promedio diario del SO₂ de 1993 a 2002 en la estación Noreste

En la Tabla 19, correspondiente al Periodo 1, se observa que, en todos los años, en todas las estaciones, existen excedencias de los valores guía de la OMS. Adicionalmente, es posible identificar que la estación Noreste es la que más incidencias presenta durante todos los años, ya que en prácticamente todos ellos se sobrepasan los límites diarios permitidos por la normativa UE, los umbrales de alerta de la UE y el valor guía establecido por la OMS (Fig. 5.45). Éste último es sobrepasado anualmente más de 200 veces en la mayoría de los años. En conclusión, durante el Periodo 1, las concentraciones diarias de SO₂ de todas las estaciones se mantuvieron por debajo del valor límite establecido por la normativa mexicana y la EPA, pero por encima del valor de la guía de la OMS. Adicionalmente, a lo largo de los años se dieron algunas incidencias con respecto al valor límite y al umbral de alerta determinado por la normativa de la EU.

Tabla 20. Análisis diario de incidencias de SO₂ en el Periodo 2 (2003 a 2010) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS

Periodo 2																								
Año	2003					2004					2005					2006								
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO				
C. de Datos	50%	75%	63%	59%	72%	98%	98%	98%	99%	96%	94%	97%	99%	96%	99%	99%	98%	98%	100%	98%				
MX	-	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
EPA	-	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
UE	-	2	-	-	-	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
U. Alerta	-	0	-	-	-	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
OMS	-	214	-	-	-	67	187	153	58	288	39	75	145	87	193	39	151	95	67	137				
Año	2007					2008					2009						2010							
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N
C. de Datos	98%	99%	98%	100%	100%	85%	99%	97%	98%	99%	96%	99%	96%	98%	99%	41%	3%	100%	88%	91%	99%	100%	97%	99%
MX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0
EPA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0
UE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0
U. Alerta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0
OMS	29	33	66	38	79	11	64	96	43	135	3	38	25	12	146	-	-	8	34	20	24	138	3	20

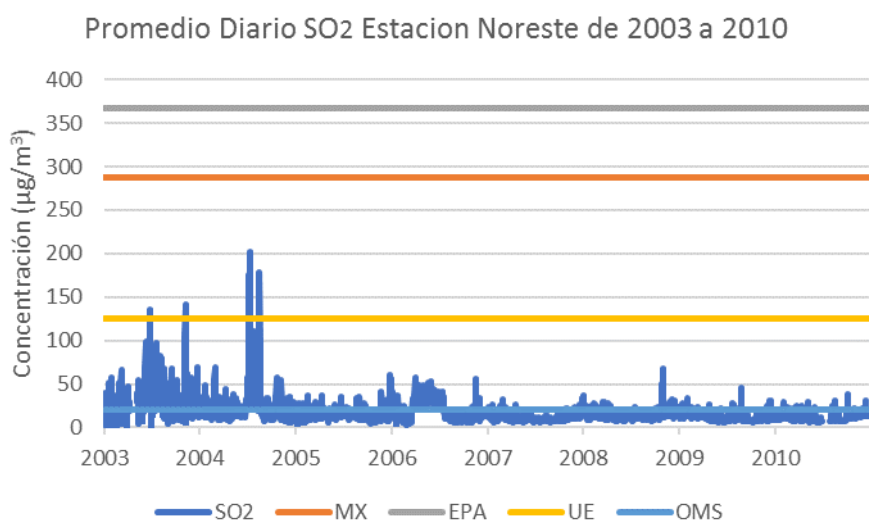


Fig. 5.46. Promedio diario del SO₂ de 2003 a 2010 en la estación Noreste

En el Periodo 2 (Tabla 20), el año más afectado, en relación a los datos disponibles, fue el 2003 contando únicamente con una estación (Noreste) con suficientes datos para hacer un análisis. Se observa una mejora a partir del 2005, ya que no se encuentran incidencias en las normativas mexicanas, EPA y UE, sin embargo, se siguen teniendo incidencias respecto al valor de la OMS. Los valores fueron disminuyendo considerablemente y en este caso las estaciones con mayores incidencias fueron las estaciones Noreste (Fig. 5.46) y Suroeste. Por lo que se concluye lo mismo que en el Periodo 1, que todos los años se cumplieron con la normativa mexicana y EPA, que existieron pocas incidencias de acuerdo a la normativa de la UE y sus umbrales de alerta (los valores fueron sobrepasados únicamente en el 2004) y que los valores guía de la OMS no se cumplieron en ninguno

de los años analizados, pero que como las concentraciones disminuyeron con respecto a los valores que se tenían para el Periodo 1, la cantidad de incidencias también lo hizo.

Tabla 21. Análisis diario de incidencias de SO₂ en el Periodo 3 (2011 a 2016) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS

		Periodo 3																												
Año	2011								2012								2013													
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2				
C. de Datos	98%	91%	99%	100%	100%	98%	100%	58%	92%	96%	95%	99%	100%	99%	94%	93%	21%	96%	100%	52%	100%	99%	99%	99%	100%	99%				
MX	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	-	0	0	0	0	0					
EPA	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	-	0	0	0	0	0					
UE	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	-	0	0	0	0	0					
U. Alerta	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	-	0	0	0	0	0					
OMS	14	36	29	41	210	4	2	-	2	22	16	34	0	0	6	84	-	89	113	-	130	204	45	199	67	77				
Año	2014								2015								2016													
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SO2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SO2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SO2
C. de Datos	40%	37%	S/D	98%	82%	S/D	88%	86%	61%	81%	75%	83%	6%	96%	31%	S/D	64%	42%	24%	51%	90%	74%	40%	85%	92%	S/D	41%	94%	52%	93%
MX	-	-	-	0	0	-	0	0	-	0	0	0	-	0	-	-	-	-	-	-	0	0	-	0	0	-	-	0	-	0
EPA	-	-	-	0	0	-	0	0	-	0	0	0	-	0	-	-	-	-	-	-	0	0	-	0	0	-	-	0	-	0
UE	-	-	-	0	0	-	0	0	-	0	0	0	-	0	-	-	-	-	-	-	0	0	-	0	0	-	-	0	-	0
U. Alerta	-	-	-	0	0	-	0	0	-	0	0	0	-	0	-	-	-	-	-	-	0	0	-	0	0	-	-	0	-	0
OMS	-	-	-	67	60	-	127	174	-	10	10	6	-	15	-	-	-	-	-	-	153	180	-	5	9	-	-	237	-	1

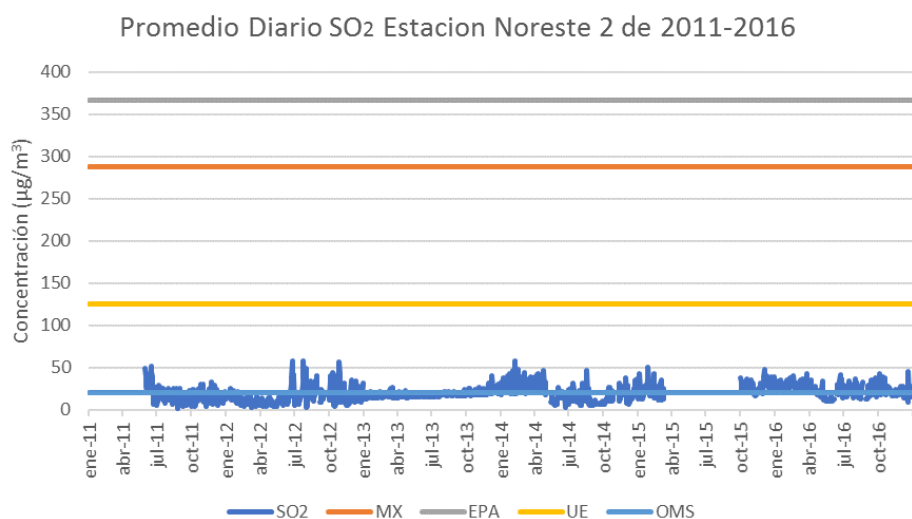


Fig. 5.47. Promedio diario del SO₂ de 2011 a 2016 en la estación Noreste

Para el Periodo 3 (Tabla 21), existe una mala calidad de datos en los últimos 3 años, donde el más afectado fue el 2015 teniendo seis estaciones con insuficiencia de datos. Analizando las incidencias, es posible observar que ninguna de las estaciones sobrepasó los valores límites establecidos por la normativa mexicana, la normativa UE o la EPA. Sin embargo, los valores guía de la OMS sí se sobrepasaron en todas las estaciones y todos los años, excepto en el 2012 en la estación Suroeste y la estación Noroeste 2. Las estaciones que más sobrepasaron este valor guía fueron la Suroeste y la Noreste 2. La primera presentó gran cantidad de incidencias (más de 200 días al año) en los años

2011 y 2013. Por otro lado, la Noroeste 2, presentó incidencias más de 170 días del año, los últimos 3 años.

Con respecto a los valores diarios de SO_2 , en el 2014 se tuvieron concentraciones registradas de 455 y 289 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en las estaciones Sureste 2 y Noreste 2 respectivamente, en los meses de febrero y marzo; en 2015 concentraciones registradas de 265 y 157 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en las estaciones Sureste 2 y Noreste 2 respectivamente, en los meses de febrero y diciembre; en el 2016 concentraciones registradas de 241 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 258 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en las estaciones Sureste 2 y Noreste 2 respectivamente, en los meses de octubre y diciembre. En si se observa una reducción de este contaminante a lo largo del tiempo, es decir que la calidad del aire con respecto al SO_2 ha mejorado. Aunque en los últimos 6 años se ha cumplido con la normativa mexicana, EPA y UE, los valores guía de la OMS fueron sobrepasados. En conclusión, se puede decir que, aunque pareciera que hoy en día no se tienen problemas de contaminación en la AMM asociados al SO_2 ya que se cumple con los valores límites de la normativa mexicana, de la EPA y de la EU, sí que se tienen concentraciones que son consideradas perjudiciales para la salud, ya que los límites de la guía de la OMS siguen superándose.

Así mismo observamos una deriva en los datos. Existen elevaciones entre periodos los años. Un ejemplo puede verse entre los meses de abril y julio de 2014 en la Fig. 5.41, en la cual se observa como hay un cambio en los datos donde van ascendiendo y posteriormente descienden con valores cercanos a 0. Esto principalmente se debe a las calibraciones y mantenimientos del equipo. Se observa que dicho patrón empezó desde enero 2013 y no fue hasta julio 2014 cuando se corrigió dicho problema. Así mismo se vuelve a presentar en octubre 2015 y es corregido en mayo 2016. Este mismo patrón se observa en la mayoría de las gráficas que se presentan en este trabajo lo cual indica que no se les da el mantenimiento y calibración adecuada a los equipos para su correcto funcionamiento. Esto también provoca que los equipos capturen valores negativos cuando las especificaciones de los equipos tienen como valor mínimo cero. Todos estos datos se excluyeron de las bases de datos los cuales hicieron bajar el porcentaje de datos capturados por las estaciones.

La normativa mexicana no cuenta con una normativa a nivel horario, por lo cual se realizó utilizando las normativas de la EPA y la UE. En la Fig. 5.48 se observa es que se han llegado a alcanzar niveles por encima de los 1400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De 1993 al 2005 se tuvieron niveles muy por encima de ambas normativas, y fue a partir del 2006 que comenzaron a descender de forma considerable hasta llegar a la actualidad, donde se cumplen ambas normativas. Esto permite suponer que las actividades y programas realizados ayudaron a disminuir la emisión de este contaminante, aunque no lo suficiente para cumplir con los valores guías de la OMS.

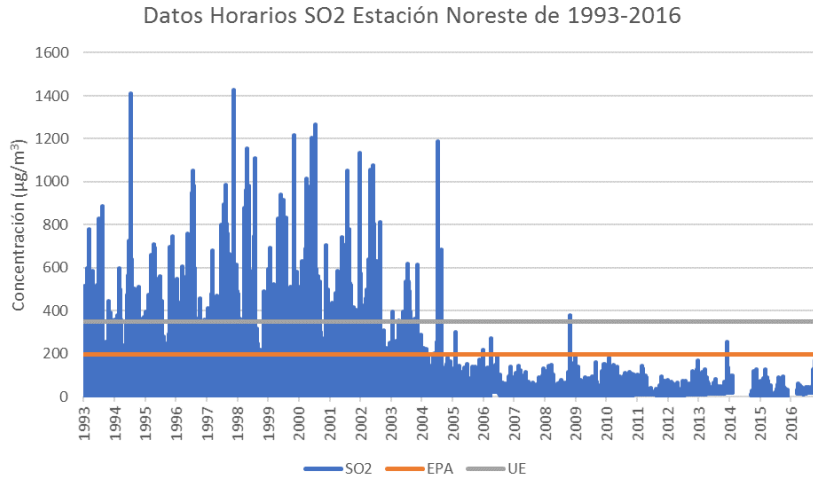


Fig. 5.48. Análisis horario del SO₂ de 1993 a 2016 en la estación Noreste

5.8.2 Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

La normativa mexicana no tiene un valor establecido para un análisis anual de este contaminante, por lo cual se hizo un análisis en base a las demás normativas vigentes. En la Tabla 22 y Fig. 5.44, se observa que ha habido estaciones que han superado las normativas de la UE y los valores guía de la OMS en los años 1993, 2006 y 2013 con un valor máximo en el 2006 con de 53.2 µg/m³, correspondiente al Periodo 2. Las estaciones que sobrepasan las normativas son: Centro, Suroeste y Norte.

Tabla 22. Análisis de incidencias anuales del NO₂ de 1993 a 2016

	Sureste	Noreste	Centro	Noroeste	Suroeste	Noroeste 2	Norte	Noreste 2	Sureste 2	Suroeste 2
Valor Max (µg/m ³)	31.66	34.4	53.25	37.55	53.21	15.69	46.51	35.29	23.91	27.88
Año V.Max (µg/m ³)	2008	2001	1993	2010	2006	2014	2013	2014	2012	2016
EPA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UE	0	0	9	0	10	0	1	0	0	0
OMS	0	0	9	0	10	0	1	0	0	0

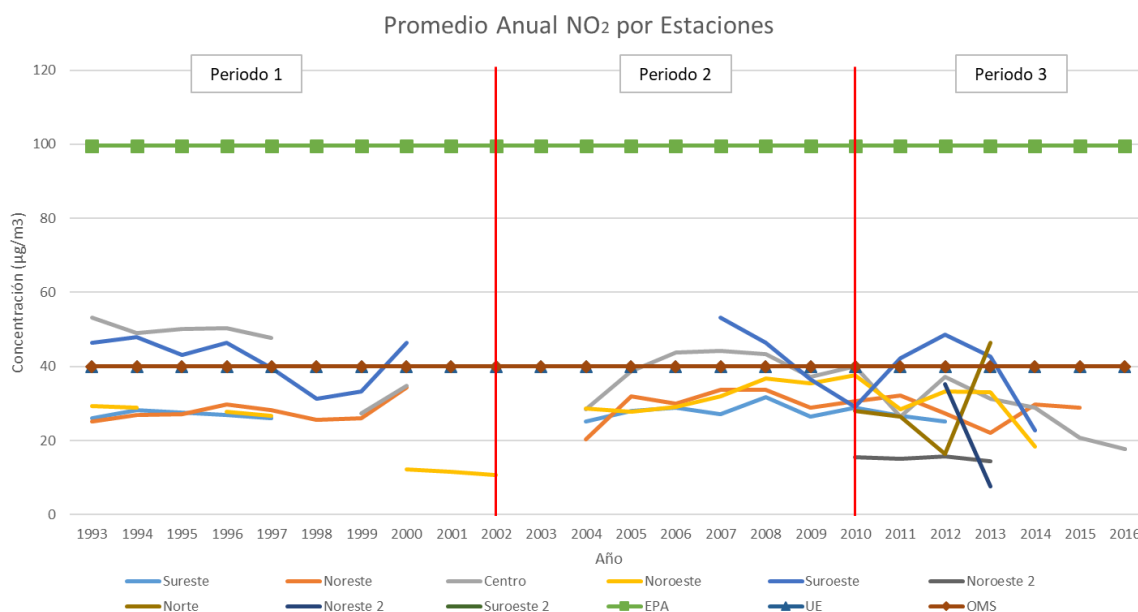


Fig. 5.49. Promedio anual de NO₂ desde 1993 a 2016 de acuerdo a las normativas EPA, UE y valores guía de la OMS

En el Periodo 1 se observa que solo las estaciones Centro y Suroeste superan los límites de la normativa de la UE y valores guía de la OMS, los cuales mantienen niveles entre 40 y 60 µg/m³. En el Periodo 2, por falta de datos no se considera el año 2003, sin embargo, observamos que las mismas estaciones previamente mencionadas están por encima de las normativas de la UE y valores guía OMS. Por último, en el Periodo 3, se tiene que la estación Suroeste y Norte superan los límites de la normativa de la UE y valores guía de la OMS, mientras que la estación del Centro las cumple. Se observa que en los últimos años existe una reducción de este contaminante por lo que se puede concluir que a un nivel anual se cumplen las normativas y que en la actualidad no se tienen problemas de contaminación asociados a este contaminante.

De acuerdo a la Guía de Calidad del Aire de la OMS, para la exposición de larga duración, se ha comprobado en estudios epidemiológicos que los síntomas de bronquitis de los niños asmáticos aumentan con la concentración anual de NO₂, y que la disminución de la función pulmonar en los niños está vinculado a concentraciones elevadas de NO₂ en comunidades urbanas de América del Norte y Europa (OMS, 2005), así mismo se ha comprobado que el NO₂ puede presentar una variación espacial relacionado con el tráfico.

Tabla 23. Análisis horario de incidencias de NO₂ en el Periodo 1 (1993 a 2002) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS

Periodo 1																										
Año	1993					1994					1995					1996					1997					
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	
C. de Datos	80%	93%	94%	95%	93%	93%	93%	91%	96%	91%	93%	92%	83%	72%	94%	94%	94%	94%	94%	94%	95%	91%	95%	95%	95%	92%
MX	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EPA	12	4	71	5	20	3	3	36	5	28	7	9	39	-	19	7	24	66	12	20	2	11	41	7	5	
UE	7	2	45	5	15	0	1	31	4	18	4	6	28	-	13	4	20	47	10	15	1	7	30	4	3	
U. Alerta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OMS	7	2	45	5	15	0	1	31	4	18	4	6	28	-	13	4	20	47	10	15	1	7	30	4	3	
Año	1998					1999					2000					2001					2002					
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	
C. de Datos	31%	92%	59%	34%	91%	70%	88%	91%	71%	94%	72%	92%	80%	87%	91%	64%	63%	73%	87%	69%	54%	45%	76%	72%	81%	
MX	-	0	-	-	0	-	0	0	-	0	-	0	0	0	0	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-	
EPA	-	5	-	-	1	-	6	0	-	7	-	31	6	0	20	-	-	-	1	-	-	-	-	0	-	
UE	-	2	-	-	1	-	6	0	-	5	-	24	4	0	15	-	-	-	1	-	-	-	-	0	-	
U. Alerta	-	0	-	-	0	-	0	0	-	0	-	0	0	0	0	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-	
OMS	-	2	-	-	1	-	6	0	-	5	-	24	4	0	15	-	-	-	1	-	-	-	-	0	-	

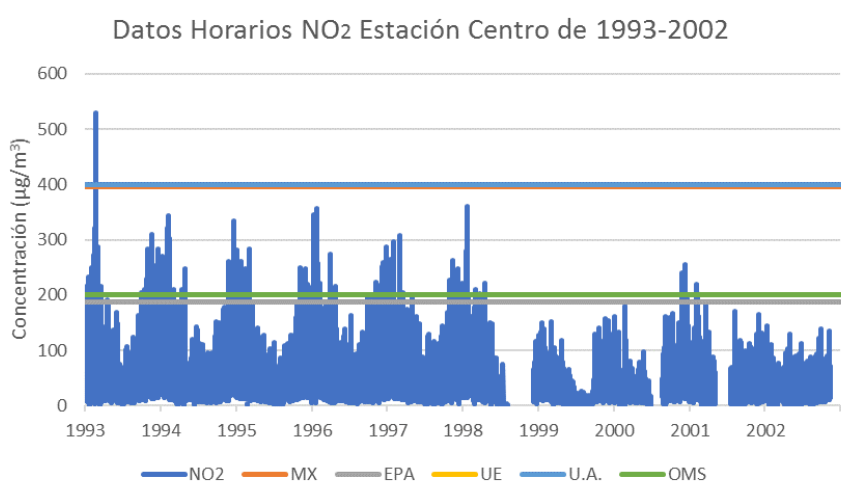


Fig. 5.50. Datos horarios del NO₂ de 1993 a 2002 en la estación Centro

Realizando un análisis de los datos horarios (Tabla 23 y Fig. 5.50) se observa que la normativa mexicana donde su valor límite es 395 µg/m³ y que establece que sólo puede ser excedida una hora al año, se cumple a excepción de una incidencia ocurrida en 1993. En cuanto a la normativa de la EPA, donde su valor límite es de 188 µg/m³ y que expone que el valor sólo se puede exceder 1 hora al año, se excede en todas las estaciones de 1993 a 1998, y desde 1999 estas incidencias empiezan a disminuir. En cuanto a la normativa de la UE, donde su valor límite es de 200 µg/m³ (mismo valor para los valores guía de la OMS) la cual no debe exceder 18 veces al año, existen varias incidencias de 1993 a 1998, y donde en 1999 disminuyen. No hubo ninguna incidencia en cuestión al umbral de alerta de la UE. En este caso la estación con mayores registros, es la estación del Centro, seguida de la estación Suroeste.

Tabla 24. Análisis horario de incidencias de NO₂ en el Periodo 2 (2003 a 2010) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS

Periodo 2																								
Año	2003					2004					2005					2006								
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO				
C. de Datos	60%	63%	59%	60%	59%	97%	98%	89%	89%	73%	94%	97%	98%	96%	71%	98%	98%	97%	99%	73%				
MX	-	-	-	-	-	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-				
EPA	-	-	-	-	-	0	3	3	0	-	0	0	1	1	-	1	0	4	1	-				
UE	-	-	-	-	-	0	1	1	0	-	0	0	1	1	-	1	0	4	1	-				
U. Alerta	-	-	-	-	-	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-				
OMS	-	-	-	-	-	0	1	1	0	-	0	0	1	1	-	1	0	4	1	-				
Año	2007					2008					2009					2010								
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N
C. de Datos	98%	99%	98%	90%	99%	85%	99%	97%	98%	98%	99%	82%	97%	95%	91%	41%	3%	95%	87%	96%	81%	100%	97%	99%
MX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0
EPA	0	4	9	0	42	2	6	8	7	20	0	0	0	2	0	-	-	0	12	7	0	0	0	1
UE	0	3	3	0	21	2	3	5	4	15	0	0	0	1	0	-	-	0	6	3	0	0	0	1
U. Alerta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0
OMS	0	3	3	0	21	2	3	5	4	15	0	0	0	1	0	-	-	0	6	3	0	0	0	1

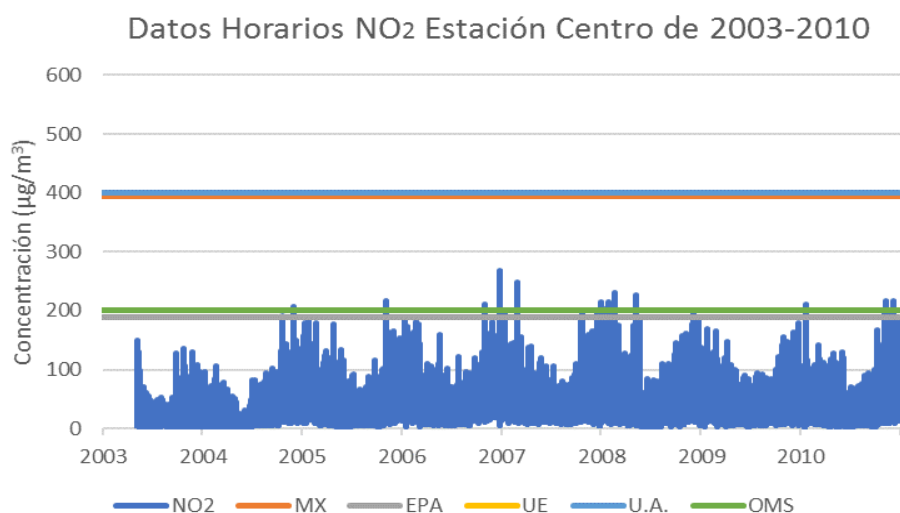


Fig. 5.51. Datos horarios del NO₂ de 2003 a 2010 en la estación Centro

Durante el Periodo 2 (Tabla 24 y Fig. 5.51) el año más afectado, en relación a los datos disponibles, fue el 2003, por lo cual éste no fue considerado para el análisis. Al igual que en el Periodo 1, se cumple la normativa mexicana, mientras que la normativa de la EPA la sobrepasa varias horas entre los años 2007 y 2008. En cuanto a la normativa de la UE y los valores guía de la OMS, se presentan también excedencias donde sobrepasa el límite establecido. En este caso la estación del Centro es la más afectada en este periodo.

Tabla 25. Análisis horario de incidencias de NO₂ en el Periodo 3 (2011 a 2016) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS

		Periodo 3																								
Año	2011								2012								2013									
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2
C. de Datos	96%	96%	94%	100%	90%	97%	99%	58%	92%	94%	97%	99%	100%	93%	94%	100%	25%	48%	98%	92%	98%	86%	99%	100%	99%	95%
MX	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EPA	0	0	2	2	3	0	0	-	0	0	3	2	11	0	0	1	-	0	6	14	10	0	0	1	0	1
UE	0	0	1	2	2	0	0	-	0	0	2	0	7	0	0	0	-	0	3	11	10	0	0	0	0	1
U. Alerta	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OMS	0	0	1	2	2	0	0	-	0	0	2	0	7	0	0	0	-	0	3	11	10	0	0	0	1	

		2014										2015										2016									
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SO2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SO2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SO2	
C. de Datos	S/D	74%	91%	91%	78%	1%	65%	59%	56%	82%	S/D	81%	95%	68%	14%	S/D	54%	46%	89%	59%	S/D	S/D	87%	74%	37%	S/D	28%	19%	97%	85%	
MX	-	0	0	0	0	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
EPA	-	1	2	0	0	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
UE	-	0	1	0	0	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
U. Alerta	-	0	0	0	0	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	
OMS	-	0	1	0	0	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	

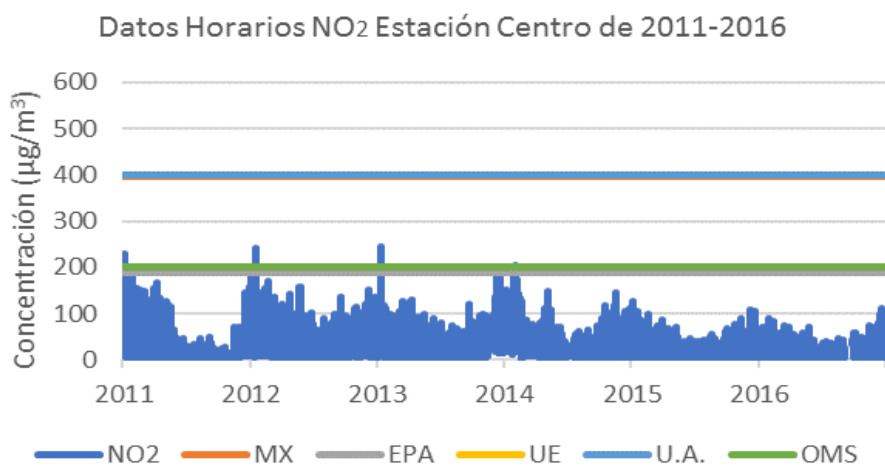


Fig. 5.52. Datos Horarios del NO₂ de 2011 a 2016 en la estación Centro

Se observa que en el Periodo 3 (Tabla 25) las veces que las concentraciones de NO₂ exceden las normativas disminuyen. Sin embargo, no se puede suponer que el comportamiento es el mismo en todas las estaciones, ya que en los últimos tres años no se tienen suficientes datos disponibles. En todos los años se aprecia que este contaminante ha ido disminuyendo sobre todo en los últimos años, donde las concentraciones se encuentran por debajo de los límites establecidos por la EPA, la cual es la más exigente de todas, por lo que se puede concluir que no se tienen problemas de contaminación asociados al NO₂ en el AMM.

En la Fig. 5.53 se observa toda la serie de datos previamente analizados en una sola gráfica. Se observa la misma tendencia que se presentó en los datos horarios de SO₂, donde en el Periodo 1 las concentraciones fueron muy altas y como fue transcurriendo el tiempo estas fueron disminuyendo las cuales se pueden deber a las medidas aplicadas durante los programas ProAire.

Datos Horarios NO2 Estación Centro de 1993-2016

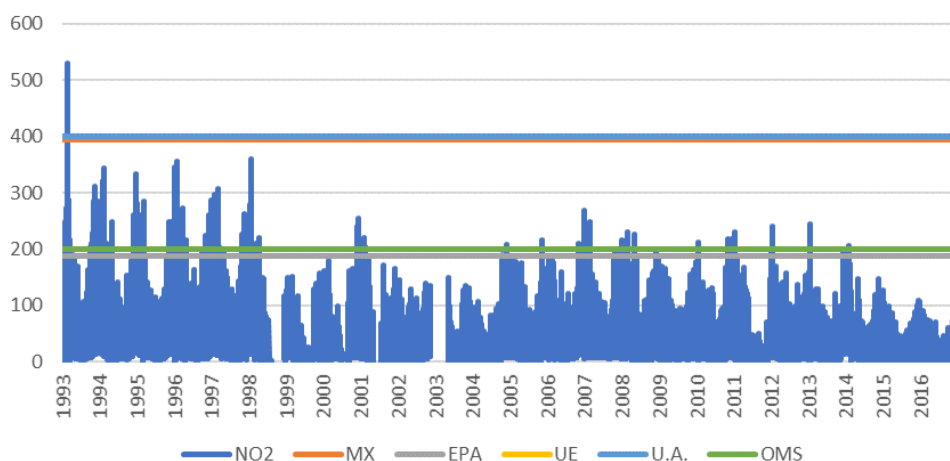


Fig. 5.53. Datos horarios del NO₂ de 1993 a 2016 en la estación Centro

5.8.3 Monóxido de Carbono (CO)

Ninguna normativa mide el impacto del monóxido de carbono de manera anual, por lo que únicamente se medirá de forma octohoraria. Se tomaron en cuenta la normativa mexicana, EPA y UE ya que, en el caso de los valores guía de la OMS, no se tiene contemplado como uno de los contaminantes que afecte directamente a la salud de la población.

Tabla 26. Análisis octohorario de incidencias de CO en el Periodo 1 (1993 a 2002) sobre las normativas MX, EPA y UE

Periodo 1																									
Año	1993					1994					1995					1996					1997				
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO
C. de Datos	84%	92%	95%	88%	94%	95%	92%	94%	95%	91%	94%	95%	93%	91%	92%	94%	94%	94%	94%	95%	94%	95%	95%	95%	93%
MX	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	4	0	0	0	0	1	0	0	0
EPA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UE	0	7	0	0	0	0	15	0	0	0	0	12	0	0	0	0	17	0	0	0	0	5	0	0	0
Año	1998					1999					2000					2001					2002				
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO
C. de Datos	35%	73%	64%	94%	92%	93%	91%	94%	83%	94%	84%	95%	95%	88%	94%	87%	92%	93%	92%	65%	86%	90%	94%	91%	94%
MX	-	-	-	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	2	0	0	0
EPA	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0
UE	-	-	-	0	0	0	23	0	0	0	0	5	0	0	0	0	4	4	0	-	0	11	0	0	5

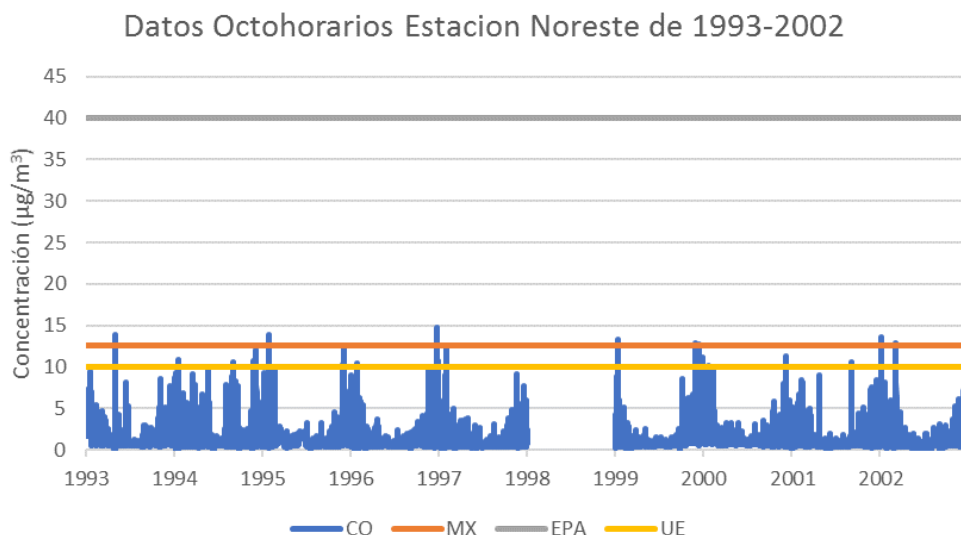


Fig. 5.54. Análisis octohorarios del CO de 1993 a 2002 en la estación Noreste

En el Periodo 1 (Tabla 26), se observa que la estación más afectada es la Noreste (Fig. 5.54) teniendo incidencias en todos los años. El año 1998 no se pudo incluir en el análisis por la falta de disponibilidad de datos. En general se cumple la normativa de la EPA, sin embargo, Todas las estaciones cumplen con los límites de la EPA. Por otro lado, en cuanto a los valores determinados por la normativa mexicana y de la UE, se presentan algunas excedencias, principalmente en la estación Noreste (Fig.5.54.). Entre ambas normativas no existe mucha diferencia en el límite permitido, ya que el límite de la normativa mexicana es de $12.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el de la UE es de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los valores de este contaminante aumentan principalmente a finales y principios de cada año, la cual muestra la misma tendencia analizada de forma mensual en el apartado 5.7.3, la cual se debe al uso de los equipos doméstico que queman combustibles fósiles, los cuales son más utilizados en esta época del año.

Tabla 27. Análisis octohorario de incidencias de CO en el Periodo 2 (2003 a 2010) sobre las normativas MX, EPA y UE

		Periodo 2																						
Año	2003					2004					2005				2006									
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO				
C. de Datos	86%	88%	81%	86%	88%	96%	97%	98%	98%	90%	93%	97%	99%	97%	98%	99%	98%	98%	100%	98%				
MX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
EPA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
UE	0	0	0	1	0	0	2	0	0	7	0	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0			
Año	2007					2008					2009					2010								
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N
C. de Datos	97%	98%	97%	99%	99%	83%	96%	97%	98%	94%	98%	99%	96%	96%	99%	41%	3%	100%	95%	99%	99%	100%	97%	99%
MX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EPA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
UE	0	4	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0

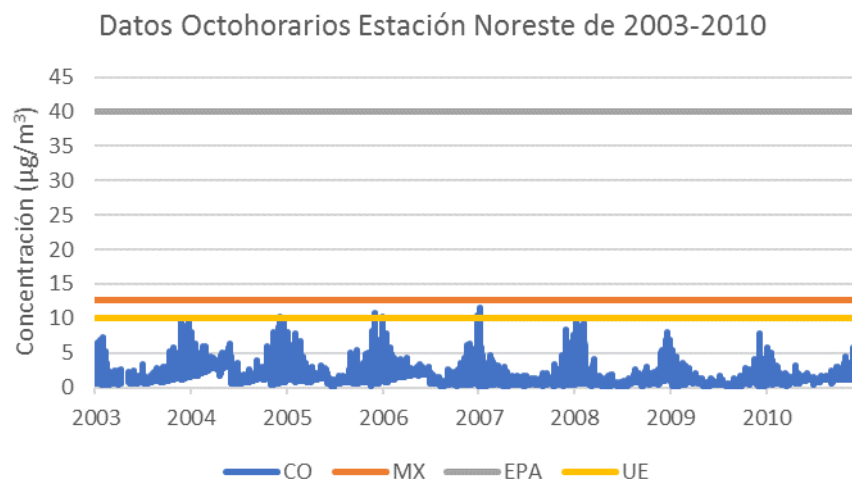


Fig. 5.55. Análisis octohorarios del CO de 2003 a 2010 en la estación Noreste

En el Periodo 2 (Tabla 27) existe una mejora tanto en la calidad de los datos como en la reducción de este contaminante a través de los años. Se observa, que al igual que en el Periodo 2, la estación Noreste (Fig. 5.55) es la que presenta las mayores concentraciones de este contaminante, pero a un nivel mucho menor. En los últimos 3 años del periodo se ve una mejora ya que las incidencias descienden en comparación con las que se tenían en el Periodo 1, incumpliendo únicamente con lo establecido por la normativa de la UE.

Tabla 28. Análisis octohorario de incidencias de CO en el Periodo 3 (2011 a 2016) sobre las normativas MX, EPA y UE

Periodo 3																															
Año	2011								2012								2013														
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2					
C. de Datos	97%	97%	99%	100%	100%	98%	100%	58%	92%	98%	97%	99%	99%	98%	94%	100%	23%	93%	91%	98%	100%	99%	99%	99%	100%	99%					
MX	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
EPA	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
UE	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Año	2014								2015								2016														
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SO2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SO2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SO2	
C. de Datos	97%	99%	98%	100%	78%	1%	96%	52%	62%	82%	94%	87%	98%	95%	31%	S/D	71%	33%	88%	58%	98%	79%	98%	97%	81%	20%	77%	39%	29%	94%	
MX	0	0	0	0	0	-	0	-	-	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	0	-	0	0	0	0	0	-	0	-	-	0
EPA	0	0	0	0	0	-	0	-	-	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	0	-	0	0	0	0	0	-	0	-	-	0
UE	0	0	0	0	0	-	0	-	-	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	0	-	0	0	0	0	0	-	0	-	-	0

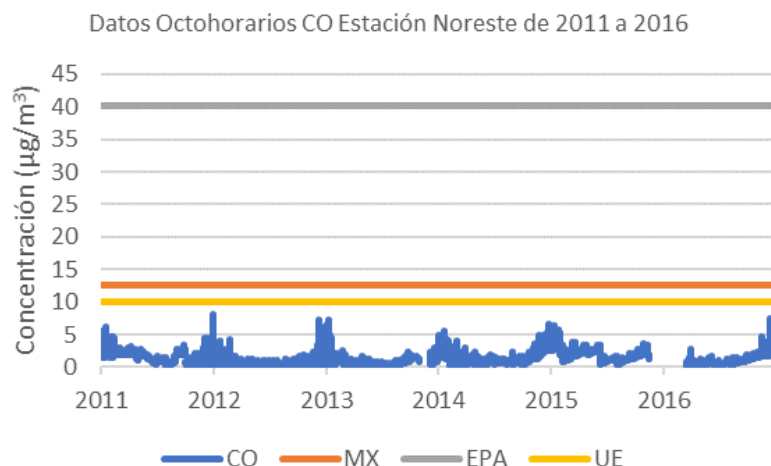


Fig. 5.56. Análisis octohorarios del CO de 2011 a 2016 en la estación Noreste

En los últimos tres años del Periodo 3 (Tabla 28) en algunas de las estaciones se cuenta con una baja disponibilidad de datos, sin embargo, ya no hubo incidencias sobre este contaminante a lo largo de este periodo cumpliendo al 100% las normativas vigentes. Por lo que se puede concluir que hoy en día no existe problema de emisiones de este contaminante en el AMM. Sin embargo, se observa la misma tendencia de la deriva de los datos la cual se puede apreciar desde el 2014 al 2016, ya que los datos oscilan debido a la incorrecta calibración y a los ajustes inadecuados del equipo.

5.8.4 PM₁₀

Para realizar el análisis anual sólo se emplearon tres de las normativas (MX, OMS y UE) ya que la EPA no cuenta con un valor establecido para la medición anual del PM₁₀. De este contaminante es que se tienen la mayor cantidad de registros, ya que representa una alta peligrosidad para la población, sobre todo porque la mayoría de las emisiones provienen de las pedreras (canteras) existentes en la zona. Así misma de las zonas sin pavimentar o de las zonas donde el pavimento tiene imperfecciones.

Tabla 29. Análisis de incidencias anuales de PM₁₀ de 1993 a 2016

	Sureste	Noreste	Centro	Noroeste	Suroeste	Noroeste 2	Norte	Noreste 2	Sureste 2	Suroeste 2
Valor Max.	74.93	84.65	84.63	100.36	124.09	110.51	72.57	72.5	66.95	65.96
Año V. Max.	2008	2008	2005	2002	2006	2011	2011	2014	2012	2015
MX	21	20	22	22	24	8	8	4	4	3
UE	21	20	22	22	24	8	8	4	4	3
OMS	24	20	23	22	24	8	8	6	4	4

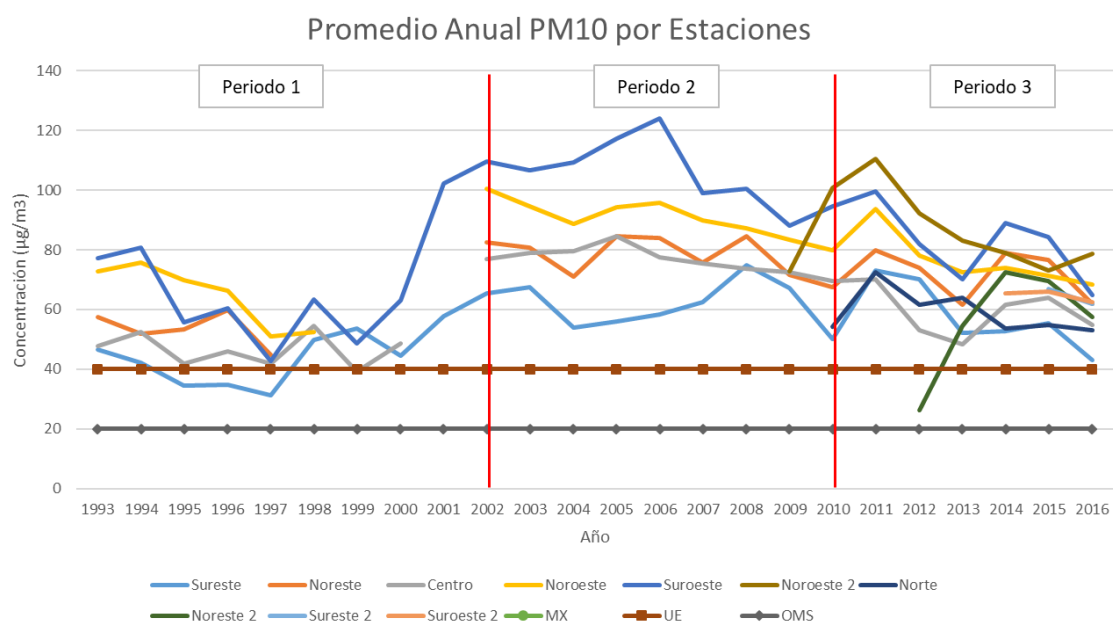


Fig. 5.57. Promedio anual de PM₁₀ desde 1993 a 2016 de acuerdo a las normativas MX, UE y valores guía de la OMS

En el análisis anual (Tabla 29 y Fig. 5.57) se observa que desde que el PM₁₀ comenzó a medirse hasta el 2016, las concentraciones estuvieron siempre por encima de los límites establecidos por las normativas previamente mencionadas. En el Periodo 1 en todas las estaciones, a excepción de la estación Sureste, las concentraciones estuvieron por arriba de los límites permitidos por las tres normativas. En el Periodo 2 se alcanzaron niveles muy considerablemente elevados, sobre todo en la estación Suroeste que alcanzó niveles nunca antes registrados de valores por encima de los 120 µg/m³ anuales. Por último, en el Periodo 3 se mantuvieron los niveles de emisión por encima de las normativas, en algunas estaciones hasta se obtuvieron concentraciones por encima de los 90 µg/m³ es algunas estaciones. A pesar de que no se tenga la serie de datos completa por el hecho de que las estaciones no fueron instaladas al mismo tiempo, se puede suponer que las concentraciones alcanzados en las últimas cinco estaciones estuvieron por encima en años pasados.

En la Tabla 30 se observa que las primeras cinco estaciones sobrepasan el límite todos los años de las 3 normativas y los valores guía de la OMS, al igual que las cinco últimas estaciones una vez que fueron instaladas y puestas en marcha. Lo datos faltantes corresponden a las estaciones que no presentaban una buena calidad de datos para realizar el análisis.

Tabla 30. Análisis diario de incidencias de PM₁₀ en el Periodo 1 (1993 a 2002) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS

Periodo 1																									
Año	1993					1994					1995					1996					1997				
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO
C. de Datos	98%	98%	98%	99%	98%	97%	98%	99%	99%	96%	99%	97%	98%	99%	96%	97%	75%	97%	99%	99%	79%	87%	82%	78%	80%
MX	25	72	43	159	174	18	43	65	154	161	12	47	31	126	81	13	52	32	105	95	3	22	19	48	24
EPA	0	0	0	15	8	1	6	6	24	30	0	4	1	12	6	0	3	2	15	3	0	1	1	1	0
UE	147	209	136	259	286	88	156	142	254	259	48	164	95	252	161	49	150	122	216	208	20	103	70	122	88
OMS	147	209	136	259	286	88	156	142	254	259	48	164	95	252	161	49	150	122	216	208	20	103	70	122	88
Año	1998					1999					2000					2001					2002				
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO
C. de Datos	87%	32%	93%	95%	86%	96%	48%	98%	39%	88%	88%	S/D	98%	86%	97%	87%	69%	71%	53%	88%	89%	91%	93%	97%	94%
MX	39	-	69	65	100	81	-	35	-	68	49	-	64	181	92	72	-	-	-	231	94	178	163	264	282
EPA	1	-	0	2	7	8	-	2	-	3	2	-	0	5	4	5	-	-	-	49	3	15	8	44	55
UE	126	-	161	158	195	166	-	92	-	145	111	-	168	295	227	179	-	-	-	311	240	304	295	330	337
OMS	126	-	161	158	195	166	-	92	-	145	111	-	168	295	227	179	-	-	-	311	240	304	295	330	337

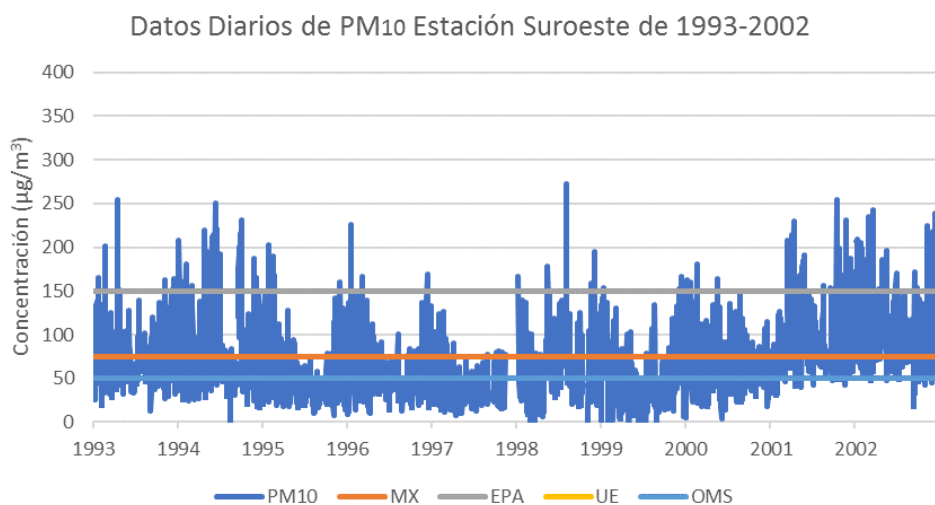


Fig. 5.58. Promedio diario de PM₁₀ de 1993 a 2002 en la estación Suroeste

En el análisis de los datos diarios, en el Periodo 1 (Tabla 30), se observa que sólo en algunas estaciones se cumple la normativa de la EPA, sin embargo, el límite establecido es de 150 µg/m³ en comparación con la normativa mexicana, cuyo límite establecido es de 50 µg/m³ y con la UE y la guía de la OMS cuyo valor es de 40 µg/m³. La estación más afectada es la Suroeste, teniendo en el último año 337 días por encima de la normativa de la OMS y la UE, es decir, 11 meses fuera de la normativa,

mientras que con respecto a la normativa mexicana se tuvieron 282 días por encima de la misma, es decir, cerca de los 10 meses fuera de la normativa.

Tabla 31. Análisis diario de incidencias de PM₁₀ en el Periodo 2 (2003 a 2010) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS

Periodo 2																								
Año	2003					2004					2005					2006								
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO				
C. de Datos	90%	94%	86%	90%	93%	96%	96%	97%	97%	94%	92%	95%	98%	95%	98%	95%	98%	97%	97%	77%				
MX	114	179	158	236	281	51	123	185	219	278	63	208	201	245	306	70	180	151	225	230				
EPA	7	14	3	26	53	1	5	8	22	54	0	15	16	36	74	1	20	12	43	89				
UE	237	301	291	312	334	177	280	311	314	343	184	320	322	319	349	210	327	303	328	278				
OMS	237	301	291	312	334	177	280	311	314	343	184	320	322	319	349	210	327	303	328	278				
Año	2007					2008					2009					2010								
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N
C. de Datos	95%	97%	95%	99%	98%	81%	98%	95%	95%	98%	97%	98%	95%	97%	98%	40%	3%	96%	96%	97%	96%	98%	89%	90%
MX	96	159	174	234	248	147	207	161	224	256	132	140	151	220	232	66	-	61	113	131	174	218	252	60
EPA	3	11	3	26	43	4	17	2	15	49	2	3	3	7	18	2	-	0	7	0	18	45	38	2
UE	247	312	302	334	335	261	327	293	319	331	273	294	302	316	335	105	-	150	256	272	286	318	325	172
OMS	247	312	302	334	335	261	327	293	319	331	273	294	302	316	335	105	-	150	256	272	286	318	325	172

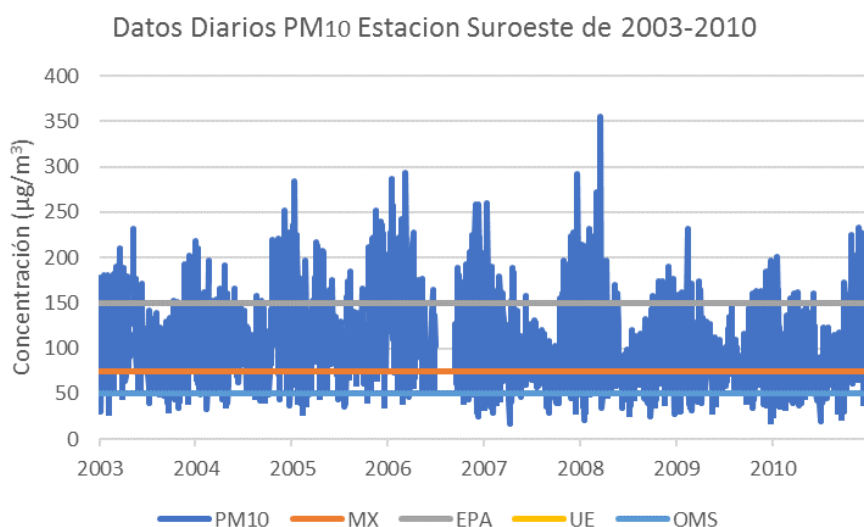


Fig. 5.59. Promedio diario de PM₁₀ de 2003 a 2010 en la estación Suroeste

En el Periodo 2 (Tabla 31), la situación empeoró ya que fue el periodo con los registros más altos de toda la serie. Así mismo, también hubo fechas en donde no estuvo ningún día por debajo de la norma. La estación Suroeste (Fig. 5.59) es la que tiene registrado más días fuera de las normas: en el año 2005 por ejemplo, se tuvieron 349 días fuera de los valores guía de la OMS y de la UE, y 306 días fuera de norma mexicana, lo cual supone que todo el año se tuvo mala calidad del aire. Con la introducción de las nuevas dos estaciones en el año 2009, se aprecia que en el 2010 la estación

Noroeste 2 también registró grandes cantidades de incidencias, resultando en 325 días por encima de los valores guía de la OMS y de la UE, y 252 días fuera de norma mexicana.

Tabla 32. Análisis diario de incidencias de PM₁₀ en el Periodo 3 (2011 a 2016) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS

Periodo 3																															
Año	2011								2012								2013														
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2					
C. de Datos	96%	97%	98%	99%	99%	96%	97%	56%	91%	98%	96%	98%	99%	96%	93%	97%	24%	95%	98%	97%	99%	98%	92%	94%	94%	97%					
MX	157	171	135	239	234	303	138	-	124	144	61	174	159	239	76	77	-	51	79	38	142	129	190	86	54	77					
EPA	6	9	3	23	54	50	8	-	8	8	1	8	32	27	1	3	-	3	10	4	13	18	17	7	5	6					
UE	287	319	264	338	331	346	284	-	255	299	176	316	281	338	227	271	-	162	204	128	275	233	310	248	177	201					
OMS	287	319	264	338	331	346	284	-	255	299	176	316	281	338	227	271	-	162	204	128	275	233	310	248	177	201					
Año	2014										2015										2016										
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SO2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SO2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SO2	
C. de Datos	95%	98%	95%	96%	94%	92%	96%	87%	73%	84%	93%	94%	95%	95%	92%	84%	77%	90%	96%	88%	97%	98%	97%	98%	97%	97%	84%	98%	94%	99%	97%
MX	61	172	83	156	203	174	56	130	-	100	45	154	94	131	177	139	57	139	107	106	15	91	67	119	110	162	51	53	85	90	
EPA	1	11	1	15	37	5	0	2	-	1	1	15	2	9	25	9	5	4	9	5	0	3	1	8	3	13	0	1	5	2	
UE	172	309	240	262	308	321	193	284	-	214	198	293	258	246	286	263	156	279	273	235	108	215	185	256	230	266	181	224	227	237	
OMS	172	309	240	262	308	321	193	284	-	214	198	293	258	246	286	263	156	279	273	235	108	215	185	256	230	266	181	224	227	237	

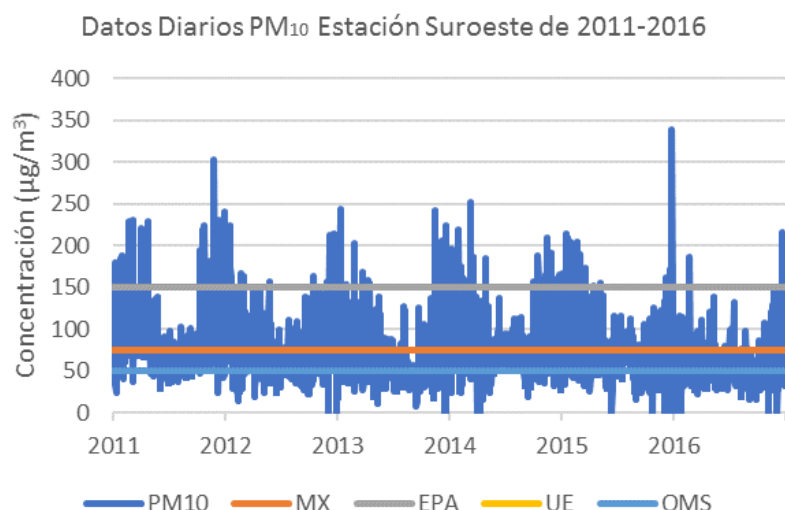


Fig. 5.60. Promedio diario de PM₁₀ de 2011 a 2016 en la estación Suroeste

Por último, en el Periodo 3 (Tabla 32) se encuentran tres estaciones principales con los mayores días sobre la norma: Noroeste, Suroeste (Fig. 5.60) y Noroeste 2. De acuerdo a los valores guía de la OMS y de la UE, en la estación Noroeste 2 de 2011 a 2014, se registraron más de 300 días fuera de normativa. Posteriormente, esta cifra descendió, sin embargo, en el 2015 y 2016, se volvieron a obtener valores altos de alrededor de 260 días por año fuera de límite.

Por lo tanto, se concluye que en todas las zonas del AMM se tiene un severo problema de PM₁₀, lo cual es peligroso para la salud de los habitantes, especialmente de las zonas más afectadas, como es el Suroeste. Sin embargo, hay que tener en cuenta que, aunque esta zona sea la que registro más días fuera del límite, no quiere decir que las demás zonas están seguras.

5.8.5 PM_{2.5}

En el caso del PM_{2.5} no se puede hacer un análisis concreto ya que la calidad de las bases de datos que se proporcionaron no es lo suficientemente buena para poder realizar un análisis de acuerdo a las normativas a nivel anual. En sí, sólo se tienen 27 mediciones anuales las cuales comprenden los años desde 2007 al 2012, las cuales no resultan suficientes. A continuación, se presentan estos datos junto con su gráfica.

Tabla 33. Análisis de incidencias anuales de PM_{2.5} de 2003 a 2016

	Sureste	Noreste	Centro	Noroeste	Suroeste	Noroeste 2	Norte	Noreste 2	Sureste 2	Suroeste 2
Valor Max.	18.96	31.94	29.99	30.5	34.83	S/D	22.71	29.69	S/D	S/D
Año V. Max.	2011	2004	2004	2007	2004	-	2010	2015	-	-
MX	4	4	6	5	6	-	1	1	-	-
EPA	4	4	6	5	6	-	1	1	-	-
UE	0	3	4	4	6	-	0	1	-	-
OMS	4	4	6	5	6	-	1	1	-	-

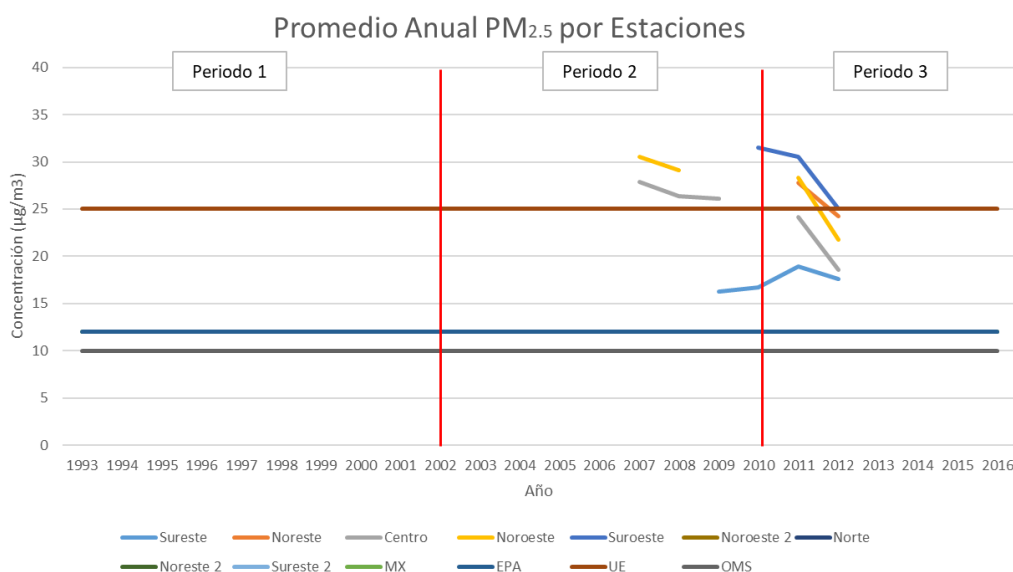


Fig. 5.61. Promedio anual de PM_{2.5} desde 2003 a 2016 de acuerdo a las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS

A pesar de la faltante de datos, se observa (Tabla 33 y Fig. 5.61) que en ningún momento ha cumplido la norma mexicana (12 µg/m³), la normativa EPA (12 µg/m³) y los valores guía de la OMS (10 µg/m³). Los niveles de este contaminante siempre han estado por encima de los 20 µg/m³. De acuerdo al análisis realizado, en el Periodo 2 se obtuvieron niveles altos de este contaminante

llegando a estar por encima de los 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Suroeste seguido de la estación Noroeste con niveles por encima de los 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el Periodo 3 los niveles empiezan a descender por debajo de la normativa de la UE, sin embargo, los niveles siguen estando por encima de la normativa mexicana y de los valores guía de la OMS. A partir del 2013 no se cuentan con suficientes datos para su análisis, sin embargo, tomando como referencia los datos de la Fig. 5.34 se puede concluir que siguen sin cumplirse las normativas mexicanas y de la guía de la OMS. Por la falta de datos en las bases de datos no se pudo tener un análisis concreto para la estación Suroeste 2, por lo que no se tomó en cuenta para el análisis anual.

Tabla 34. Análisis diario de incidencias de $\text{PM}_{2.5}$ en el Periodo 2 (2003 a 2010) sobre las normativas MX, EPA y valores guía de la OMS

Periodo 2																								
Año	2003					2004					2005					2006								
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO				
C. de Datos	47%	48%	47%	45%	46%	19%	77%	82%	68%	74%	S/D	47%	56%	53%	70%	S/D	69%	70%	67%	68%				
MX	-	-	-	-	-	-	52	33	-	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
EPA	-	-	-	-	-	-	100	84	-	128	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
OMS	-	-	-	-	-	-	217	201	-	238	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Año	2007					2008					2009					2010								
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N
C. de Datos	26%	61%	74%	86%	56%	60%	68%	80%	79%	81%	97%	68%	74%	66%	66%	38%	2%	89%	65%	73%	72%	82%	13%	84%
MX	-	-	19	28	-	-	-	17	24	50	0	-	17	-	-	-	-	1	-	-	-	35	-	13
EPA	-	-	63	87	-	-	-	51	67	127	7	-	58	-	-	-	-	7	-	-	-	105	-	44
OMS	-	-	192	242	-	-	-	179	195	251	45	-	155	-	-	-	-	39	-	-	-	243	-	121

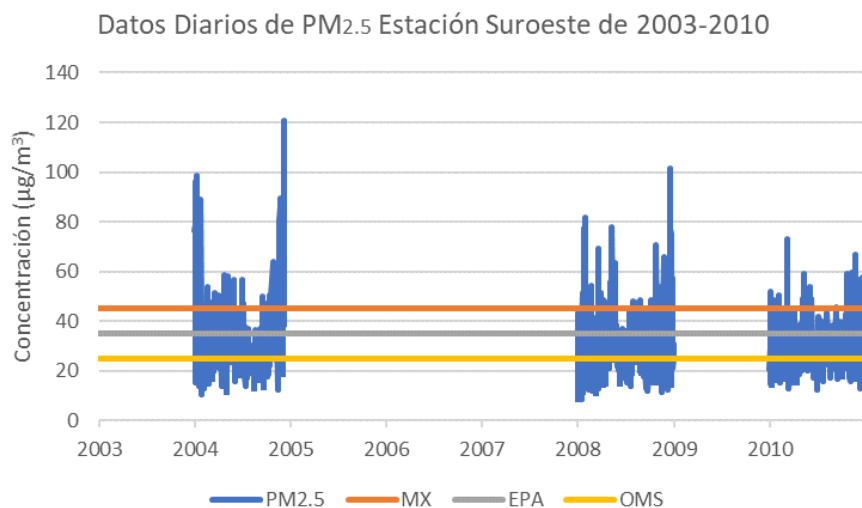


Fig. 5.62. Promedio diario de $\text{PM}_{2.5}$ de 2003 a 2010 en la estación Suroeste

En general, en el Periodo 2 (Tabla 34) en las estaciones que más incidencias se encuentran son en la del Suroeste y la del Noreste, las cuales presentan más de 200 por encima de los valores guía de la OMS. Examinando las normativas mexicana y EPA, se ve que la cantidad de días que sobrepasan los límites no son tan alarmantes como en el caso de la OMS, sin embargo, tienen rangos de 1 a 3 meses donde este contaminante se encuentran por encima del límite normado. En la Fig. 5.62 se analizan los años 2004, 2008 y 2010 los cuales presentan la mayor cantidad de datos, lo cual permite notar que, a pesar de no tener suficientes datos, en estos años se alcanzaron valores diarios por encima de los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años 2004 y 2008, y cercanos a los 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el año 2010.

Tabla 35. Análisis diario de incidencias de $\text{PM}_{2.5}$ en el Periodo 3 (2011 a 2016) sobre las normativas MX, EPA y valores guía de la OMS

		Periodo 3																												
Año	2011										2012										2013									
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2				
C. de Datos	90%	80%	90%	91%	92%	S/D	42%	34%	88%	87%	92%	96%	88%	5%	S/D	60%	20%	47%	32%	45%	66%	60%	S/D	S/D	S/D	48%				
MX	0	30	26	40	42	-	-	-	1	11	0	10	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
EPA	25	76	67	89	115	-	-	-	5	29	9	31	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
OMS	81	180	147	182	225	-	-	-	46	110	61	94	152	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
Año	2014										2015										2016									
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SO2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SO2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SO2
C. de Datos	63%	81%	72%	59%	74%	S/D	S/D	34%	2%	44%	48%	65%	51%	87%	63%	S/D	S/D	78%	S/D	45%	46%	4%	S/D	37%	65%	S/D	S/D	71%	S/D	53%
MX	-	17	-	-	23	-	-	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EPA	-	59	-	-	61	-	-	-	-	-	-	-	-	52	-	-	-	78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OMS	-	197	-	-	143	-	-	-	-	-	-	-	-	161	-	-	-	232	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

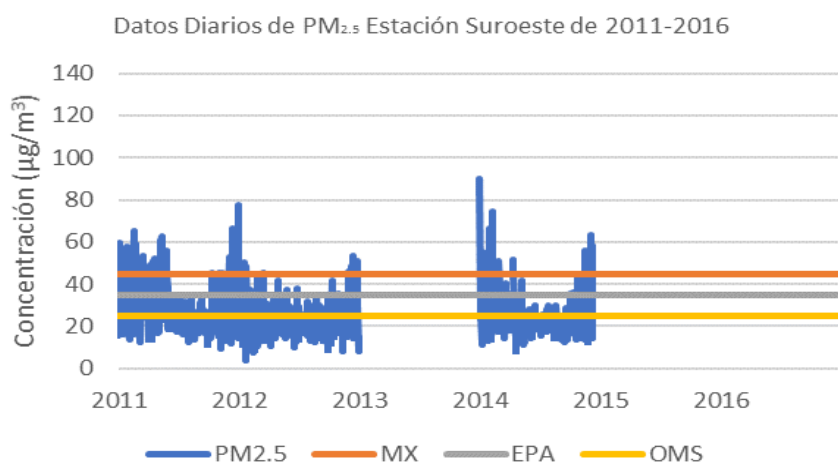


Fig. 5.63. Promedio diario de $\text{PM}_{2.5}$ de 2011 a 2016 en la estación Suroeste

La falta de datos afectó el análisis del Periodo 3 ya que en los últimos dos años no se registraron suficientes datos para poder ser analizados (Tabla 35). En la Fig. 5.63 se observa la misma tendencia que en el Periodo 2 donde los valores alcanzados en la estación Suroeste superan todas las normativas vigentes y donde hay días que llega a estar por encima de los 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A pesar de que

hoy en día ya no sobrepasa los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, se alcanzan niveles muy cercanos a dicho valor y por el análisis realizado previamente en el apartado 5.7.5 se conoce que los niveles de este contaminante son altos, al igual que el PM_{10} , y por debido a su peligrosidad a la salud humana deben seguir realizándose esfuerzos para disminuir sus concentraciones.

5.8.6 Ozono (O_3)

Así como el CO, las normativas vigentes no tienen un límite para la medición anual, por lo que únicamente se analizarán los datos octohorarios en los diferentes periodos establecidos. La forma de analizar para la UE es diferente ya que se considera el valor máximo de un día en 1 hora y la medición octohoraria, lo cual permitirá además conocer cuántos días se estuvo por encima de la normativa.

Tabla 36. Análisis octohorario de incidencias de O_3 en el Periodo 1 (1993 a 2002) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS

Periodo 1																									
Año	1993					1994					1995					1996					1997				
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO
C. de Datos	94%	94%	94%	95%	92%	93%	94%	94%	92%	91%	93%	92%	90%	74%	87%	92%	86%	90%	89%	95%	90%	87%	73%	91%	82%
MX	106	118	225	151	368	16	0	3	9	116	10	0	2	12	78	51	0	46	32	78	57	1	-	35	143
EPA	103	112	219	148	360	15	0	3	9	110	10	0	1	11	76	51	0	44	29	73	53	0	-	34	140
UE (8 h)	292	327	536	336	636	65	8	15	22	276	41	4	6	39	222	97	8	93	91	243	101	13	-	129	297
UE (Max 1h)	63	45	98	66	109	19	3	5	6	65	10	1	2	12	53	23	3	22	24	62	22	4	-	32	65
UE (U.A.)	0	0	3	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	-	0	5
OMS	841	754	1092	946	1141	190	51	85	74	568	216	25	20	153	569	234	62	258	278	596	241	81	-	316	635
Año	1998					1999					2000					2001					2002				
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO
C. de Datos	39%	38%	45%	92%	87%	S/D	11%	25%	90%	91%	29%	91%	82%	87%	92%	88%	89%	78%	91%	65%	87%	89%	93%	88%	92%
MX	-	-	-	69	66	-	-	-	29	56	-	0	0	61	93	18	0	0	27	-	45	6	40	62	82
EPA	-	-	-	66	64	-	-	-	27	54	-	0	0	58	89	18	0	0	24	-	41	5	40	58	79
UE (8 h)	-	-	-	195	121	-	-	-	119	195	-	2	8	175	217	72	0	5	92	-	152	48	107	183	206
UE (Max 1h)	-	-	-	48	26	-	-	-	32	50	-	1	4	43	48	20	0	3	24	-	37	12	24	45	50
UE (U.A.)	-	-	-	0	0	-	-	-	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0
OMS	-	-	-	567	313	-	-	-	492	488	-	36	69	523	494	229	9	47	288	-	436	161	292	519	482

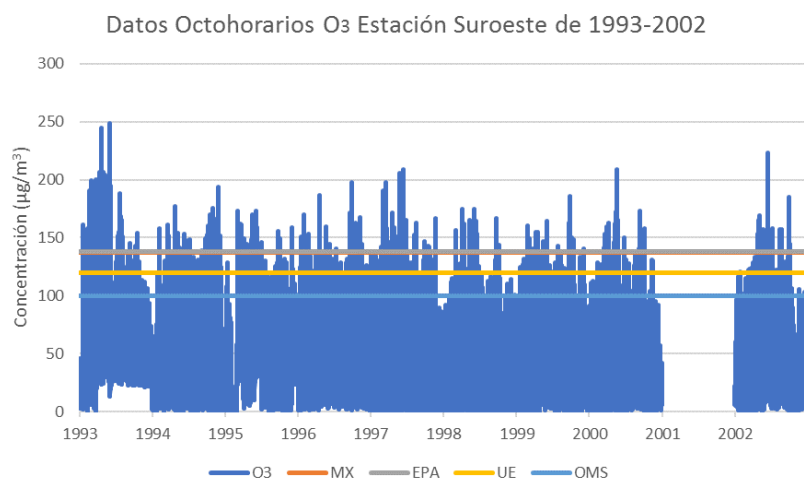


Fig. 5.64. Análisis octohorarios del O_3 de 1993 a 2002 en la estación Suroeste

En el Periodo 1 (Tabla 36), se observa que el año 1993 fue el más afectado de entre todos los datos de la serie teniendo por encima de 200 incidencias de acuerdo a la normativa mexicana y de la EPA, arriba de 500 incidencias y por arriba de 5 incidencias de los umbrales de alerta de acuerdo a la normativa de la UE y por encima de las 1000 incidencias de acuerdo a los valores guía de la OMS. Todas estas incidencias se concentraron en las estaciones Centro y Suroeste. A partir de 1997 las incidencias disminuyeron en la estación Centro, sin embargo, aumentaron en la estación Noroeste, estando a la par de la estación Suroeste. Al final de la serie se observa que se tienen alrededor de 500 incidencias. Los valores que rondan en este periodo han llegado cerca de los 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Fig. 5.64)

Tabla 37. Análisis octohorario de incidencias de O_3 en el Periodo 2 (2003 a 2010) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS

Periodo 2																								
Año	2003					2004					2005					2006								
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO				
C. de Datos	84%	88%	82%	87%	88%	96%	97%	98%	99%	96%	94%	97%	99%	96%	98%	99%	98%	98%	100%	97%				
MX	21	2	17	38	92	64	25	85	126	202	112	73	97	181	217	137	47	75	116	95				
EPA	20	2	16	34	91	62	23	84	123	199	108	73	97	179	213	132	44	75	115	91				
UE (8 h)	75	21	67	138	188	197	85	219	340	402	319	195	290	403	384	279	151	225	353	280				
UE (Max 1h)	22	7	17	35	40	45	25	51	81	80	66	45	58	76	79	59	38	55	83	70				
UE (U.A.)	0	0	0	0	2	1	0	1	0	3	0	0	1	3	3	4	1	0	1	1				
OMS	279	92	293	450	446	548	315	549	906	832	778	536	656	974	821	819	489	636	947	704				
Año	2007					2008					2009					2010								
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N
C. de Datos	98%	99%	98%	100%	98%	85%	99%	97%	98%	98%	98%	100%	96%	98%	99%	41%	3%	98%	94%	99%	100%	100%	97%	99%
MX	73	20	80	59	117	156	63	127	162	190	112	33	42	80	139	-	-	95	41	75	102	133	200	65
EPA	70	16	77	57	111	149	62	124	159	184	102	33	40	78	137	-	-	89	41	75	99	129	198	62
UE (8 h)	225	81	220	174	265	343	184	275	392	395	288	91	103	252	302	-	-	259	99	179	264	280	443	196
UE (Max 1h)	53	23	48	40	57	68	42	57	81	57	23	20	56	60	-	-	-	52	23	37	59	56	89	50
UE (U.A.)	0	0	0	1	0	0	0	0	2	3	1	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0	2	0
OMS	660	296	547	593	649	782	495	632	889	846	801	391	342	701	750	-	-	663	291	436	644	616	932	561

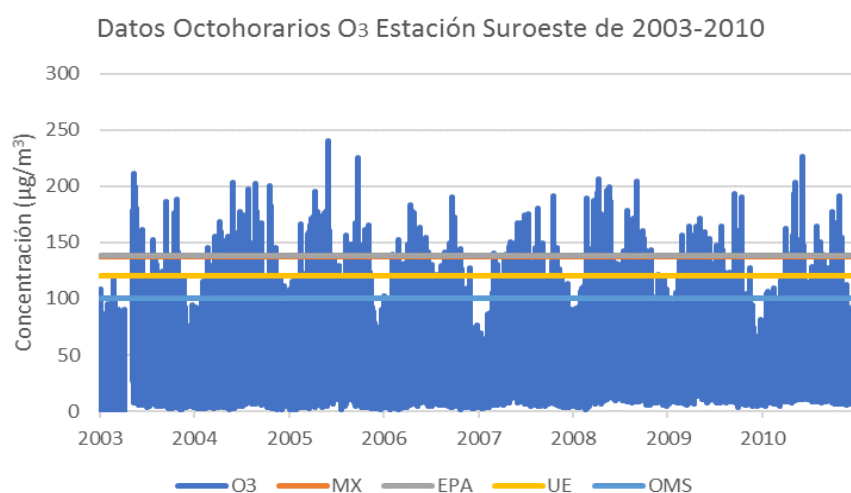


Fig. 5.65. Análisis octohorarios del O_3 de 2003 a 2010 en la estación Suroeste

En el Periodo 2 (Tabla 37), las estaciones Noroeste y Suroeste siguen siendo las que contienen el mayor número de incidencias en todos los años. En la estación Sureste (Fig. 5.65) también se observa que a partir del 2005 las incidencias empezaron a aumentar hasta llegar por encima de 700 incidencias en cuestión de los valores guía de la OMS. En general en ningún año se cumplen las normativas, teniendo en cuenta que la normativa mexicana dicta que ese sólo se puede superar el límite octohorario 1 vez al año. Los valores registrados rondan entre los 150 y 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 38. Análisis octohorario de incidencias de O_3 en el Periodo 3 (2011 a 2016) sobre las normativas MX, EPA, UE y valores guía de la OMS

Año	Periodo 3																										
	2011								2012								2013										
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2
C. de Datos	96%	95%	99%	100%	100%	97%	99%	57%	92%	99%	96%	98%	100%	97%	94%	91%	23%	96%	91%	97%	96%	90%	99%	82%	98%	71%	
MX	138	67	140	246	218	376	159	-	37	10	43	88	51	132	32	5	-	56	29	80	90	82	145	31	54	-	
EPA	136	64	135	238	210	369	152	-	34	10	40	86	49	128	30	5	-	54	29	78	85	80	142	31	50	-	
UE (8 h)	336	203	320	544	446	741	384	-	131	81	134	272	158	321	124	26	-	180	84	182	225	179	373	114	142	-	
UE (Max 1h)	65	48	63	104	95	136	82	-	33	23	32	65	37	70	34	10	-	42	21	37	49	38	77	26	33	-	
UE (U.A.)	0	0	0	1	0	5	0	-	0	0	0	1	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	2	1	0	-	
OMS	795	571	758	1175	955	1392	894	-	452	329	447	751	504	789	414	159	-	537	300	459	642	423	868	433	424	-	
Año	2014								2015								2016										
Estaciones	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2	SE	NE	CE	NO	SO	NO2	N	NE2	SE2
C. de Datos	98%	99%	92%	100%	81%	99%	99%	10%	8%	46%	97%	88%	97%	85%	31%	96%	70%	15%	50%	43%	96%	78%	19%	96%	93%	87%	
MX	78	30	73	144	227	287	77	-	-	29	10	36	33	-	155	-	-	-	21	8	-	46	142	139	-	-	
EPA	74	27	72	141	218	279	72	-	-	29	10	36	32	-	151	-	-	-	20	8	-	44	139	131	-	-	
UE (8 h)	196	107	187	339	431	576	216	-	-	69	37	118	125	-	377	-	-	-	74	43	-	152	345	345	-	-	
UE (Max 1h)	45	29	40	73	82	112	52	-	-	20	10	33	39	-	123	-	-	-	19	11	-	39	70	75	-	-	
UE (U.A.)	0	0	0	2	1	5	2	-	-	0	0	0	0	-	1	-	-	-	0	0	-	0	0	0	-	-	
OMS	500	363	428	768	802	1093	545	-	-	264	177	389	417	-	833	-	-	-	274	162	-	507	806	910	-	-	

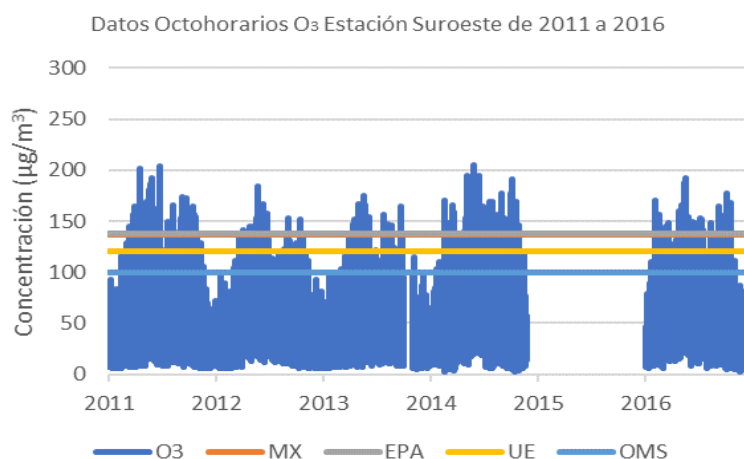


Fig. 5.66. Análisis octohorarios del O_3 de 2011 a 2016 en la estación Suroeste

En el último periodo (Tabla 38 y Fig. 5.66), se observan las mismas tendencias que en los dos periodos anteriores, sin embargo, los niveles se mantienen en los mismos rangos sin superar demasiadas veces los 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Otra observación a destacar es que se está por encima de la norma de la UE, donde se toma el valor máximo en 1 hora por día. En los últimos años se tienen

estaciones que superan el límite de la UE más de 100 días del año. Estos días ocurren principalmente en la época de verano, por motivo de que en verano se recibe más radiación solar.

6. Conclusiones y Recomendaciones

En general, en el período 1993-2016 se ha tenido una mala calidad del aire en el AMM y no solo de los contaminantes que en la actualidad están afectando de forma significativa (PM_{10} , $PM_{2.5}$ y O_3), sino los demás contaminantes también tienen sus contribuciones importantes, el CO para la formación de CO_2 y NO_x para la formación de O_3 . Cada año analizado se tienen excedencias en todos los contaminantes a nivel normativa mexicana, EPA y UE y valores guía de la OMS. Los niveles de CO, SO_2 y NO_2 han disminuido mientras otros como PM_{10} , $PM_{2.5}$ y O_3 van en aumento, lo cual indica que desde que se empezó a medir los programas y regulaciones impuestas han funcionado de cierta forma, sin embargo, con todo este análisis se observa que no es suficiente.

Las bases de datos que se proporcionaron, en algunos años, principalmente los 2014, 2015 y 2016, son las que menos datos tenía. En la mayoría de las bases de datos hay datos de valores negativos, los cuales aseguran el estado del equipo y lo incierto que el equipo está haciendo el análisis. Así mismo estos datos disminuyen el porcentaje de cantidad de datos validados para sus respectivos análisis, ya que las normativas piden un mínimo de datos validados. El contaminante que más fue afectado por la falta de datos es el $PM_{2.5}$ para poder hacer un análisis, por lo cual es necesario revisar y mantener los equipos para que a partir del presente año y posteriores se pueda hacer un análisis concreto de este contaminante ya que es un riesgo para la salud de los regiomontanos.

Las estaciones con la peor calidad de datos son las últimas tres estaciones instaladas: Noreste 2, Sureste 2 y Suroeste 2. En los últimos tres años no se han podido mantener niveles estables para hacer un análisis en concreto. Así mismo la estación del Noroeste 2, en los últimos tres años, no se ha registrado ningún dato de SO_2 , NO_2 y $PM_{2.5}$ y de muy baja calidad de CO. El mantenimiento de los equipos es esencial no solo para el análisis de los contaminantes, sino también para el análisis de los datos meteorológicos. Se pudo apreciar que la falta de datos y certeza en la precipitación era algo imposible de analizar ya que a partir del 2007 arrojaba alrededor de 100 a 150 mm anuales. Como se explicó estos datos también sirven para alimentar otras bases de datos del gobierno, en este caso el SINAICA, por lo que tener los equipos en buen estado, con sus respectivos mantenimientos preventivos y autónomos y sus calibraciones son necesarias y básicas para cualquier equipo.

Respecto al SO_2 , al principio de la serie este contaminante presentaba concentraciones medias anuales altas, por encima de los $40 \mu g/m^3$, los cuales fueron descendiendo hasta estar cerca de los

25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; los años 90's y principios del 2000 fueron los de mayor impacto para el AMM, teniendo un descenso en el Periodo 2 con valores cercanos a los 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo, en el Periodo 3 se observó que empieza a incrementar de nuevo. A nivel diario no cumple los valores guía de la OMS, por lo mismo que la normativa mexicana establece un valor límite de 288 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que el valor guía de la OMS es de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual implica una gran diferencia entre los valores establecidos, por lo cual no se tienen excedencias en todo el periodo del tiempo en cuanto a la normativa mexicana. En cuanto a la normativa de la UE y EPA los valores también están por encima de los valores de la OMS y tampoco incumple la normativa a excepción de los primeros años analizados donde excedía en ciertas ocasiones la normativa de la UE. En general, en la actualidad no se tiene problema de incumplimiento de la normativa a nivel anual, sin embargo, es necesario estar vigilando los niveles ya que como se mencionó, en los últimos años existió un ligero aumento.

El NO_2 a pesar de que en el análisis anual no tenga un nivel dado para la normativa mexicana, se muestra que este sobrepasa los límites de la UE y de los valores de la OMS en algunos años, principalmente en los años del Periodo 1. Desde el Periodo 2 a la actualidad los valores medios anuales se han mantenido entre 20 y 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en todas las estaciones a nivel anual. Sin embargo, al hacer el análisis con datos horarios, en ciertas estaciones los niveles pueden llegar a estar por encima de los 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sobre todo en épocas de invierno. En 1993 se tuvo el valor mayor registrado que alcanzó un valor por encima de los 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en la actualidad se tienen niveles cercanos a los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual indica una reducción importante de este contaminante cumpliendo todas las normativas.

El CO, a pesar de que la OMS no lo considere un contaminante directo que afecte a la salud humana, es un de contaminante que ayuda a la formación del CO_2 , el cual es un gas de efecto invernadero. Así como los contaminantes mencionados, en los primeros años en las estaciones de medición mostraba concentraciones por encima de los valores considerados en las normativas, las cuales fueron descendiendo hasta la actualidad donde se tienen concentraciones octohorarias por debajo de los 10 mg/m^3 . Esto puede ser gracias a los programas de control vehicular que se han realizado en el estado para retirar de las calles aquellos vehículos con más de 10 años y a una mejora de los motores gracias a los avances tecnológicos.

La contaminación por PM_{10} es preocupante. Desde que se empezó la medición de este contaminante su concentración ha estado por encima de todas las normativas y de los valores guía de la OMS a excepción de la estación Sureste donde al principio mostraba niveles bajos en el periodo de 1995 a 1997, posteriormente los niveles aumentaron en todas las estaciones. A nivel anual se tienen concentraciones entre 40 y 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, donde de acuerdo a la normativa mexicana se han tenido más de 100 días sobre la normativa, mientras que se han tenido por encima de 200 días por encima de

los valores guía de la OMS. En cuanto a un análisis diario, tanto al principio como hasta la actualidad se han tenido valores por encima de los $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lo cual hace la zona muy peligrosa para toda la población. Hay que recordar que este contaminante no llega a pasar a los pulmones por su tamaño, sin embargo, se quedan en las fosas nasales y esto perjudica la respiración de los ciudadanos. Las estaciones donde se registraron mayores concentraciones de este contaminante son: Noroeste 2 (García), Noroeste (Monterrey) y Suroeste (Santa Catarina). En la actualidad no se cumple ninguna normativa. Las incidencias cada vez son mayores y los niveles aumentan por lo que es necesario poner atención a sus principales fuentes de emisión, en especial a las pedreras.

La contaminación por $\text{PM}_{2.5}$, a pesar de que la calidad de los datos es escasa, con los datos que se analizaron se puede concluir que es el mismo caso que la contaminación por PM_{10} . En este caso en ningún momento, desde que se empezó su medición se ha cumplido la normativa mexicana, EPA y los valores guía de la OMS. La tendencia de este contaminante es creciente, por lo que se deben de tomar medidas ya que este contaminante puede llegar hasta los pulmones lo que ocasionarían problemas respiratorios en la población. Las estaciones donde se registraron mayores concentraciones de este contaminante son: Suroeste (Santa Catarina), Noreste (San Nicolás de los Garza) y Noroeste (García). No se puede asegurar si existen problemas de contaminación en la estación Noreste 2 (Apodaca) ya que no se tienen datos suficientes, sin embargo, en el último año se registraron más de 50 días por la normativa mexicana y más de 150 por encima de los valores guía de la OMS

La contaminación por O_3 también tiene que ser vigilada sobretodo en épocas de verano, donde se presenta la mayor cantidad de luz solar que se recibe en la zona. Se supone que la mayoría del NO_2 se convierte en O_3 por lo que en épocas de verano las concentraciones de NO_2 disminuyen y aumentan las concentraciones de O_3 . Caso opuesto en épocas de invierno donde disminuye el O_3 y aumenta el NO_2 . Las estaciones donde se registraron mayores concentraciones de este contaminante son: Noroeste (Monterrey), Suroeste (Santa Catarina) y Noroeste (García). En la actualidad este contaminante no cumple con las normativas y va en ascenso. A nivel octohorario los niveles en todos los periodos están por encima de los $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, los cuales están por encima de todas las normativas tomadas en cuenta para su análisis.

Las recomendaciones son las siguientes:

- Inspeccionar todos los equipos de medición ya que, en todos los años, los datos que se tienen en las bases de datos muestran valores negativos los cuales no deberían de estar, existen derivas por la falta de mantenimiento y ajustes de los equipos.

- Buscar una solución al problema que se tiene con la calidad de los datos que se obtienen de las estaciones de medición. Se recomienda hacer un análisis de fondo sobre los equipos de medición de los equipos de estas últimas estaciones, sobre todo los equipos de medición de $PM_{2.5}$, ya que la calidad de los datos de este contaminante son los peores y se dificulta hacer un análisis en concreto.
- Realizar un análisis con una estación de medición móvil cerca de la estación Noreste 2 (Apodaca) y Sureste 2 (Juárez) para asegurar que tipo de contaminantes predominan en la zona ya que los datos que se tienen en las bases de datos no son fiables.
- Revisión de la normativa mexicana vigente. En muchos de los casos la normativa mexicana está muy por encima de la normativa de la EPA, UE y los valores guía de la OMS, por lo que se recomienda hacer una evaluación para proponer nuevos límites de emisión.
- Fortaleces los programas de revisión vehicular, ya que se asegura que las flotas de transportes de pasajeros se deben de renovar cada 10 años, sin embargo, los vehículos particulares son los de mayores problemas.
- Proponer programas para la reducción del parque vehicular. En el Área Metropolitana de Barcelona existe el “Plan Renove” donde se ayuda con un porcentaje monetario a cambio de que se dé de baja los vehículos con más de 10 años de antigüedad o un comercial ligero con 7 o más años de antigüedad desde la fecha de su primera matriculación.
- Las zonas donde se presentan la mayoría de la contaminación por partículas, es una zona donde se encuentran ubicadas empresas de pedreras, ubicadas en el cerro de las Mitras. En octubre de 2016 se clausuraron 20 de las 48 pedreras que existen en la entidad, por irregularidades en su proceso, por lo que se recomienda revisar los procedimientos de trabajos y transporte de material ya que eso es una de las principales causantes de la contaminación por material particulado.

7. Bibliografía

- Aire N.L. (2017). Obtenido de Reportes Mensuales: <http://aire.nl.gob.mx/>
- ATSDR. (2017). Obtenido de Agency for Toxic Substances and Disease Registry: <https://www.atsdr.cdc.gov/es/>
- Azull. (2017). *Conoce Nuevo León*. Obtenido de http://www.azull.com/Azull_Conociendo_Mexico/Azull_Conociendo_Nuevo%20Leon.html
- Cardona, J. (1999). *Una metodología para estudiar la dispersión del PM10 en Monterrey*. Monterrey: ITESM.
- CFE. (2015). *Programa de Obras e Inversión del Sector Eléctrico 2007 - 2016*. Cd. de México: Comisión Federal de Electricidad.
- CFE. (2016). *Reporte Anual 2016*. Cd. de México: Comisión Federal de Electricidad.
- Cuentame INEGI. (2017). Obtenido de Nuevo León: <http://http://cuentame.inegi.org.mx/>
- Dirección de Calidad del Aire. (2012). *Programa de Gestion para Mejorar la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 2008-2012*. Monterrey: SEMARNAT.
- DOF-México. (1994). *NOM-023-SSA1-1993. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de nitrógeno (NO2)*. Obtenido de Diario Oficial de la Federación: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/023ssa13.html>
- DOF-México. (2010). *NOM-022-SSA1-2010. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO2)*. Obtenido de Diario Oficial de la Federación: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5158348&fecha=08/09/2010&print=true
- DOF-México. (2014). *NOM-020-SSA1-2014. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O3) en el aire ambiente y criterios para su evaluación*. Obtenido de Diario Oficial de la Federación: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5356801&fecha=19/08/2014&print=true
- DOF-México. (2014). *NOM-025-SSA1-2014. Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación*. Obtenido de Diario Oficial de la Federación: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5357042&fecha=20/08/2014&print=true
- Ecotech. (2015). *Serinus 10 Ozone Analyser*. Obtenido de <http://www.ecotech.com/wp-content/uploads/2015/01/Serinus-10-Manual-Ver-3.pdf>
- Ecotech. (2015). *Serinus 30 CO Analyser*. Obtenido de <http://www.ecotech.com/product/gases/ambient-trace/co-analyser/serinus-30-analyser>

- Ecotech. (2015). *Serinus 40 NOx Analyser*. Obtenido de <http://www.ecotech.com/product/gases/ambient-trace/nox-analyser/serinus-40-nox-analyser>
- EPA. (2017). *Agencia de Producción Ambiental de Estados Unidos*. Obtenido de <https://espanol.epa.gov/>
- European Union Law. (2008). *Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa*. Obtenido de <http://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj>
- Evangelina, R. L. (2007). *Análisis de Parámetros Meteorológicos utilizando el modelo de la Rosa de los Vientos*. Monterrey: UANL.
- Gobierno N.L., ProAire. (2000). Programa de Administración de la Calidad del Aire en el Área Metropolitana de Monterrey 1997-2000. Monterrey, Nuevo León, México.
- Gobierno N.L., ProAire. (2012). Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 2008-2012. Monterrey, Nuevo León, México.
- Gonzalez, S. (2016). *Air Quality Trends in Metropolitan Zones in Veracruz, México*. Veracruz: Open Journal of Air Pollution.
- Green, J. (2012). *La Calidad del Aire en America Latina: Una Visión Panorámica*. Washington D.C.: Clear Air Institute.
- INECC. (1997). *Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 1997-2000*. Monterrey: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- INECC. (2014). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. Obtenido de Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero: <http://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>
- INEGI. (2015). *Registros Administrativos. Vehículos de motor registrados en circulación*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/registros/economicas/vehiculos/>
- INEGI. (2016). Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía: www.inegi.org.mx
- INEGI. (2017). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Obtenido de Registros Administrativos: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/registros/economicas/vehiculos/>
- Khan, A. (20 de Septiembre de 2016). *Taylor and Francis Online*. Obtenido de Long-term trends in airborne SO₂ in an air quality monitoring station in Seoul, Korea from 1987 to 2013: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10962247.2017.1305009>
- León, E. M. (24 de Agosto de 2009). *Repositorio Académico Digital*. Obtenido de UANL: <http://eprints.uanl.mx/1987/1/1080187989.pdf>
- Macano. (2017). Obtenido de <http://www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf2.html>

- Met One. (2013). *BAM-1020 Continuous Particulate Monitor*. Obtenido de <http://www.et.co.uk/products/air-quality-monitoring/particulate-monitoring/bam1020-2>
- Mexico Industrial Maps. (2017). *Nuevo Leon Industrial Map*. Monterrey, Nuevo Leon, México.
- México-DF. (1993). *NOM-021-SSA1-1993. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO)*. Obtenido de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/monitoreo/normatividad/NOM-021-SSA1-1993.pdf>
- Montoya, C. (Mayo de 2013). *Área Metropolitana del Valle de Aburrá*. Obtenido de Clasificación Estaciones de Monitoreo de Calidad del Aire: http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/isdocConvenio243/Informe_caracterizacion_estaciones2014.pdf
- MRI Report. (1995). *Study of Particulate Matter Emissions and Control Options for the Limestone Quarries in the Monterrey Metropolitan Area, Mexico*. Kansas City: Midwest Research Institute.
- Municipios. (2017). Obtenido de <http://municipios.com.mx/nuevo-leon/mexico-19.html>
- NAAQS. (2015). *NAAQS Table - Criterial Air Pollutants*. Obtenido de Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>
- Obregón, F. (2004). *Inventario de Emisiones de Fuentes Móviles para el área Metropolitana de Monterrey basado en la experiencia de la Zona Metropolitana del Valle de México*. Monterrey: ITESM.
- OMS. (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y del dióxido de azufre*. Ginebra.
- Portal Monterrey, N.L. (2017). Obtenido de Tu Ciudad: http://portal.monterrey.gob.mx/tu_ciudad/historia.html
- PRTR España. (2017). Obtenido de Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes: <http://www.prtr-es.es/conozca/Sustancias-contaminantes-1026062012.html>
- Rojas, A. (2006). *Evaluación de la Exposición a Partículas PM10 y PM2.5 en el AMM en el año 2005*. Monterrey: ITESM.
- Rubio, A. (2001). *Remoción de contaminantes por lluvias y rocios en la regio metropolitana*. Santiago: Universidad de Santiago de Chile.
- Sánchez, J. (2003). *Modelo de evaluación de estrategias de control de contaminación del aire por emisiones del transporte y su aplicación al area metropolitana de Monterrey*. Monterrey: Instituto Tecnológico Superior de Monterrey.
- Secretaria de Desarrollo Sustentable de Nuevo León. (2017). *Estaciones Fijas de Monitoreo en el Área Metropolitana de Monterrey*. Monterrey, Nuevo Leon, México.

- SEMARNAT. (2015). *Guía para la Elaboración de los Programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire (ProAire)*. México, D.F.: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SGM. (2016). *Anuario Estadístico de la Minería Mexicana*. Obtenido de Servicio Geológico Mexicano: http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2015_Edicion_2016.pdf
- SIEM. (15 de Mayo de 2017). Obtenido de Secretaria de Economía: <https://www.siem.gob.mx/siem/portal/estadisticas/xmun.asp?edo=19>
- Sierra, A. (2011). *Sensibilidad de los Niveles de Ozono a sus Precursores en el AMM y el Noreste de México*. Monterrey: ITESM.
- Solaz, J. (2001). *El ozono atmosférico, ¿Benefactor o malhechor?* Valencia: Universidad de Valencia.
- TECO. (1996). *Chemiluminescence NO-NO₂-NO_x Analyzer*. Obtenido de Thermo Fisher Scientific: <https://www.thermofisher.com/>
- TECO. (2004). *Model 48C CO Analyzer*. Obtenido de Thermo Fisher Scientific: <https://www.thermofisher.com/>
- TECO. (2010). *FH62C14 Continuous Ambient Particulate Monitor*. Obtenido de Thermo Fisher Scientific: <https://www.thermofisher.com/>
- TECO. (2010). *Model 48i - Gas Filter Correlation CO Analyzer*. Obtenido de Thermo Fisher Scientific : <https://www.thermofisher.com/>
- TECO. (2011). *Model 49i UV Photometric O₃ Analyzer*. Obtenido de Thermo Fisher Scientific: <https://www.thermofisher.com/>
- TECO. (2015). *Model 42i Chemiluminescence NO-NO₂-NO_x Analyzer*. Obtenido de Thermo Fisher Scientific: <https://www.thermofisher.com/>
- Tie, X. (2001). *Impact of model resolution on chemical ozone formation in Mexico City; application of the WRF-Chem model*. Cd. de Mexico: Atmospheric Chemistry and Physics Discussions.
- Velázquez, F. (1997). *Modelización y análisis de las concentraciones de ozono troposferico*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Villasáez, J. (22 de Marzo de 2017). Contaminación Atmosférica. Monterrey, Nuevo León, México. Obtenido de El Norte.
- West, J. (2004). *Modeling Ozone Photochemistry of Hydrocarbon Emissions in the México City Metropolitan Area*. Cd. de México: Journal of Geophysical Research.
- WHO. (2017). *World Health Organization*. Obtenido de http://www.who.int/topics/air_pollution/en/