

PIGECA

Plan Integral para la Gestión Estratégica de la Calidad del Aire



Directorio

Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Nuevo León

Samuel Alejandro García Sepúlveda. Gobernador Constitucional del Estado de Nuevo León.
Alfonso Martínez Muñoz. Secretario de Medio Ambiente del Estado de Nuevo León.
Jesús Javier Pérez Sagaón. Subsecretario de Cambio Climático y Calidad del Aire.
Armandina Valdez Cavazos. Titular de la Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León.
Luis Gerardo Treviño García. Director Jurídico de la Oficina del Secretario de Medio Ambiente
Ana Diameleth Osuna Maldonado. Jefa de Planeación.

Clean Air Institute

Juliana Klakamp. Directora general del proyecto.
Eugenio Prieto Soto. Director de política de calidad del aire.
Alberto Cruzado. Experto en Industria baja en emisiones.
Ana Orrego. Especialista en diseño de planes de calidad el aire y procesos de Gobernanza.
Armando Retama. Experto en redes de monitoreo de la calidad del aire.
Georgina Echániz Pellicer. Especialista en costo y derecho ambiental.
Juan Pablo Orjuela. Especialista en sistemas de transporte sostenible.
Karen Blanco. Especialista en Emisiones de fuente fijas, móviles y de área.
Natalia Restrepo y Laura Gil. Especialistas en política participativa e involucramiento de actores.
Marcela Quiceno y Oscar Arcos. Especialistas en herramientas de modelación.
Marcos Cárdenas. Soporte Técnico.
Mónica Jaimes. Especialista en análisis de la calidad del aire.
Stephanie Montero. Especialista en salud ambiental.

Clean Air Institute (CAI) es una organización internacional con sede en Washington DC, cuya misión es catalizar procesos de mejora de la calidad del aire y mitigación del cambio climático a escalas local, nacional e internacional, para beneficiar a la salud pública y proteger al ambiente. Clean Air Institute cuenta con probada experiencia internacional en el desarrollo de políticas, desbloqueo de procesos, superación de barreras, vinculación de agencias y actores clave y desarrollo de bases técnicas para la implementación de soluciones integradas y de gran escala en los sectores de transporte, desarrollo urbano y energía, entre otros.

Conozca más acerca de Clean Air Institute en <http://www.cleanairinstitute.org>

TABLA DE CONTENIDO

PRESENTACIÓN	15
1. INTRODUCCIÓN.....	17
2. OBJETIVOS.....	21
3. META DEL PIGECA	24
4. MARCO LEGAL.....	25
5. DIAGNÓSTICO	37
5.1. CARACTERIZACIÓN DEL CONTEXTO GEOGRÁFICO Y DE LA CUENCA ATMOSFÉRICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY	37
5.2. FUERZAS MOTRICES DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY.....	59
5.3. PRESIÓN: EMISIONES A LA ATMÓSFERA	77
5.4. CALIDAD DEL AIRE: ESTADO Y TENDENCIAS DE LA CALIDAD DEL AIRE	90
5.5. IMPACTOS Y EFECTOS EN SALUD Y AMBIENTE ASOCIADOS A LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE	131
5.6. RESPUESTA: POLÍTICAS, PROGRAMAS Y ACCIONES	150
5.7. RESUMEN DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS DEL DIAGNÓSTICO	168
6. PROCESO DE FORMULACIÓN DEL PIGECA	175
6.1. MODELO DE GOBERNANZA EN EL DISEÑO DEL PIGECA	176
7. ESTRUCTURA DEL PIGECA	180
7.1. PILARES DEL PIGECA	181
7.2. LÍNEAS ESTRATEGIAS DEL PIGECA	183
7.3. MEDIDAS DEL PIGECA.....	185
8. IMPACTO DEL PIGECA	249
8.1. IMPACTO EN REDUCCIÓN DE EMISIONES	249
8.2. IMPACTO EN REDUCCIÓN DE CONCENTRACIONES.....	258
8.3. IMPACTOS EN SALUD	261
8.4. ANÁLISIS BENEFICIO COSTO	266

9. MECANISMO DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN	271
9.1. ESQUEMA DE GOBERNANZA DEL AMM	271
9.2. SEGUIMIENTO DE MEDIDAS A PARTIR DE INDICADORES	281
9.3. SEGUIMIENTO A LAS METAS DEL PIGECA	282
10. MECANISMO DE FINANCIAMIENTO	285
REFERENCIAS.....	291

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. AJUSTES INVENTARIO CAI

Anexo 2. GRAFICAS INVENTARIO DE EMISIONES DE MONTERREY

Anexo 3. INFORME DE VISITA A ESTACIONES DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE

Anexo 4. BIBLIOTECA DE ESTUDIOS DE CALIDAD DEL AIRE Y SALUD

Anexo 5. GOBERNANZA DE LA CALIDAD DEL AIRE Y PROTOCOLO PARA SU IMPLEMENTACIÓN

Anexo 6. INFORME MESAS DE TRABAJO PARA LA GENERACIÓN DE ACUERDOS

Anexo 7. MATRIZ DE INDICADORES DE MEDIDAS

Anexo 8. PLAN ESTRATÉGICO DE COMUNICACIÓN PÚBLICA PARA LA FORMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL PIGECA

Anexo 9. ESTIMACIÓN DE PROYECCIÓN DE EMISIONES DEL PIGECA

Anexo 10. IMPACTOS EN CALIDAD DEL AIRE DEL PIGECA

Anexo 11. ESTIMACIÓN COSTO BENEFICIO DEL PIGECA

Anexo 12. PRESENTACIONES PARA LA SOCIALIZACIÓN DEL PROCESO DE FORMULACIÓN DEL PIGECA

Anexo 13. Memoria del Coloquio de Calidad del Aire y Salud

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Meta del PIGECA 2023 – 2033 y promedios de concentración.....	24
Tabla 2. Facultades específicas en materia de prevención y control de la contaminación del aire de la Secretaría de la Federación y los estados	27
Tabla 3. Algunas de las atribuciones de las autoridades en materia ambiental en el Estado de Nuevo León	29
Tabla 4. Leyes y normas vigentes con incidencia en la gestión de la calidad del aire	31
Tabla 5. Valores normados de concentración de contaminantes en el aire ambiente según Normas oficiales mexicanas	34
Tabla 6. Coordenadas extremas del AMM.....	38
Tabla 7. Principales rasgos geográficos del AMM.....	41
Tabla 8. Datos de ubicación de estaciones de monitoreo	46
Tabla 9. Datos demográficos del AMM.....	59
Tabla 10. Emisiones de contaminantes criterio en los 18 municipios del AMM para el año base 2018....	80
Tabla 11. Emisiones de gases de efecto invernadero en los 18 municipios del AMM para el año base 2018	80
Tabla 12. Fuentes fijas emisiones de contaminantes atmosféricos en el AMM por sector para el año 2018	84
Tabla 13. Porcentaje de participación por sector en las emisiones totales del inventario del año 2018 ..	84
Tabla 14. Emisiones totales de contaminantes criterio en las fuentes fijas de acuerdo con su jurisdicción	85
Tabla 15. Resumen de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire ubicadas en el AMM	92
Tabla 16. Valores límite para SO ₂ de acuerdo con la NOM-022-SSA1-2019.....	96
Tabla 17. Evaluación de los indicadores de la NOM-022-SSA1-2019 sobre la calidad del aire ambiente con respecto al SO ₂ por estación considerando 2020 al 2022	96
Tabla 18. Evaluación de la tendencia histórica del SO ₂ con el método Theil-Sen en el periodo de 2010 a 2022 con algunas excepciones.....	98
Tabla 19. Cumplimiento gradual para los valores límite de PM ₁₀ y PM _{2.5} en el aire ambiente en México	106
Tabla 20. Evaluación de los indicadores de la NOM-025-SSA1-2021 para PM ₁₀ y PM _{2.5} por estación en el año 2022	106
Tabla 21. Evaluación de la tendencia histórica con el método Theil-Sen para PM ₁₀ en el periodo de 2010 a 2022 con algunas excepciones.....	108

Tabla 22. Evaluación de la tendencia histórica del PM _{2.5} con el método Theil-Sen en el periodo de 2010 a 2022 con algunas excepciones.....	109
Tabla 23. Cumplimiento gradual para los valores límite de ozono de 1 h y promedio móvil de 8 h en el aire ambiente	115
Tabla 24. Evaluación de los indicadores de la NOM-020-SSA1-2021 sobre los criterios para evaluar el O ₃ por estación en el año 2022.....	115
Tabla 25. Evaluación de la tendencia histórica con el método Theil-Sen para O ₃ en el periodo de 2010 a 2022 con algunas excepciones.....	117
Tabla 26. Cumplimiento límite para la concentración ambiental del NO ₂ en México.....	121
Tabla 27. Evaluación de los indicadores de la NOM-023-SSA1-2021 para el NO ₂ por estación del AMM en el año 2022.....	121
Tabla 28. Evaluación de la tendencia histórica con el método Theil-Sen para NO ₂ en el periodo de 2010 a 2022 con algunas excepciones.....	123
Tabla 29. Cumplimiento límite para la concentración ambiental del CO	124
Tabla 30. Evaluación de los indicadores de la NOM-021-SSA1-2021 sobre los criterios para evaluar el CO por estación en el año 2022.....	125
Tabla 31. Categorías de calidad del aire para cada contaminante y límites.....	126
Tabla 32. Veinte principales causas de morbilidad en jurisdicciones sanitarias del Área Metropolitana de Monterrey ocurridas en el año 2019	140
Tabla 33. Veinte principales causas de defunción ocurridas en el Área Metropolitana de Monterrey en el año 2019	141
Tabla 34. Riesgos relativos de distintos contaminantes asociados con mortalidad prematura por causas naturales (no externas) provenientes de los meta-análisis utilizados para actualizar las GCA de la OMS 2021	146
Tabla 35. Líneas temáticas de los estudios identificados sobre la calidad del aire del AMM	161
Tabla 36. Descripción de actores y talleres realizados	178
• Tabla 37. Descripción de tipo de actores.....	186
Tabla 38. Aporte en la reducción de emisiones por medida con respecto al escenario tendencial	258
Tabla 39. Concentración de PM _{2.5} antes y después de aplicar las medidas del PIGECA en el Área Metropolitana de Monterrey (µg/m ³)	260
Tabla 40. Muertes atribuibles por superar el valor de la NOM-025-SSA1-2019 de exposición crónica a PM _{2.5} a nivel municipal y para toda el AMM en el año 2019	263
Tabla 41. Resultados de los escenarios de reducción o incremento de las concentraciones de PM _{2.5} para el AMM	264
Tabla 42. Costo estimado en pesos mexicanos por medidas de interés	266

Tabla 43. Fuentes de financiamiento internacionales.....	286
Tabla 44. Fuentes de financiamiento nacionales y locales	289

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Concentración promedio anual por estación para el año 2022 y su comparación con la meta del PIGECA	24
Figura 2. Localización geográfica del estado de Nuevo León y del AMM.....	38
Figura 3. Coordenadas geográficas de puntos extremos en el AMM.....	39
Figura 4. Delimitación municipal del AMM.....	40
Figura 5. Colindancia de municipios del AMM	41
Figura 6. Relieve del AMM.....	42
Figura 7. Cuerpos superficiales en la Cuenca Hidrográfica del AMM.....	43
Figura 8. Uso del suelo y vegetación en el AMM.....	44
Figura 9. Ubicación de estaciones climatológicas CONAGUA.....	46
Figura 10. Temperatura promedio mensual en el AMM (periodo 1970 – 2018)	47
Figura 11. Serie de tiempo del promedio diario de la temperatura ambiente en la AMM durante 2022 .	48
Figura 12. Serie de tiempo del promedio diario de la humedad relativa en la AMM durante 2022	49
Figura 13. Serie de tiempo del promedio diario de la presión barométrica en la AMM.....	51
Figura 14. Precipitación acumulada por mes del 2021 y 2022 para el estado de Nuevo León	52
Figura 15. Serie de tiempo anual de los promedios diurnos de la radiación solar para el año 2022.....	53
Figura 16. Valores de evaporación mensual en el AMM	54
Figura 17. Cuenca atmosférica del AMM en 2006.....	54
Figura 18. Serie de tiempo del promedio diario de velocidad de viento en la AMM para 2022.....	55
Figura 19. Campo promedio del flujo de viento para los horarios matutino, vespertino y nocturno en el AMM durante 2022.....	56
Figura 20. Mapa de entidades con mayor incidencia de incendios en México	57
Figura 21. Incendios registrados en Nuevo León.....	58
Figura 22. Proporción de la población por grupos de edad en Nuevo León.....	60
Figura 23. Pirámide poblacional de Nuevo León	61
Figura 24. Proyecciones de población de los municipios del AMM entre 2020 y 2030	61
Figura 25. Distribución de personas según condición de pobreza en el AMM.....	62
Figura 26. Evolución de la ocupación territorial del AMM entre 1990 y 2020.....	64

Figura 27. Distribución porcentual del producto interno bruto de Nuevo León, según sector de actividad económica entre 2003 y 2018	66
Figura 28. Distribución porcentual del personal ocupado total en el área metropolitana de Monterrey y la región centro periférica de Nuevo León, según su sector de actividad económica en 2009, 2014 y 2019	67
Figura 29. Participación porcentual de variables económicas del AMM, respecto al total de Nuevo León en 2009, 2014 y 2019.....	68
Figura 30. Características según tamaño de la unidad económica del Área Metropolitana de Monterrey en 2018	69
Figura 31. Reparto modal de viajes del AMM entre 2005 a 2020	72
Figura 32. Tiempo de traslado al trabajo según medio de transporte en el Área Metropolitana de Monterrey durante el 2020	73
Figura 33. Tiempo de traslado al colegio según medio de transporte en el Área Metropolitana de Monterrey durante el 2020	74
Figura 34. Porcentaje de participación de emisiones de cada tipo de fuente para los distintos contaminantes analizados	79
Figura 35. Porcentaje de participación de emisiones de cada tipología vehicular para los distintos contaminantes analizados	81
Figura 36. Distribución porcentual de PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO ₂ y NO _x según las categorías vehiculares del inventario de emisiones de 2018	82
Figura 37. Distribución porcentual de COV según las categorías vehiculares del inventario de emisión de 2018	83
Figura 38. Participación porcentual de distintos combustibles en las fuentes de jurisdicción federal.....	86
Figura 39. Emisiones (tonelada/año) de PM ₁₀ , PM _{2.5} y COV de las fuentes de área en el AMM para el año 2018	87
Figura 40. Comparación histórica de inventarios de emisiones años 2005, 2013 y 2018	88
Figura 41. Mapa de la ubicación de las 14 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el Área Metropolitana de Monterrey e industrias.....	91
Figura 42. Distribución espacial y temporal de las concentraciones de SO ₂ en el año 2022	95
Figura 43. Comparación del valor límite de la NOM y de la OMS para los indicadores del promedio anual y de 24 h para SO ₂	97
Figura 44. Tendencias históricas del SO ₂ en las nueve estaciones a las que se les aplicó el método de Theil-Sen.....	99
Figura 45. Evento de concentración alta de SO ₂ registrado el 21 y 22 de enero de 2022.....	100
Figura 46. Distribución espacial y temporal de las concentraciones de PM ₁₀ en el año 2022	104
Figura 47. Distribución espacial y temporal de las concentraciones de PM _{2.5} en el año 2022	105

Figura 48. Comparación del valor límite de la NOM y de la OMS para los indicadores del promedio anual y promedio de 24 h para PM ₁₀	107
Figura 49. Comparación del valor límite de la NOM y de la OMS para los indicadores del promedio anual y de 24 h para PM _{2.5}	107
Figura 50. Tendencias históricas de PM ₁₀ en las 10 estaciones a las que se les aplicó el método de Theil-Sen.....	109
Figura 51. Tendencias históricas del PM _{2.5} para las seis estaciones a las que se les aplicó el método de Theil-Sen	110
Figura 52. Distribución espacial y temporal de las concentraciones de O ₃ en el año 2022	114
Figura 53. Comparación del valor límite de la NOM y de la OMS para los indicadores del promedio horario y el móvil de ocho horas para O ₃	116
Figura 54. Tendencias históricas del O ₃ para las seis estaciones a las que se les aplicó el método de Theil-Sen.....	117
Figura 55. Distribución espacial y temporal de las concentraciones anuales de NO ₂ en el año 2022	120
Figura 56. Comparación del valor límite de la NOM y de la OMS para los indicadores del promedio horario, anual y de 24 horas para NO ₂	122
Figura 57. Tendencias históricas del NO ₂ para las cuatro estaciones a las que se les aplicó el método de Theil-Sen	123
Figura 58. Comparación del valor límite de la NOM y de la OMS para los indicadores del promedio horario, el móvil de ocho horas y el de 24 horas para CO.....	126
Figura 59. Número de días con categoría buena, regular o mala calidad del aire para el Área Metropolitana de Monterrey por contaminante e indicadores	127
Figura 60. Partes del cuerpo afectadas por la contaminación del aire.....	133
Figura 61. Efectos a la salud por la contaminación del aire de acuerdo a la magnitud y a la severidad de los efectos.....	133
Figura 62. Efectos a la salud asociados a la exposición a la contaminación del aire durante el desarrollo intrauterino y la infancia	134
Figura 63. Determinación de causalidad entre los efectos a la salud humana y la exposición a contaminantes criterio.....	145
Figura 64 . Imágenes relativas a las acciones que ha implementado el OCCAMM en el AMM	164
Figura 65. Imágenes relativas a las acciones que ha implementado el CEI en el AMM	166
Figura 66. Esquema general para la gestión de la calidad del aire	175
Figura 67. Fotografías de talleres y socializaciones para la formulación del PIGECA.....	177
Figura 68. Líneas estratégicas del PIGECA	183

Figura 69. Medidas de las líneas estratégicas sectoriales.....	188
Figura 70. Medidas de las líneas estratégicas transversales	227
Figura 71. Participación de las emisiones de PM ₁₀ por tipo de fuente entre el año 2018 y 2033.....	251
Figura 72. Participación de las emisiones de PM _{2.5} por tipo de fuente entre el año 2018 y 2033	251
Figura 73. Participación de las emisiones de SO ₂ por tipo de fuente entre el año 2018 y 2033	252
Figura 74. Participación de las emisiones de NO _x por tipo de fuente entre el año 2018 y 2033	252
Figura 75. Participación de las emisiones de COV por tipo de fuente entre el año 2018 y 2033.....	253
Figura 76. Participación de las emisiones de carbono negro por tipo de fuente entre el año 2018 y 2033	253
Figura 77. Proyección de emisiones de PM ₁₀ por medida con la implementación del PIGECA.....	254
Figura 78. Proyección de emisiones de PM _{2.5} por medida con la implementación del PIGECA.....	255
Figura 79. Proyección de emisiones de NO _x por medida con la implementación del PIGECA	255
Figura 80. Proyección de emisiones de SO ₂ por medida con la implementación del PIGECA.....	256
Figura 81. Proyección de emisiones de COV por medida con la implementación del PIGECA.....	256
Figura 82. Proyección de emisiones de carbono negro por medida con la implementación del PIGECA	257
Figura 83. Resultados de calidad del aire para PM _{2.5} sin y con la implementación de medidas del PIGECA	261
Figura 84. Insumos empleados para ERS por contaminación del aire para el AMM en el año 2019	262
Figura 85. Porcentaje de muertes prematuras por causa específica atribuibles a la exposición crónica por PM _{2.5} en el AMM en 2019	264
Figura 86. Reducción de emisiones contra los costos por año del PIGECA	268
Figura 87. Comparativo del beneficio económico de las emisiones abatidas de PM _{2.5}	269
Figura 88. Esquema de Gobernanza del PIGECA para el Área Metropolitana de Monterrey	272
Figura 89. Metodología de seguimiento y evaluación de medidas a partir de indicadores	282
Figura 90. Ruta de la estrategia de financiamiento del PIGECA del AMM	285

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ADN	Ácido desoxirribonucleico
AET	Agencia Estatal de Transporte y Vialidad
AMM	Área Metropolitana de Monterrey
BenMAP-CE	Programa de Mapeo y Análisis de Beneficios – Edición Comunitaria (siglas en inglés de <i>Benefit Mapping and Analysis Program – Community Edition</i>)
CAI	Instituto de Aire Limpio (siglas en inglés de <i>Clean Air Institute</i>)
CAINTRA	Cámara de la Industria de la Transformación de Nuevo León
CEI	Comité Ecológico Integral
CETyV	Consejo Estatal de Transporte y Vialidad
CIMAV	Centro de Investigación en Materiales Avanzados
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CONEVAL	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social
CMM	Centro Mario Molina
CNGMD	Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (siglas en inglés de <i>U.S. Environmental Protection Agency</i>)
EPOC	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica
EE.UU.	Estados Unidos
ERS	Evaluación de riesgo en salud
FCR	Función concentración-respuesta
GCA	Guías de Calidad del Aire
GEI	Gases efecto invernadero
HEI	Instituto de Efectos sobre la Salud (siglas en inglés de <i>Health Effects Institute</i>)
IHME	Instituto de Métricas y Evaluación de la Salud (siglas en inglés de <i>Institute for Health Metrics and Evaluation</i>)
IMCO	Instituto Mexicano para la Competitividad, A.C.
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía

IPA	Instituto para la Protección Ambiental de Nuevo León
ISAs	Evaluaciones Integradas de la Ciencia (siglas en inglés de <i>Integrated Science Assessments</i>)
ITDP	Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (siglas en inglés de <i>Institute for Transportation and Development Policy</i>)
ITNL	Instituto Tecnológico de Nuevo León
LEZ	Zona de baja emisiones (siglas en inglés de <i>low emission zones</i>)
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
NOM	Normas Oficiales Mexicanas
OCCAMM	Observatorio Ciudadano de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey
OMS	Organización Mundial de la Salud
PACADAMM	Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey
PACC	Programa de Acción ante el Cambio Climático
PACMUN	Plan de Acción Climática Municipal
PAMM	Periférico del Área Metropolitana de Monterrey
PIB	Producto Interno Bruto
PIGECA	Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire
PIMUS	Plan Integral de Movilidad Urbana Sustentable
PRCA	Programa de respuesta a contingencias atmosféricas
ProAire	Programa de gestión para mejorar la calidad del aire
RR	Riesgo relativo
SCNL	Sistema de Caminos de Nuevo León
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México
SETME	Servicio de Transporte Metropolitano
SIMA	Sistema Integral de Monitoreo Ambiental
SMA	Secretaría de Medio Ambiente
SMN	Servicio de Monitoreo Nacional
UANL	Universidad Autónoma de Nuevo León
UDEM	Universidad de Monterrey
ULEZ	Zona de ultra baja emisiones (siglas en inglés de <i>ultra low emission zones</i>)
ITESM	Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey

Contaminantes y Emisiones

CH ₄	Metano
CN	Carbono negro
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
COV	Compuestos orgánicos volátiles
COVDM	Compuestos orgánicos volátiles distintos al metano
COT	Carbono orgánico total
HAP	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
HC	Hidrocarburos
NH ₃	Amoníaco
NO _x	Óxidos de nitrógeno
N ₂ O	Óxido nitroso
O ₃	Ozono
Pb	Plomo
PM	Material particulado (Particulate matter por sus siglas en inglés)
PM ₁₀	Material particulado de diámetro aerodinámico inferior o igual a 10 micrómetros
PM _{2.5}	Material partículas de diámetro aerodinámico inferior igual a 2.5 micrómetros
PST	Partículas Suspendidas Totales
SO ₂	Dióxido de azufre

Nota: La información numérica reportada en este documento usa la coma (,) como elemento separador de las unidades de miles y el punto (.) para decimales.

PRESENTACIÓN

La sociedad de Nuevo León, en colaboración con su gobierno y sector privado, está comprometida en revertir de manera sostenida la contaminación atmosférica, un reto que hoy abordamos con mayor conciencia y responsabilidad. Reconocemos que, en el pasado, la gravedad de este problema fue subestimada. Sin embargo, los neoleoneses hemos evolucionado rápidamente en nuestra percepción y acciones hacia este tema crucial.

Hace dos décadas, los niveles de contaminación por material particulado (PM) eran al menos un 30% más altos que los actuales, y la conciencia sobre la importancia de respirar un aire limpio era limitada. Hoy, la situación ha cambiado drásticamente: contamos con organizaciones civiles especializadas, grupos de investigación consolidados en nuestras universidades, y una creciente atención mediática sobre la calidad del aire. Además, las acciones del gobierno estatal se han vuelto más específicas y efectivas.

Es importante reconocer que el punto de partida de nuestro Programa Integral de Gestión de la Calidad del Aire (PIGECA) se basa en un escenario donde, desafortunadamente, los niveles de contaminación en el Área Metropolitana de Monterrey como en otras ciudades mexicanas superan actualmente las normativas nacionales e internacionales establecidas para la protección de la salud. Según los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud, los niveles de contaminantes como PM_{2.5} y PM₁₀ en nuestra metrópoli han rebasado los límites recomendados, lo que representa un riesgo significativo para la salud pública.

Esta realidad nos confronta con la urgencia de implementar medidas eficaces y nos obliga a actuar con determinación, rapidez y unidad. El PIGECA se fundamenta en la mejor información disponible y se alinea con las normativas internacionales más exigentes, reflejando nuestro compromiso con alcanzar y, en lo posible, superar estos estándares. Así, este programa no solo busca cumplir con las normativas vigentes, sino también establecer a Nuevo León como un modelo de gestión de calidad del aire, a la vanguardia en la adopción de prácticas y políticas que garanticen un ambiente saludable para todos sus habitantes.

En este contexto, el presente documento no solo presenta un inventario actualizado de emisiones e información actualizada sobre los niveles de calidad del aire, sino también estrategias detalladas para cumplir con las normativas de salud referentes a la concentración promedio anual de partículas respirables (PM_{2.5}). Representa un punto de inflexión en nuestra política de gestión de la calidad del aire, con un desarrollo basado en los conocimientos y experiencias más relevantes a nivel local e internacional. Este esfuerzo no pertenece únicamente al Gobierno de Nuevo León, sino a toda la sociedad de nuestro estado, y nos corresponde a todos apoyar y supervisar su implementación.

Es crucial destacar el papel fundamental del sector privado en este esfuerzo colectivo. Nuevo León, caracterizado por su fuerte espíritu empresarial, se beneficia inmensamente de un entorno saludable para el desarrollo empresarial. Las empresas de Monterrey, pilares de nuestra economía tanto nacional como internacionalmente, son cruciales en la adopción de prácticas sostenibles y en la reducción de sus emisiones. Su activa participación es un reflejo del compromiso con la salud comunitaria y clave para mantener nuestra competitividad en un mercado global orientado a la sostenibilidad.

La colaboración entre los diferentes niveles de gobierno —municipal, estatal y federal— es igualmente imprescindible. Esta sinergia facilita una coordinación efectiva de políticas y recursos, asegurando que las

medidas adoptadas sean integrales y reflejen las necesidades de cada ámbito gubernamental. Unidos, aprovechamos las oportunidades para mejorar la calidad del aire y proteger la salud de nuestros ciudadanos, estableciendo a Nuevo León y como ejemplos de cómo la colaboración intergubernamental puede lograr resultados significativos y duraderos.

En resumen, el éxito del Programa Integral de Gestión de la Calidad del Aire depende de la unión de esfuerzos entre todos los integrantes de la sociedad, el sector privado y los tres órdenes de gobierno. Trabajando juntos, estamos forjando un futuro más saludable y sostenible, no solo para los actuales habitantes de nuestra región sino también para las generaciones futuras. Este es un momento crucial para el área metropolitana de Monterrey y Nuevo León, un tiempo para liderar con el ejemplo de todos en el escenario nacional e internacional, demostrando que el progreso económico y la responsabilidad ambiental pueden avanzar juntos hacia un futuro más prometedor.

Alfonso Martínez Muñoz

Secretario de Medio Ambiente del Estado de Nuevo León

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es la mayor amenaza ambiental para la salud pública a nivel mundial y, de acuerdo con las estadísticas de la Organización Mundial de la Salud (OMS), esta situación representa aproximadamente 6.7 millones de muertes prematuras cada año (OMS, 2021a). Diversos estudios internacionales sugieren, además, que la mala calidad del aire se relaciona con: enfermedades respiratorias y cardiovasculares, y otras afectaciones más a la salud de las personas (efectos metabólicos y en el sistema nervioso central, y en los sistemas reproductivos) (US EPA, 2020).

En el caso de México, se estima que 29 muertes por cada 100,000 habitantes fueron atribuibles a la contaminación por partículas finas en 2019 y, de acuerdo a la población del país, la cifra asciende a 36,582 casos asociados a condiciones atmosféricas en el 2022 (GDB, 2019; IHME, 2020; citados en UNEP, 2022). Para el Área Metropolitana de Monterrey, existen diversos estudios internacionales y locales con resultados interesantes y de gran utilidad para entender los impactos de la contaminación del aire en la salud de la población (Cerón-Bretón et al., 2021; Gasca-Sánchez et al. 2021; Gasca-Sánchez et al., 2019; Longoria-Rodríguez et al., 2020; Martínez-Muñoz et al., 2020; Romieu et al., 2012; Santos-Guzmán et al., 2014; Vicedo-Cabrera et al., 2020); para el año 2015 se estima que 1,250 a 1,400 muertes fueron atribuidas a la contaminación del aire (Trejo et al., 2019).

En respuesta a este desafío que comparten diferentes países en el mundo, la OMS actualizó las Directrices mundiales sobre la calidad del aire en el año 2021, al ampliar la evidencia científica que justifica que las concentraciones de algunos contaminantes en el aire deben ser aún más bajas para proteger la salud de la población ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2.5}$) (OMS, 2021b). De igual manera, la necesidad de asegurar un aire más limpio se plasmó desde la Asamblea General de las Naciones Unidas en julio de 2022, mediante la declaración de la urgencia de incrementar los esfuerzos para garantizar que todas las personas del planeta cuenten con acceso a un “medio ambiente limpio, saludable y sostenible” (ONU, 2022). La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece en su artículo 4o., párrafo quinto, que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar, y en esa misma dirección, la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Nuevo León, en su artículo 3°, señala que todos los habitantes tienen el derecho a disfrutar de un ambiente sano para el desarrollo de la persona, así como el deber de conservarlo.

Para atender el problema de la contaminación del aire, así como sus efectos perjudiciales a la salud y garantizar un ambiente sano para el desarrollo y bienestar de los habitantes, se han desarrollado diversas iniciativas tanto a nivel global como regional, nacional y local, dentro de las cuales se formulan instrumentos de gestión que permiten avanzar en la atención de esta problemática. Uno de ellos lo constituyen los planes o programas de descontaminación para el mejoramiento de la calidad del aire. Su objetivo suele ser la “reducción de las emisiones de contaminantes a la atmósfera que afectan la salud de la ciudadanía y el medio ambiente y el mejoramiento de la gestión de la calidad del aire en un esquema de gobernanza participativa” (SEMARNAT, 2022a).

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) de México, ha realizado importantes avances en aras de fortalecer el marco normativo y de políticas, para que las diferentes regiones del país cuenten con bases sólidas para la gestión de la calidad del aire y herramientas para combatir la contaminación del aire. Uno de estos instrumentos es la guía para la elaboración de los programas de gestión para mejorar la calidad del aire (ProAire) utilizada en la formulación de este

Plan, el cual, en el radio de acción regional, sirve de apoyo para trazar el camino hacia la mejora de la calidad del aire en un periodo de tiempo definido¹.

El Gobierno de Nuevo León es consciente de la necesidad de avanzar en la atención a esta problemática y es por ello que, en cabeza de la Secretaría de Medio Ambiente, ha trabajado en acciones concretas para disminuir sus emisiones atmosféricas en el marco de sus responsabilidades para la conservación de los recursos naturales y de los ecosistemas a nivel estatal. Dentro de estos importantes esfuerzos, ha basado su gestión de la calidad del aire en los ProAires, los cuales han buscado atender las necesidades de mejoramiento atmosférico en los horizontes de tiempo 1997 – 2000 para el Área Metropolitana de Monterrey (AMM), y 2008 – 2011 y 2016 – 2025 para el Estado de Nuevo León.

Si bien estos instrumentos han sido clave para gestionar este fenómeno ambiental en el territorio, la problemática de la calidad del aire es cambiante, multi-variable y no puede atenderse de manera aislada. Es por esto que, para enfrentar los actuales desafíos en materia de contaminación atmosférica, es imperante disponer de un plan que aborde de manera integral las necesidades para el mejoramiento de la calidad del aire en la región y que posea, además, una articulación y construcción participativa de los diferentes sectores públicos, privados y ciudadanos para una apropiación conjunta de la problemática y, como resultado, generar acciones de corresponsabilidad para su mejoramiento sostenido en el tiempo.

La Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León establece el Plan Integral de la Gestión Estratégica de la Calidad del Aire (PIGECA), el cual traza el camino durante el período 2023 – 2033 para la reducción de los contaminantes atmosféricos que generan los mayores riesgos para la salud en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM); territorio entendido como el eje principal del desarrollo económico estatal que, a su vez, concentra las principales fuentes de contaminación aportantes a esta problemática.

El PIGECA establece la hoja de ruta de la región para el cumplimiento de metas de calidad del aire que consiste en: Alcanzar el valor de la Norma de Salud Ambiental NOM-025-SSA1-2021 y el objetivo intermedio 4 (OI-4) de la OMS de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2.5}$, a través del trabajo conjunto entre los distintos actores que cohabitan en el territorio, tanto institucionales como públicos y privados. Éste proyecta una visión de la región en materia de calidad del aire, sin perder de vista el desarrollo de la misma, invitando a toda la ciudadanía desde su rol a adoptar compromisos, participar y apropiarse de la problemática y soluciones, tanto en su formulación e implementación. Lo anterior, a partir de la creación de la Gobernanza por la Calidad del Aire para el AMM. Más allá, El PIGECA ayudará a reducir en 2/3 (66%) la mortalidad prematura asociada a la exposición crónica a partículas finas en el año 2033 (1,700 muertes) para el AMM.

En el contexto de una región en expansión e integración metropolitana, el punto de partida para la formulación del PIGECA consiste en el análisis de las relaciones sistémicas y causales entre: a) las fuerzas motrices que determinan las emisiones contaminantes en el AMM; b) la presión sobre la atmósfera de dichas emisiones; c) el estado de la calidad del aire resultante; d) el impacto de la calidad del aire sobre la salud, el ambiente, la sociedad y la economía; y e) la respuesta del gobierno,

¹ La guía para la elaboración de los ProAires en México cuenta con una actualización al año 2022 y se encuentra disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/734213/Guia_a_ProAire_3ra_edicio_n.pdf.

sector privado y sociedad civil ante tales fuerzas motrices, presión, estado e impactos. Este último corresponde a la presentación del PIGECA, explicando a destalle su estructura, las líneas estratégicas y medidas que lo componen. Asimismo, se presenta la evaluación del impacto que tendrá en relación a la reducción de emisiones, al mejoramiento de calidad del aire y los impactos en la salud pública.

A continuación, se presenta el documento del PIGECA, construido bajo el liderazgo del equipo técnico de la Secretaría de Medio Ambiente (SMA) y con el apoyo de actores clave del territorio, a través de mesas de trabajo realizadas en el marco de la creación del esquema de gobernanza por la calidad del aire, quienes a su vez harán parte fundamental de su implementación, evaluación y seguimiento a su efectividad.

Este informe se enmarca en el desarrollo de las actividades establecidas en el “CONTRATO DE PRESTACIÓN DE SERVICIO DE CONSULTORÍA PARA LA FORMULACIÓN DEL ESTUDIO DENOMINADO PLAN INTEGRAL DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE 2022-2032 PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY, SOLICITADO POR EL TITULAR DE LA SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE DEL ESTADO” (CM Contrato No. SEE/DAS/17- junio - 2022/15:00/F), suscrito entre el Gobierno del Estado de Nuevo León y el Clean Air Institute (CAI).

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

El Plan Integral de Gestión Estratégica de la Calidad del Aire 2023-2033 (PIGECA) tiene como objetivo mejorar progresivamente la calidad del aire del Área Metropolitana de Monterrey, para salvaguardar la salud pública y proteger el ambiente, así como para elevar el bienestar social y propiciar un desarrollo metropolitano sostenible.

Hacia el logro de este objetivo, el PIGECA establece las bases para el diálogo y la articulación entre los órdenes de gobierno (nacional, estatal y municipal), entidades del sector privado, organizaciones de la sociedad civil, la academia y la ciudadanía en general, que conlleven a una exitosa implementación participativa y corresponsable de políticas, programas y proyectos de corto, mediano y largo plazo, a través de esfuerzos colaborativos multisectoriales y multidisciplinarios.

2.2. Objetivos específicos

- I. Fomentar el desarrollo y aprovechamiento del conocimiento científico como base para la comprensión y entendimiento de la problemática de la contaminación del aire.
- II. Complementar, dirigir, fortalecer y articular los instrumentos de planificación en materia de cambio climático y ordenamiento territorial, y otros instrumentos de planeación.
- III. Impulsar un desarrollo bajo en emisiones de la industria y los servicios, que permita tener una industria eficiente y competitiva.
- IV. Mejorar la transformación del sistema de movilidad urbana hacia modos sostenibles, elevando la calidad, cobertura y eficiencia del sistema de transporte urbano, y modernizando el parque vehicular con tecnologías limpias, en línea con los estándares de emisión establecidos internacionalmente. De esta manera, reducir la población expuesta a los efectos de los gases contaminantes producidos, en buena parte, por la circulación de vehículos a motor y por la calidad de los combustibles.
- V. Lograr que la bicicleta se consolide como un medio de transporte con alta cobertura, seguro e incluyente, además de que caminar sea la primera y más segura alternativa de desplazamiento en distancias cortas, articulado con los demás modos de transporte, mediante el despliegue de la infraestructura, el mobiliario urbano, las condiciones operacionales necesarias.
- VI. Generar, proteger, recuperar, restituir y cualificar el arbolado y cobertura vegetal urbana y rural, así como el espacio público y los ecosistemas en el entorno de influencia del área metropolitana de Monterrey.
- VII. Prevenir eficazmente los efectos en la salud de la población por la calidad del aire, atendiendo de forma adecuada, oportuna y eficaz los episodios de contaminación del aire, incluyendo los incendios forestales y de residuos.
- VIII. Establecer un sistema de instrumentos económicos y de persuasión aplicables a agentes, que motiven a individuos y organizaciones a prevenir y reducir emisiones contaminantes.

- IX. Implementar un esquema de comunicación pública y movilización social que favorezca la información, la relación y el diálogo permanente y la generación de acuerdos comunes entre los diferentes actores que intervienen en el desarrollo del Área Metropolitana de Nuevo León.
- X. Diseñar y poner en marcha un esquema de gobernanza por la calidad del aire con actores clave del territorio sostenible en el tiempo.

METAS DEL PIGECA

3. META DEL PIGECA

Se propone como meta del PIGECA la reducción de las concentraciones promedio anual de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del contaminante $\text{PM}_{2.5}$ (Tabla 1), alcanzando el valor de la Norma de Salud Ambiental NOM-025-SSA1-2021 y el objetivo intermedio 4 (OI-4) de la OMS. Esta meta se considera aspiracional y busca incidir de forma positiva en el direccionamiento de acciones al cumplimiento de la misma, así como fomentar la participación activa de todos los actores involucrados y lograr impactos en todo el territorio (Figura 1). De igual manera, se encuentra asociada a una reducción de la mortalidad en un 66% con respecto al escenario sin medidas que se detallarán en los siguientes capítulos.

Tabla 1. Meta del PIGECA 2023 – 2033 y promedios de concentración

Meta	2022	2023	Meta a 2033
Reducción de concentración de $\text{PM}_{2.5}$	$19.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$20.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

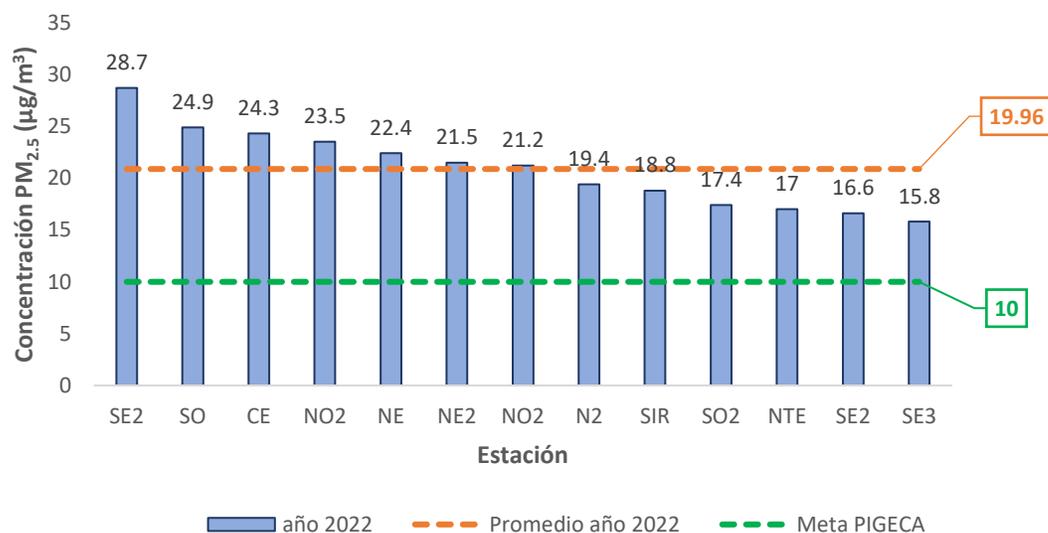


Figura 1. Concentración promedio anual por estación para el año 2022 y su comparación con la meta del PIGECA

MARCO LEGAL

MARCO LEGAL

La **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos**, en su artículo 4o, párrafo quinto, establece que toda persona tiene derecho a la protección de la salud y a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar, aspiración que el Estado debe materializar y garantizar en beneficio de todos los mexicanos.

La **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente (LGEEPA)** funge como uno de los instrumentos más importantes a nivel nacional para la protección del medio ambiente y atención de la contaminación atmosférica urbana. Tiene como objeto “propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para: i) garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente sano para su desarrollo, salud y bienestar...; vi) la prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo...; viii) el ejercicio de las atribuciones que en materia ambiental corresponde a la Federación, las entidades federativas, los Municipios y las demarcaciones territoriales de la Ciudad de México...”.

El artículo 5 de la LGEEPA presenta las facultades de la Federación: “vii) la participación en la prevención y el control de emergencias y contingencias ambientales, conforme a las políticas y programas de protección civil que al efecto se establezcan...; xii) la regulación de la contaminación de la atmósfera, proveniente de todo tipo de fuentes emisoras, así como la prevención y el control en zonas o en caso de fuentes fijas y móviles de jurisdicción federal; xiii) el fomento de la aplicación de tecnologías, equipos y procesos que reduzcan las emisiones y descargas contaminantes provenientes de cualquier tipo de fuente, en coordinación con las autoridades de los Estados, el Distrito Federal y los Municipios; así como el establecimiento de las disposiciones que deberán observarse para el aprovechamiento sustentable de los energéticos...; xviii) la emisión de recomendaciones a autoridades Federales, Estatales y Municipales, con el propósito de promover el cumplimiento de la legislación ambiental...; xxi) la formulación y ejecución de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático...”.

El artículo 11 de la LGEEPA establece que “la Federación, por conducto de la Secretaría, podrá suscribir convenios o acuerdos de coordinación, con el objeto de que los gobiernos del Distrito Federal o de los Estados, con la participación, en su caso, de sus Municipios, asuman las siguientes facultades, en el ámbito de su jurisdicción territorial: ... vi) la prevención y control de la contaminación de la atmósfera, proveniente de fuentes fijas y móviles de jurisdicción federal y, en su caso, la expedición de las autorizaciones correspondientes...”.

Adicionalmente, con respecto a la prevención y control de la contaminación de la atmósfera, la LGEEPA considera dos criterios para la protección de este recurso natural: una calidad del aire satisfactoria para todas las personas y territorios mexicanos, así como la prevención y control de las emisiones para asegurar dicha calidad del aire (artículo 110).

Para el logro de lo anterior, en el artículo 111 y 112 de la mencionada ley, se estipulan un conjunto de facultades tanto a la Secretaría de la Federación como a los estados (Tabla 2).

Tabla 2. Facultades específicas en materia de prevención y control de la contaminación del aire de la Secretaría de la Federación y los estados

Facultades de la Secretaría de la Federación	Facultades de los estados
<p>“i) Expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan la calidad ambiental de las distintas áreas, zonas o regiones del territorio nacional, con base en los valores de concentración máxima permisible para la salud pública de contaminantes en el ambiente, determinados por la Secretaría de Salud;</p> <p>ii) Integrar y mantener actualizado el inventario de las fuentes emisoras de contaminantes a la atmósfera de jurisdicción federal, y coordinarse con los gobiernos locales para la integración del inventario nacional y los regionales correspondientes;</p> <p>iii) Expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan por contaminante y por fuente de contaminación, los niveles máximos permisibles de emisión de olores, gases, así como de partículas sólidas y líquidas a la atmósfera provenientes de fuentes fijas y móviles;</p> <p>iv) Formular y aplicar programas para la reducción de emisión de contaminantes a la atmósfera, con base en la calidad del aire que se determine para cada área, zona o región del territorio nacional...;</p> <p>v) Promover y apoyar técnicamente a los gobiernos locales en la formulación y aplicación de programas de gestión de calidad del aire...;</p> <p>vi) Requerir a los responsables de la operación de fuentes fijas de jurisdicción federal, el cumplimiento de los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes...;</p> <p>vii) Expedir las normas oficiales mexicanas para el establecimiento y operación de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire;</p> <p>viii) Expedir las normas oficiales mexicanas para la certificación por la autoridad competente, de los niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera provenientes de fuentes determinadas;</p> <p>ix) Expedir, en coordinación con la Secretaría de Economía, las normas oficiales mexicanas que establezcan los niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera, provenientes de vehículos automotores nuevos en planta y de vehículos automotores en circulación, considerando los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente, determinados por la Secretaría de Salud...;</p>	<p>“i) Controlarán la contaminación del aire en los bienes y zonas de jurisdicción local, así como en fuentes fijas que funcionen como establecimientos industriales, comerciales y de servicios, siempre que no estén comprendidos en el artículo 111 BIS de esta Ley...;</p> <p>ii) Aplicarán los criterios generales para la protección a la atmósfera en los planes de desarrollo urbano de su competencia, definiendo las zonas en que sea permitida la instalación de industrias contaminantes...;</p> <p>iii) Requerirán a los responsables de la operación de fuentes fijas de jurisdicción local, el cumplimiento de los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes...;</p> <p>iv) Integrarán y mantendrán actualizado el inventario de fuentes de contaminación...;</p> <p>v) Establecerán y operarán sistemas de verificación de emisiones de automotores en circulación;</p> <p>vi) Establecerán y operarán, con el apoyo técnico, en su caso, de la Secretaría, sistemas de monitoreo de la calidad del aire. Los gobiernos locales remitirán a la Secretaría los reportes locales de monitoreo atmosférico, a fin de que aquella los integre al Sistema Nacional de Información Ambiental...;</p> <p>vii) Establecerán requisitos y procedimientos para regular las emisiones del transporte público, excepto el federal, y las medidas de tránsito, y en su caso, la suspensión de circulación, en casos graves de contaminación;</p> <p>viii) Tomarán las medidas preventivas necesarias para evitar contingencias ambientales por contaminación atmosférica;</p> <p>ix) Elaborarán los informes sobre el estado del medio ambiente en la entidad o municipio correspondiente, que convengan con la Secretaría a través de los acuerdos de coordinación que se celebren;</p> <p>x) Impondrán sanciones y medidas por infracciones a las leyes que al efecto expidan las legislaturas locales, o a los bandos y reglamentos de policía y buen gobierno que expidan los ayuntamientos, de acuerdo con esta Ley...;</p> <p>xi) Formularán y aplicarán, con base en las normas oficiales mexicanas que expida la Federación para</p>

Facultades de la Secretaría de la Federación	Facultades de los estados
<p>x) Definir niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera por fuentes, áreas, zonas o regiones, de tal manera que no se rebasen las capacidades de asimilación de las cuencas atmosféricas y se cumplan las normas oficiales mexicanas de calidad del aire;</p> <p>xi) Promover en coordinación con las autoridades competentes, de conformidad con las disposiciones que resulten aplicables, sistemas de derechos transferibles de emisión de contaminantes a la atmósfera;</p> <p>xii) Aprobar los programas de gestión de calidad del aire elaborados por los gobiernos locales para el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas respectivas;</p> <p>xiii) Promover ante los responsables de la operación de fuentes contaminantes, la aplicación de nuevas tecnologías, con el propósito de reducir sus emisiones a la atmósfera, y</p> <p>xiv) Expedir las normas oficiales mexicanas que establezcan las previsiones a que deberá sujetarse la operación de fuentes fijas que emitan contaminantes a la atmósfera, en casos de contingencias y emergencias ambientales...” (artículo 111).</p>	<p>establecer la calidad ambiental en el territorio nacional, programas de gestión de calidad del aire, y...</p> <p>xii) Ejercerán las demás facultades que les confieren las disposiciones legales y reglamentarias aplicables...” (artículo 112).</p>

Fuente: Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente.

Ahora bien, con respecto a la legislación estatal, la **Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Nuevo León** establece el derecho de todas las personas a la salud física y mental, incluso de manera especial para la primera infancia (artículos 35, 36). Asimismo, establece los siguientes derechos para todas las personas: a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar, así como el deber de conservarlo; derecho al aire limpio y la creación de la Agencia Estatal para la Calidad del Aire como organismo público descentralizado (artículo 44); al aprovechamiento de las energías limpias y renovables (artículo 45); a la ciudad sustentable como derecho colectivo (artículo 48); a la movilidad segura, accesible, sostenible, eficiente y de calidad (artículo 49); entre otros.

Otra norma de jurisdicción estatal es la **Ley Ambiental del Estado de Nuevo León**, la cual tiene por objeto “propiciar la conservación y restauración del equilibrio ecológico, la protección al ambiente y el desarrollo sustentable del Estado, y establecer las bases para: propiciar el derecho a disfrutar de un ambiente adecuado para el desarrollo, salud y bienestar de la población...; prevenir, controlar y mitigar la contaminación del aire, agua, y suelo en el territorio del Estado, en las materias que no sean competencia de la Federación...”; entre otros (artículo 1). También decreta “la prevención y control de la contaminación ambiental del aire, agua y suelo, así como el cuidado, restauración y aprovechamiento de los elementos naturales” como de utilidad pública (artículo 2).

La mencionada ley estatal reconoce el ejercicio de las atribuciones del Estado y los Municipios “en materia de preservación, restauración y conservación del equilibrio ecológico y la protección al

ambiente, de conformidad con la distribución de competencias” previstas en las normas (artículo 5). Las autoridades en materia ambiental en el Estado son el Titular del Ejecutivo del Estado y la Secretaría, mientras los municipios lo son los Ayuntamientos, el Presidente Municipal y las dependencias administrativas que se designen (artículo 6). Asimismo, establece las atribuciones para cada una de estas autoridades (Tabla 3).

Tabla 3. Algunas de las atribuciones de las autoridades en material ambiental en el Estado de Nuevo León

Atribuciones del gobernador	Atribuciones de la Secretaría	Atribuciones de los municipios
<p>“vi) Conducir la política estatal de información y difusión en materia ambiental;</p> <p>vii) Celebrar acuerdos o convenios de coordinación en materia ambiental con la Federación, otros Estados o con los Municipios;</p> <p>viii) Concertar con los sectores social y privado la realización de acciones en las materias de su competencia conforme a esta Ley;</p> <p>ix) Atender coordinadamente con la Federación los asuntos que afecten simultáneamente el equilibrio ecológico en el Estado y una o más entidades federativas;</p> <p>x) Presidir, en los términos de la Ley de la Agencia de Protección al Medio Ambiente y Recursos Naturales, su Consejo de Participación Ciudadana...” (artículo 7).</p>	<p>“ii) Preservar y restaurar el equilibrio ecológico y la protección al ambiente en bienes y zonas de jurisdicción estatal;</p> <p>iii) Prevenir, medir y controlar la contaminación a la atmósfera en el territorio del Estado, generada por fuentes fijas o móviles...;</p> <p>vii) Emitir y aplicar los lineamientos, criterios y normas ambientales en las materias y actividades que causen o puedan causar desequilibrios ecológicos o daños al ambiente en el Estado, con la participación de los Municipios y de la sociedad en general...;</p> <p>xii) Vigilar el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas expedidas por la Federación, en las materias y supuestos a que se refieren las fracciones III, V y VI de este artículo...;</p> <p>xiv) Convenir con los Municipios el establecimiento de programas de verificación vehicular de servicio público y control de contaminación a la atmósfera, cuando se trate de dos o más Municipios;</p> <p>xv) Integrar y mantener actualizado, en el ámbito de su competencia, el inventario de fuentes fijas de contaminación en el Estado...;</p> <p>xix) Diseñar programas que promuevan la regulación y auditoría ambiental en industrias, comercios y establecimientos de servicio...;</p> <p>xxv) Administrar, desarrollar y supervisar... la operación de los parques estatales, así como ejecutar las acciones necesarias para su rehabilitación...;</p> <p>xxvii) Impulsar campañas y programas educativos permanentes de protección ambiental y fomento de una cultura ecológica;</p> <p>xxix) Promover la participación de la sociedad en materia ambiental...;</p> <p>xxxvii) Establecer y operar el registro de emisiones y transferencia de contaminantes, así como el registro obligatorio de las fuentes fijas de competencia estatal...;</p> <p>xxxviii) Promover el uso de fuentes de energía alterna, así como de sistemas y equipos para prevenir o reducir las emisiones contaminantes de los vehículos en los que se preste el servicio público local de transporte de pasajeros o carga, así</p>	<p>“ii) Aplicar los instrumentos de política ambiental previstos en las disposiciones legales aplicables en la materia;</p> <p>iii) Preservar y restaurar el equilibrio ecológico y la protección al ambiente en bienes y zonas de jurisdicción municipal, en las materias que no estén expresamente atribuidas al Estado o a la Federación;</p> <p>iv) Aplicar los ordenamientos en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas que funcionen como establecimientos comerciales o de servicios, así como de emisiones de contaminantes a la atmósfera provenientes de fuentes móviles que no sean consideradas de jurisdicción federal o estatal, con la participación que de acuerdo a la presente Ley corresponda al Estado...;</p> <p>vii) Crear y administrar, cuando así se determine en las disposiciones correspondientes, parques urbanos, zonas de preservación ecológica en los centros de población, jardines públicos y demás áreas análogas previstas por esta Ley...;</p>

Atribuciones del gobernador	Atribuciones de la Secretaría	Atribuciones de los municipios
	<p>como procurar su utilización en los demás tipos de automotores;</p> <p>xlvi) Promover y realizar programas para el desarrollo de tecnologías limpias y procedimientos que permitan prevenir y controlar la contaminación... con instituciones de educación superior, centros de investigación, instituciones públicas o privadas, organizaciones de la sociedad civil, organismos y cámaras empresariales, así como con otras entidades y dependencias de los tres niveles de gobierno...;</p> <p>lv) Realizar las acciones que le competan a fin de reducir las emisiones contaminantes provocadas por el uso de artificios pirotécnicos..." (artículo 8).</p>	<p>xii) Establecer y ejecutar en forma continua y permanente campañas o programas de educación ambiental y difusión de cultura ecológica, en el ámbito de su competencia...;</p> <p>xviii) Vigilar en la esfera de su competencia el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas expedidas por la Federación, en las materias y supuestos a que se refieren las fracciones de este artículo;</p> <p>xix) Formular y conducir la política municipal de información y difusión en materia ambiental..." (artículo 9).</p>

Fuente: Ley Ambiental del Estado de Nuevo León.

El artículo 10 de la Ley Ambiental del Estado de Nuevo León presenta la posibilidad de suscribir acuerdos o convenios con las autoridades a nivel federal con la participación de los municipios en diversas materias, entre ellas: "la prevención y control de la contaminación de la atmósfera proveniente de fuentes fijas y móviles de jurisdicción federal y, en su caso, la expedición de las autorizaciones correspondientes".

El capítulo II de la mencionada ley aborda la prevención y control de la contaminación a la atmósfera, y está contenido en el título cuarto referido a la protección al ambiente. Allí se muestran diversos artículos que tratan, entre otros, sobre: los criterios para la prevención y control de este tipo de contaminación, sus objetivos, la tipificación de las fuentes de emisión de jurisdicción estatal y municipal, otras atribuciones del estado y municipios, evitar el uso de artificios pirotécnicos en los eventos públicos, promoción de la utilización de tecnologías y combustibles que generen menos contaminación, uso de la información del monitoreo atmosférico y de las características físico-naturales para los planes de ordenamiento territorial y los programas de control de contaminantes en la atmósfera, y consideraciones para el otorgamiento de estímulos fiscales.

La Ley Ambiental del Estado de Nuevo León también contiene capítulos o secciones sobre contingencias ambientales, participación social, información ambiental, inspección, vigilancia y sanciones, las cuales también tienen relación con la gestión de la calidad del aire dentro del territorio.

Hay un conjunto de normas nacionales y estatales adicionales que también tienen incidencia en la gestión de la calidad del aire, las cuales se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4. Leyes y normas vigentes con incidencia en la gestión de la calidad del aire

Nombre	Año de aplicación o última reforma	Descripción
Leyes		
Ley de Planeación	2023	Su objeto es establecer las normas y principios conforme a los cuales se llevará a cabo la Planeación Nacional del Desarrollo, además de las bases para que el Ejecutivo Federal coordine las actividades de planeación de la Administración Pública Federal, así como la participación, en su caso, mediante convenio, de los órganos constitucionales autónomos y los gobiernos de las entidades federativas, conforme a la legislación aplicable.
Ley de Planeación Estratégica del Estado de Nuevo León	2020	Establece los principios y normas mediante los cuales se llevará a cabo el Proceso de Planeación Estratégica para el Desarrollo Sustentable del Estado, a fin de encauzar las actividades de la Administración Pública Estatal.
Ley de Movilidad Sostenible y Accesibilidad para el Estado de Nuevo León	2020	Tiene por objeto garantizar el derecho humano a la movilidad y establecer las bases y directrices para planificar, regular y gestionar la movilidad de las personas y del transporte de bienes, así como garantizar el efectivo desplazamiento de las personas en condiciones de seguridad vial, calidad, igualdad y sustentabilidad.
Ley de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de Nuevo León	2020	Tiene por objeto regular y fomentar la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, el cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales, así como determinar el ejercicio de las atribuciones que en materia forestal le correspondan al Estado y a los municipios.
Ley de Protección contra Incendios y Materiales Peligrosos del Estado de Nuevo León	1997	Regula lo concerniente a los planes y proyectos que protegen a la comunidad de siniestros, así como la prevención y combate contra incendios y accidentes provocados por materiales peligrosos en el Estado de Nuevo León
Ley de Cambio Climático del Estado de Nuevo León	2022	En ella se “establece disposiciones para lograr la adaptación al cambio climático, así como la mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero”. La ley también muestra quiénes ejercen la autoridad ambiental a nivel estatal y municipal, así como las atribuciones y obligaciones que tienen cada uno de ellos, además de una serie de capítulos relacionados con la gestión climática para el territorio.
Reglamentos		
Reglamento de la ley general del equilibrio ecológico y la protección al medio ambiente en materia de prevención y control de la contaminación de la atmósfera	2014	Este Reglamento rige en todo el territorio nacional y las zonas donde la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, y tiene por objeto reglamentar la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en lo que se refiere a la prevención y control de la contaminación de la atmósfera.
Reglamento de la Ley de Cambio Climático del Estado de Nuevo León (RLCCNL)	2020	Tiene por objeto reglamentar las disposiciones de la Ley de Cambio Climático del Estado de Nuevo León, con el fin de asegurar una efectiva adaptación al cambio climático, la mitigación de los gases y compuestos de efecto invernadero, así como su cuantificación y la evaluación de las políticas públicas implementadas en esta materia.

Nombre	Año de aplicación o última reforma	Descripción
Reglamento de la Ley Ambiental del Estado de Nuevo León	2008	Tienen por objeto reglamentar la Ley Ambiental del Estado de Nuevo León. Este reglamento es una herramienta normativa complementaria de la Ley Ambiental del Estado de Nuevo León, por medio de la cual se superan las omisiones o lagunas que inhiben a la autoridad a ejercer conforme a derecho sus atribuciones.
Normas Oficiales Mexicanas		
Norma Oficial Mexicana NOM-026-SSA1-2021	2021	Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al plomo (Pb). Valor normado para la concentración de plomo (Pb) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-2021	2021	Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al monóxido de carbono (CO). Valores normados para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-2021	2021	Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de nitrógeno (NO ₂). Valores normados para la concentración de dióxido de nitrógeno (NO ₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
Norma Oficial Mexicana NOM-098-SEMARNAT-2002	2002	Establece la protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.
Norma Oficial Mexicana NOM-041-SEMARNAT-2015	2015	Establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.
Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2019	2020	Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO ₂). Valores normados para la concentración de dióxido de azufre (SO ₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012	2012	Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire.
Norma Oficial Mexicana NOM-165-SEMARNAT-2013	2014	Establece la lista de sustancias sujetas a reporte de competencia federal, para el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, sus criterios técnicos y umbrales de reporte.
Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2021	2021	Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al ozono (O ₃). Valores normados para la concentración de ozono (O ₃) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2021	2021	Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM ₁₀ y PM _{2.5} . Valores normados para la concentración de partículas suspendidas PM ₁₀ y PM _{2.5} en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

Nombre	Año de aplicación o última reforma	Descripción
Norma Oficial Mexicana NOM-085-SEMARNAT-2011	2012	Contaminación atmosférica-niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición.
Norma Oficial Mexicana NOM-043-SEMARNAT-1993	2003	Establece los niveles permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas, con excepción de las que se rigen por normas mexicanas específicas.
Norma Oficial Mexicana NOM-044-SEMARNAT-2017	2018	Establece los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes atmosféricos provenientes del escape de motores nuevos que utilizan diésel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos.
Normas Estatales		
Norma Ambiental Estatal NAE-SDS-001-2017	2017	Establece las condiciones de operación y los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes a la atmósfera en el aprovechamiento, manejo y transporte de los recursos minerales y sustancias no reservadas a la federación en especial de material pétreo y sus derivados.
Norma Ambiental Estatal NAE-SDS-005-2019	2019	Establece las especificaciones y métodos para determinar el porcentaje de material reciclado y el uso de materiales de ágil degradación en las bolsas de plástico en el estado de Nuevo León.
Norma Ambiental Estatal NAE-SDS-003-2019	2020	Establece las condiciones de operación, requisitos mínimos de equipamiento, especificaciones técnicas que deben cumplir las personas físicas o morales que lleven a cabo actividades relacionadas con la producción y distribución de mortero y concreto hidráulico premezclado block y/o, puzolana y elementos prefabricados.
Norma Ambiental Estatal NAE-SDS-002-2019	2020	Establece los lineamientos técnicos de operación que deberán cumplir las personas físicas o morales que lleven a cabo todo tipo de obras de construcción, urbanización y demolición (pública y privada); actividades asociadas a la misma; así como las relacionadas con la operación, limpieza y/o mantenimiento de vías, patios y espacios, públicos y privados; para prevenir y controlar la emisión de partículas contaminantes a la atmósfera.
Norma Ambiental Estatal NAE-SDS-004-2020	2021	Establece las condiciones de operación, requisitos mínimos de equipamiento, especificaciones técnicas que deberán cumplir las personas físicas o morales dedicadas al proceso productivo de concreto asfáltico; para prevenir y controlar la emisión de partículas contaminantes a la atmósfera.

Fuente: adaptado de SIMA (s.f.).

En cuanto a los valores límites de concentración de contaminantes en el aire ambiente para evaluación de calidad del aire, en la Tabla 5 se presentan estos valores según las normas oficiales mexicanas. Estas normas fueron actualizadas en 2021 y como se observa para los contaminantes PM₁₀, PM_{2.5} y O₃ se establecieron metas para el cumplimiento gradual de las concentraciones establecidas. Los niveles de exposición de PM₁₀ y PM_{2.5} se encuentran alineados con la meta

intermedia 4 de la OMS y el nivel de exposición de 8 horas de O₃ se ajusta a las directrices OMS. Estas normas representan directrices claras que los estados deben cumplir y, por lo tanto, los lineamientos a seguir por parte de los planes como el PIGECA.

Tabla 5. Valores normados de concentración de contaminantes en el aire ambiente según Normas oficiales mexicanas

Contaminante	Año	Exposición aguda		Exposición crónica		Normas Oficiales Mexicanas
		Concentración (µg/m ³)	Tiempo de exposición	Concentración (µg/m ³)	Tiempo de exposición	
PM ₁₀	2021	70	24 horas	36	Promedio anual	NOM-025-SSA1-2021
	2022	60		28		
	2023	50		20		
	Todos	50		20		Meta intermedia 4 OMS
PM _{2.5}	2021	41	24 horas	10	Promedio anual	NOM-025-SSA1-2021
	2022	33		10		
	2023	25		10		
	Todos	25		10		Meta intermedia 4 OMS
O ₃	2021	176	1 horas	-	-	NOM-020-SSA1-2021
	2021	127	8 horas	-	-	
	2024	176	1 horas	-	-	
	2024	118	8 horas	-	-	
	2026	176	1 horas	-	-	
	2026	100	8 horas	-	-	
	Todos	100	8 horas	-	-	Niveles directrices OMS
CO	Todos	30 000	1 hora	-	-	NOM-021-SSA1-2021
		10 000	8 horas	-	-	
		4000	24 horas	-	-	Niveles directrices OMS
SO ₂	Todos	196.5	1 hora	-	-	NOM-022-SSA1-2021
		104.8	24 horas	-	-	
		40	24 horas	-	-	Niveles directrices OMS
NO ₂	Todos	200	1 horas	40	Promedio anual	NOM-023-SSA1-2021
		-	-	10	Promedio anual	Niveles directrices OMS

Finalmente, se presentan algunas instancias internacionales relacionadas con la protección de la capa de ozono y cambio climático, que van de la mano con estrategias para mejorar la calidad del aire:

- El **Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono**, adoptado en la ciudad de Viena el 22 de marzo del año de 1985 y publicado en el DOF el 22 de diciembre de 1987.

- El **Protocolo de Montreal** relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono, adoptado en Montreal, Canadá, el 16 de septiembre de 1987 y publicado en el DOF el 12 de febrero de 1990.
- La **Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático**, adoptada en la Ciudad de Nueva York, N.Y., el 9 de mayo de 1992 y publicado en el DOF el 7 de mayo de 1993.
- El **Protocolo de Kyoto** de la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, firmado en Kyoto, el 11 de diciembre de 1997 y publicado en el DOF el 24 de noviembre del 2000.
- El **Acuerdo de París** (multilateral, 2015) es un tratado internacional sobre el cambio climático jurídicamente vinculante, que establece medidas para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Este fue publicado en el DOF el 4 de noviembre de 2016.

DIAGNÓSTICO

5. DIAGNÓSTICO

Este diagnóstico es un análisis detallado que permite una identificación clara de la problemática a atender, a través del estudio de las características principales del territorio, la identificación de las principales fuentes y contaminantes de interés, y un análisis del estado actual calidad del aire. Esto para la definición de medidas y acciones clave para prevenir y controlar la contaminación del aire en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM) y que respondan a las necesidades reales del territorio.

5.1. CARACTERIZACIÓN DEL CONTEXTO GEOGRÁFICO Y DE LA CUENCA ATMOSFÉRICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY

En esta sección se presenta un análisis de las características físicas, meteorológicas y biológicas del área de estudio que podrían estar influenciando la calidad del aire.

5.1.1. Delimitación de la zona de estudio

El AMM se encuentra ubicada en el estado de Nuevo León, al noreste de la República Mexicana. De acuerdo con el censo de población 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), es la segunda zona metropolitana más poblada del país con 5,341,177 habitantes (INEGI, 2020a, 2021a) y cuenta con un área aproximada de 7,691.66 km², la cual cubre un total de 18 municipios. En la Figura 2 se puede encontrar la localización geográfica del Estado de Nuevo León y en la Figura 3 las coordenadas de los puntos extremos del territorio, acotados con 10 marcas de posición que se muestran en la Tabla 6.



Figura 2. Localización geográfica del estado de Nuevo León y del AMM

Fuente: elaboración propia a partir de datos de CONABIO (2022).

Tabla 6. Coordenadas extremas del AMM

Marca de posición	Longitud (Oeste)	Latitud (Norte)
1	100°25'52.31"	26°23'11.19"
2	100°11'19.48"	26°19'5.16"
3	99°54'58.08"	26°14'9.19"
4	100°05'47.11"	25°49'48.34"
5	99°41'29.73"	25°29'52.83"
6	100°10'16.81"	25°12'28.53"
7	100°28'14.37"	25°20'7.42"
8	100°49'32.54"	25°56'18.49"
9	100°06'15.18"	25°59'46.82"
10	100°33'42.21"	26° 6'10.17"

Fuente: Google Earth (2022).

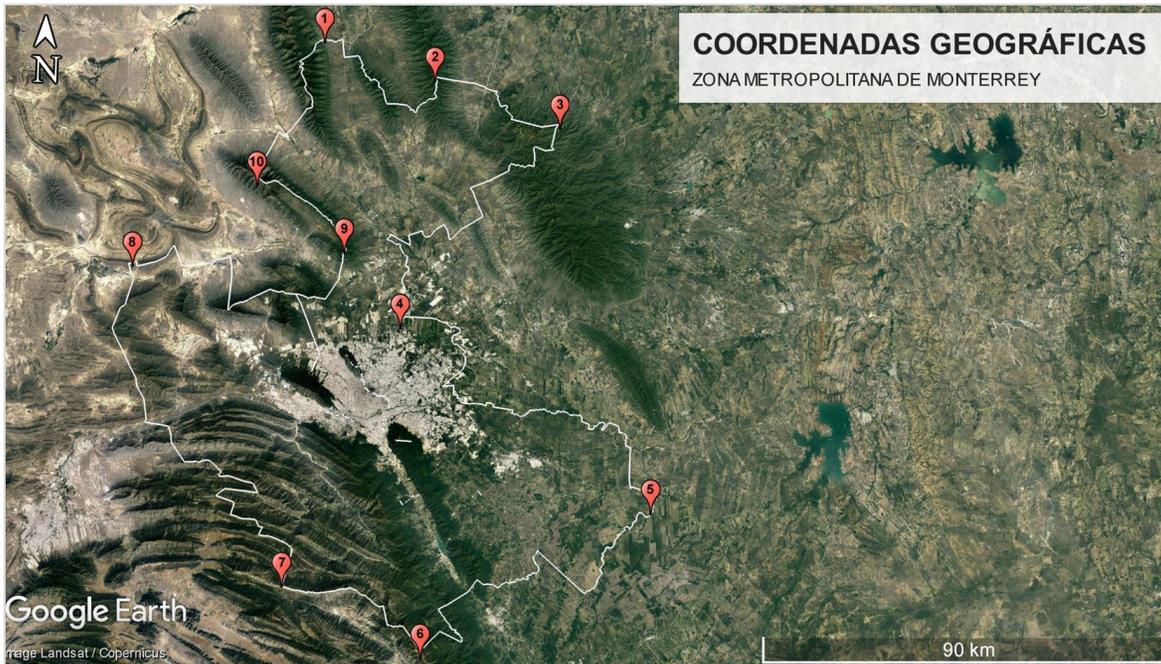


Figura 3. Coordenadas geográficas de puntos extremos en el AMM

Fuente: Google Earth (2022).

De acuerdo con INEGI (2020a), los 18 municipios de Nuevo León que conforman el área metropolitana son: Abasolo, Apodaca, Cadereyta Jiménez, Ciénega de Flores, El Carmen, García, General Escobedo, General Zuazua, Guadalupe, Hidalgo, Juárez, Monterrey, Pesquería, Salinas Victoria, San Nicolás de los Garza, San Pedro de los Garza García, Santa Catarina y Santiago. En la Figura 4 se observa la composición del AMM con la delimitación de cada municipio.



Figura 4. Delimitación municipal del AMM

Fuente: elaborado a partir de datos de CONABIO (2022).

De manera complementaria, en la Figura 5 se presentan los municipios colindantes del AMM. En el norte se encuentran los municipios de Villaldama, Agualeguas y Mina; en el sur los municipios de Rayones, Allende, Montemorelos y General Terán. En el este se encuentran los municipios Cerralvo, Higuera, Marín, Doctor González y Los Ramones, todos los anteriores dentro de Nuevo León; además, en el oeste se encuentran los municipios de Arteaga y Ramos Arizpe, pertenecientes al estado de Coahuila de Zaragoza.

El estado de Nuevo León limita por el norte con EE.UU., lo cual brinda una ruta importante para el intercambio comercial internacional de bienes y servicios. Aunque el AMM no tiene municipios que limitan directamente con EE.UU., una gran mayoría de sus establecimientos industriales producen o reciben bienes que se comercializan entre los dos países.



Figura 5. Colindancia de municipios del AMM

Fuente: elaborado a partir de datos de CONABIO (2022).

5.1.2. Relieve

En términos del relieve, el AMM se caracteriza por la presencia de cerros y pendientes en el sur, pertenecientes al sistema orográfico de la Sierra Madre Oriental. Los principales rasgos geográficos se presentan en la Tabla 7. El área metropolitana está rodeada de montañas y cordilleras, mientras que la zona urbana se encuentra principalmente ubicada en la llanura delimitada por los rasgos geográficos presentados en la siguiente tabla y en la Figura 6.

Tabla 7. Principales rasgos geográficos del AMM

Nombre	Latitud (N)	Longitud (O)	Elevación (msnm)
Cerro de las Mitras	25°42'21.72"	100°24'47.37"	1,714
Cerro del Topo Chico	25°46'20.65"	100°20'46.89"	1,138
Cerro de la Silla	25°37'53.84"	100°14'7.12"	1,820
Cerro del Obispado	25°40'34.73"	100°20'47.28"	674
Cerro de la Loma Larga	25°39'25.40"	100°20'2.44"	749
Cerro del Mirador	25°37'38.48"	100°19'18.16"	1,134
Cumbre Copete de las Águilas	25°35'24.80"	100°20'44.02"	2,124
Cerro Chipinque	25°36'24.27"	100°22'22.29"	1,711
Cerro Tía Chena	25°59'9.01"N	100°22'7.58"O	1,139
Sierra el Fraile y San Miguel	25°53'38.62"N	100°25'41.89"O	1,945
Sierra Gomas	26°14'21.92"N	100°26'53.38"O	1,560

Fuente: elaborado a partir de datos de CONABIO (2022).

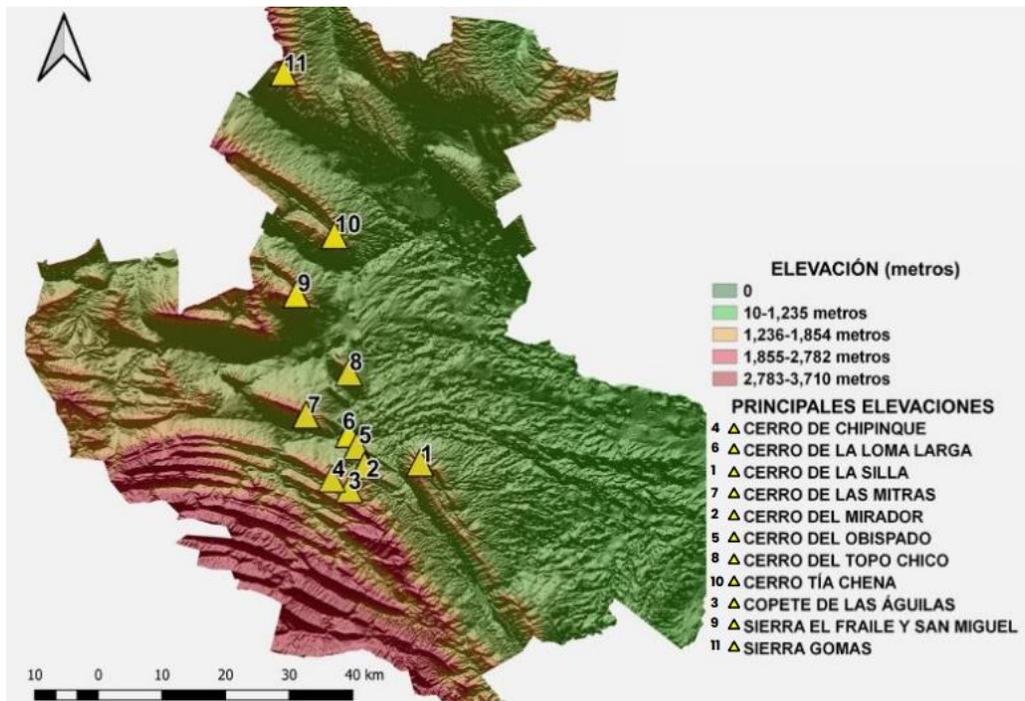


Figura 6. Relieve del AMM

Fuente: elaborado a partir del CEM de INEGI (2022).

Asimismo, el AMM se encuentra en un 55% dentro de la Sierra Madre Oriental y 45% Llanura Costera del Golfo Norte, además los sistemas de topofomas están divididos en un 41% lomeríos y llanuras, 28% sierra plegada-flexionada, 15% valle de laderas tendidas, 8% bajada con lomerío, 4% sierra baja y 4% sierra plegada (INEGI, 2010).

Este relieve característico de la zona tiene una influencia importante en la calidad del aire, ya que las montañas ubicadas al sur y suroeste del AMM evitan que se dispersen los contaminantes presentes en las masas de viento (Hernández-Paniagua et al., 2017). Las cadenas montañosas en las que está rodeada el AMM actúan como una barrera física para la circulación natural del viento, provocando una alta acumulación de contaminantes atmosféricos en el territorio (González et al., 2018). Adicionalmente, la topografía asociada a las colinas de la Sierra Madre Oriental y el Cerro del Topo actúan como muros que canalizan los contaminantes hacia la zona suroeste del AMM (Santa Catarina).

Investigaciones realizadas en el AMM muestran cómo las pendientes, las cuales configuran la vialidad, también pueden incidir en las emisiones de algunos contaminantes, al asociarse con mayores emisiones de $PM_{2.5}$ en el descenso vehicular debido al mayor desgaste de frenos que genera la re-suspensión de partículas al aire (Mancilla et al., 2012; Mancilla y Mendoza, 2012).

5.1.3. Hidrología superficial

El Área Metropolitana se encuentra en la región hidrológica Bravo-Conchos, en la cuenca del río Bravo-San Juan, dentro de las subcuencas río Monterrey, río Pesquería y río San Juan, encontrando corrientes como río Santa Catarina, río La Silla, río La Chueca y corrientes intermitentes como río

Pesquería y río El Obispo (INEGI, 2010) (Figura 7).

El río Santa Catarina nace en la Sierra Madre alimentado por las lluvias que caen en La Huasteca y cruza el AMM de Poniente a Oriente; cuenta con algunos arroyos cuyos cauces están secos la mayor parte del tiempo a excepción de la temporada de precipitaciones. Asimismo, se encuentra el río Pesquería, mayor afluente del río San Juan, el cual cruza a los municipios de General Escobedo y García. Este mismo municipio cuenta al norte con el río Salinas.

El estado de Nuevo León ha experimentado históricamente escasez hídrica, lo cual se ha reforzado debido al crecimiento acelerado de la población en los últimos años, un aumento en el crecimiento de la demanda del recurso (altos niveles de consumo por habitante) y la variabilidad en los niveles de precipitaciones que habitualmente se dan en este territorio (baja constante en los últimos nueve años). En 2022, se experimentó una de las mayores crisis de desabastecimiento de agua de los últimos veinte años (Corona, 2023). Sin embargo, esfuerzos tales como un Plan Maestro para garantizar el agua de Nuevo León hasta 2050 se han puesto en marcha con acciones a corto, mediano y largo plazo.

En cuestión de presas, las fuentes superficiales principales corresponden a El Cuchillo, Cerro Prieto y la Boca, las cuales abastecen el área metropolitana aportando en promedio un 60% del agua potable suministrada. El 40% restante es suministrado por una serie de pozos y galerías, de diversos sistemas en los que se destacan el sistema Mina y Huasteca, entre otros.



Figura 7. Cuerpos superficiales en la Cuenca Hidrográfica del AMM

Fuente: SIATL INEGI (2021).

5.1.4. Uso del suelo y vegetación

Como se indica en la Figura 8, el principal uso de suelo en el AMM está dado por asentamientos humanos (urbanización), adicional a matorrales submontanos, matorrales desérticos y bosques que componen cerros y cumbres. Además, puede observarse la existencia de sitios donde la agricultura

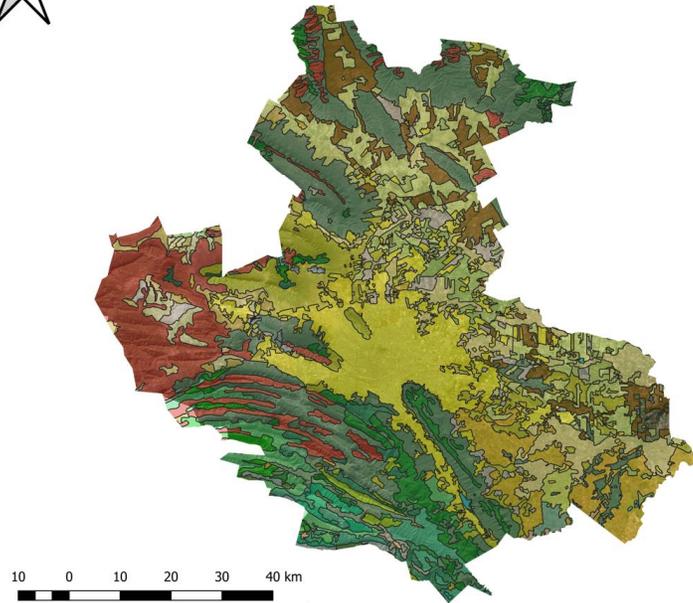
ocupa el principal uso del suelo (al sureste), ya sea agricultura de riego anual, permanente o semipermanente.

El AMM se localiza en una región predominantemente semiárida con condiciones de sequedad y vegetación reducida pero diversa; se caracteriza por tener en un 79% de su uso de suelo como zona urbana y un 10% de vegetación (INEGI, s.f.). De igual manera, la vegetación principal se caracteriza por ser matorral con un 34%, bosque un 15% y pastizal un 4%.

La vegetación del AMM se ha identificado dentro de las distintas posibles fuentes de constituyentes en las partículas del aire, debido al polen, esporas y otros, sobre todo en zonas con abundante flora (González et al., 2018). Además, son fuente natural de COV en la región (Gastelum et al., 2016).



USO DE SUELO Y VEGETACIÓN ZMM



USOS DE SUELO Y VEGETACIÓN	
	AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL
	AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y PERMANENTE
	AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y SEMIPERMANENTE
	AGRICULTURA DE RIEGO PERMANENTE
	AGRICULTURA DE RIEGO SEMIPERMANENTE Y PERMANENTE
	AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL
	AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y PERMANENTE
	AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y SEMIPERMANENTE
	AGRICULTURA DE TEMPORAL PERMANENTE
	ASENTAMIENTOS HUMANOS
	BOSQUE DE AYARÍN
	BOSQUE DE ENCINO
	BOSQUE DE ENCINO-PINO
	BOSQUE DE OYAMEL
	BOSQUE DE PINO
	BOSQUE DE PINO-ENCINO
	BOSQUE DE TÁSCATE
	BOSQUE INDUCIDO
	CHAPARRAL
	CUERPO DE AGUA
	DESPROVISTO DE VEGETACIÓN
	MATORRAL CRASICAULE
	MATORRAL DESÉRTICO MICRÓFILO
	MATORRAL DESÉRTICO ROSETÓFILO
	MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO
	MATORRAL SUBMONTANO
	MEZQUITAL XERÓFILO
	PASTIZAL CULTIVADO
	PASTIZAL GIPSÓFILO
	PASTIZAL INDUCIDO
	PASTIZAL NATURAL
	SIN VEGETACIÓN APARENTE
	VEGETACIÓN HALÓFILO XERÓFILO
	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE ENCINO
	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE PINO
	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE AYARÍN
	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE ENCINO
	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE ENCINO-PINO
	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE OYAMEL
	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO
	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO
	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL DESÉRTICO MICRÓFILO
	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL DESÉRTICO ROSETÓFILO
	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO
	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SUBMONTANO
	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SUBTROPICAL
	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MEZQUITAL XERÓFILO
	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE PASTIZAL GIPSÓFILO
	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE PASTIZAL NATURAL

Figura 8. Uso del suelo y vegetación en el AMM

Fuente: elaborado a partir de datos de INEGI (2020b).

La predominancia de vegetación baja o mediana como los matorrales, además de un uso del suelo mayoritariamente urbano, favorece la re-suspensión de material particulado desde el suelo hacia el aire. Los espacios que han sido intervenidos y carecen de vegetación suelen ser una fuente de partículas al ser desplazadas por el viento. Algunos estudios han encontrado que un porcentaje alto material particulado presente en el aire en ciertas estaciones de monitoreo del AMM está compuesto por material geológico (Centro Mario Molina, 2019; González et al., 2018; Mancilla et al., 2019; Mancilla y Mendoza, 2012).

En cuanto a la vegetación urbana, la población de algunos municipios del AMM considera que el deterioro o descuido de los parques y jardines es uno de los principales problemas del territorio (Gobierno de Monterrey, 2021). Según la OMS, los espacios verdes dentro de las ciudades son imprescindibles para el bienestar de la población y contribuyen a mitigar el deterioro ambiental (Gobierno de Apodaca, 2021). En este sentido, se está trabajando en un programa de reforestación "Bosques Ciudadanos" que tiene como meta 200 mil árboles anualmente para cumplir los compromisos de la agenda verde de la administración.

Según la Coordinación de Áreas Naturales Protegidas (s.f.), el estado de Nuevo León cuenta con 29 Áreas Naturales Protegidas (ANP) de jurisdicción estatal y tres de jurisdicción federal. De ellas, 11 se encuentran en territorios de los municipios que conforman el AMM. A continuación, se presenta el listado de las ANP ubicadas dentro del AMM:

- Sierra "Corral de los Bandidos".
- Cerro "La Mota".
- Sierra "El Fraile" y "San Miguel".
- Sierra "Las Mitras".
- Cerro "El Topo".
- Sierra "Cerro de la Silla".
- Cerro del Obispado.
- Parque Lineal (Río Santa Catarina).
- Nuevo Parque Ecológico La Pastora.
- Parque Nacional Cumbres de Monterrey.
- Monumento Natural Cerro de La Silla.

Con respecto a la edafología, todo el estado y en la mayoría del AMM se cuenta con 11 tipos de suelos, de los cuales dos ocupan la mayoría de la superficie, estos son: xerosol y litosol que suman 64.4% de la superficie estatal; los vertisol, regosol, rendzina, castañozem, feozem, yermosol, solonchak, que suman 34.8%, y los tipos luvisol y cambisol comprenden el restante 0.7% (CONAFOR, 2018).

5.1.5. Meteorología y climatología

Otro de los elementos principales para el AMM, además de las características de la zona de estudio, el relieve, la hidrología y los usos del suelo y vegetación, es la meteorología y climatología por su influencia en la dinámica de los contaminantes. Entre ellos se encuentran: la temperatura, la velocidad y dirección del viento, la lluvia, la humedad, la presión atmosférica y la radiación solar. Estos elementos inciden en la estabilidad y dinámica atmosférica del territorio.

Los datos estadísticos de temperatura y lluvias fueron obtenidos de las estaciones climatológicas de CONAGUA (2022) ubicadas en el AMM; de acuerdo con la Figura 9, el área fue delimitada con el método de polígono de Thiessen. Asimismo, se utilizó información de las estaciones de monitoreo atmosférico del SIMA (2022) para complementar los análisis, entre otras fuentes de información.

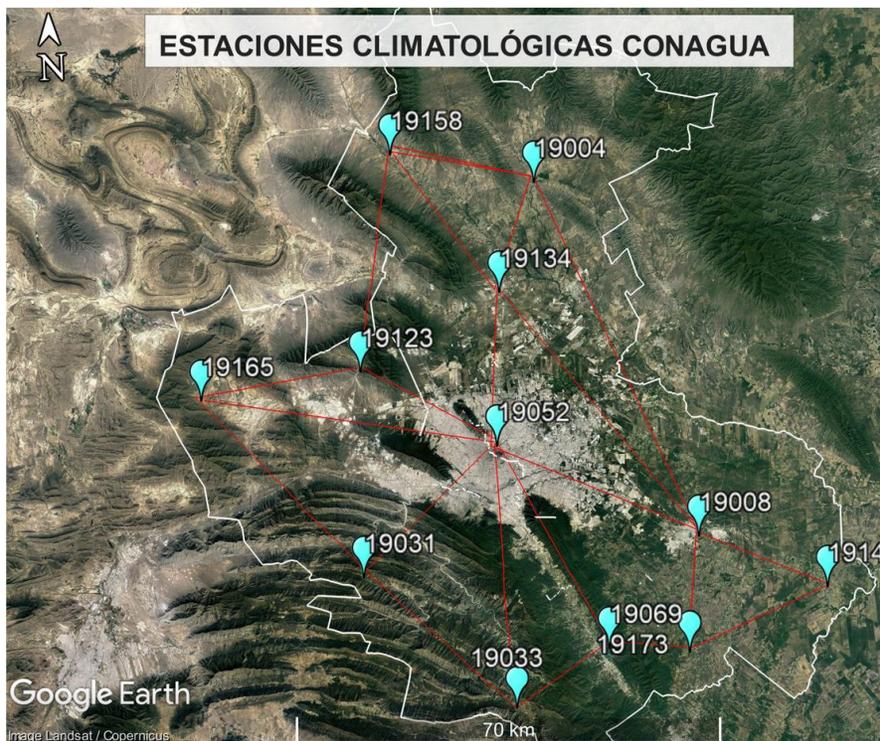


Figura 9. Ubicación de estaciones climatológicas CONAGUA

Fuente: Google Earth (2022).

Los datos de la humedad, radiación solar y velocidad de vientos, presentados más adelante en esta sección, se tomaron de las estaciones de monitoreo atmosférico de SIMA 2022. Las características de las estaciones se especifican en la sección 5.4.1. de este documento y se presentan en la Figura 41.

A continuación, se presentan los datos de ubicación geográfica de las estaciones:

Tabla 8. Datos de ubicación de estaciones de monitoreo

Nombre de la estación	Latitud (N)	Longitud (O)	Elevación (msnm)
Apodaca	25°44'29.81"	100°18'60.00"	612
Cadereyta	25°36'0.00"	99°59'24.00"	330
Escobedo	25°48'0.00"	100°20'24.00"	560
García	25°46'48.00"	100°35'24.00"	787
Juárez	25°38'60.00"	100° 5'60.00"	396
La Pastora	25°40'12.00"	100°15'0.00"	505
Monterrey	25°40'48.00"	100°20'24.00"	634
Pesquería	25°47'24.00"	100°04'48.00"	351

Nombre de la estación	Latitud (N)	Longitud (O)	Elevación (msnm)
Pueblo Serena	25°34'48.00"	100°15'0.00"	603
San Bernabé	25°45'36.00"	100°22'12.00"	559
San Nicolás de los Garza	25°45'0.00"	100°15'36.00"	476
San Pedro de los Garza	25°40'12.00"	100°24'36.00"	937
Santa Catarina	25°40'48.00"	100°27'36.00"	691
Universidad	25°43'48.00"	100°18'36.00"	530

- **Temperatura**

En el periodo de tiempo comprendido entre 1970 y 2018 se han presentado temperaturas promedio de entre 13.3 °C y casi los 30 °C, siendo enero y diciembre los meses más fríos, y junio, julio y agosto los meses más calurosos (Figura 10). El INEGI (2021) reporta temperaturas promedio entre 20 y 24 °C.

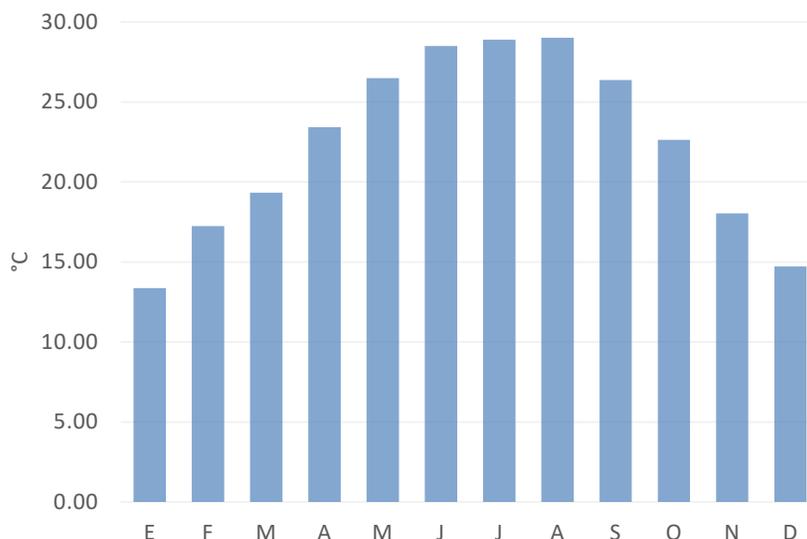


Figura 10. Temperatura promedio mensual en el AMM (periodo 1970 – 2018)

Fuente: elaborado a partir de datos de estaciones climatológicas CONAGUA (2022).

En el caso del año 2022, la temperatura promedio anual en la AMM fue de 22.7 °C, la cual fue 0.3 °C menor que la registrada en 2021. Este valor se estimó a partir de los datos de las estaciones que conforman el Sistema de Monitoreo del Área Metropolitana de Monterrey, aunque se excluyeron las estaciones N2 (Universidad Autónoma) y SE (ITNL) por tener datos con comportamiento diferente a la serie de tiempo de las demás estaciones. El promedio mensual de temperatura muestra que para el año 2022 el mes más frío fue enero con un valor promedio de 14.1 °C, mientras que el más cálido fue julio con un promedio de 30.1 °C (Figura 11).

Como se observa en la Figura 11, la temperatura presenta una tendencia de crecimiento a partir del mes de marzo, durante la estación de primavera, y en los meses siguientes se presenta el verano. La temperatura decrece durante el otoño e invierno, durante los meses de octubre a febrero. Las

temperaturas medias relativamente más bajas en dicha temporada del año, junto con condiciones secas, propician condiciones de mayor estabilidad atmosférica. Entre mayor estabilidad menor es el movimiento vertical de las capas de aire, lo cual reduce y hasta suprime la dispersión de los contaminantes, situación que es recurrente en el AMM, asociándose al aumento de las concentraciones de contaminantes (Benítez-García et al., 2014).

En este mismo sentido, el análisis del promedio diario de la temperatura para el AMM en el año 2022 presenta que el mínimo fue de $-4.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la estación NE3 (Pesquería) y se registró el 25 de diciembre a las 6:00 h. El patrón de disminución de la temperatura sucedió en la mayoría de las estaciones de monitoreo y se debió a la entrada del Frente Frío No. 19 (22 – 26 de diciembre), el cual afectó gran parte del país. Este fue el más intenso del mes y provocó bajas temperaturas en diversos estados (CONAGUA y SMN, s.f.). Por su parte, en temporadas frías se han observado mayores concentraciones de óxidos de nitrógeno y CO, precursores que, generalmente, no reaccionan para formar O_3 debido a condiciones de baja radiación (Carrillo-Torres et al., 2017).

La época fría está asociada a las condiciones de estabilidad atmosférica y fenómenos de inversión térmica, presenta elevadas concentraciones de algunos contaminantes primarios, reportándose picos de concentración especialmente en las mañanas, donde las temperaturas son más bajas (Centro Mario Molina, 2019; Cerón-Bretón et al., 2017; González et al., 2018; González-Santiago et al., 2011; López-Ayala et al., 2019). Adicionalmente, se reconoce que en temporadas frías aumenta el uso de combustibles fósiles para calefacción a nivel residencial e industrial en el AMM, lo cual contribuye a altas concentraciones de contaminantes como las partículas (González et al., 2018).

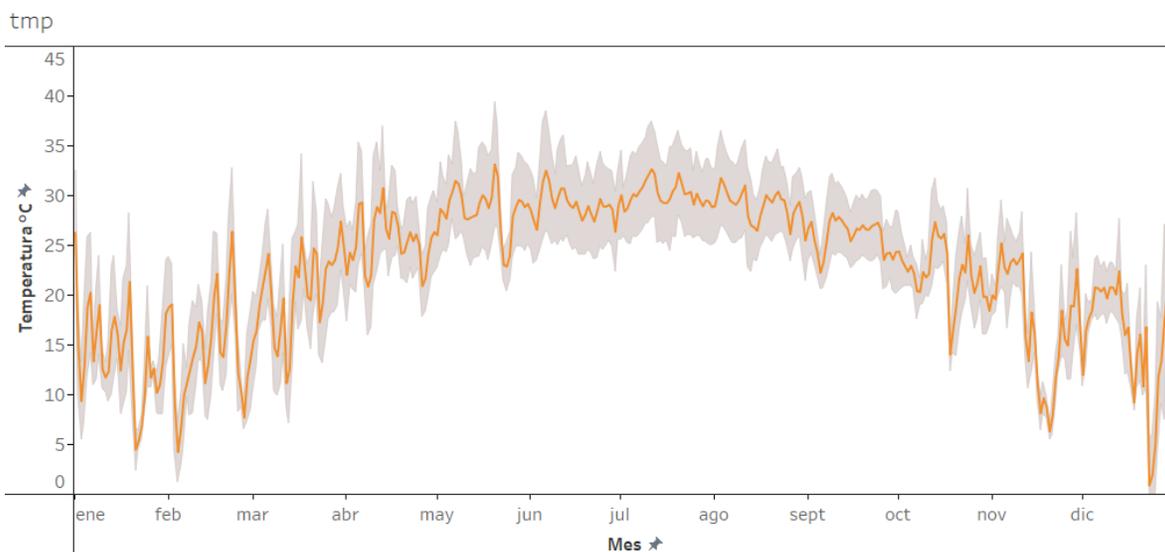


Figura 11. Serie de tiempo del promedio diario de la temperatura ambiente en la AMM durante 2022

Nota: la línea naranja corresponde al promedio diario mientras que el área sombreada en gris indica la desviación estándar.

Fuente: elaborado propia a partir de los datos de las estaciones que conforman el Sistema de Monitoreo del Área Metropolitana de Monterrey.

Por su parte, el máximo valor del promedio horario de 2022 fue de $44.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ registrado el 20 de mayo a las 15:00 h en la misma estación (NE3 - Pesquería). La incidencia de la temperatura en la calidad

del aire del AMM ha sido documentada en diversas investigaciones, donde las temporadas con las más altas temperaturas del año se han correlacionado fuertemente con elevadas concentraciones de contaminantes atmosféricos como el O_3 (Carrillo-Torres et al., 2017; Hernández-Paniagua et al., 2017) y los COV (uno de los precursores del O_3) (Cerón-Bretón et al., 2015). Esto debido a que, a mayor temperatura, la velocidad de la reacción fotoquímica para su formación también se incrementa (Benítez-García et al., 2014).

En el caso de contaminantes primarios como el PM_{10} y las partículas suspendidas totales (PST), la época caliente en el AMM ha tenido las menores concentraciones (también relacionada con mayores velocidades de los vientos, elevada humedad relativa y precipitación).

- **Humedad relativa**

Con la llegada de la temporada de lluvias y la temporada de ciclones tropicales (los meses de verano y otoño), en el mes de junio del 2022 se tuvo un aporte importante de humedad del huracán “Blas” categoría 1 y la tormenta tropical “Celia” en el océano Pacífico, a pesar de que de enero a mayo de ese año se experimentó una de las mayores sequías de los últimos 20 años. De acuerdo con los registros de las estaciones de la red de monitoreo del AMM, se observa que a partir de septiembre y hasta diciembre se registró el promedio mensual por arriba de 60%, debido a los ciclones y a la entrada de frentes fríos (Figura 12).

Cabe resaltar que la humedad relativa está relacionada con la presión atmosférica y la temperatura, por lo que cambios en estos parámetros influyen en su variación. El análisis de la serie de tiempo de los promedios diarios de humedad relativa (% HR) en la AMM muestra un ambiente relativamente seco en marzo y abril. El promedio anual registrado fue de 55.2%, el cual es menor en tres unidades con respecto al año 2021.

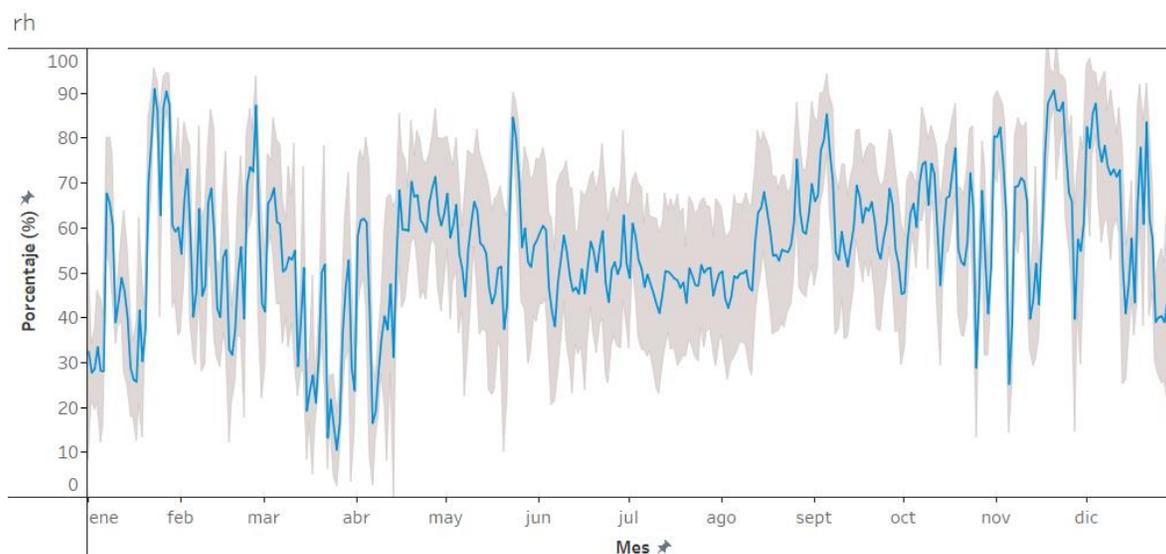


Figura 12. Serie de tiempo del promedio diario de la humedad relativa en la AMM durante 2022

Nota: la línea azul corresponde al promedio diario, mientras que el área sombreada en gris es la desviación estándar.

Fuente: elaborado a partir de los datos de las estaciones que conforman el Sistema de Monitoreo del Área Metropolitana de Monterrey.

El análisis del promedio anual de humedad relativa por estación indicó el valor máximo (61%) en la estación NE (San Nicolás), seguido por la estación NE3 (Pesquería) que registró 58.6%, ambas ubicadas en la zona noreste del área metropolitana y punto de origen donde se recibe el viento dominante que proviene del Este.

El periodo del año con valores mínimos del promedio mensual fue marzo y abril, con un mínimo de 40.1% en marzo. Por el contrario, los meses entre septiembre y diciembre presentaron los máximos niveles de humedad con valores superiores al 60%, cuyo valor más alto se registró en noviembre con 64.9% debido a los ciclones y frentes fríos.

En cuanto a la influencia que tiene este parámetro en la calidad del aire, cuando se presentan condiciones pobres de humedad relativa y de precipitación pluvial, se puede agudizar la acumulación de contaminantes atmosféricos, al evitar la deposición de polvos y favorecer la formación de ozono troposférico. Investigaciones hechas en el AMM han mostrado esta correlación negativa entre la concentración de contaminantes primarios (como el material particulado y los COV) y la humedad relativa; es decir, mientras menor es la humedad, mayor es la concentración del contaminante y viceversa (Cerón-Bretón et al., 2015; González et al., 2018; González-Santiago et al., 2011; Mancilla et al., 2019). Valores bajos de humedad en el aire del AMM también reducen reacciones fotoquímicas entre los contaminantes, lo cual limita la formación de otros contaminantes como el material particulado secundario (González et al., 2018).

- **Presión barométrica**

La presión en el AMM es una variable relativamente constante, que puede ser influenciada por cambios en la temperatura. De esta forma, si hay un incremento de la temperatura, el aire se vuelve menos denso, por lo tanto, la presión es menor. Por otro lado, si la temperatura es baja, el aire tiene una mayor densidad, lo que podría resultar en el incremento de la presión atmosférica. Las condiciones de cielos despejados se asocian a sistemas de alta presión o anticiclones, mientras que las lluvias y tormentas están directamente relacionadas con sistemas de baja presión o ciclónicos, como pueden ser las ondas tropicales.

La influencia de sistemas de baja presión favorece la frecuencia e intensidad de lluvias que contribuye al lavado atmosférico, a través del arrastre de contaminantes. Adicionalmente, se presentan cielos nublados que reducen, de manera importante, la radiación solar y se registra temperatura baja, por lo cual se inhibe la producción de compuestos fotoquímicos y el estancamiento de la contaminación.

Al interior del territorio del AMM hay diferencias en las mediciones, por cuanto la presión también tiene relación con la altitud en la que se encuentran las estaciones de monitoreo atmosférico; las estaciones con menor altitud reportan mayor presión, mientras que las ubicadas a mayor altura tienen menor presión.

En el año 2022, el promedio de la presión atmosférica a nivel de la cuenca del AMM fue de 716.1 mmHg; en comparación con 2021, registró un incremento de 0.7 mmHg. En la Figura 13 se presenta la serie de tiempo de la presión en las estaciones del AMM, donde es posible observar que en 2022 se reportó un descenso en la presión durante la temporada de lluvias de mayo a octubre. Estos

mínimos de presión usualmente están relacionados con un incremento en la velocidad del viento y presencia de lluvias, lo cual es congruente con el periodo del año en el que se presentó. Los meses con valores altos de presión se presentaron en el inicio y finales del año, en los meses de la época fría, de enero a finales de febrero y de noviembre a diciembre.

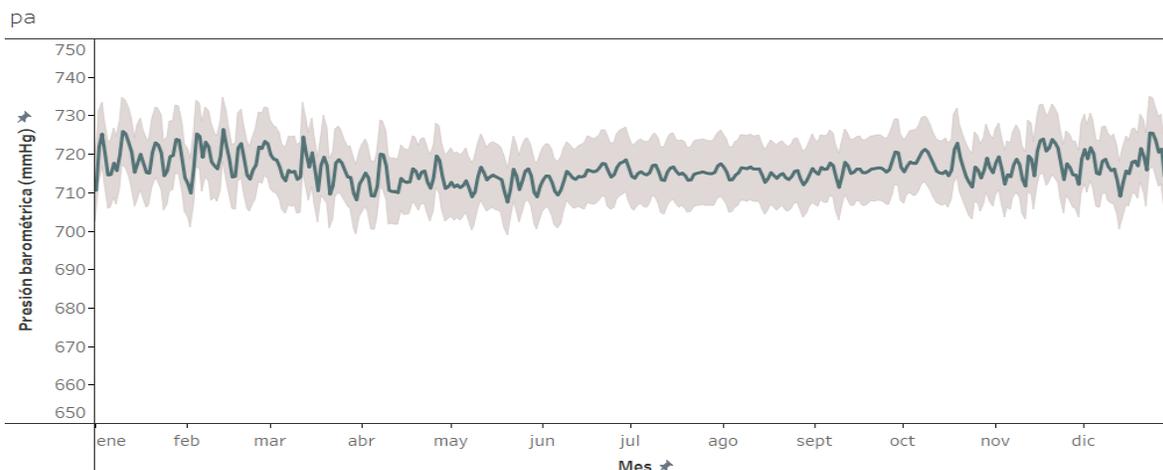


Figura 13. Serie de tiempo del promedio diario de la presión barométrica en la AMM

Nota: la línea continua corresponde al promedio diario de todas las estaciones, mientras que el área sombreada en gris corresponde a la desviación estándar.

• Precipitaciones

Las lluvias, generalmente, siguen el patrón de precipitaciones de México. La temporada de lluvias engloba los meses de mayo a octubre, mientras que el periodo de estiaje se encuentra en los meses de noviembre a abril. La estación lluviosa en el AMM se ha asociado a la remoción de contaminantes en el aire, hasta el punto de observarse bajas concentraciones de los mismos (Benítez-García et al., 2014; Carrillo-Torres et al., 2017). Además, en el periodo lluvioso se ha reportado una mayor y significativa deposición de nitratos, así como un efecto de dilución que podría influir en los flujos de deposición de amonio (Cerón-Bretón et al., 2019).

En junio de 2022, de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua y el Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA y SMN, s.f.), los sistemas tropicales promovieron el aumento de las precipitaciones por lo que llovió 6.6 mm más de lo normal. En el mes de julio los sistemas de alta presión predominaron, además de que ningún ciclón tropical ingresó al país, ubicándose como el décimo primer julio más seco desde 1941 con 16.8 mm menos que el promedio.

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) reportó para el Estado de Nuevo León un promedio de precipitación acumulada anual de 400.1 mm en el año 2022. El mes con el valor máximo fue septiembre con 132.9 mm, mientras que el mínimo acumulado fue en marzo con 0.3 mm (Figura 14).

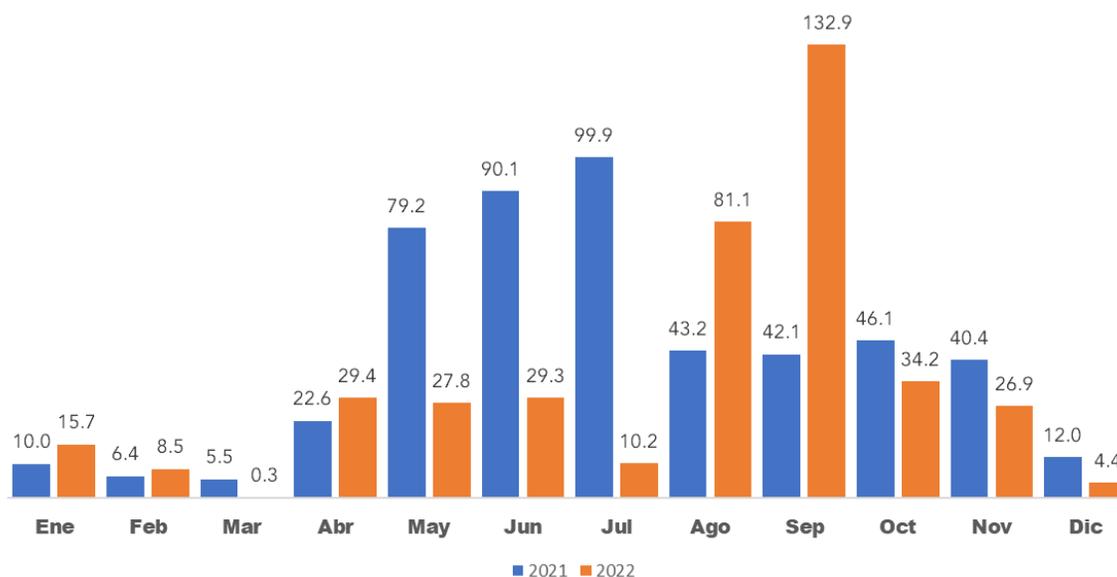


Figura 14. Precipitación acumulada por mes del 2021 y 2022 para el estado de Nuevo León

Fuente: CONAGUA Y SMN (s.f.).

Como se mencionó previamente, en la temporada de estiaje del AMM se presentan las condiciones ideales para la acumulación de contaminantes, especialmente de material particulado, ya que se presentan de forma conjunta condiciones de baja precipitación y relativamente bajas temperaturas. Este fenómeno ha sido observado en el AMM y se ha reportado en estudios (Wakamatsu et al., 2017).

- **Radiación solar**

El monitoreo de la radiación solar como parte del sistema de gestión de la calidad del aire, es clave por su alta incidencia en propiciar reacciones fotoquímicas entre los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles, las cuales dan lugar a la formación de contaminantes como el ozono. En el AMM la máxima intensidad de la radiación solar se recibe en verano, durante los meses de junio, julio y agosto, cuando los días son más largos y el sol se encuentra en su cenit (en el mediodía solar). Durante el invierno los días son más cortos, por lo tanto, la radiación es menor.

En el año 2022, el promedio anual para el período diurno (8:00 a 20:00 h) de radiación fue de 0.164 KW/m². En la serie de tiempo anual de radiación (Figura 15) se observa que los máximos de radiación solar ultravioleta se reportaron en el periodo comprendido por los meses de junio a julio, con valores de 0.2352 KW/m² y 0.2257 KW/m² respectivamente; mientras que los mínimos ocurrieron en los meses de invierno diciembre y enero con 0.0888 KW/m² y 0.0998 KW/m², respectivamente.

rad

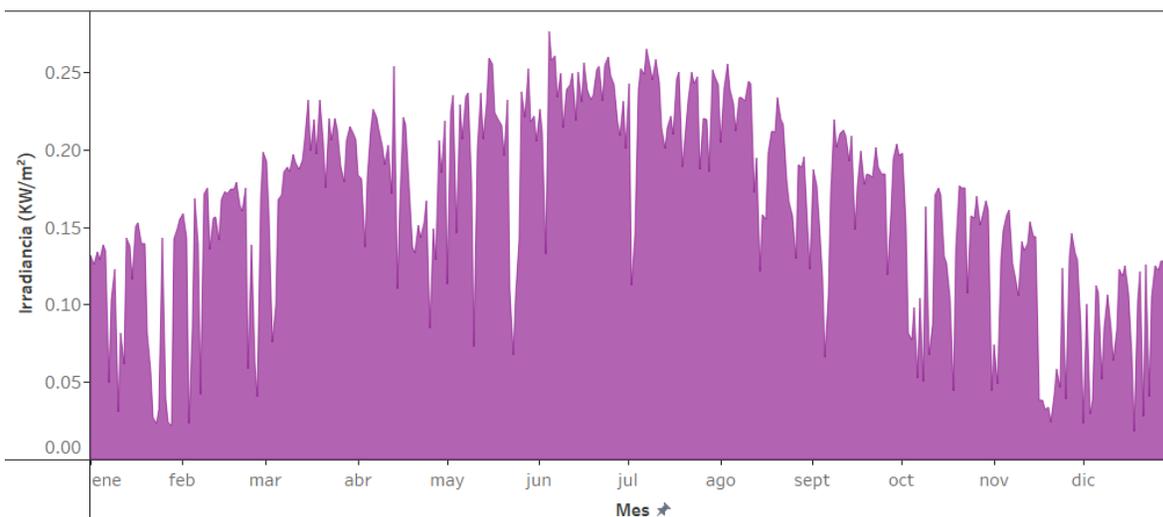


Figura 15. Serie de tiempo anual de los promedios diarios de la radiación solar para el año 2022

Fuente: elaborado a partir de los datos de las estaciones que conforman el Sistema de Monitoreo del Área Metropolitana de Monterrey.

Con respecto a la influencia de este parámetro con la calidad del aire, la radiación solar está directamente relacionada con la formación de contaminantes secundarios como el O₃ en el AMM; temporadas de primavera y verano presentan mayor radiación y elevadas concentraciones de este compuesto (Benítez-García et al., 2014; Carrillo-Torres et al., 2017; Cerón-Bretón et al., 2015; Hernández-Paniagua et al., 2017). Además, las reacciones químicas entre diversos contaminantes del aire, catalizadas por mayor radiación solar, también contribuyen a la formación de material particulado secundario (por ejemplo, rico en sulfatos derivados a partir de óxidos de azufre) en esta área mexicana (González et al., 2018).

- **Evaporación**

En la Figura 16 se presentan los valores de evaporación mensual para el AMM, obteniéndose el mayor valor en el mes de julio. Esto está directamente relacionado con la radiación solar, temperatura, velocidad del viento y la humedad, donde altos niveles de contaminación alteran el ciclo del agua y los patrones de lluvia en ciertas regiones de alta actividad industrial.

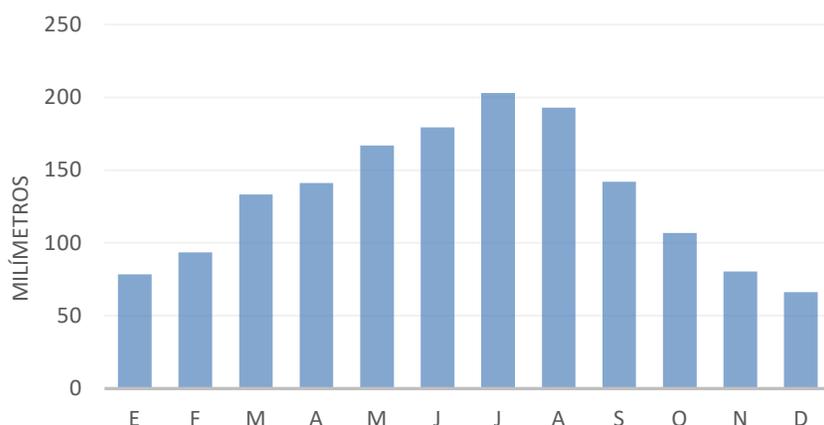


Figura 16. Valores de evaporación mensual en el AMM

Fuente: elaborado a partir de datos de estaciones climatológicas de CONAGUA (2022).

5.1.6. Dinámica de vientos y Cuencas atmosféricas

De acuerdo con el trabajo realizado por Caetano e Iniasta en 2006, se desarrolló una metodología para identificar las cuencas atmosféricas, las cuales se definieron para varias ciudades del país, entre ellas la de Monterrey (Figura 17). No obstante, debido a la evolución que suele ocurrir a nivel atmosférico, resulta importante hacer una actualización de esta delimitación.

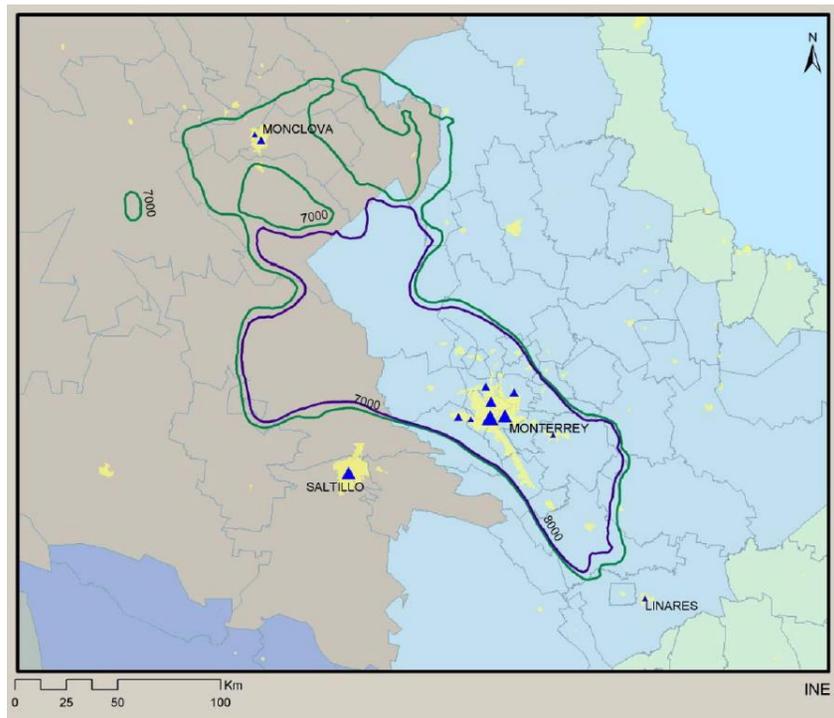


Figura 17. Cuenca atmosférica del AMM en 2006

Fuente: Caetano e Iniasta (2006).

- **Vientos dominantes**

Como factor clave para la dispersión de contaminantes se presenta un breve análisis del comportamiento de los vientos en el AMM. Analizar sus vectores de dirección y velocidad es clave, los cuales determinan las zonas y distancias que se verán más afectadas por las concentraciones a nivel de piso al identificar potenciales zonas de acumulación. El AMM está principalmente influenciada por los frentes de aire anticiclónicos del este que llegan desde el Golfo de México, durante los meses de primavera y verano (Hernández-Paniagua et al., 2017).

La serie de tiempo del promedio diario de la velocidad de viento para las estaciones de la red muestra que el promedio anual en 2022 fue 9.02 km/h, similar al promedio de 2021 con 8.34 km/h. En el análisis del promedio mensual se observó que en junio se presentó el máximo con 12.1 km/h, mientras que el valor mínimo de velocidad se registró en diciembre con 6.2 km/h (Figura 18). Las estaciones NO₂ (García), SE (ITNL) y SO₂ (San Pedro) registraron el promedio máximo con 11.0, 11.2 y 11.2 km/h, respectivamente, mientras el mínimo fue de 6.6 km/h y se registró en la estación NTE (Escobedo). Las velocidades difieren por cada estación, como se indicó anteriormente, debido al relieve geográfico de la zona.

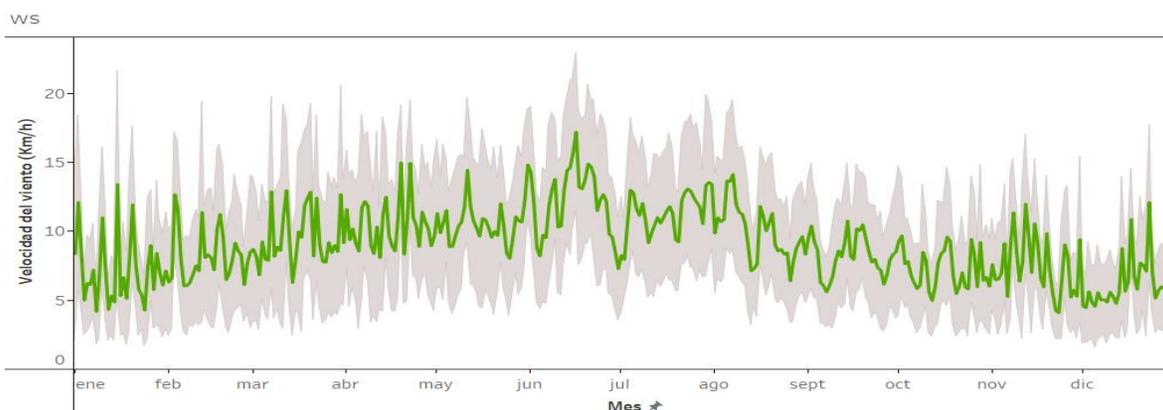


Figura 18. Serie de tiempo del promedio diario de velocidad de viento en la AMM para 2022

Nota: la línea verde indica el promedio diario, mientras que el área sombreada en gris indica la desviación estándar.

Durante los meses de abril y agosto se presentaron altos valores de velocidad de viento. Estos meses coincide con la época más calurosa en el AMM, mientras que en la temporada fría son comunes los vientos más tranquilos. Como se mencionó previamente, las elevadas velocidades del viento se han correlacionado con menores concentraciones de contaminantes en el AMM, debido al efecto de difusión de los contaminantes (González-Santiago et al., 2011). Asimismo, las bajas velocidades de los vientos limitan el transporte de los contaminantes y esto se presenta usualmente en la temporada fría en el AMM (Carrillo-Torres et al, 2017; González-Santiago et al., 2011; Hernández-Paniagua et al., 2017).

Generalmente, la velocidad del viento que registran las estaciones de la red presenta un patrón de viento débil durante la madrugada, este se incrementa gradualmente desde las 10:00 h hasta presentar el máximo a las 17:00 h, y disminuye durante la noche. En la Figura 19 se presenta el patrón del 2022 para tres horarios del día: matutino (7:00 - 14:00 h), vespertino (15:00 – 20:00 h) y

nocturno (21:00 – 6:00 h). La velocidad de viento durante el horario matutino presenta viento débil, principalmente en la zona este, sur y norte, mientras que en el oeste se observa una velocidad de viento mayor; esto puede deberse a microclimas y a las zonas montañosas del AMM. En el horario vespertino se observa un aumento notable en la velocidad de viento y la dirección de viento predominante es del este y sureste en dirección al oeste. Este comportamiento con predominio de la dirección del viento del este al oeste ya ha sido reportado en investigaciones previamente realizadas en el AMM (Carrillo-Torres et al., 2017; Centro Mario Molina, 2019; Cerón-Bretón et al., 2019; González-Santiago et al., 2011; Hernández-Paniagua et al., 2017; Mancilla et al., 2019). Finalmente, el patrón de vientos nocturnos indica una disminución en la velocidad y se puede observar el flujo nuevamente del este al oeste y de la zona sur.

La variabilidad diurna del viento está asociada al relieve de la región y se caracteriza por flujos descendentes en las pendientes de montañas impulsados por la brisa de montaña en la noche y madrugada, los cuales convergen en la región central de la cuenca y propician la acumulación de la contaminación emitida en las noches (Centro Mario Molina, 2019).



Figura 19. Campo promedio del flujo de viento para los horarios matutino, vespertino y nocturno en el AMM durante 2022

Nota: cada vector representa el flujo medio durante el año para cada una de las estaciones.

Esta dinámica de los vientos ha mostrado, en diversos antecedentes, que las zonas a favor del viento presentan mayores concentraciones de contaminantes atmosféricos, mientras que los sitios contra el viento se ven menos afectados por las emisiones del AMM (Centro Mario Molina, 2019; González-Santiago et al., 2011; Hernández-Paniagua et al., 2017; Longoria-Rodríguez et al., 2020; Mancilla et al., 2019).

5.1.7. Influencia de espacios colindantes

En secciones anteriores se ha hecho mención que los vientos presentes en el AMM tienen influencia de “las masas de aire anticiclónicas del este que llegan desde el Golfo de México”, sobre todo en épocas como la primavera y el verano (Hernández-Paniagua et al., 2017). Además, algunos investigadores afirman que la calidad del aire en este territorio metropolitano se ve también afectado por vientos transfronterizos (Benítez-García et al., 2014). La predominancia de los vientos que vienen del este o sureste en dirección oeste en el interior del AMM, puede traer como consecuencia el transporte de contaminantes provenientes de zonas circundantes, en las cuales pueden existir procesos erosivos y la ocurrencia de incendios que van a incidir en la calidad del aire.

La morfología en donde se encuentran ubicados grandes centros urbanos también juega un importante papel dentro de los factores ambientales, los cuales hacen que un problema como la contaminación atmosférica pueda potenciarse. En el caso de territorios que, como el AMM, se encuentran ubicados dentro de zonas rodeadas de cerros, generan una mayor retención de contaminantes, al no permitir una mejor circulación del aire. Esto y los fenómenos meteorológicos particulares de esta área, pueden interactuar de manera sinérgica para agravar los problemas de calidad del aire que se tienen actualmente en este territorio.

- **Incendios en el AMM**

De acuerdo con el reporte semanal nacional de incendios forestales (CONAFOR, 2022), desde enero a septiembre se registraron 6,712 incendios forestales en las 32 entidades federativas. En el estado de Nuevo León se han asentado 49 incendios forestales en el año 2022, afectando 11,987.17 hectáreas de terreno. Según estos datos, la CONAFOR establece que Nuevo León es un estado con baja incidencia de incendios (Figura 20).

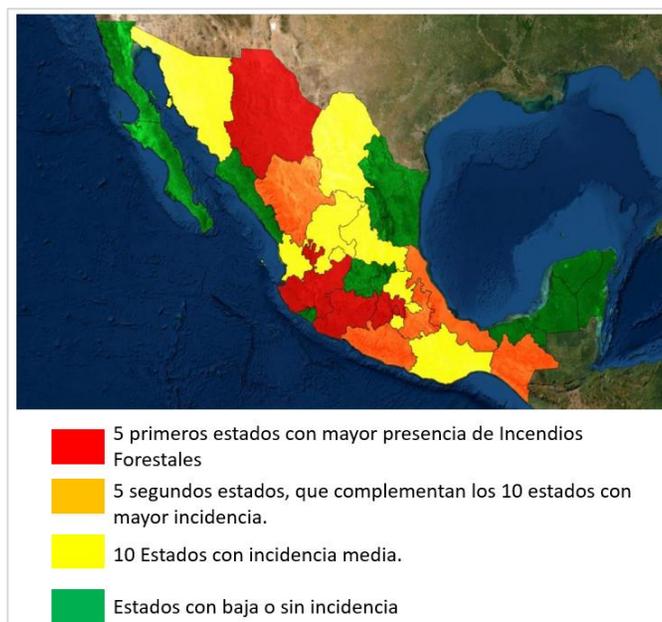


Figura 20. Mapa de entidades con mayor incidencia de incendios en México

Fuente: CONAFOR (2022).

Revisando el histórico de incendios, en la Figura 21 se presentan los incendios forestales registrados por CONAFOR desde 2008 a 2022. Como se puede observar, en el 2022 hubo una reducción importante con respecto al 2021, en términos del número de hectáreas pasando de 32,794.0 a 11,986.8. Debido a la importancia de este tema para el AMM, en el año 2022 la SMA de NL desarrolló un Programa Estatal de Prevención de Incendios Forestales que se inició en 15 de diciembre de 2022. Entre otras acciones para la prevención y control de incendios, se desarrollaron campañas de comunicación a la población y, junto con diversos actores, se trabaja en coordinación con los alcaldes de los municipios para actuar de manera inmediata ante cualquier emergencia.

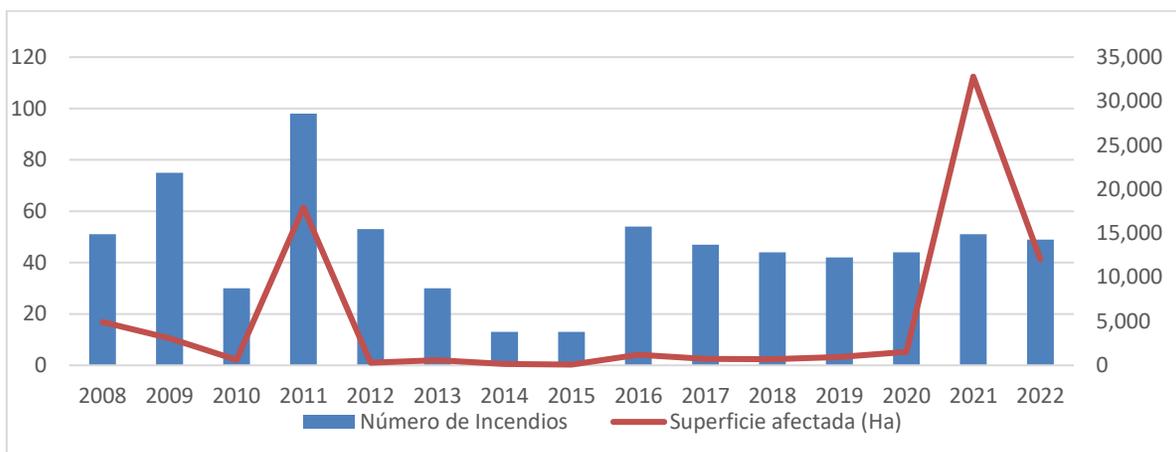


Figura 21. Incendios registrados en Nuevo León

Fuente: CONAFOR (2022).

La temporada en la cual más se propician los incendios en México corresponde a los meses de mayo a julio. Dichos meses coinciden con la temporada donde se presentan las mayores temperaturas en el AMM: finales de la primavera e inicio del verano. Cabe mencionar que algunos incendios en Nuevo León también han afectado otros estados y viceversa, específicamente a los municipios que colindan con el AMM (Sáenz, 2021).

Los incendios generan múltiples gases y compuestos peligrosos que afectan la calidad del aire y la salud de las personas. Además, provocan “el debilitamiento y muerte de la flora y fauna, la incidencia de plagas y enfermedades, la destrucción del hábitat, la introducción especies invasoras, la alteración del ciclo hidrológico, el incremento de la erosión, el deslizamiento de laderas, inundaciones y el calentamiento de la atmósfera” (Gobierno de Nuevo León, 2022a).

El suelo expuesto luego de los incendios y el que se encuentra en procesos de degradación facilitan la re-suspensión de material particulado del suelo al aire. Al respecto, Mancilla et al. (2019) destacaron que la principal fuente de material particulado grueso (la diferencia entre PM_{10} y $PM_{2.5}$) en algunas áreas del AMM es la re-suspensión del suelo, por cuanto es rico en material geológico de la zona. Asimismo, Mancilla y Mendoza (2012) y el Centro Mario Molina (2019) encontraron trazadores de material geológico en $PM_{2.5}$ en estudios realizados en este territorio, mientras que González et al. (2018) también lo detectaron para PST.

Si bien actualmente se vienen llevando a cabo diversas acciones y programas para prevenir los incendios forestales y de residuos desde la comunicación y educación de la ciudadanía, se requiere una estrategia a mediano y largo plazo que esté alineada con las acciones para la mejora de la calidad del aire y el control in situ de estos eventos de contaminación.

5.2. FUERZAS MOTRICES DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY

Esta sección presenta un análisis de las principales fuerzas socioeconómicas que ejercen presiones o influencias sobre el estado del medio ambiente en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM). La identificación de dichos factores es importante para la evaluación de tendencias y la identificación de políticas y acciones con la finalidad de contener y revertir el incremento de la problemática de la calidad del aire. Más allá, se establecen las diferentes dinámicas antropogénicas que ocurren en el AMM y, de manera preliminar, cómo algunas de ellas inciden en la calidad del aire.

5.2.1. Elementos sociodemográficos

El estado de Nuevo León, dentro del cual se encuentran todos los municipios del AMM, tiene una población de 5,784,442 hab., siendo el séptimo territorio estatal más poblado de todo México (INEGI, 2020a). Los 18 municipios que componen esta región de estudio poseen el 92,3% de la población de Nuevo León (5,341,177 hab.) en el 2020 y se constituyen como la segunda área metropolitana más poblada del país, solo superada por el Valle de México con 21,804,515 personas, y es seguida por Guadalajara (5,268,642 hab.) (Santaella, 2021). Para el año 2030 se estiman más de 6.3 millones de habitantes en el Estado de Nuevo León (INEGI; citado en Consejo Nuevo León, 2020), de los cuales 5.7 serán del AMM (Sedesu, 2020; citado en Consejo Nuevo León, s.f.a). El municipio más poblado este territorio metropolitano es Monterrey (municipio capital del estado), mientras que Abasolo resulta la entidad municipal con menos habitantes (Tabla 9).

Tabla 9. Datos demográficos del AMM

Municipio	Habitantes	Superficie (km ²)	Densidad poblacional (hab/km ²)
Monterrey	1,142,994	324.4	3,523.3
Abasolo	2,974	46.9	63.4
Apodaca	656,464	224.0	2,930.4
Cadereyta Jiménez	122,337	1,140.9	107.2
Ciénega de Flores	68,747	138.7	495.5
El Carmen	104,478	104.3	1,002.0
García	397,205	1,032.0	384.9
General Escobedo	481,213	149.4	3,221.8
General Zuazua	102,149	184.5	553.7
Guadalupe	643,143	118.4	5,431.0
Hidalgo	16,086	170.6	94.3
Juárez	471,523	247.3	1,906.7
Pesquería	147,624	322.8	457.3
Salinas Victoria	86,766	1,667.4	52.0
San Nicolás de los Garza	412,199	60.1	6,854.1
San Pedro Garza García	132,169	70.8	1,867.3

Municipio	Habitantes	Superficie (km ²)	Densidad poblacional (hab/km ²)
Santa Catarina	306,322	915.8	334.5
Santiago	46,784	739.2	63.3
Total	5,341,177	7,657.5	697.5

Fuente: INEGI (2021a).

La composición de la población de Nuevo León ha ido cambiando con el pasar de los años. En el 2000, la mediana de la edad era de 24 años; en el 2010, aumentó a 27 años; y en el 2020 fue de 30 años. Con respecto a los grupos de población por edad, los rangos de 0 a 17 años y 18 a 29 años han disminuido entre el 2000 al 2020, mientras que los grupos de 30 a 59 años y 60 años y más han aumentado (INEGI, 2021b); esta misma distribución poblacional ocurre en el AMM (Data México, 2022). Las proyecciones estiman que los grupos por edades serán, predominantemente, cada vez más mayores (Figura 22 y Figura 23). La Figura 24 presenta las proyecciones de población desde 2022 al 2030 para los municipios que conforman el AMM.

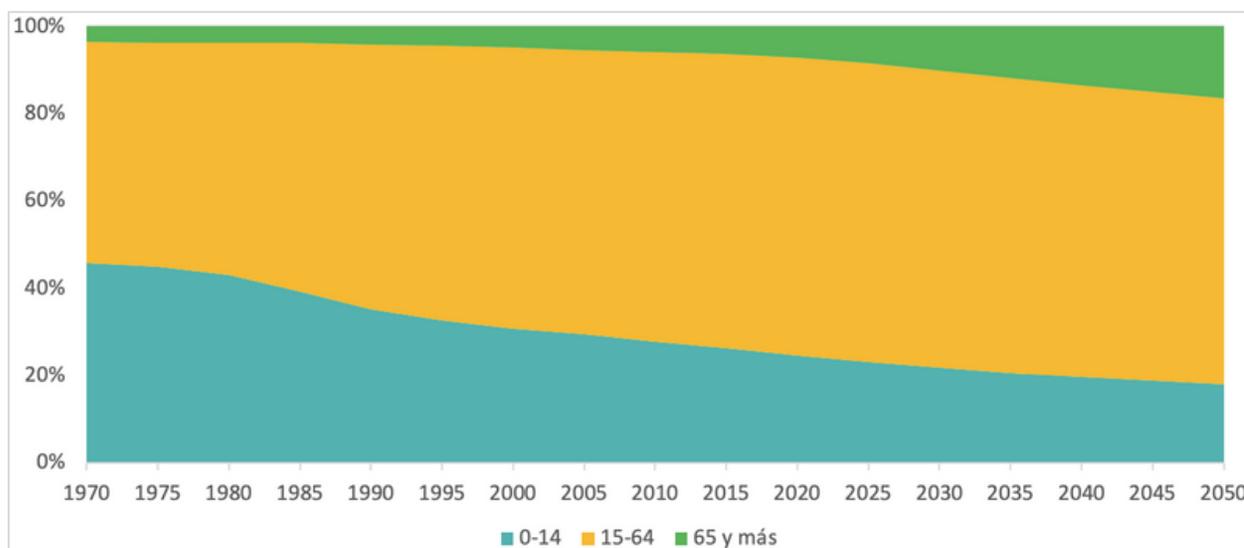


Figura 22. Proporción de la población por grupos de edad en Nuevo León

Fuente: CONAPO (2020); citado en Consejo Nuevo León (2020).

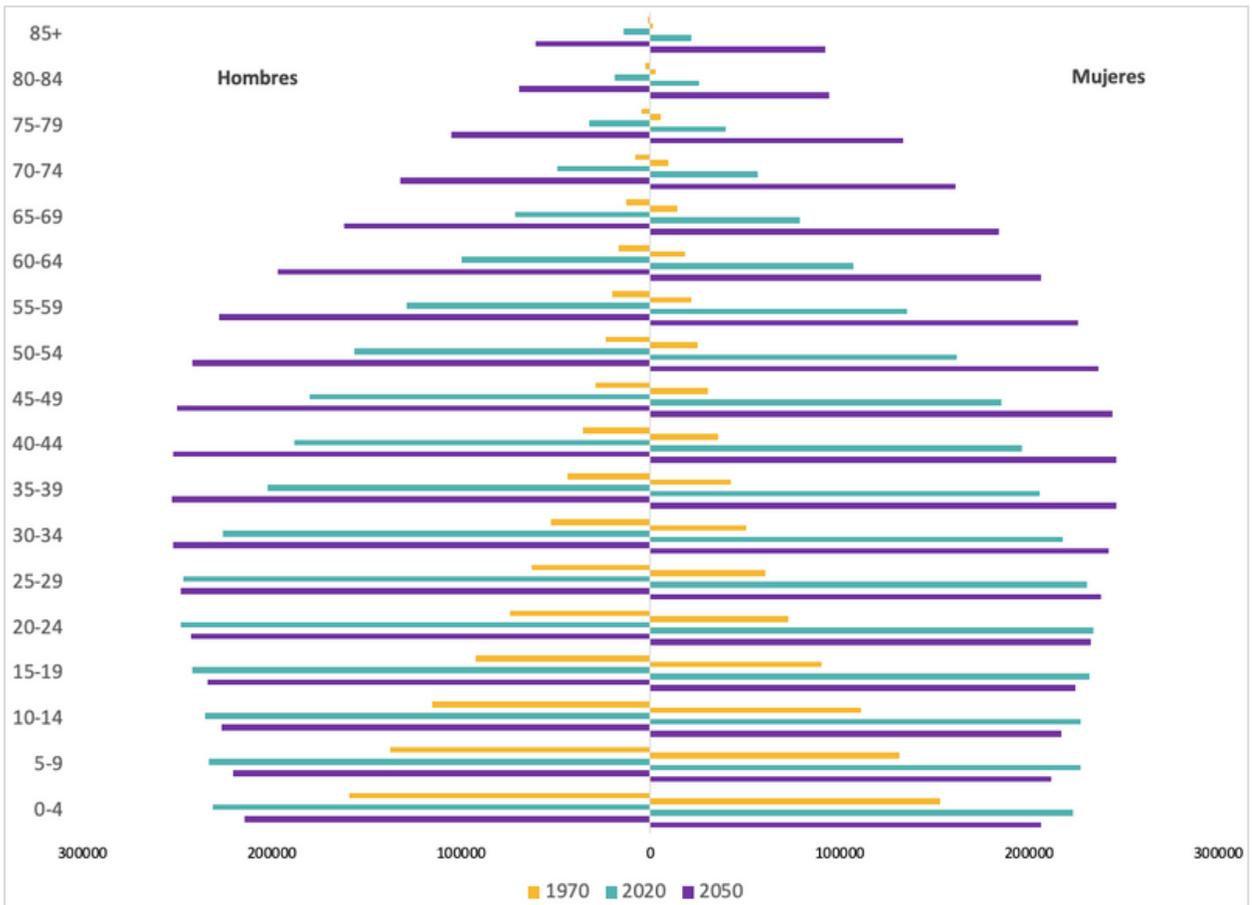


Figura 23. Pirámide poblacional de Nuevo León

Fuente: CONAPO (2020); citado en Consejo Nuevo León (2020).

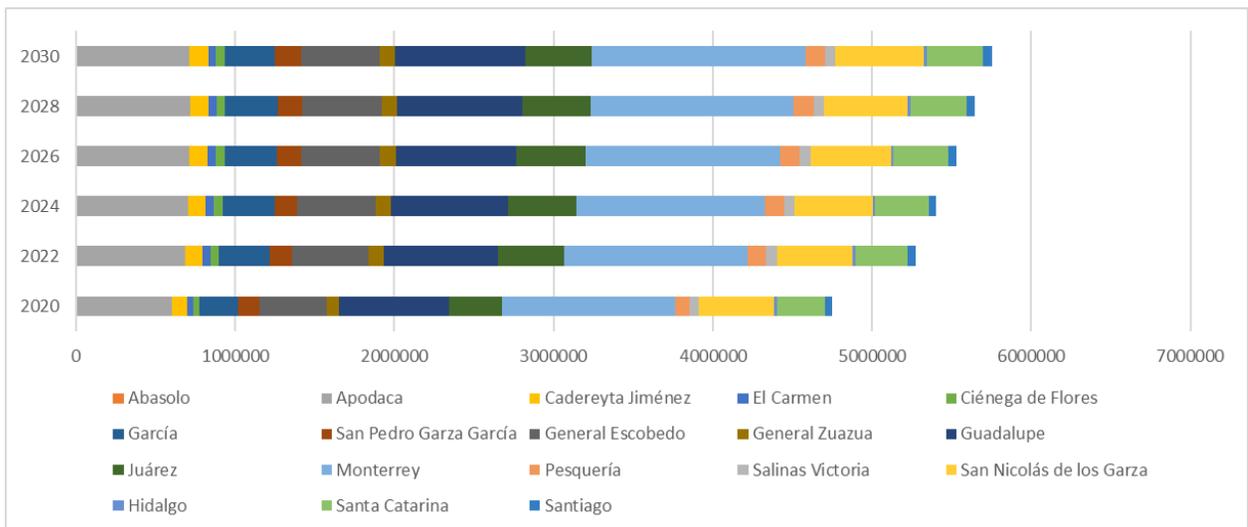


Figura 24. Proyecciones de población de los municipios del AMM entre 2020 y 2030

Fuente: elaborado con datos de CONAPO (s.f.).

Entre 2010 y 2020 la población de Nuevo León creció 24.3%, principalmente porque el saldo neto migratorio fue positivo en el mismo periodo. Aproximadamente, una de cada cuatro personas residentes en el estado no nació en este territorio (Consejo Nuevo León, s.f.a). Las principales causas de migración fueron, sobre todo, familiares (8,648 personas), laborales (3,817), vivienda (2,289) y económicas (2,142) (INEGI; citado en Data México, 2022). Esto quiere decir que el AMM es atractiva desde el punto de vista económico y laboral como destino para personas de otros países, lo cual contribuye en la incidencia de requerimientos de vivienda, energía, transporte, entre otros.

Porcentualmente para 2020, la población en esta área metropolitana era igual entre hombres y mujeres (50% cada uno). El 25.5% de la población tiene entre 15 y 29 años de edad. Alrededor de 91,400 personas habla alguna lengua indígena (1.2% del total del AMM) (Data México, 2022). El estado de Nuevo León ha tenido una tendencia de disminución de su tasa de fecundidad (2.34% en el 2000 y 2.05% en el 2018), aunque sigue siendo mayor que otras regiones mexicanas (INEGI; citado en Consejo Nuevo León, 2020).

En cuanto a los indicadores de pobreza del AMM no hay una tendencia clara, al menos no con los datos entre 2010 y 2020 (Figura 25). Para el año 2020, 17.6% de la población se encontraba en situación de pobreza moderada y 1.28% en situación de pobreza extrema. Con respecto a Nuevo León, es la entidad federal mexicana con menor proporción poblacional en situación de pobreza (14.5 %) y pobreza extrema (0.5 %), según datos del 2018. La población vulnerable por carencias sociales alcanzó un 32.5%, mientras que la población vulnerable por ingresos fue de 6.54%. El AMM tiene como carencias sociales más marcadas el acceso a la seguridad social, acceso a los servicios de salud y acceso a la alimentación, pero en términos cuantitativos tiene los mejores indicadores de desarrollo social si se le compara con otras regiones del estado (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, citado en Data México, 2022; Consejo Nuevo León, s.f.a).

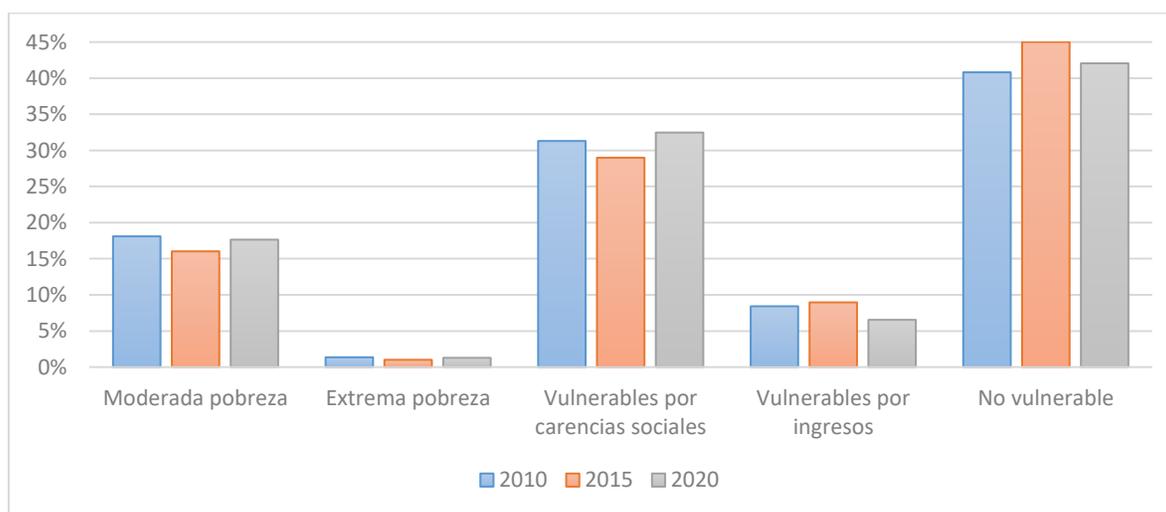


Figura 25. Distribución de personas según condición de pobreza en el AMM

Fuente: adaptado de Data México (2022), elaborado con datos del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL).

Nuevo León es el tercer estado del país con mejor Índice de Desarrollo Humano (IDH) al tener 0.799, superior al nacional de 0.774 (PNUD, 2019; Global DataLab, 2018; citados en Consejo Nuevo León, s.f.a). La región metropolitana tenía el IDH más alto de todo el estado con 0.82 en el año 2014 (similar al de la Ciudad de México), siendo la zona de Nuevo León la que más bienestar aporta a sus habitantes. Las demás regiones de esta entidad federal tienen IDH por debajo del mencionado (CONEVAL, 2014; citado en Consejo Nuevo León, 2020). Mientras más distancia hay con el AMM, “la calidad de vida de las personas en Nuevo León se reduce y la brecha se incrementa” (Consejo Nuevo León, s.f.a).

El estado de Nuevo León ocupa el lugar número 17 a nivel nacional con menor desigualdad en la distribución del ingreso (medida por el coeficiente de Gini). La desigualdad ha disminuido de 0.498 en 2010 a 0.435 en 2018, situándose por debajo del promedio nacional de 0.469 (Coneval, 2018; citado en Consejo Nuevo León, s.f.a). Por su parte, el 10% de la población con mayores ingresos en el estado gana casi 21 veces más que el 10% de la población con menores ingresos en 2018 (Consejo Nuevo León, s.f.a). Las desigualdades mencionadas dan cuenta de la situación del desarrollo social en la entidad. Los grupos vulnerables y los sectores de la población menos favorecidos suelen ser los más afectados por problemas de contaminación ambiental, incluso la atmosférica.

Según el Plan Estratégico para el Estado de Nuevo León 2015-2030, la entidad federal tiene dentro de sus objetivos reducir la pobreza y la desigualdad en su población (Consejo Nuevo León, s.f.a). Las aspiraciones de lograr mayores ingresos a las familias tienen una dualidad: permiten mejor calidad de vida y aumentan la presión sobre los ecosistemas y sus recursos, de manera particular inciden en el deterioro de la calidad del aire.

5.2.2. Densidad urbana

Al año 2020, de los 10 municipios con las mayores tasas de crecimiento población de Nueva León, ocho pertenecen al AMM. Ellos son: Pesquería (22.2%), El Carmen (21.1%), Ciénaga de Flores (11.1%), García (11%), Salinas Victoria (10.5%), General Zuazua (6.5%), Juárez (6.4%) y Cadereyta Jiménez (3.6%) (INEGI, 2021b). La dinámica poblacional concentrada actual y prospectiva en estos municipios representa una mayor demanda de bienes, servicios y energía, lo cual, a su vez, incrementa las necesidades de transporte en el AMM.

La superficie urbanizada de esta región creció 4.9 veces entre 1980 y 2010, versus el crecimiento poblacional de 2.1% (2000-2010) y 2.2% (2010-2015) (SEDATU, CONAPO e INEGI, 2018); entre 2015 y 2020 esta superficie pasó de 73,432 a 87,608 hectáreas, lo que equivale a un crecimiento del 3.9% (Gobierno de Nuevo León, 2022a). Entre 2000 y 2015, la expansión urbana se ha dado en mayor medida hacia la periferia y la población del AMM ha crecido 43%, particularmente en la zona periférica (INEGI, CCM, 2019; citados en Consejo Nuevo León, s.f.a). La Figura 26 presenta imágenes satelitales de este crecimiento en el AMM.

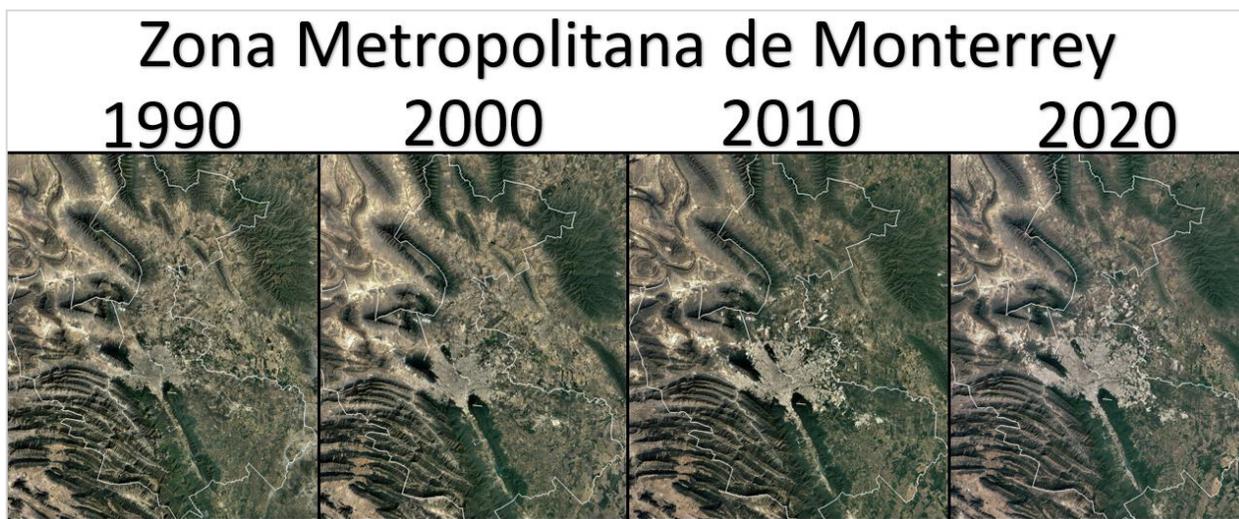


Figura 26. Evolución de la ocupación territorial del AMM entre 1990 y 2020

Fuente: Google Earth, 2022.

Un rasgo del crecimiento periférico es que la zona urbana tiende a crecer por encima del crecimiento demográfico, dando lugar a ciudades con baja densidad. La superficie de la mancha urbana del AMM aumentó en un 279% entre 1990 y 2020. En el AMM, la gran mayoría de la vivienda es horizontal (96%) y la densidad poblacional resulta menor que otras zonas metropolitanas mexicanas. “El crecimiento desordenado y la baja densidad poblacional provocan mayores distancias de traslado y mayor costo en la provisión de infraestructura urbana y servicios como el transporte o la recolección de residuos” (CCM, 2019; ICP, 2019; ONU Hábitat, 2017; Ponce y Lozano, 2021; todos citados en Consejo Nuevo León, s.f.a).

Con respecto a la densidad poblacional, Nuevo León tiene 90.2 hab./km² y su distribución corresponde a 96% urbana y 4% rural (INEGI, 2021a y 2020a). El área metropolitana tuvo 60.5 hab./ha urbanizada en el 2015; este indicador ha descendido hasta 53.7 hab./ha en el 2018 (Consejo Nuevo León, s.f.b). Desde el punto de vista municipal se identifican contrastes; el Municipio Guadalupe tiene 5431 hab./km², Monterrey, el más poblado del AMM, tiene 3523.3 hab./km², mientras que Salinas Victoria posee 52 hab./km² (INEGI, 2021a). Esta concentración en las zonas urbanas se espera que genere mayor presión sobre el territorio. En promedio el AMM tiene 697.5 hab./km², tomando los datos del Censo de Población y Vivienda 2020.

Al respecto, López-Ayala et al. (2019) encontraron que las zonas altamente urbanizadas e industriales dentro del AMM presentan mayores concentraciones de contaminantes, como las PST, comparado con zonas rurales que colindan con el AMM, y que a su vez la concentración de este mismo parámetro era menor en zonas residenciales con bajo tráfico vehicular (González et al. (2018).

Desde el punto de vista residencial, Nuevo León pasó de 878,600 viviendas habitadas en el 2000 a 1,654,199 en 2020, lo cual resulta en un aumento del 88.3% (INEGI, 2020c). El aumento de viviendas y de su equipamiento trae consigo mayor demanda de energía y, por supuesto, ello tiene implicaciones ambientales, incluso en términos de la calidad del aire.

5.2.3. Dinámica de la actividad económica

El AMM es el principal centro de actividad industrial, comercial y de servicios en el norte del país, núcleo de importantes corporaciones de importancia nacional e internacional. Para el año 2020, Nuevo León ocupó el tercer lugar en aportación al PIB nacional (8%), luego de Ciudad de México (15.8%) y el Estado de México (9.1) (INEGI, 2020d). Según datos de la OECD (s.f.), el AMM ha incrementado su aporte al PIB nacional, pasando de un 6.3% en 2003 a un 7.2% en 2020, y ha mantenido el segundo puesto en este indicador, solo superada por la Zona Metropolitana del Valle de México, quien tuvo el 24% en 2003 y el 21.7% en 2020. De mantenerse esta tendencia a largo plazo, el AMM podría llegar a tener el primer lugar, lo cual requeriría un aumento de la producción de bienes y la prestación de servicios para satisfacer la demanda nacional y las exportaciones del país. La meta para el AMM es tener una tasa media anual de crecimiento del PIB hasta el 2030 entre el 2.9% y el 3.3% (Consejo Nuevo León, s.f.a).

En 2019 y 2020 el comercio internacional tuvo más ventas que compras. Con respecto a las ventas internacionales en 2022, el rubro “máquinas y unidades de procesamiento de datos, no especificados o incluidos en otro lugar” ocupó el primer lugar con 9.14%, seguido de “partes y accesorios de vehículos automotores” (6.41%), “alambres y cables eléctricos” (6.10%) y maquinaria para aire acondicionado (5.62%). El principal destino comercial fue Estados Unidos con el 87.4%, seguido por Canadá, países latinoamericanos y asiáticos. Las compras internacionales, en 2022, fueron principalmente a EE.UU. (42.2%), China (21.1%) y Corea del Sur (7.3%), en los rubros “partes y accesorios de vehículos automotores” (5.41%), seguido por circuitos electrónicos integrados (4.03%) y “partes y accesorios de máquinas” (3.16%) (Secretaría de Economía; citado por Data México, 2022). Con respecto a todo Nuevo León, desde el 2013 las exportaciones son mayores que las importaciones (Consejo Nuevo León, s.f.a).

En relación a los parques industriales, el AMM registra 75 parques industriales y tres microparques. Se destacan el “Parque Industrial FINSA Guadalupe (33 empresas), Parque Industrial FINSA Monterrey (28 empresas) y Parque Industrial FINSA Santa Catarina (19 empresas)”. Además, para el 2020, se identificaron 14 parques industriales en construcción (Asociación Mexicana de Parques Industriales; citado por Data México, 2022). Esto da cuenta del crecimiento industrial que se avizora para los siguientes años con las subsecuentes demandas que esto implica para el territorio.

Las industrias manufactureras aportan el 23.3% del PIB estatal del 2020 y son el principal receptor de inversión extranjera directa. La mayoría de los sectores de la actividad económica en Nuevo León reflejan cierta estabilidad en el tiempo (Figura 27); sin embargo, los servicios financieros y de información en medios masivos aumentaron su participación en el PIB estatal de 1.9 % en 2004 a 6.6 % en 2018 (Consejo Nuevo León, s.f.a).

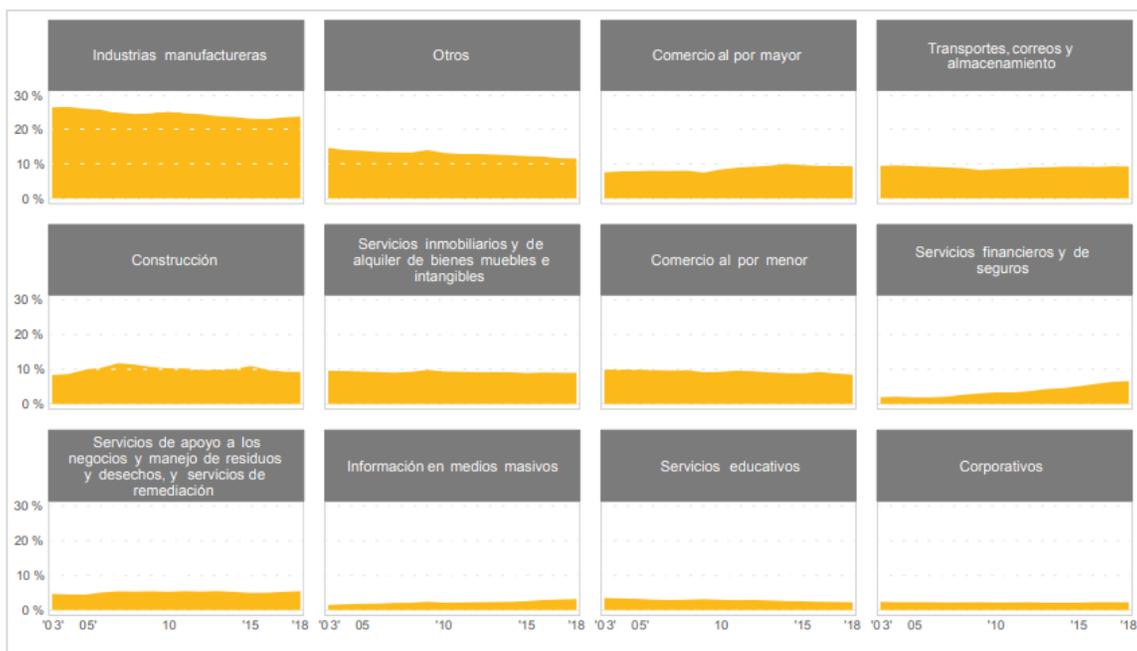


Figura 27. Distribución porcentual del producto interno bruto de Nuevo León, según sector de actividad económica entre 2003 y 2018

Fuente: Consejo Nuevo León (s.f.a), elaborado con datos de INEGI.

La importancia de la industria, comercio y servicios en el AMM es tal que, en el año 2015 y a nivel municipal, la tasa de población de 15 a 70 años ocupada en actividades no agrícolas osciló entre 95.5% (Santiago) y 99.8% (General Escobedo, Guadalupe, Monterrey, San Nicolás de los Garza, Santa Catarina) (SEDATU, CONAPO e INEGI, 2018). Según el INEGI (citado en Consejo Nuevo León, s.f.a), casi el 60% del personal ocupado del área metropolitana y la región centro periférica de Nuevo León en 2019 forma parte de las industrias manufactureras (Figura 28).

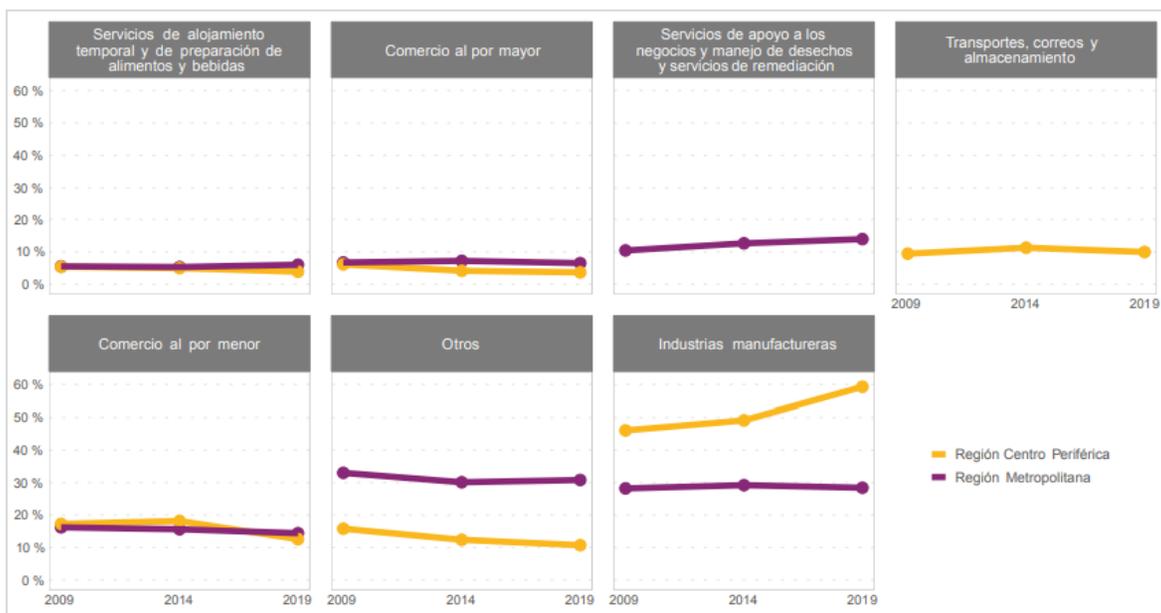


Figura 28. Distribución porcentual del personal ocupado total en el área metropolitana de Monterrey y la región centro periférica de Nuevo León, según su sector de actividad económica en 2009, 2014 y 2019

Fuente: Consejo Nuevo León (s.f.a), elaborado con datos de INEGI.

En 2019 se registraron 151,448 establecimientos que ejercen algún tipo de actividad económica en todo el estado (INEGI, 2020a). La región metropolitana posee el 85% de las mencionadas unidades económicas y el 89.9% del personal ocupado del estado (Figura 29). Entre 2009 y 2010 Nuevo León estuvo dentro de los primeros lugares a nivel nacional en producción de mandarinas, huevos y extracción minera de barita y azufre. En contraste al 2010, en 2019 las actividades económicas primarias del estado fueron 0.6%, secundarias 37.5% y terciarias 61.9%, lo cual indica que los sectores comercio y servicios son los más importante de la región (INEGI, 2020a, 2021c).

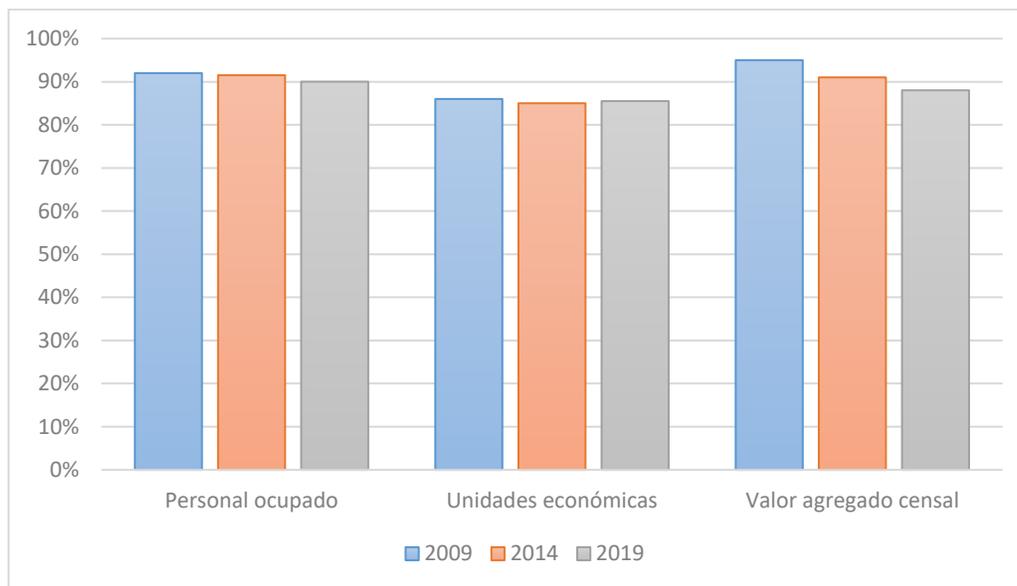


Figura 29. Participación porcentual de variables económicas del AMM, respecto al total de Nuevo León en 2009, 2014 y 2019

Fuente: adaptado de Consejo Nuevo León (s.f.a), elaborado con datos de INEGI.

Acorde con la dinámica de la actividad económica del AMM, las mayores concentraciones de contaminantes no presentan una variación significativa los fines de semana, esto puede atribuirse con las permanentes emisiones provenientes de la actividad industrial (Hernández-Paniagua et al., 2018). Los territorios del AMM con menores variaciones de la calidad del aire son aquellos altamente poblados, alto tráfico vehicular y cercanos a zonas industriales (Hernández Paniagua et al., 2017).

Como un mecanismo para el seguimiento de fuentes fijas, 196 establecimientos generadores de emisiones de competencia estatal cuentan con licencia de funcionamiento y Cédula de Operación Anual (COA) para el 2022. Se tiene como meta un total de 250 empresas con este instrumento para 2027 (Gobierno de Nuevo León, 2022c).

Datos detallados sobre la actividad económica del AMM son reportados en los Censos Económicos 2019, incluso a nivel municipal (INEGI, 2021c). En este caso se destaca el municipio Monterrey por tener los mayores porcentajes en gran parte de los indicadores económicos. Otros municipios o localidades resaltantes son: Apodaca (ciudad) que tiene el 12.3% de personal ocupado y 14.6% de la producción bruta total, San Nicolás de los Garza con 10.1% y 11.7%, Guadalupe con 10.1% y 7.2%, San Pedro Garza García con 9.9% y 8.6%, Santa Catarina (ciudad) con 5.8% y 7.6%; el resto de las localidades juntas suman 11.3% y 16.3%. El ingreso disponible por hogar equivalente en el AMM (en USD precios constantes, PPA constante, año base 2010) fue de 9,248 en 2015 (segundo más alto de los territorios metropolitanos mexicanos) (OECD, s.f.).

Las unidades económicas con 251 y más personas aportan en mayor medida a la producción bruta total, personal ocupado total y valor agregado censal bruto (Figura 30).

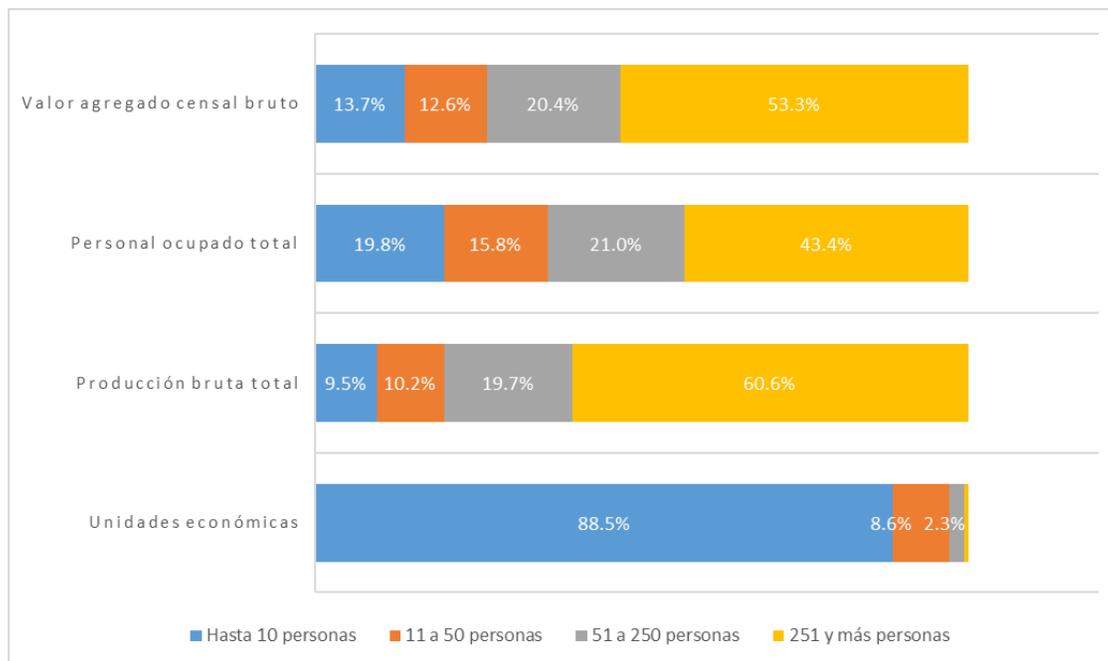


Figura 30. Características según tamaño de la unidad económica del Área Metropolitana de Monterrey en 2018

Fuente: INEGI (2021c).

Al igual que todas las regiones del mundo, las actividades económicas del AMM y el estado de Nuevo León se vieron afectadas por la pandemia del Covid-19. En los dos primeros trimestres del 2020, hubo una reducción de casi el 10% de las contribuciones del sector secundario a la economía y una disminución del alrededor del 13% en el sector terciario la región (Banco de México, 2020). Sin embargo, los datos del año 2021 y 2022 del comercio internacional neto del AMM, muestran valores absolutos mayores a los manifestados antes de la pandemia (Data México, 2022), lo cual ratifica que fue una situación puntual producto de la coyuntura sanitaria y las restricciones estipuladas para aquel momento.

Por otra parte, en Nuevo León hay instalaciones de saneamiento ambiental. Se cuenta con 55 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales cuya capacidad instalada es de 16.2 m³/s y 97 plantas de tratamiento de efluentes industriales que pueden depurar 4.1 m³/s en conjunto (CONAGUA, 2018; citado en Consejo Nuevo León, s.f.a).

En cuanto a los residuos sólidos, únicamente el 13.8% de los residuos generados en el estado son enviados a tratamiento. De estos últimos, el 6.1% es recuperado (materia prima secundaria). Al analizar la separación de residuos desde el hogar, solo el 30.8% de las viviendas lo realizan, ubicando a Nuevo León en el puesto 26 de las entidades federales mexicanas (INEGI). El 52% de los generadores de residuos especiales sí los aprovechan, mientras que el restante envía a disposición final en rellenos sanitarios (CNGMD, 2019; SEDESU, 2020; citados en Consejo Nuevo León, s.f.a).

Las aguas residuales y su tratamiento, así como la gestión de residuos sólidos, debido a sus características y los procesos de degradación que ocurren naturalmente, emiten gases a la

atmósfera los cuales se consideran, sobre todo, contribuyentes al efecto invernadero. La inadecuada gestión de residuos sólidos y el no aprovechamiento de los subproductos del tratamiento de las aguas residuales, concurren aún más a la generación de esos contaminantes gaseosos.

Para el año 2030, Nuevo León proyecta disminuir la generación de residuos peligrosos (de 31,342 en 2019 t a 15,000 o 20,000 t a 2030), así como aumentar los siguientes indicadores: porcentaje de viviendas que separan sus residuos (de 30.78% en 2020 a 70 o 100% en 2030), tasa de residuos sólidos urbanos recolectados enviados a tratamiento respecto del total (de 13.76% en 2019 a 40 o 70% en 2030) y porcentaje de residuos sólidos urbanos recolectados recuperados respecto al total de residuos enviados a planta de tratamiento (de 6.13% en 2019 a 30 o 50% en 2030) (Consejo Nuevo León, s.f.a). El logro de estas metas implica grandes esfuerzos, pero tendrían importantes beneficios sanitarios y ambientales, incluyendo en términos de emisiones contaminantes.

5.2.4. Demanda energética

En las viviendas de esta región, reportes del año 2020 indican que el 65.9% disponen de horno, el 83.3% tienen lavadora, el 96.7% poseen refrigerador y el 49% aire acondicionado. Si se revisan datos del equipamiento energético de las viviendas, solo el 1.1% y 1.4% disponen de paneles solares y calentador solar de agua, respectivamente (INEGI; citado en Data México, 2022). Tomando en cuenta el histórico que se tiene para Nuevo León, la disponibilidad de aparatos eléctricos aumentó aproximadamente el doble para lavadora y refrigerador, y casi el doble para TV (INEGI, 2020c). El aumento del equipamiento de los hogares tiene incidencia en la demanda energética residencial. Además, el costo del consumo energético puede fomentar el uso racional o desmedido de este servicio.

En términos económicos, según la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares, en Nuevo León se gasta en promedio unos 36,650 pesos trimestralmente, de los cuales 4,758 son para “vivienda, servicios de conservación, energía eléctrica y combustibles”. Esto significa que el 13% de los gastos del hogar son para este rubro, resultando ser un poco mayor al promedio nacional de 11% (INEGI, 2020c).

La participación de fuentes de energía limpia y renovable para la generación de energía eléctrica en Nuevo León fue de 16.1% en 2021 (Gobierno de Nuevo León, 2022c). El uso de biomasa o combustibles sólidos para cocinar en México es una realidad extendida (Lagunes-Díaz, 2015). En el caso de Nuevo León, para el año 2020, el 2.7% de las viviendas usaban leña como combustible para cocinar. Entre 1995 y 2005 el uso de combustibles sólidos (leña y carbón) estuvo por debajo del 1% del uso total de energía por parte del sector residencial, comercial e industrial en este estado mexicano (Chacón-Anaya et al., 2010).

A pesar de parecer que el uso de combustibles sólidos es reducido, algunas investigaciones han considerado que el uso de estos materiales para la preparación de alimentos, como los asados de carne, es una fuente importante de contaminantes en el AMM (López-Ayala et al., 2019). Entre ellos, se determinaron varios indicadores relacionados a HAP presentes en PST que mostraron esta fuente de emisiones, aunque por debajo de otras como transporte y hornos industriales. Medina-Gaitán et al. (2016) reconoció también que la cocción de carnes como una fuente de CN en este territorio.

En el AMM se ha asociado la mayor presencia de partículas en el aire (o algunos de sus constituyentes) en temporadas frías debido al aumento de generación energética para calefacción en hogares e industrias (González et al., 2018). Otro aspecto energético importante y con consecuencias en la calidad del aire lo constituye centrales eléctricas de ciclo combinado de gas natural en el este del AMM, lo cual incide en la emisión de COV y NO_x, contaminantes precursores del O₃ (Carrillo-Torres et al., 2017). Además, centrales termoeléctricas son fuente importante de material particulado en algunas zonas de este territorio metropolitano (Centro Mario Molina, 2019).

5.2.5. Movilidad

Nuevo León se posicionó como la cuarta entidad con mayor parque vehicular a nivel nacional en 2020, con un total de 2,476,062 vehículos de motor registrados en circulación (automóviles, camiones para pasajeros, camiones para carga y motocicletas), de los cuales el AMM alberga aproximadamente 2.2 millones de vehículos (Gobierno de Nuevo León, 2022a). Además, casi el 40% de las manzanas del AMM no facilitan el desplazamiento peatonal, por cuanto incumplen los estándares establecidos para ello (banquetas, rampas, arbolado y alumbrado público).

El estado de Nuevo León registra el mayor porcentaje de incidentes viales en el país (21%), seguido por Chihuahua (7.1%), y ocupa el 16° lugar en fatalidades (3.95 fatalidades/100 000 hab.), de las cuales el 37% son peatones, según datos recientes (Centro Mario Molina, 2020; INEGI, 2019; citados en Consejo Nuevo León, s.f.a). En 2021 este fue el territorio “con más muertes viales del país: una de cada cinco muertes por accidentes de tráfico ocurrió en Nuevo León” (Gobierno de Nuevo León, 2022c).

En cuanto a los viajes de la población del AMM, el 44% se realizaron por motivos de trabajo, el 18% a estudios, el 14% compras, 12% acompañamiento, 5% otros motivos, 4% recreación y 3% salud. Se destaca que el 47% de los viajes son realizados por mujeres, quienes se trasladan especialmente a pie por motivos de acompañamiento, compras, estudio o trabajo (Secretaría de Medio Ambiente - Gobierno del Estado de Nuevo León, 2022).

En relación al reparto modal de los viajes realizados en el AMM, en la Figura 31 se presentan los resultados de las matrices origen-destino de los años 2005, 2012 y 2020. De esta grafica se observa un aumento progresivo de los viajes realizados en automóvil privado, alcanzando el 46.75% de los viajes al año 2020. Los viajes a pie tienen su participación más alta en 2020 con 18.3% de los viajes realizados; este aumento pudo deberse a efectos de la pandemia que tuvo efecto en la disminución de usos del transporte público. Es así que se evidencia una reducción progresiva del uso de transporte público hasta el año 2020, alcanzando una participación del 20.11% en los viajes, asociados a los cambios de oferta y demanda que se dieron en Monterrey durante la pandemia de la COVID-19 en 2020, los cuales se explicarán a continuación.

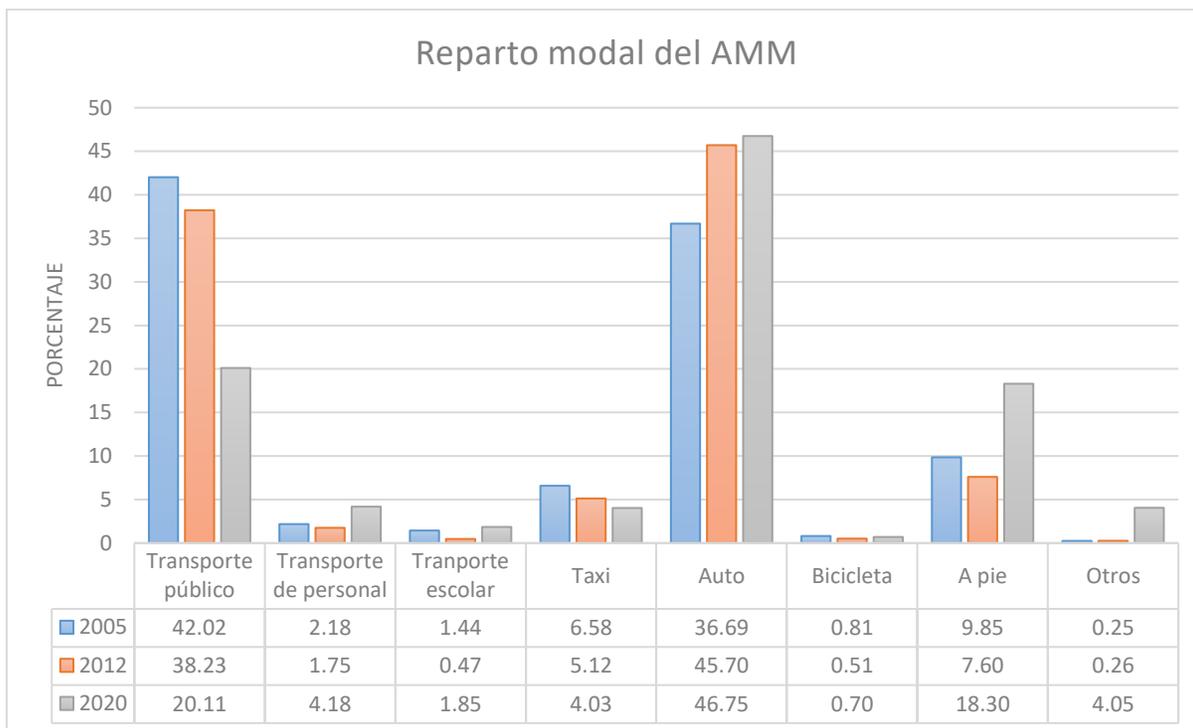


Figura 31. Reparto modal de viajes del AMM entre 2005 a 2020

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente - Gobierno del Estado de Nuevo León (2022).

Si bien el fenómeno de reducción de la demanda en el transporte público asociado a las medidas de aislamiento fue mundial, Monterrey ha tenido un comportamiento particular. Se ha reportado que de las más de 5,429 unidades de camiones urbanos de pasajeros que operaban diariamente desde el año 2016, actualmente funcionan en promedio 2,780 unidades, representando una pérdida del 49% de las unidades. Actualmente, cerca del 10% de la flota de transporte público depende directamente del gobierno estatal, pero la gran mayoría sigue operando por medio de operadores privados que hacen el recaudo a través del pago de pasajes abordo y tienen pleno control de sus operaciones, definiendo, además, frecuencias, tamaño de vehículos y, como resultado, niveles de servicio. Adicionalmente, estas unidades perdidas se han trasladado a empresas que han optado por buscar transporte privado de pasajeros (buses de transporte especial o transporte personal) para asegurar el movimiento de sus empleados.

El Sistema de Transporte Colectivo Metrorrey (STC Monterrey) está integrado por 134 vagones eléctricos, pero el 28.3% no están disponibles debido a sus deficientes condiciones. Esta situación limita la oferta de transporte público a los usuarios. También se cuenta con el sistema Transmetro con 112 km, 10 rutas bidireccionales y 94 autobuses, mientras que el servicio de Metrobus tiene 22 rutas (Gobierno de Nuevo León, 2022a). según datos recientes, desde enero a julio de 2022 se ha tenido un aumento del número promedio de pasajeros diario que fue de 333,953 a 397,354, con un máximo en mayo de 438,363, además de que durante este año se han arrendado 1200 unidades de transporte público bajo en emisiones (Gobierno de Nuevo León, 2022c).

En relación al uso de bicicleta, solo el 0.7% de los viajes realizados se hacen por este modo de transporte (Figura 31). Esta participación se relaciona con una infraestructura ciclista que cuenta

con tan solo 28 km de ciclovías, de las cuales una quinta parte se reporta en el PIMUS “en buen estado” y más de la mitad está en mal o muy mal estado. Esta precaria situación de las facilidades para ciclistas se ve, además, afectada por la ausencia de conexión con los sistemas de transporte masivo. Se tiene como meta de los próximos 20 años crecer de forma paulatina a 723 km de ciclovías (Secretaría de Medio Ambiente - Gobierno del Estado de Nuevo León, 2020).

En cuanto a los tiempos de viaje, se estima que el tiempo promedio en automóvil es de 33 minutos, en el transporte público son 68 minutos, y 14 minutos en promedio de tiempos de caminata (Secretaría de Medio Ambiente - Gobierno del Estado de Nuevo León, 2020). De forma específica, en la Figura 32 y Figura 33 se presentan los tiempos y preferencias de los medios de transporte para los principales motivos de viaje que corresponden a trabajo y estudio. Adicionalmente, se evidencia que el uso de metro, metrobús o tren ligero apenas supera el 1% para trabajar y es casi insignificante como medio para ir a estudiar. El tiempo promedio de traslado para el trabajo es de 37.6 min y para ir al colegio de 20.3 min (INEGI; citado en Data México, 2022).

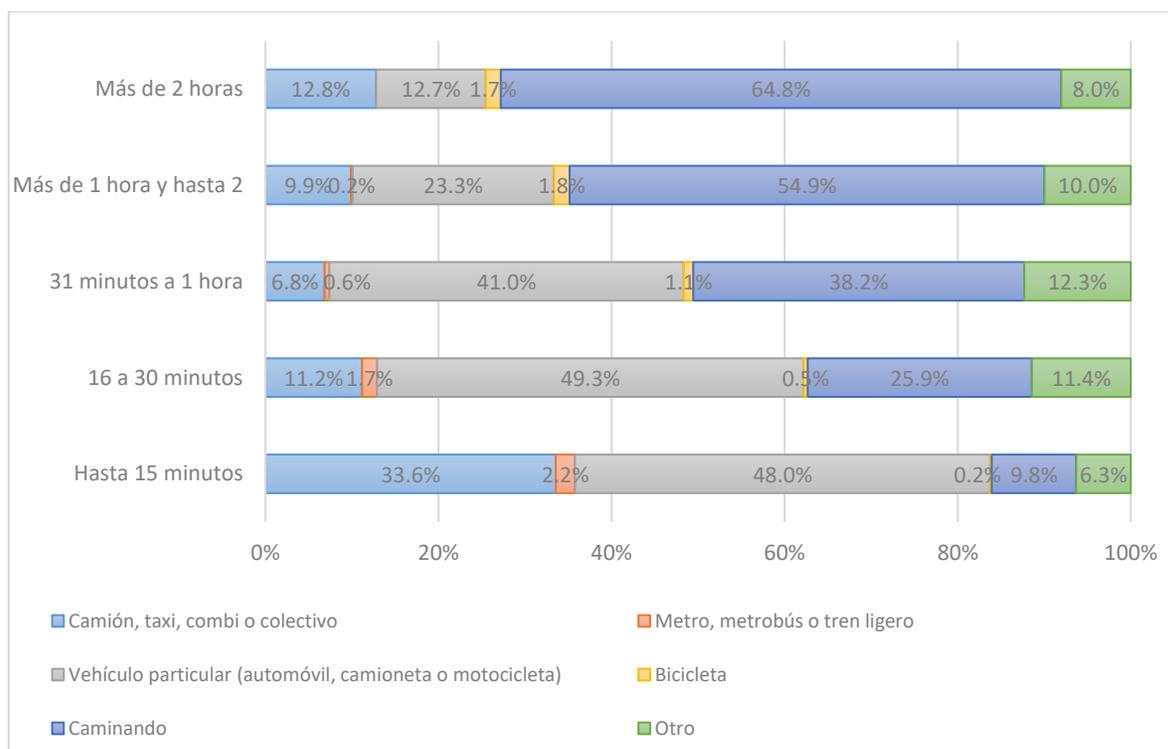


Figura 32. Tiempo de traslado al trabajo según medio de transporte en el Área Metropolitana de Monterrey durante el 2020

Fuente: Data México (2022), elaborado con datos del INEGI.

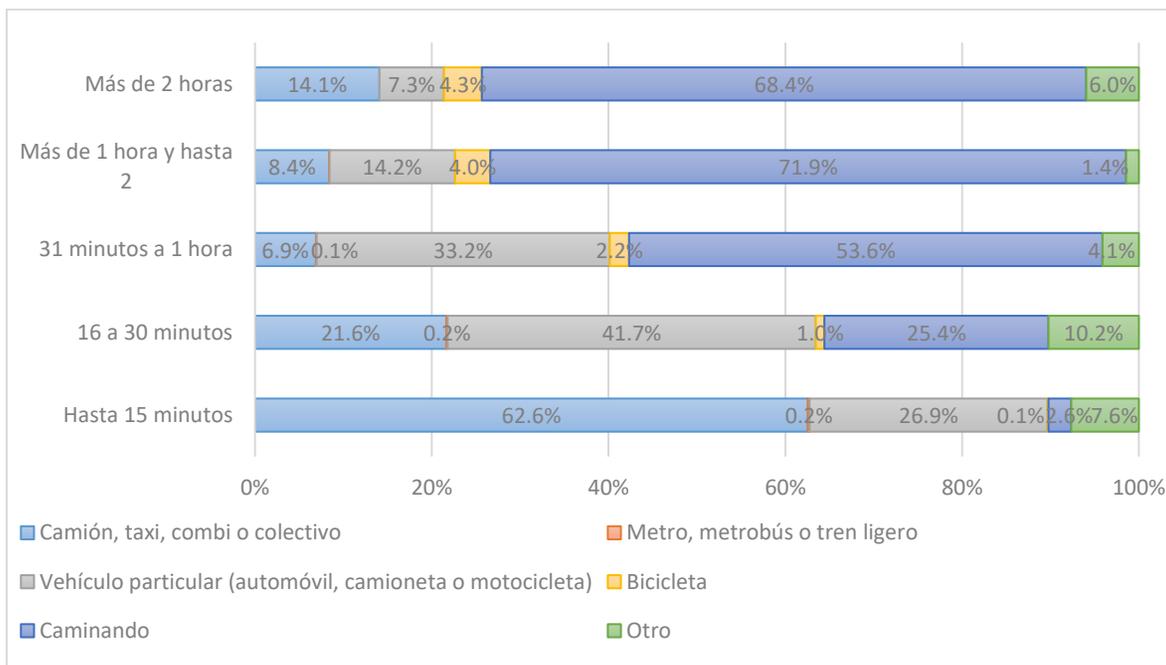


Figura 33. Tiempo de traslado al colegio según medio de transporte en el Área Metropolitana de Monterrey durante el 2020

Fuente: Data México (2022), elaborado con datos del INEGI.

Otro dato a mencionar es que el 5.3% del gasto de los hogares en Nuevo León es destinado para el transporte público, lo cual es más alto que otras regiones mexicanas y más del doble que en la Unión Europea. Lo anterior, junto con la falta de cobertura del sistema, ha generado que solo el 38.4% de la población ubicada en los bajos estratos socioeconómicos pueda usar el transporte público (Consejo Nuevo León, s.f.a). Además, “entre 2001 y 2017, el 81% de las inversiones en movilidad y transporte se dirigieron a infraestructura para vialidades y el automóvil, mientras que el 19% restante se ha repartido entre espacio público, transporte público, infraestructura ciclista y peatonal” (ITDP, 2017; citado en Consejo Nuevo León, s.f.a). Los municipios cercanos a Monterrey tienen el 86% de la red de transporte público de pasajeros; en contraparte, el resto de los municipios del AMM tiene el porcentaje remanente (CETyV y AET, 2018; citado en Consejo Nuevo León, s.f.a).

Lo anterior significa que hay limitaciones en el acceso al servicio de transporte público, tanto por costo como por cobertura, así como una desigual inversión que ha relegado mejoras en este servicio y desequilibrios de infraestructura, incluso dentro de la misma AMM. Este escenario crea las condiciones para que la población elija otras formas de movilidad, como el vehículo particular, por razones de preferencia y de dificultades al acceso de otras opciones, lo cual es contraproducente desde el punto de vista de la calidad del aire.

Monterrey está catalogada como una de las ciudades con más tráfico y atascos del mundo. De hecho, ocupa el puesto 11 a nivel global y resulta la segunda ciudad latinoamericana con más horas perdidas al conducir. En la ciudad se pierden alrededor de 116 horas al año en el tráfico (INRIX, 2022), valor muy similar al reportado por IMCO (2019; citado en Gobierno de Nuevo León, 2022a) con 113.4 horas, lo cual representa un costo de \$9,839,242,887. De esta manera, el congestionamiento en el AMM es el segundo más costoso en México, superado solo por la Zona Metropolitana del Valle de México. Adicionalmente, a nivel latinoamericano, usar el transporte

público suele ser costoso e inseguro, por lo que mejorar las tarifas y seguridad resulta clave para desestimular el uso de vehículo propio y propiciar el uso del público y masivo, estrategias que son pertinentes para el caso del AMM (Mahtani, 2023).

Prospectivamente, Nuevo León tiene como meta pasar de un 56.2% de personas que utilizan medios no motorizados o medios motorizados colectivos (2019), a 60% o 67.25% en el 2030 (Consejo Nuevo León, s.f.a), lo cual implica ajustar el foco de la inversión pública, desarrollar estrategias estimulantes y de sensibilización para cambiar los hábitos de movilidad de la población.

En cuanto al transporte urbano de carga, “en el estado existen 254 centros de distribución y centros de reparto, 28% de ellos están ubicados fuera de la zona urbanizada. Diariamente transitan 47,370 vehículos de carga, de los cuales más del 60% dan servicio entre el AMM y otras ciudades”. Nuevo León tiene 156.1 incidentes de tránsito terrestre relacionados con transporte de carga por cada 100,000 habitantes, siendo la segunda tasa más alta de México, solo superado por Querétaro con 163.1 (INEGI, 2019; PIMUS, 2020; citado en Consejo Nuevo León, s.f.a).

El transporte de carga pesada en el AMM es un factor que también contribuye de manera importante a la congestión vehicular. Se estima que alrededor de 58,200 vehículos de carga circulan diariamente en el AMM. Además, este tipo de automotores desgastan la carpeta asfáltica, hasta tal punto que se calcula que un 68% de las carreteras tienen un estado regular o malo (Sistema de Caminos de Nuevo León, 2021; citado en Gobierno de Nuevo León, 2022a). Como consecuencia, la red carretera a cargo del Sistema de Caminos de Nuevo León (SCNL), opera “bajo condiciones actuales de pesos y dimensiones fuera de especificaciones para las que fueron diseñadas”, provocando un detrimento estructural de la vialidad y un alto riesgo de accidentes (Gobierno de Nuevo León, 2022a).

Para el 2022, del total de la red carretera estatal de 3,182 km, se determinó que 568 km está en buenas condiciones, 1,930 en condición regular y 684 en mala (Gobierno de Nuevo León, 2022c). Los habitantes de algunos de los municipios del AMM consideran que el estado de las calles y avenidas (baches) son el principal problema del territorio (Gobierno de Monterrey, 2021). La presencia de baches y el deterioro progresivo de las calzadas, adicional al tráfico vehicular, resuspende material particulado que afecta la calidad del aire. “El polvo de la carretera en el AMM es uno de los factores importantes para el PM_{10} relativamente alto durante el día” (Benítez-García et al., 2014) y se reconoce el mal estado de las vías como fuente de este contaminante en la literatura científica hecha en el lugar (Wakamatsu et al., 2017).

Asimismo, las emisiones provenientes de vehículos de carga pesada contribuyen al detrimento de la calidad del aire en el AMM en cuanto a contaminantes criterio y otros específicos como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), los cuales se consideran cancerígenos. Al respecto, Longoria-Rodríguez et al. (2020) encontraron que la zona suroeste de Monterrey (Santa Catarina) es la que más se destaca con presencia de HAP, los cuales se pueden atribuir “a la quema de fuel oil por parte de las industrias locales, así como a la combustión de diésel del tráfico pesado de carga que circula por la zona”. “Ofrecer un tránsito fluido de mercancías que ayude a disminuir el tráfico vehicular en” el AMM, es uno de los retos que el estado reconoce, por lo que es necesario “contar con un anillo periférico completo que logre desviar vehículos de carga pesada” (Gobierno de Nuevo León, 2022a). Al respecto, en agosto de 2022 se tuvo un avance 73.5% de la tercera etapa del Periférico del Área Metropolitana de Monterrey (PAMM), con el cual se contempla desviar de la ciudad hasta 3,500 vehículos de carga (Gobierno de Nuevo León, 2022c).

Históricamente, los automotores del AMM, ya sea a base de gasolina o diésel, se han considerado una importante fuente de emisiones de contaminantes, entre ellos el $PM_{2.5}$, el carbono negro (CN, el cual forma parte del $PM_{2.5}$), el CO, los HAP y los COV en el AMM o algunas partes de su territorio (Cerón-Bretón et al., 2015, 2017, 2019; Longoria-Rodríguez et al., 2020; Mancilla y Mendoza, 2019; Medina-Gaitán et al., 2016). En el caso de otros contaminantes como las PST, también se ha reconocido a la combustión del sector transporte como un contribuyente importante al realizar estudios especializados sobre la composición de las partículas (González et al., 2018; López-Ayala et al., 2019).

Los automotores no solo generan problemas de congestión, riesgos de accidentes y emisiones contaminantes como consecuencia del proceso de combustión, también las “partículas resultantes de las bandas de rodadura de los neumáticos y el polvo de los neumáticos, el polvo de los frenos y las pastillas de freno, y el desgaste general de las piezas” pueden provocar riesgos para la salud y el medio ambiente (Urrutia-Goyes et al., 2018). Literatura citada por los anteriores autores dan cuenta de que estas partículas pueden convertirse en polvo de la calle y mezclarse con emisiones provenientes de industrias, constituyéndose una amenaza a la salud. Sobre ello, algunos estudios asocian el desgaste de frenos y llantas como fuente de partículas en el aire (González et al., 2018; Mancilla et al., 2012; Mancilla y Mendoza, 2012) y de metales presentes en el polvo de las calles del AMM (Urrutia-Goyes et al., 2018).

5.2.6. Dinámicas socioculturales

Existen prácticas culturales dentro de la población que también pueden contribuir con las concentraciones de contaminantes en el aire (SEMARNAT, 2022a); por ejemplo, el uso de biomasa o combustibles sólidos para cocinar en México es uno de ellos (Lagunes-Díaz, 2015). En el caso del AMM, algunas investigaciones han resaltado la importancia del uso de combustibles sólidos para la preparación de alimentos como los asados de carne en la presencia de contaminantes como HAP, PST y CN, entre otros (López-Ayala et al., 2019; Medina-Gaitán et al., 2016).

Otra particularidad es el uso de fuegos artificiales en fechas de fiesta en diciembre, esto produce repercusiones negativas para el medio ambiente, la salud de las personas y el bienestar de animales (SEMARNAT, 2022b). Sin embargo, es una práctica común en el AMM. El 1 de enero de 2022 fue el día con mayor cantidad de horas con un índice de calidad y salud extremadamente malo en el AMM debido a $PM_{2.5}$ (Gabinete de Generación de Riqueza Sostenible del Gobierno de Nuevo León, 2022). En secciones anteriores se ha mostrado como el mes de enero, por ser un mes de la época de invierno en el AMM, presenta características que favorecen la estabilidad atmosférica y contribuyen a un aumento de las concentraciones de material particulado. Sin embargo, es posible que el uso de cohetes en la noche de Año Nuevo y la preparación de alimento con leña también contribuya con el detrimento de la calidad del aire en fechas estas fechas.

Otro aspecto relevante es la quema de desechos sólidos, la cual también ocurre en el AMM y emite gran cantidad de CN (Medina-Gaitán et al., 2016).

5.3. PRESIÓN: EMISIONES A LA ATMÓSFERA

En esta sección del diagnóstico, se precisan cuáles son las actividades que se desarrollan para satisfacer y responder a las distintas necesidades de la población y su contribución a presionar y afectar el equilibrio de recurso aire y de su calidad, a través de la descarga de emisiones contaminantes. Por ende, resulta indispensable determinar y entender a profundidad estas emisiones para conocer la magnitud de las presiones ejercidas al medio ambiente, las fuentes principales y los contaminantes de interés (SEMARNAT, 2022a).

Es así que se presenta una síntesis y análisis de la más reciente actualización del inventario de emisiones para el Área Metropolitana de Monterrey. Se tomó inicialmente como referencia el inventario de emisiones actualizado para el año base 2018 elaborado por el CAI (2022). Sin embargo, en un trabajo en conjunto entre el CAI, la SMA y la SEMARNAT, y el desarrollo de algunas mesas de trabajo junto con otros actores del AMM, se consolidó un inventario de emisiones desarrollado por SEMARNAT (2023), en el cual se ajustaron las emisiones de fuentes móviles y fuentes fijas.

Este análisis permitió identificar las principales fuentes de emisión sobre las que se debe actuar para alcanzar los niveles esperados de calidad del aire en el marco del Plan Integral de Gestión Estratégica de la Calidad del Aire para el AMM. Cabe resaltar que este es un primer insumo que se verá complementado con las proyecciones de cambios en el tiempo que son la línea base del PIGECA.

El inventario tiene como alcance geográfico los 18 municipios que integran el AMM, presentando los resultados de manera global por tipo de fuente y contaminante, pero no segregado por cada municipio. Los distintos tipos de fuentes abordados fueron:

- Fuentes fijas: son las instalaciones establecidas en un lugar puntual que desarrollan operaciones o procesos industriales, comerciales y de servicios en los cuales se generen emisiones contaminantes a la atmósfera a través de procesos de combustión en fuentes como hornos o calderas; estas fuentes pueden estar bajo jurisdicción federal o estatal. Este inventario de emisiones fue proporcionado por la SEMANAT, con excepción de dos aspectos: el primero son las emisiones de SO₂ generadas en las plantas de recuperación de azufre de la Refinería de Cadereyta, las cuales fueron estimadas por el CAI a partir de información de la COA del año 2018; las segundas tienen que ver con las emisiones del sector de Extracción/Beneficio minerales no metálicos, del cual se utilizaron las estimaciones de CAI basadas en producción por empresa del año 2022. Ambas estimaciones se reportan en el ANEXO 1.
- Fuentes móviles: constituidas por los vehículos automotores que circulan por calles, avenidas, autopistas y carreteras (fuentes móviles carreteras), además de aquellas tecnologías que no circulan por carreteras como locomotoras y aeronaves (fuentes móviles no carreteras). Estas emisiones fueron estimadas por SEMARNAT con el modelo MOVES actualizado en año 2023.
- Fuentes de área: también conocidas como no puntuales, son aquellas que son muy numerosas y dispersas para ser incluidas acertadamente en el inventario de emisiones de fuentes fijas (construcción, actividades domésticas, agrícolas y pecuarias, quemas e incendios, lavanderías, pavimentación y caminos, distribución y almacenamiento de combustible, aguas residuales, residuos sólidos, entre otros). Las remisiones de fuentes de área se obtuvieron de los reportes por la SEMARNAT para Nuevo León.

- Fuentes naturales: constituido por las distintas formas de vegetación que emiten algunos compuestos orgánicos volátiles, así como compuestos nitrogenados (NO-NO_x) liberados por los microorganismos del suelo. Su estimación fue realizada por el CAI (2022) en el marco del inventario del año 2018 para el AMM.

En la tabla 10 y 11 se presentan un resumen de las distintas fuentes de emisión según el último inventario realizado, y la Figura 34 presenta el porcentaje de participación de cada tipo de fuente para los distintos contaminantes analizados. Adicionalmente, el ANEXO 2 recopila los principales resultados del inventario de emisiones.

Las fuentes fijas son el principal emisor de PM₁₀ y PM_{2.5}, con una participación aproximada del 59% y 57%, respectivamente. Esto implica que las acciones encaminadas a reducir las emisiones del sector industrial serán esenciales para el cumplimiento de los estándares de calidad del aire esperados. Ahora bien, es importante notar que su crecimiento desde el inventario de 2013 es casi el doble en este contaminante, esto debido a los ajustes realizados por SEMARNAT y las conversaciones con diferentes empresas de los sectores. Debido a que la mayoría (62%) de las emisiones de fuentes fijas en partículas provienen de fuentes industriales de jurisdicción federal, estas tienen un papel importante en las acciones propuestas dentro de este PIGECA. De igual modo, las fuentes fijas tienen una participación del 99% de las emisiones de SO₂, provenientes en su mayoría de las emisiones de la refinera de Cadereyta.

Por su parte, las emisiones de fuentes móviles tienen un importante aporte de NO_x (75%), el cual es un precursor de material particulado secundario en la atmósfera. Asimismo, aporta el 26% y 34% de las emisiones primarias de PM₁₀ y PM_{2.5}, respectivamente. Además, las fuentes móviles tienen gran relevancia en la articulación con estrategias de mitigación del cambio climático, al ser aportante del 79% del carbono negro.

Las fuentes de área juegan un papel importante, principalmente en la reducción de emisiones de COV, en donde aportan el 40% de las emisiones de este contaminante, especialmente proveniente de las estaciones de servicio, limpieza de superficies industriales y el uso doméstico de solventes. En cuanto a las partículas, estas fuentes aportan el 16% y 9% de PM₁₀ y PM_{2.5}, siendo las principales fuentes los asados al carbón, la combustión doméstica, los caminos pavimentados y sin pavimentar, la labranza y actividades de construcción.

En las siguientes secciones se detalla el análisis por cada una de las fuentes y contaminantes.

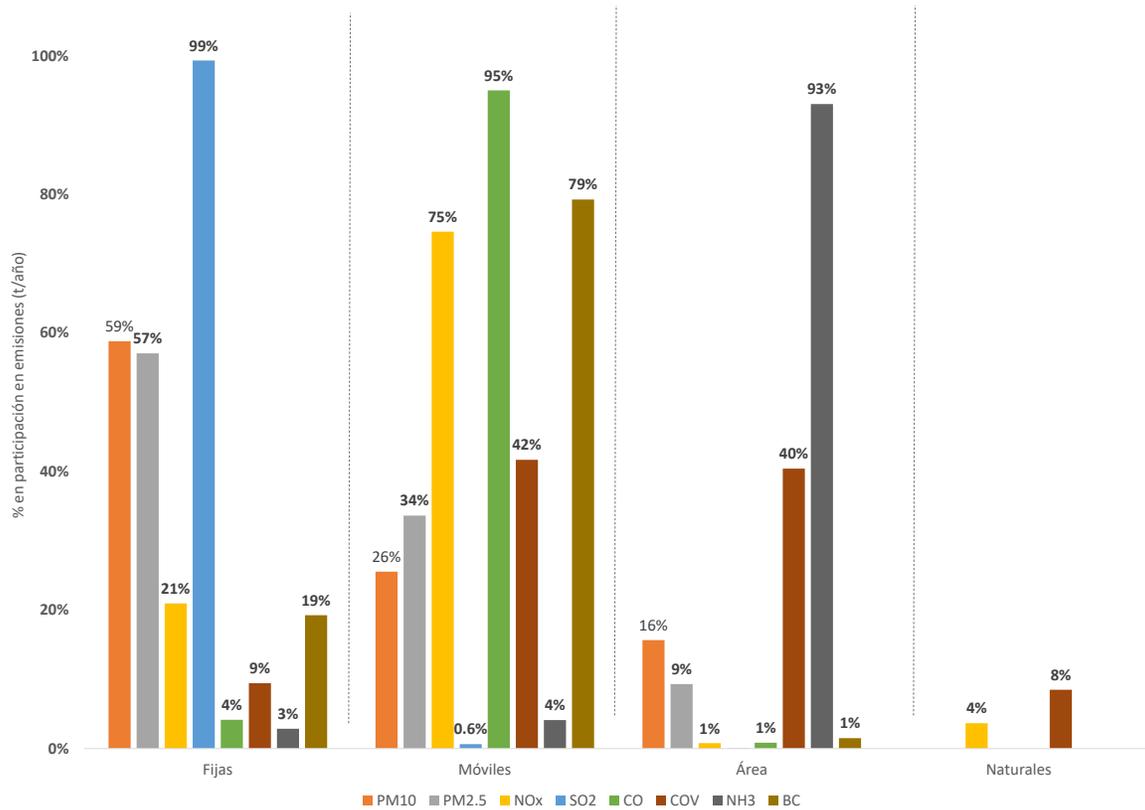


Figura 34. Porcentaje de participación de emisiones de cada tipo de fuente para los distintos contaminantes analizados

Fuente: elaborado a partir de los datos de SEMARNAT (2023) y complementado con CAI (2022).

Tabla 10. Emisiones de contaminantes criterio en los 18 municipios del AMM para el año base 2018

Origen de la emisión	PM ₁₀		PM _{2.5}		NO _x		SO ₂		CO		COV		CN	
	t/año	%	t/año	%	t/año	%	t/año	%	t/año	%	t/año	%	t/año	%
Fijas	7,068	59%	5,707	57%	25,718	21%	46,960	99.3%	15,142	4.1%	15,352	9%	302	3%
<i>Estatales</i>	2,187	39%	1,223	26%	1,077	4%	209	0.4%	879	6%	5,141	33%	31	10%
<i>Federales</i>	4,881	61%	3,485	65%	24,642	96%	46,751	99.6%	14,263	94%	10,211	67%	271	90%
Móviles	3,070	25.5%	2,775	34%	91,642	75%	301	0.6%	346,829	95.0%	67,879	42%	436	4%
<i>Carreteras</i>	2,945	96%	2,655	96%	88,763	97%	136	45%	343,804	99%	66,617	98%	436	100%
<i>No carreteras</i>	125	4%	120	4%	2,879	3%	165	55%	3,025	1%	1,262	2%	0	0%
Área	1,883	16%	768	9%	954	1%	13	0.0%	3,027	0.8%	65,812	40%	9,858	93%
Naturales	NE	NE	NE	NE	4,493	4%	NE	NE	NE	NE	13,807	8%	NE	NE
TOTAL	12,021	100%	8,251	100%	122,807	100%	47,275	100%	364,998	100%	162,850	100%	10,597	100%

Tabla 11. Emisiones de gases de efecto invernadero en los 18 municipios del AMM para el año base 2018

Origen de la emisión	CO ₂		CH ₄		N ₂ O		CO ₂ eq	
	t/año	%	t/año	%	t/año	%	t/año	%
Fijas	40,018,505	78%	6,481	8%	3,558	91%	41,257,450	76.6%
<i>Estatales</i>	1,268,391	3%	5,513	85%	2,549	72%	2,174,324	5%
<i>Federales</i>	38,750,114	97%	967	15%	1,009	28%	39,083,126	95%
Móviles	9,927,461	19%	1,046	1%	235	6%	10,022,238	18.6%
<i>Carreteras</i>	9,770,367	98%	1,045	100%	235	100%	9,865,024	98%
<i>No carreteras</i>	157,095	2%	0.9	0%	0.3	0%	157,215	2%
Área	1,081,180	2%	69,801	90%	116	3%	2,582,931	4.8%
Naturales	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
TOTAL	51,027,146	100%	77,327	100%	3,908	100%	53,862,619	100%

NE: no estimado

Fuente: elaborado a partir de los datos de SEMARNAT (2023) y complementado con CAI (2022).

5.3.1. Emisiones de las fuentes móviles

Las emisiones de fuentes móviles son el principal origen de NO_x, CO, COV y CN en el AMM. Si se comparan las fuentes móviles en carreteras y las no carreteras, se puede denotar que las primeras son significativamente mayores a las segundas en todos los contaminantes analizados, excepto SO₂.

Las fuentes móviles en carretera son las de mayor aporte a las emisiones de NO_x (72%), compuesto relevante por su contribución a la formación de ozono troposférico y material particulado secundario, contaminantes que en el AMM exceden los límites establecidos en la norma, al menos para los años 2019 y 2020 (Secretaría de Desarrollo Sustentable, s.f.a, s.f.b). En el mismo sentido, los COV juegan un importante papel en la formación del O₃, especialmente en el AMM (Carrillo-Torres et al., 2017), por lo que su control es de relevancia para lograr niveles de reducción de este contaminante.

Por otra parte, las fuentes móviles representan el 19% de emisiones de CO₂ (son el segundo principal contribuyente); esto, junto al aporte mayoritario en CN, implica que las fuentes móviles serán una categoría importante en la búsqueda de reducción de emisiones de GEI y la articulación del PIGECA con planes de mitigación del cambio climático y una oportunidad de financiación a través de este enfoque integral con reducción de GEI.

En la Figura 35 se presenta el porcentaje de participación en emisiones de cada una de las categorías contempladas en las fuentes móviles en carretera.

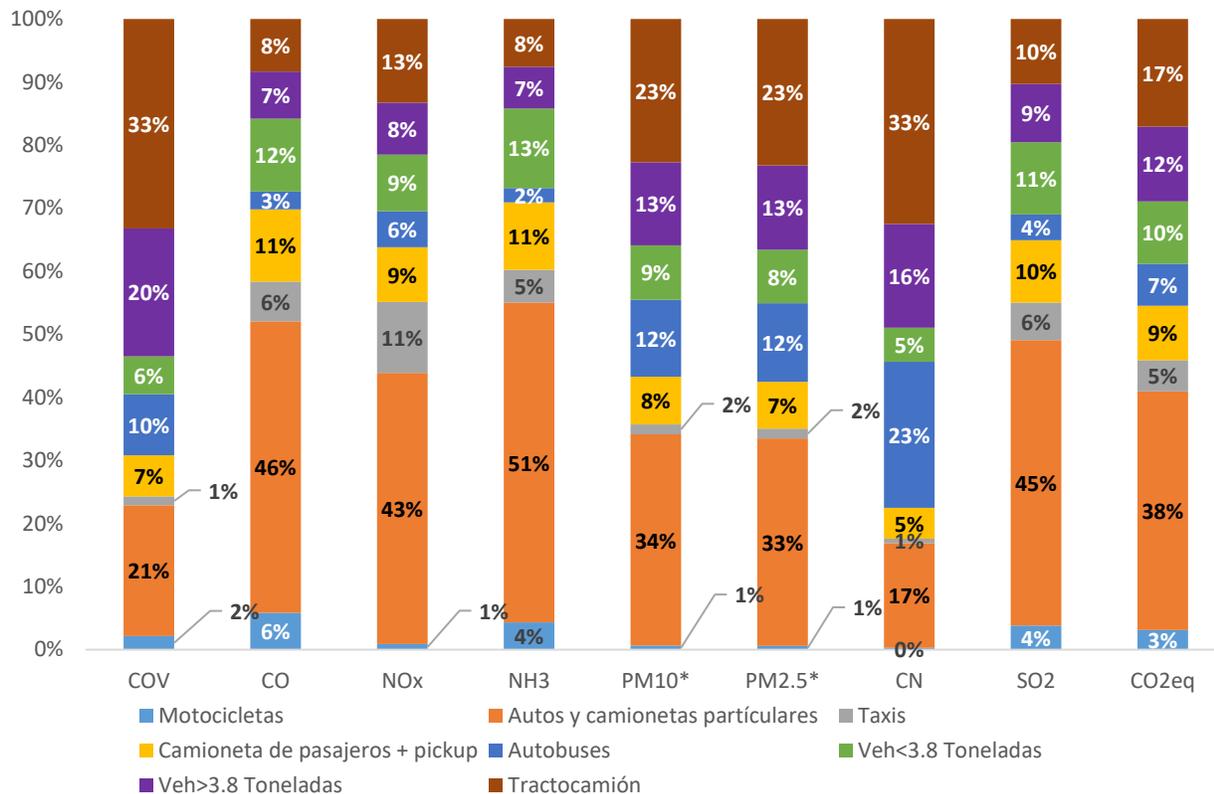


Figura 35. Porcentaje de participación de emisiones de cada tipología vehicular para los distintos contaminantes analizados

Fuente: elaborado a partir de los datos de SEMARNAT (2023) y complementado con CAI (2022).

En el proceso de formulación del PIGECA, resulta fundamental priorizar la reducción de emisiones de aquellos contaminantes en los que se exceden las normas nacionales de calidad del aire de manera sostenida. Por ende, como se verá en la siguiente sección, para el caso del AMM es razonable abordar las emisiones de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), cuyas concentraciones exceden la norma de manera recurrente, tanto en los estándares de exposición aguda (24 horas) como crónica (anual) (Secretaría de Desarrollo Sustentable, s.f.a, s.f.b). Igualmente, las emisiones de NO_x y SO₂ serán importantes, ya que estas contribuyen a la formación de material particulado secundario.

En relación con las categorías específicas de mayor aporte en partículas, NO_x y SO₂, los autos y camionetas particulares, los tractocamiones, vehículos menores y mayores a 3.8 toneladas y autobuses, son los

mayores aportantes de este contaminante (Figura 36) y, por ende, son fuentes relevantes en las medidas del este PIGECA.

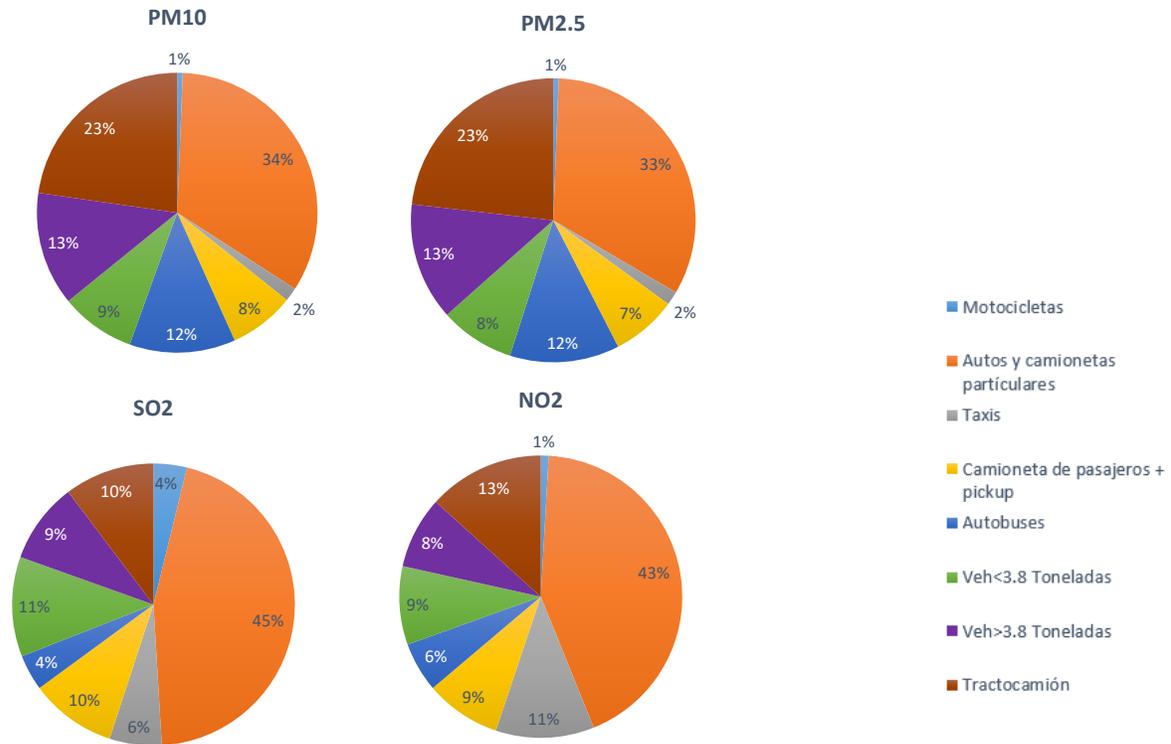


Figura 36. Distribución porcentual de PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂ y NO_x según las categorías vehiculares del inventario de emisiones de 2018

Fuente: elaborado a partir de los datos de SEMARNAT (2023) y complementado con CAI (2022).

Por otra parte, en el AMM también se presentan concentraciones altas de O₃ (Secretaría de Desarrollo Sustentable, s.f.a, s.f.b), de manera que reducir las emisiones de sus precursores también debe ser prioridad. Para el caso de fuentes móviles, los precursores generados son principalmente NO_x y COV. Según el último inventario de emisiones, las fuentes principales de COV incluyen a los tractocamiones, autos particulares y camionetas y los vehículos mayores a 3.8 toneladas (Figura 37).

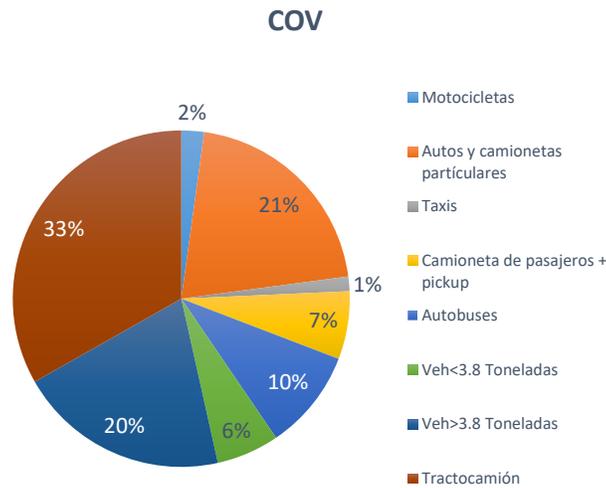


Figura 37. Distribución porcentual de COV según las categorías vehiculares del inventario de emisión de 2018

Fuente: elaborado a partir de los datos de SEMARNAT (2023) y complementado con CAI (2022).

5.3.2. Emisiones de fuentes fijas (sector industrial)

De acuerdo con el inventario de emisiones del año base 2018, las fuentes fijas son las que tienen una mayor participación en las emisiones de material particulado, tanto PM_{10} como $PM_{2.5}$, 59% y 57% respectivamente, y el 99% de SO_2 . En el caso del NO_x , estas representan el 21% de la emisión y el 9% de las COV. En la Tabla 12 se presenta las emisiones del sector industrial desagregadas por sector en tonelada/año y su contribución a las emisiones totales en el AMM. Para facilitar el análisis se establecen aquellos sectores cuya contribución es superior al 0.1% para cada contaminante, los sectores restantes se suman en la categoría “otras industrias”.

En el análisis de los datos de los establecimientos industriales por sector para PM_{10} y $PM_{2.5}$, el sector de generación de energía eléctrica es el que más contribuye a las emisiones totales de estos contaminantes en el AMM, con un 10.0%, y 14.5% respectivamente; seguido por el sector de la metalúrgica 9.4% y 10.4%, petróleo y petroquímica con un 8.0% y 6.4%, el sector de Minería de minerales no metálicos con un 6.8% y 6.5%, y la extracción/Beneficio minerales no metálicos con participación del 7.2% y 4.4%. Otros sectores relevantes para el material particulado son: automotriz, vidrio, química, cemento y cal.

El sector petróleo y petroquímica presenta la mayor contribución a las emisiones totales de SO_2 con un 93.5%. En términos de NO_x , los sectores principales corresponden a: generación de energía eléctrica (8.2%), petróleo y petroquímica (2.8%), y vidrio (2.7%). Finalmente, los mayores aportes a las emisiones totales de COV corresponden a los sectores químico (2.2%) y automotriz (2.0%).

Tabla 12. Fuentes fijas emisiones de contaminantes atmosféricos en el AMM por sector para el año 2018

Sector	Emisiones de contaminantes año 2018 (t/año)						
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃
Fuentes fijas	7,068	4,707	46,960	15,142	25,718	15,352	302
Generación de energía eléctrica	1,187.9	1,184.1	53.3	6,532.8	10,093.0	384.6	92.1
Metalúrgica (incluye la siderúrgica)	1,125.8	848.4	76.5	1,639.4	2,344.9	709.3	59.1
Petróleo y petroquímica	954.4	520.8	44,193.5	1,223.2	3,391.5	1,334.2	52.3
Minerales no metálicos	874.5	551.8	52.9	331.6	410.2	109.3	11.7
Extracción/Beneficio minerales no metálicos	853.8	355.9	5.1	52.3	88.2	3.3	2.4
Automotriz	788.5	382.7	2.2	1,024.1	546.1	3,111.0	11.4
Vidrio	285.3	195.0	473.3	573.7	3,364.7	247.8	22.8
Química	242.6	157.7	152.9	484.9	2,150.0	3,521.4	15.3
Cemento y cal	224.5	140.4	1,793.1	2,169.2	2,163.7	69.2	6.6
Accesorios, aparatos eléctricos y equipos de generación eléctrica	135.7	109.4	2.7	46.3	64.4	825.8	1.8
Metálico	96.2	77.2	5.9	195.1	248.3	994.5	7.6
Alimentos y Bebidas	80.1	33.3	119.4	133.7	177.7	11.5	5.0
Plástico y hule	56.7	34.5	0.3	31.5	40.6	941.8	1.0
Celulosa y papel	45.4	41.4	2.1	582.9	518.6	177.5	10.7
Papel y cartón	27.9	21.4	0.1	9.4	11.8	1,108.2	0.3
Mezclas químicas	26.0	14.6	0.2	61.3	7.5	923.7	0.2
Pinturas y tintas	25.8	13.0	0.1	16.9	39.7	650.5	0.7
Cuero, piel y materiales sucedáneos	15.5	10.9	21.4	0.5	2.5	0.0	0.0
Otras industrias	21.3	14.8	5.2	33.5	55.0	228.7	1.4

Fuente: elaborado a partir de los datos de SEMARNAT (2023) y complementado con CAI (2022).

Tabla 13. Porcentaje de participación por sector en las emisiones totales del inventario del año 2018

Sector	Emisiones de contaminantes año 2018 (t/año)						
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃
Fuentes fijas	59%	58%	99%	4%	21%	10%	3%
Generación de energía eléctrica	10.0%	14.5%	0.1%	1.9%	8.2%	0.2%	0.9%
Metalúrgica (incluye la siderúrgica)	9.4%	10.4%	0.2%	0.5%	1.9%	0.4%	0.6%
Petróleo y petroquímica	8.0%	6.4%	93.5%	0.4%	2.8%	0.8%	0.5%
Minerales no metálicos	7.3%	6.8%	0.1%	0.1%	0.3%	0.1%	0.1%
Extracción/Beneficio minerales no metálicos	7.2%	4.4%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%
Automotriz	6.6%	4.7%	0.0%	0.3%	0.4%	2.0%	0.1%
Vidrio	2.4%	2.4%	1.0%	0.2%	2.7%	0.2%	0.2%
Química	2.0%	1.9%	0.3%	0.1%	1.8%	2.2%	0.1%
Cemento y cal	1.9%	1.7%	3.8%	0.6%	1.8%	0.0%	0.1%
Accesorios, aparatos eléctricos y equipos de generación eléctrica	1.1%	1.3%	0.0%	0.0%	0.1%	0.5%	0.0%
Metálico	0.8%	0.9%	0.0%	0.1%	0.2%	0.6%	0.1%
Alimentos y bebidas	0.7%	0.4%	0.3%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%
Plástico y hule	0.5%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	0.0%
Celulosa y papel	0.4%	0.5%	0.0%	0.2%	0.4%	0.1%	0.1%

Sector	Emisiones de contaminantes año 2018 (t/año)						
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃
Papel y cartón	0.2%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.7%	0.0%
Mezclas químicas	0.2%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	0.0%
Pinturas y tintas	0.2%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.0%
Cuero, piel y materiales sucedáneos	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Otras industrias	0.2%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%

Fuente: elaborado a partir de los datos de SEMARNAT (2023) y complementado con CAI (2022).

Ahora bien, es importante notar que, al analizar el total de las emisiones de las fuentes fijas para cada contaminante, los establecimientos de jurisdicción federal son los que más aportan a dichos contaminantes (Tabla 14). La división entre fuentes federales y fuentes estatales muestra que la gran mayoría de las emisiones de material particulado son fuentes federales, aportando el 70% y 74% de emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5}, el 96% de los NO_x, el 99% del SO₂, 94% del CO, 67% de los COV y el 96% de CN del total de fuentes fijas.

Tabla 14. Emisiones totales de contaminantes criterio en las fuentes fijas de acuerdo con su jurisdicción

Jurisdicción	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	CO	COV	CN
Estatales (t)	2,187	1,223	1,077	209	879	5,141	17
Federales (t)	4,881	3,485	24,642	46,751	14,263	10,211	404
Total (t)	7,068	4,707	25,718	46,960	15,142	15,352	421
Estatales (%)	31%	26%	4%	0.4%	6%	33%	4%
Federales (%)	70%	74%	96%	99.6%	94%	67%	96%

Fuente: elaborado a partir de los datos de SEMARNAT (2023) y complementado con CAI (2022).

Debido a que el 80% del consumo energético en las fuentes federales es de gas natural (Figura 38), esto implica que las acciones encaminadas a reducir las emisiones de PM en las fuentes fijas deberán incluir un fuerte componente en la intervención del uso de este combustible. Esto representa un importante reto, por cuanto el reemplazo del gas natural no es una tarea fácil y las acciones se podrían centrar en medidas de eficiencia energética y control de emisiones.

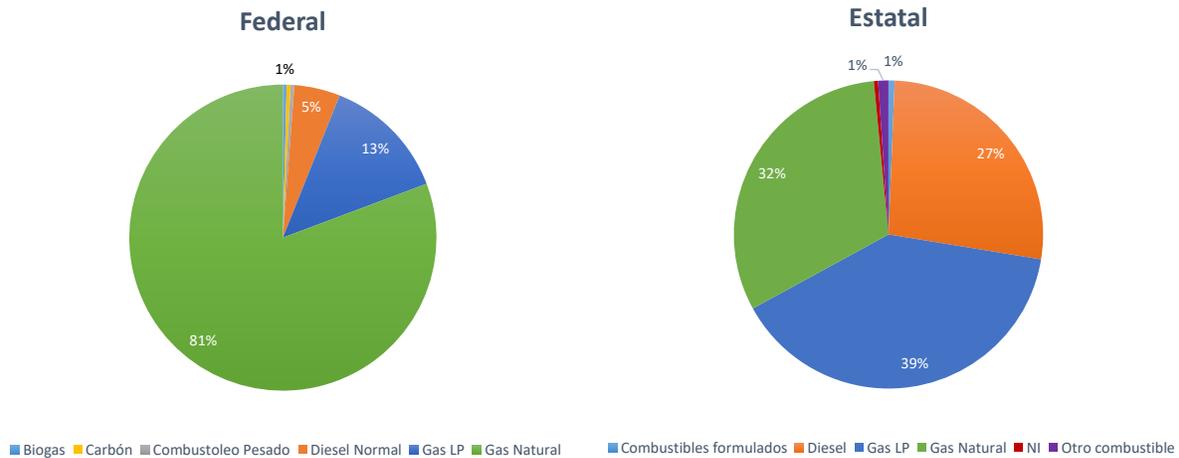


Figura 38. Participación porcentual de distintos combustibles en las fuentes de jurisdicción federal

Fuente: elaborado a partir de los datos de SEMARNAT (2023) y complementado con CAI (2022).

En las fuentes estatales la participación del diésel en el consumo energético alcanza un 27%, lo cual abre una ventana de oportunidad para algunas intervenciones de reemplazo de tipos de combustibles. Sin embargo, es predecible que estas tendrán un impacto menor en las emisiones totales.

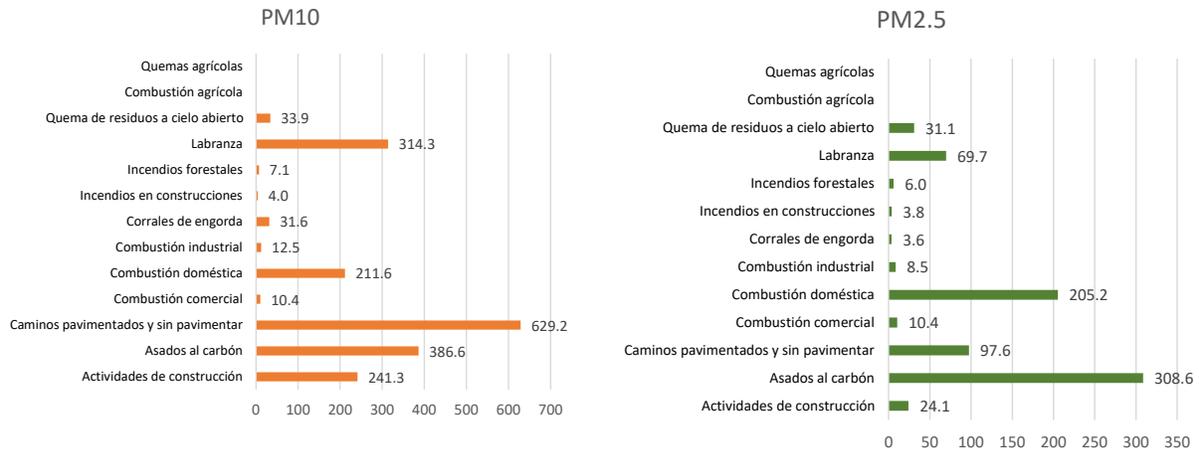
Considerando todo lo anterior, las acciones encaminadas a reducir las emisiones industriales serán esenciales para el cumplimiento de los estándares de calidad del aire de material particulado, así como de otros contaminantes de interés, por ser precursores de ozono y de partículas (SO₂, NO_x, y COV), y el CN por su impacto climático, especialmente en los sectores más aportantes.

5.3.3. Emisiones de las fuentes de área

Las fuentes de área en el AMM representan el 16% y 9% de las emisiones totales de PM₁₀ y PM_{2.5}, respectivamente. Adicionalmente, representan la mayor proporción de NH₃, siendo responsables del 93%, y tiene la segunda participación en emisiones de COV (40%) después de las fuentes móviles.

Las actividades principales en las fuentes de área asociadas a las emisiones de PM₁₀, de mayor a menor contribución, son: emisiones re-suspendidas de caminos pavimentados y sin pavimentar, asados al carbón, labranza y actividades de construcción. En el caso del PM_{2.5}, las fuentes mayoritarias son: asados al carbón y combustión doméstica (Figura 39).

Partículas iguales o menores a 10 µm (PM₁₀) Partículas iguales o menores a 2.5 µm (PM_{2.5})



Compuestos Volátiles Orgánicos (COV)

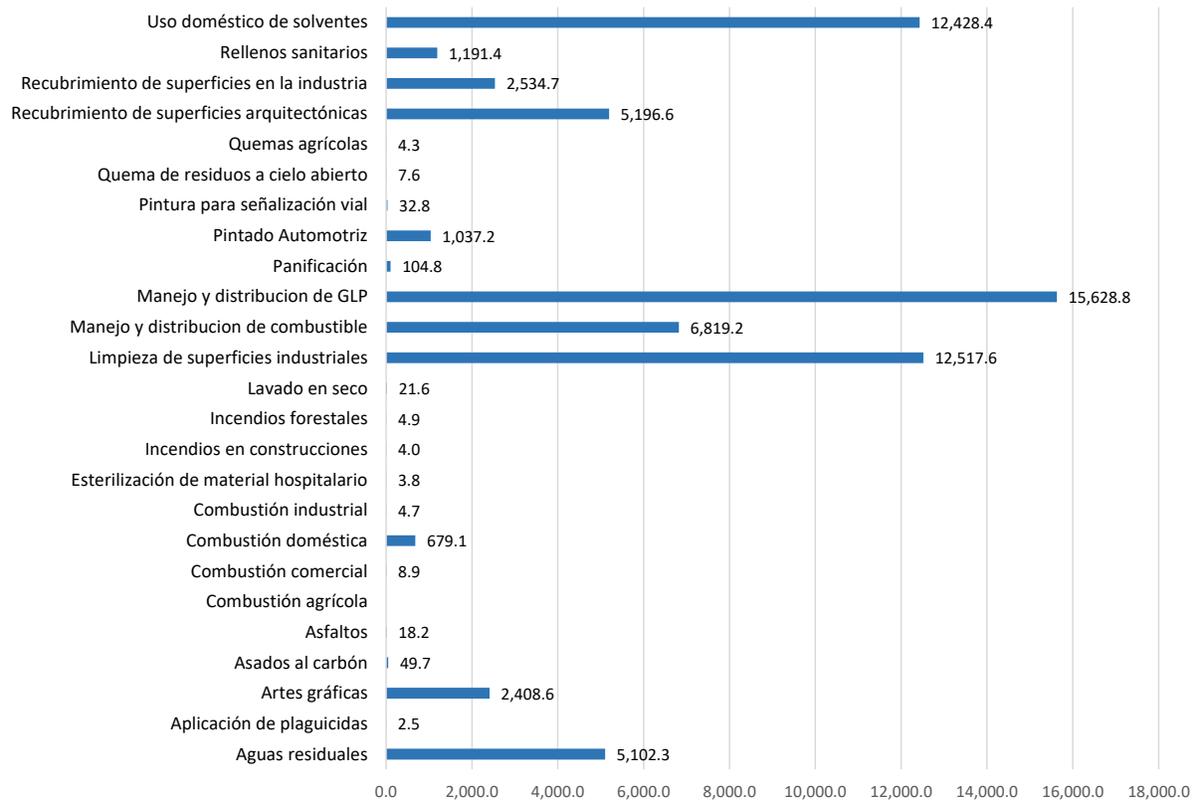


Figura 39. Emisiones (tonelada/año) de PM₁₀, PM_{2.5} y COV de las fuentes de área en el AMM para el año 2018

Fuente: elaborado a partir de los datos de SEMARNAT (2023) y complementado con CAI (2022).

Por su característica descentralizada, el control y seguimiento de las fuentes de área puede representar un reto adicional para la reducción de emisiones. Sin embargo, de acuerdo con los resultados de su contribución en el inventario de emisiones, las acciones encaminadas a reducir las emisiones de PM en las fuentes de área pueden llegar a tener un impacto significativo en la gestión de la calidad del aire. Además, su control para COV contribuiría a mitigar muy especialmente la producción de O₃, por ser el más importante de sus precursores en el AMM por su rol limitante en la fotorreacción (Carrillo-Torres et al., 2017); ya se ha hecho mención que el O₃ es uno de los contaminantes que supera los estándares permitidos en las normas mexicanas en este territorio metropolitano (Secretaría de Desarrollo Sustentable, s.f.a, s.f.b)

5.3.4. Comportamiento histórico de las emisiones

Tres inventarios de emisiones se han elaborado para el AMM para los años 2005, 2013 y 2018. Con fines meramente ilustrativos, se presenta en la Figura 40 el resumen y comparación de los valores de las emisiones de estos tres inventarios. No obstante, debido a la diferencia de información y metodologías implementadas en la estimación de cada inventario estos no consideran comparativos. Entre las diferencias metodológicas se pueden encontrar la cantidad de municipios que han conformado el territorio metropolitano desde 2005 al 2018, actualizaciones en los factores de emisión y las herramientas tecnológicas usadas para elaborar los inventarios, calidad de la información, incorporación de sectores o fuentes que anteriormente no se tomaban en cuenta, modificaciones en las normativas o lineamientos mexicanos de preparación de inventarios, entre otros.

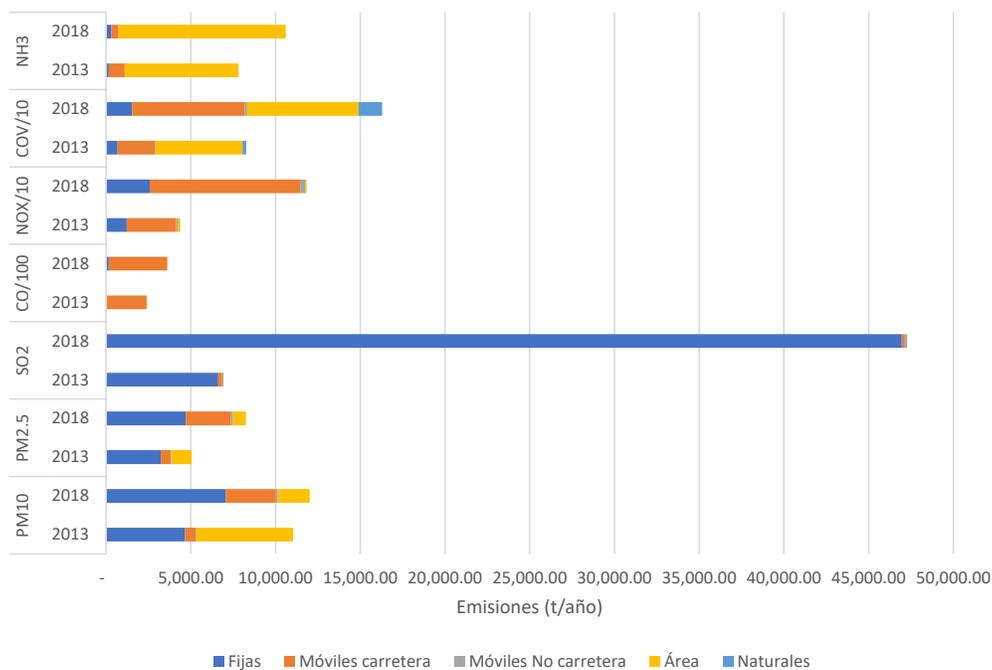


Figura 40. Comparación histórica de inventarios de emisiones años 2005, 2013 y 2018

A pesar de lo anterior, se mencionan algunas particularidades resaltantes con respecto a los valores absolutos de emisiones. Las fuentes móviles son la categoría con crecimiento más marcado en material particulado entre los años 2013 y 2018. Esto pudiera implicar que la participación de las fuentes móviles en el inventario total de PM sea cada vez mayor en un escenario en el que no se implementen acciones para mitigar su crecimiento.

Con respecto a las fuentes fijas y el material particulado, también se presentó crecimiento entre 2013 y 2018, de manera que con las proyecciones esperadas pudiera disminuir su importancia relativa. Esto último aplica para los gases NO_x y CO que se duplicaron entre los dos inventarios. Por su parte, las emisiones de SO_2 incrementaron en una gran proporción debido a que se consideraron las emisiones generadas en los sistemas de recuperación de azufre de la refinería, las cuales fueron estimadas por el CAI.

Por el contrario, las fuentes de área parecen que han tenido una disminución de emisiones de material particulado desde 2005 hasta 2018.

5.4. CALIDAD DEL AIRE: ESTADO Y TENDENCIAS DE LA CALIDAD DEL AIRE

La calidad del aire es la condición del aire que prevalece a nuestro alrededor. Una calidad buena se refiere al estado del aire limpio (21% oxígeno, 78% de nitrógeno y 1% trazas de otros compuestos), de apariencia transparente y libre de contaminantes como el humo, polvo y el smog, entre otras impurezas gaseosas. La calidad de este recurso se determina con la evaluación de una serie de indicadores estadísticos que permiten conocer las características del aire en un lugar y tiempo determinado.

El grado de deterioro de la calidad del aire se debe a la emisión de fuentes naturales como la erupción de los volcanes, producción de polvo debida a los tornados o tormentas de aire, incendios forestales, vegetación, entre otras. Las emisiones antropogénicas también contribuyen sobre el estado del aire y hacen referencia a las generadas por los vehículos; los gases tóxicos de algunas industrias; la quema de residuos sólidos de comercios; compuestos orgánicos volátiles (COV) provenientes del material que se utiliza en la impermeabilización, en solventes, imprentas, artículos de limpieza de uso doméstico; las emisiones de gases y partículas por crematorios; fugas de gas de uso doméstico e industrial; entre otros. La degradación de la calidad del aire o contaminación atmosférica puede provocar efectos adversos en la salud de los humanos.

Las concentraciones de contaminantes en el aire se deben medir en lugares sometidos a vigilancia que sean representativos de la exposición de la población. Los niveles pueden ser más elevados en la proximidad de fuentes específicas de contaminación, como carreteras, centrales eléctricas y fuentes estacionarias de gran tamaño, de manera que la población que vive en esas condiciones puede requerir medidas especiales para lograr niveles de contaminación por debajo de los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021).

En este capítulo se hace un análisis de la calidad del aire para el año 2022 con los datos del Sistema Integral de Monitoreo Atmosférico (SIMA) del Área Metropolitana de Monterrey (AMM). Ente análisis incluye la comparación con los límites máximos de concentración con la norma mexicana vigente para el año 2022 y no con los límites vigentes en el momento de elaboración de este documento.

5.4.1. Sistema de monitoreo atmosférico en la Área Metropolitana de Monterrey

El monitoreo es una herramienta esencial para caracterizar la calidad del aire y determinar cuáles contaminantes predominan, en cuáles zonas de la ciudad se presentan los máximos y en qué momento del día, de la semana o del año se registran estas concentraciones, así como identificar los patrones de comportamiento de los diferentes contaminantes y su relación con los parámetros meteorológicos; también es útil para evaluar la tendencia de los contaminantes a través de los años y analizar el impacto de los diferentes programas sobre control de la contaminación que se han implementado.

La red de monitoreo atmosférico para el AMM inició operaciones en 1970 con una red manual de 12 equipos de alto volumen para PST. Esta primera red estuvo operando hasta 1992, cuando el Gobierno del Estado adquiere equipos continuos de medición que conforman la red automática de monitoreo atmosférico para cinco estaciones (Obispado (CE), San Bernabé (NO), San Nicolás (NE), Santa Catarina (SO) y La Pastora (SE), configuradas para la medición de dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), ozono (O₃), partículas suspendidas (PM₁₀) y meteorología, la cual fue operada por la Dirección de Planeación de la Subsecretaría de Ecología y hoy en día por el SIMA, que forma parte de la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Nuevo León (Secretaría de Medio

Ambiente y Recursos Naturales y Secretaría de Desarrollo Sustentable del Gobierno de Nuevo León, 2016).

Los equipos instalados en 1992 se renovaron en junio de 2003. En 2009, el SIMA amplió la cobertura de la red con dos nuevas estaciones en los municipios de Escobedo (NTE) y García (NO₂). En el mes de junio del año 2011, se agregó una nueva estación de monitoreo en el municipio de Apodaca (NE₂). En el siguiente año (2012) siguió la ampliación de la red y, en agosto, inició operaciones la estación ubicada en el municipio de Juárez (SE₂). En el año 2014 se instaló una nueva estación en el municipio de San Pedro Garza García (SO₂), contando con un total de 10 sitios de monitoreo. Sin embargo, viendo la necesidad de monitorear en zonas que pudieran mostrar el impacto de la refinería de Cadereyta, en agosto y octubre de 2017, se instalaron tres nuevas estaciones en los municipios de Cadereyta de Jiménez (SE₃), Monterrey en la carretera Nacional (SUR) y en San Nicolás de los Garza (N₂), con las cuales ya se sumaban 13 sitios.

Por último, en septiembre de 2020 se adhirió la última estación cerca del aeropuerto y de la termoeléctrica en el municipio de Pesquería (NE₃) a través de un convenio con la empresa TERNIUM, por cuanto esa estación es de su propiedad. De esta manera se conforman las 14 estaciones que actualmente miden la calidad del aire en el AMM. Cabe mencionar que se reubicaron algunas estaciones, la primera fue San Bernabé (NO) en junio del año 2021 y cuatro más en septiembre de ese mismo año: ITNL (SE), Santa Catarina (SO), Escobedo (NTE) y Prepa Tec (SUR); finalmente, en febrero de 2022, se reubicó la estación San Nicolás (NE) (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Secretaría de Desarrollo Sustentable del Gobierno de Nuevo León, 2016). En 2022 entró en operación la estación ubicada en Parque Cadena Hiller (NO₃). Con esta suman 15 estaciones con una amplia cobertura de la zona urbana del AMM (Figura 41). A partir de la revisión que se realizó de los sitios de monitoreo dentro de este proyecto, se hace un resumen de la información recabada (Tabla 15).

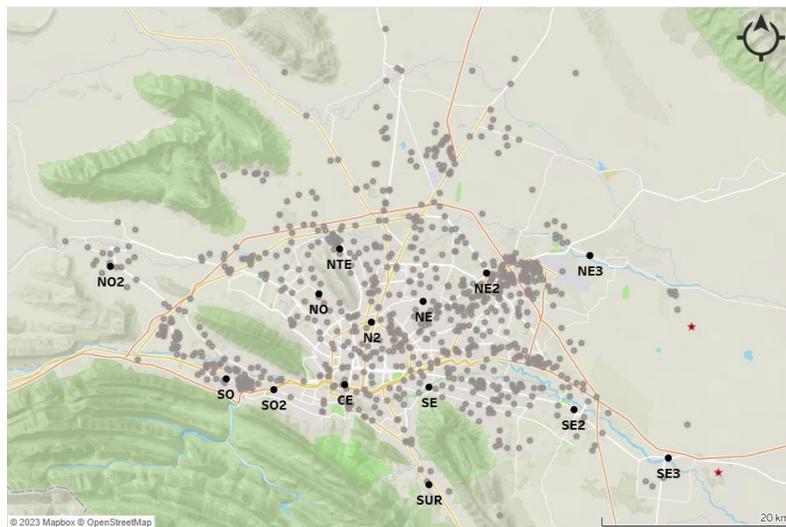


Figura 41. Mapa de la ubicación de las 14 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el Área Metropolitana de Monterrey e industrias.

Nota: los puntos negros representan la ubicación de los 14 sitios de monitoreo, los puntos grises son las industrias y las dos estrellas rojas es la refinería (cerca de la estación SE₃) y la termoeléctrica.

Tabla 15. Resumen de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire ubicadas en el AMM

Estación	Clave	Descripción	Tipo	Escala de representatividad	Objetivo
Obispado	CE	La estación se encuentra dentro de las instalaciones del Sistema de Agua y Drenaje de Monterrey, en un espacio arbolado.	Habitacional	Vecindario	Exposición de la población
Universidad Autónoma	N2	La estación se ubica dentro del campus de la Universidad Nacional Autónoma de Nuevo León, a un lado del estacionamiento del CEDEEM. Se encuentra cerca de fuentes importantes de emisión: autopista Fidel Velázquez y plantas industriales de Ternium.	Tránsito	Micro por la influencia de las fuentes de emisión	Fuentes de emisión
San Nicolás	NE	La estación se ubica en un parque pequeño dentro del Fraccionamiento Unidad Laboral 1ª Sección. Se trata de un área predominantemente habitacional con una mezcla densa de edificaciones de baja altura.	Habitacional	Vecindario	Exposición de la población
Apodaca	NE2	La estación se ubica en el centro de Ciudad Apodaca, cerca de fuentes de emisión vehicular moderado e intenso. A km hay parques industriales. Hay locales de asado de pollo que influye en las mediciones.	Habitacional/ Industrial	Vecindario	Fuentes de emisión
Pesquería	NE3	Estación de TERNIUM, no se realizó la evaluación del entorno.			
San Bernabé	NO	La estación se ubica en el techo de uno de los edificios del Colegio de Bachilleres Militarizado. No hay fuentes cercanas que afecten a las mediciones.	Habitacional	Vecindario y/o urbana	Exposición de la población
García	NO2	La estación se encuentra en el área urbanizada del municipio de García, al noroeste de la AMM.	Semi-rural, habitacional	Vecindario y Micro para PM ₁₀	Exposición de la población
Escobedo	NTE	La estación se encuentra dentro de un parque, cerca del límite urbano al norte de la AMM.	Habitacional	Vecindario	Exposición de la población
ITNL	SE	La estación se encuentra en el área deportiva dentro del campus del Instituto Tecnológico de Nuevo León, entre las canchas de fútbol y béisbol. Hay fuentes cercanas como el estadio BBVA Bancomer (tránsito vehicular), restaurante de pollos, estacionamientos de centro comercial y vialidades.	Habitacional	Micro o vecindario depende de la pluma del restaurante	Exposición de la población y fuentes locales

Estación	Clave	Descripción	Tipo	Escala de representatividad	Objetivo
Juárez	SE2	El municipio de Juárez ha sido absorbido por la mancha urbana de la AMM.	Habitacional	Vecindario	Exposición de la población y Fuentes locales
Cadereyta	SE3	La ciudad de Cadereyta es una ciudad relativamente pequeña localizada a 30 km al sureste del núcleo urbano de Monterrey. La presencia industrial es significativamente menor que en el resto de la región. No obstante, la región suele recibir el impacto de las emisiones provenientes de la refinería de Cadereyta ubicada a 5 km al este de la ciudad.	Servicios, comercios	Vecindario	Evaluación de fuente
Santa Catarina	SO	La estación se encuentra en un parque ubicado en la intersección de las calles Orquídea y Acapulco en la col. Jardines de Santa Catarina I. Cerca existen fuentes: a unos 1.5 km un conglomerado de parques industriales y autopista Matehuala-Monterrey.	Habitacional	Es necesario evaluar la representatividad	Exposición de la población e impacto de fuentes
San Pedro	SO2	La estación se encuentra dentro de las instalaciones del Centro de Desarrollo Integral "San Pedro". Con fuentes cercanas como cauce del río Santa Catarina, la Av. Ignacio Morones y la Carretera 40D, así como un corredor industrial a 500 m.	Habitacional	Vecindario	Fuentes de emisión y tránsito vehicular
Prepa Tec	SUR	El sitio se encuentra ubicado a la entrada del valle Inter montano que se forma entre el cerro de la Silla y la cordillera de la Sierra Madre Oriental, donde el movimiento de las masas de aire está restringido por la geomorfología.	Habitacional	No se estimó por la influencia de los obstáculos	Exposición de la población

Como parte de la elaboración de este diagnóstico para el PIGECA se realizaron visitas a las diferentes estaciones de monitoreo del SIMA, lo cual permitió generar un reporte de estado de las estaciones en donde se presentan observaciones y recomendaciones para su mejor funcionamiento. Este reporte se presenta como ANEXO 3 a este documento.

Las siguientes secciones muestran los resultados del monitoreo de la calidad del aire en el AMM, así como su respectivo análisis, en función de cada contaminante evaluado.

5.4.2. Dióxido de azufre (SO₂)

Es un gas incoloro, irritante, con un olor perceptible a diferentes niveles dependiendo de la sensibilidad individual, pero, por lo general, se distingue entre 0.3-1.4 ppm y es fácilmente notable a 3 ppm. El SO₂ no es inflamable ni explosivo y tiene mucha estabilidad, además es soluble en agua. Es el precursor del ácido sulfúrico, el cual es un componente de los aerosoles que afectan la lluvia ácida, el clima global y la capa de ozono. Durante su proceso de oxidación en la atmósfera este gas forma sulfatos, los cuales forman parte del PM₁₀. En presencia de humedad, el dióxido de azufre forma ácidos en forma de aerosoles y se produce una parte importante de material particulado secundario y fino (PM_{2.5}). Casi todas las emisiones de SO₂ en el mundo son producidas por la actividad humana, por la quema de combustibles como el carbón u otros que contienen azufre; menos del 2% de las emisiones provienen de fuentes naturales. Algunas de las fuentes principales son las refinerías, termoeléctricas, industrias que utilicen azufre, la combustión de los combustibles fósiles, la manufactura química, las emisiones volcánicas, entre otros (Jacobson, 2012).

Con respecto al efecto que tiene el dióxido de azufre en la salud, éste provoca irritación de ojos, garganta y vías respiratorias. La sobreexposición en el corto tiempo causa inflamación e irritación, provocando ardor en los ojos, tos, dificultades respiratorias y sensación de tensión en el pecho. Las personas asmáticas son especialmente sensibles al SO₂ y pueden reaccionar ante concentraciones tan bajas como 0.2 a 0.5 ppm (Baxter, 2000).

- **Distribución espacial y temporal del SO₂**

Durante el año 2022, la concentración promedio anual del contaminante, considerando a todas las mediciones horarias de las 14 estaciones del año, fue de 5.4 ppb. La estación que registra el mayor promedio anual es Cadereyta (SE3) con 8.2 ppb y el valor máximo horario registrado también fue en este lugar con 190 ppb. Las estaciones ubicadas al sureste del AMM, como SE3 y Juárez (SE2), presentan los valores más altos de concentración horarias; esto se debe a la influencia de la refinería y al viento dominante que proviene de la dirección sureste, el cual favorece el transporte del contaminante desde la refinería (dichas estaciones se ubican en la trayectoria de las emisiones de esta fuente). En contraste, los sitios de monitoreo que se ubican a las afueras de la zona urbana y más alejadas de la influencia de las grandes fuentes de emisión de SO₂, son las estaciones Prepa Tec (SUR), Pesquería (NE3) y García (NO2), quienes presentan las concentraciones más bajas y están más relacionadas con las emisiones locales y no con las regionales, como es el caso de la refinería (Figura 42i).

Al analizar el comportamiento por día de la semana (Figura 42ii), se observa en tres días el valor más alto (5.5 ppb): lunes, jueves y sábado, mientras que el mínimo (5.2 ppb) se registró miércoles y viernes. Sin embargo, estos promedios son muy similares y no hay una diferencia significativa entre los días de la semana, interpretándose que las fuentes de este contaminante emiten todos los días por igual.

En cuanto al comportamiento mensual, los promedios más altos del 2022 se registraron durante marzo (6.1 ppb) y julio (7.0 ppb). El máximo valor se registró el 7 de julio con 190 ppb en la estación SE3 que presentó 11 picos durante el año con valores mayores a 120 ppb, de los cuales ocho se registraron en julio; casi todas las estaciones presentaron en este mes concentraciones más elevadas que el resto del año y un poco menores en marzo. Los meses que registraron las concentraciones menores fueron noviembre (4.0 ppb) y diciembre (4.1 ppb); al compararlo con el mes de julio tuvieron una reducción del 43%. De acuerdo con los registros de lluvia acumulada del Servicio Meteorológico Nacional, en Nuevo

León los meses con mayor precipitación en 2022 fueron agosto con 81.1 mm y septiembre con 132.9 mm, los cuales se relacionan con la concentración promedio que registró el SO₂ de 5.2 y 4.8 ppb, respectivamente. Es importante mencionar que el mes de julio presentó una precipitación acumulada de 10.2 mm, constituyéndose en un valor bajo al compararse con años anteriores (CONAGUA y SMN, s.f.).

Ahora bien, el perfil horario del SO₂ presenta un comportamiento unimodal (Figura 42iv), con un máximo alrededor de las 12:00 h; en la mayoría de las estaciones se observa un incremento entre las 08:00 h y 12:00 h. La estación SE3 presenta valores altos durante la noche desde las 20:00 h hasta las primeras horas de la madrugada 01:00 h, asociándose a los picos registrados cuando el viento dominante proviene del sureste de la zona de la refinera.

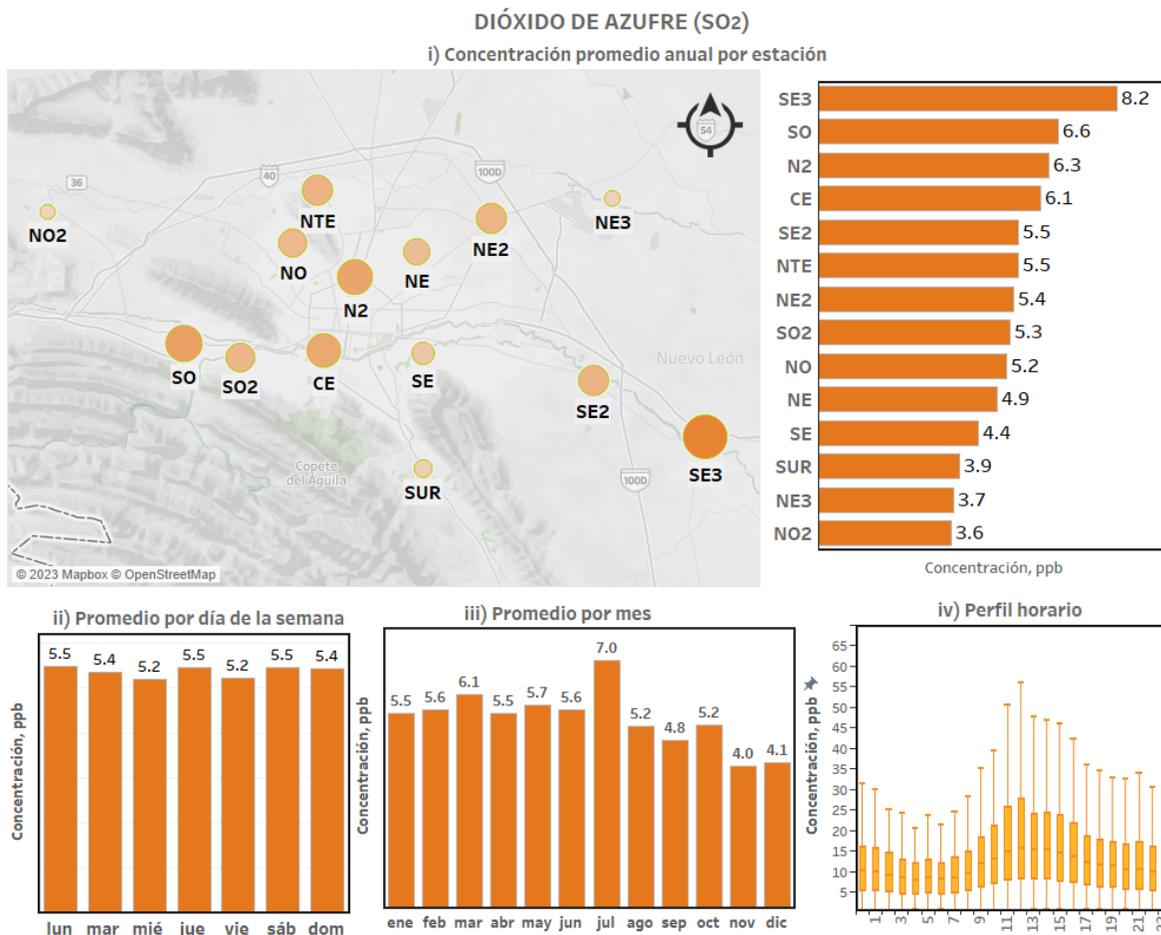


Figura 42. Distribución espacial y temporal de las concentraciones de SO₂ en el año 2022

Nota: i) promedio anual por estación y distribución temporal (el color y tamaño del círculo tienen que ver con la magnitud de la concentración de acuerdo con la gráfica de la derecha, entre más intenso y grande la concentración es más alta), ii) promedio por día de la semana, iii) promedio mensual, iv) perfil del promedio horario. La línea en medio de la barra del perfil horario significa el valor de la mediana de todos los datos de las 14 estaciones, el tamaño de la caja representa el rango intercuartil-RI (percentil 75 -percentil 25) y el bigote corresponde a 1.5 veces el RI.

- **Evaluación del cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas para SO₂ (NOM-022-SSA1-2019)**

La anterior Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010 especificó 0.110 ppm (288 µg/m³) como el límite máximo de la concentración promedio de 24 horas para el SO₂, resultando casi 14 veces el valor recomendado por OMS, 2.75 veces el de California y 2.29 veces el de la Unión Europea. Los límites anuales y de ocho horas solo estaban definidos en la normatividad mexicana y no tenían parámetros de referencia o comparación con la normativa de Estados Unidos de América y la Unión Europea (Unión Europea, 2014; US EPA, 2014).

La Norma Oficial Mexicana actual, NOM-022-SSA1-2019, integra los indicadores de una hora y el de 24 horas para SO₂ (Tabla 16).

Tabla 16. Valores límite para SO₂ de acuerdo con la NOM-022-SSA1-2019

Indicador	Cálculo	Valor
01 hora	Promedio aritmético de tres años consecutivos de los percentiles 99 como promedio de una hora.	0.075 ppm
24 horas	Promedio máximo anual de 24 horas de tres años consecutivos.	0.040 ppm

Nota: entró en vigor en febrero de 2020.

Fuente: adaptado de NOM-022-SSA1-2019.

Esta norma tiene una cantidad importante de considerandos, sobre todo en cuanto a la suficiencia de información por trimestre y año. Si no se considera la suficiencia de información, de acuerdo con los datos obtenidos, todas las estaciones cumplen con los valores límite en la evaluación trianual. Sin embargo, al considerar todos los requisitos de la norma sobre la suficiencia de información, solo cinco estaciones tienen las condiciones para ser evaluadas y todas cumplen con el valor límite, siendo la estación SE3 la que presenta los valores más altos (Tabla 17).

Tabla 17. Evaluación de los indicadores de la NOM-022-SSA1-2019 sobre la calidad del aire ambiente con respecto al SO₂ por estación considerando 2020 al 2022

Estación	Promedio trianual del P _{0.99}	Máximo del promedio de 24 h trianual	Cumplimiento
	1 h (ppm)	24 h (ppm)	
Obispado (CE)	0.015	0.01	Cumple
Universidad (N2)	0.022 *	0.03 **	Sin suficiencia de datos
San Nicolás (NE)	0.023 *	0.02	Sin suficiencia de datos
Apodaca (NE2)	0.036 *	0.03	Sin suficiencia de datos
Pesquería (NE3)	0.018 *	0.01	Sin suficiencia de datos
San Bernabé (NO)	0.018 *	0.02	Sin suficiencia de datos
García (NO2)	0.011 *	0.02	Sin suficiencia de datos
Escobedo (NTE)	0.015 *	0.02	Sin suficiencia de datos
ITNL (SE)	0.014	0.01	Cumple

Estación	Promedio trianual del P _{0.99} 1 h (ppm)	Máximo del promedio de 24 h trianual 24 h (ppm)	Cumplimiento
Juárez (SE2)	0.027	0.02	Cumple
Cadereyta (SE3)	0.047	0.03	Cumple
Santa Catarina (SO)	0.018	0.03	Cumple
San Pedro (SO2)	0.014 *	0.01	Sin suficiencia de datos
Prepa Tec (SUR)	0.011 *	0.01	Sin suficiencia de datos

* Sin suficiencia de datos de al menos 200 días a lo largo del mismo trimestre en los tres años, de acuerdo con la prueba de sustitución A de datos faltantes y numerales del A.1.2.1.1.al A.1.2.1.2.

** Sin suficiencia de datos, de acuerdo con numeral A.1.2.2.1.1.

Si se hace un conteo de días con valores de una hora mayores a 0.075 ppb para el año 2022, se presentaron 40 días que representan el 11% de los días del año. La estación Cadereyta (SE3) es la que más días registró con 39, seguida de Juárez (SE2) con dos y un día para la estación San Pedro (SO2) y San Bernabé (NO) (la distribución de los días no representa días independientes, por cuanto algunas estaciones pueden presentar el mismo día concentraciones mayores a 0.075 ppb).

Al comparar el indicador de la OMS del promedio de 24 horas de 40 µg/m³, el cual al convertirlo a condiciones estándar (25 °C y 1 atm de presión) arroja un valor de 15 ppb, se observa que, de las 14 estaciones, 13 de ellas tienen valores menores o igual a 15 ppb; solo Cadereyta (SE3) (SO) lo rebasa. Es importante notar que el sitio SE3 registra 25,31 ppb que es el casi el doble del límite, pudiendo estar relacionado con la cercanía a la refinería (Figura 43).

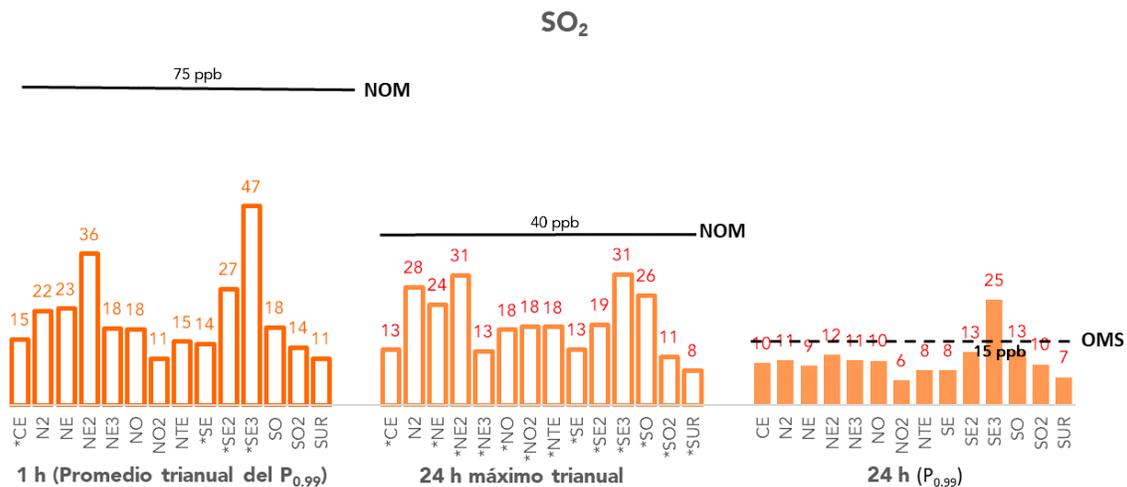


Figura 43. Comparación del valor límite de la NOM y de la OMS para los indicadores del promedio anual y de 24 h para SO₂

* son las estaciones que tienen suficiencia de datos por valor límite

- **Evaluación de la tendencia del SO₂**

El cálculo de la tendencia para los contaminantes del aire es una de las tareas más importantes para conocer qué tanto han cambiado las concentraciones a través del tiempo, así como saber si son estadísticamente significativas o no. En este capítulo, para el cálculo de tendencias en todos los contaminantes se usó el método de Theil-Sen (Theil 1950; Sen 1968), en el cual la obtención de la pendiente es la mediana de todas las pendientes de los pares de los puntos de la serie histórica. Una ventaja del estimador de Theil-Sen es que produce intervalos de confianza incluso con datos con distribución no normal, también permite la existencia de valores atípicos, además de que es capaz de estimar la pendiente a pesar de tener datos faltantes o cuando las mediciones están por debajo del límite de detección (Helsel y Hirsch, 1995); este método se utiliza para determinar las tendencias de las concentraciones de contaminantes durante varios años. En este estudio se calculan los valores medios mensuales y, debido a los efectos estacionales de los datos mensuales, se usó la opción para descomponer el efecto de temporalidad de los datos utilizando el método loess².

De acuerdo con los datos históricos registrados en el SIMA para SO₂, las estaciones que cuentan con la información más completa desde 2010 a 2022 son NE, NO, SE y SO, también se usarán las estaciones con menos datos históricos como son CE, NE2, NTE, SE3 y SO2. Cabe hacer notar que ninguna estación tiene la serie completa, algunas de ellas les faltan años de información; sin embargo, la prueba estadística tomó la información disponible, incluso si son menos de siete años de información. Si se tuviera la serie de datos histórica completa daría una idea más precisa del comportamiento de la contaminación entre 2010 y 2022 con respecto a este parámetro.

El resultado muestra que solo hay cinco estaciones con tendencia significativa, cuatro con incremento (NO, NTE, SE, SE3) y una con decremento (NE2), la cual muestra de forma histórica un decremento en los registros desde 2012 (Tabla 18). Las otras cuatro estaciones no presentan tendencia significativa, representando ausencia de cambios importantes en las fuentes de emisión en el tiempo que llevan monitoreando, o la variación en los registros no representa un cambio estadístico. En la Figura 44 se observa el comportamiento para cada estación de la prueba estadística de Theil-Sen, después del ajuste mensual y quitando el efecto de la temporalidad.

Tabla 18. Evaluación de la tendencia histórica del SO₂ con el método Theil-Sen en el periodo de 2010 a 2022 con algunas excepciones

Estación	Concentración promedio de todo el periodo (ppb)	Promedio de la tendencia ppb/año	p-value	Nivel de significancia ⁺⁺
Obispado (CE)	4.1	0.00	0.97	
San Nicolás (NE)	5.4	-0.04	0.40	
Apodaca (NE2)	6.3	-0.21	0.02	*

² El método LOESS es una regresión local de ajuste de la curva a datos mediante suavizados en los que el ajuste se realiza para eliminar el ruido como ciclos o tendencia de forma compleja.

Estación	Concentración promedio de todo el periodo (ppb)	Promedio de la tendencia ppb/año	p-value	Nivel de significancia ⁺⁺
San Bernabé (NO)	6.0	0.29	<2e-16	***
Escobedo (NTE)	5.7	0.59	<2e-16	***
ITNL (SE)	3.8	0.06	0.04	*
Cadereyta (SE3)	4.3	0.21	0.03	*
Santa Catarina (SO)	5.9	-0.03	0.44	
San Pedro (SO2)	3.9	0.02	0.52	

⁺⁺p < 0.001 = ***, p < 0.01 = **, p < 0.05 = * y p < 0.1 = +

Nota: la tendencia de la estación NE2 va de 2012 a 2022 y la estación SE3 va de 2017 a 2022.

Tendencia histórica de SO₂

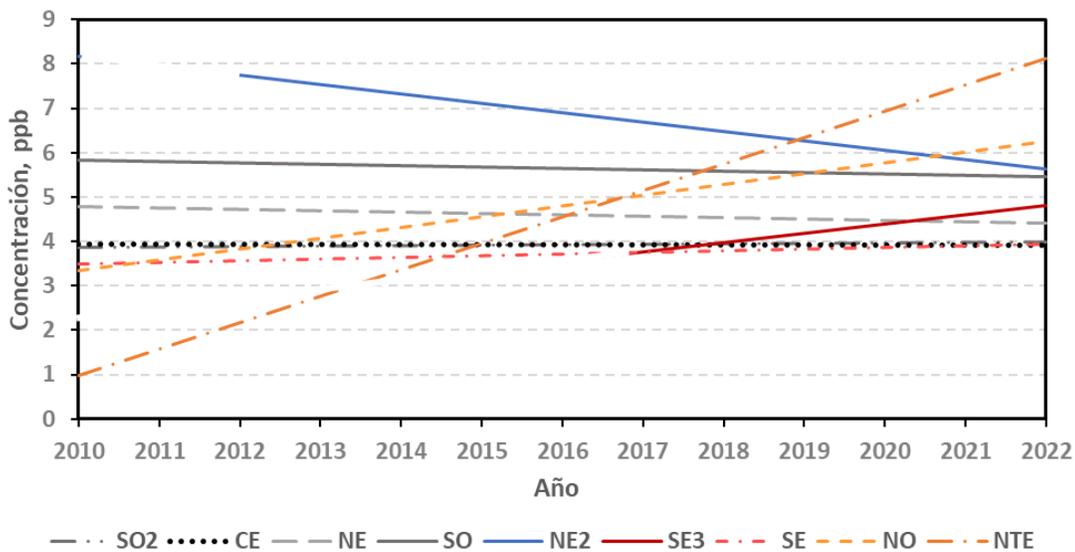


Figura 44. Tendencias históricas del SO₂ en las nueve estaciones a las que se les aplicó el método de Theil-Sen

Nota: el color azul es la estación que tuvo una tendencia significativa decreciente, las naranjas y rojas las que tuvieron una tendencia significativa creciente, y las grises y negras las que no presentaron tendencia estadísticamente significativa.

Considerando los parámetros de la tendencia como es la ordenada al origen, así como la pendiente, se puede hacer una proyección matemática de las concentraciones que se podrían esperar en 2033, sin considerar los cambios climáticos, de emisiones, de crecimiento urbano, entre otros; solo se está considerando la resultante y los parámetros que la conforman. Para las estaciones con pendientes significativas (NE2, NO, NTE, SE, SE3), se tendría un decremento de 7.7 a 3.5 ppb en la estación Apodaca

(NE2), la cual es la única estación con reducción significativa; para las otras estaciones habría un incremento: en San Bernabé (NO) de 3.4 ppb a 10.0 ppb, Escobedo (NTE) pasaría de 0.98 ppb en 2010 a 14.7 ppb en 2033 (sería la estación con el mayor incremento), en la estación ITNL (SE) y Cadereyta (SE3) el incremento es de 3.5 a 4.8 ppb y de 3.8 a 7.1 ppb, respectivamente. Dicha proyección es lineal, pero influyen muchos factores, como los ya mencionados, que podrían disminuir o incrementar las concentraciones.

• Análisis de eventos de SO₂

En enero de 2022 se registró un evento en el que se observa el impacto de la refinería sobre el AMM. Desde la tarde del día 21, a las 18:00 y 19:00 h, la estación Cadereyta (SE3) registra concentraciones de 40 ppb y a las 20:00 la estación SE2 registra una concentración de 30 ppb; se observa cómo las emisiones de ese día de la refinería impactaron varias estaciones y cómo se movió la masa de contaminación durante las horas. A las 02:00 h del día 22 se registra la concentración de 87 ppb en la estación San Bernabé (NO) y otras estaciones también apuntaron, a la misma hora, concentraciones más altas de lo que normalmente venían registrando: la estación Obispado (CE) con 79 ppb y Norte 2 (N2) con 47 ppb. En la siguiente hora (03:00 h) se alcanza el máximo de ese día con 88 ppb en la estación San Bernabé (NO), mientras que la estación San Pedro (SO2) registra 84 ppb. Este evento es producido por la misma fuente de emisión, visto claramente debido a las condiciones meteorológicas de ese día que permitieron ver el impacto en las estaciones (Figura 45).

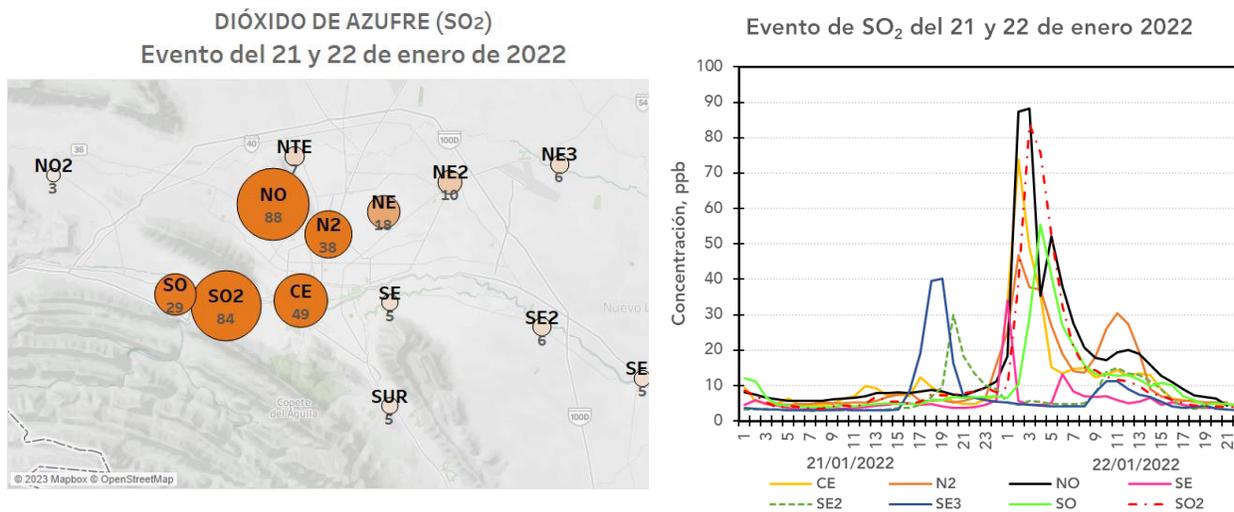


Figura 45. Evento de concentración alta de SO₂ registrado el 21 y 22 de enero de 2022

Nota: en la imagen de la izquierda están las concentraciones de las 03:00 h del día 22 de enero y del lado derecho la serie de tiempo de las estaciones involucradas en el evento. El tamaño y el color se relaciona con la concentración: entre más grande y color más intenso, mayor es la concentración.

La mayor parte de las emisiones de SO₂ provienen de la refinería de Cadereyta con el 94%. Hay días del año en los que el impacto de las emisiones en la calidad del aire es mayor debido a las condiciones de estabilidad atmosférica que no permiten la dispersión de las emisiones. El problema principal es que el

viento dominante de esa zona viene del sureste en dirección al noroeste donde se encuentra el área urbana de Monterrey.

Es importante que las fuentes principales de emisión de SO_2 establezcan sistemas de control de emisiones, siendo varias de estas de jurisdicción Federal, las cuales deben tener como premisa la protección de la salud de la población, además de considerar que los costos de salud, generalmente, representan una carga mayor versus aplicar sistemas de control en la industria. En el estudio realizado por Acuña-Askar et al. (2022) sobre la caracterización de las partículas $\text{PM}_{2.5}$, se encontró que hay una gran cantidad de sulfato de calcio (CaSO_4), el cual está relacionado con altas concentraciones de SO_2 en la atmósfera; esto confirma el aporte de la refinería en la atmósfera de la AMM. Otra sugerencia es que se pueda contar con al menos una estación de depósito atmosférico, por cuanto en estas mediciones se visualiza la conversión de las emisiones primarias de SO_2 en sulfatos, los nitratos, el amonio, entre otros, así como la acidificación de las emisiones, y puede dar una idea del impacto que tiene en la vegetación, lo cual es importante para la recarga de los acuíferos. Se recomienda asegurar un presupuesto que permita mantener dicha estación en la época de lluvia, así como un convenio con algún laboratorio o universidad que realice el análisis químico de las muestras y su respectiva validación, además de que su personal se haga cargo de los muestreos semanales y la custodia de las muestras.

5.4.3. Material particulado

El material particulado (PM) o partículas suspendidas en entornos urbanos y no urbanos es una mezcla compleja con componentes que tienen diversas características químicas y físicas. La investigación sobre PM y la interpretación de sus resultados sobre la exposición y el riesgo se complican por esta heterogeneidad, además de la posibilidad de que el potencial de las partículas para causar lesiones varíe con el tamaño y otras características físicas, la composición química y la (s) fuente (s). Diferentes características de PM pueden ser relevantes para diferentes efectos sobre la salud. Estos se profundizarán en la sección 5.5.

No obstante, las partículas todavía se clasifican generalmente por sus propiedades aerodinámicas, porque éstas determinan los procesos de transporte y eliminación en el aire, así como los sitios de deposición y las vías de eliminación dentro del tracto respiratorio. El diámetro aerodinámico se utiliza como indicador del tamaño de las partículas y corresponde al diámetro de una esfera de densidad unitaria con las mismas características aerodinámicas que la partícula de interés. Las diferencias en las propiedades aerodinámicas entre las partículas son explotadas por muchos muestreos de partículas (OMS - Oficina Regional para Europa, 2006).

Las partículas se clasifican de acuerdo con su tamaño en fracción gruesa y fina. La fracción gruesa corresponde a las PM_{10} (tamaño menor a 10 micrómetros) y son aquellas que provienen, principalmente, de establecimientos con operación de trituración y molienda, así como del levantamiento de polvo debido al traslado de vehículos en las carreteras.

La fracción fina de las partículas, $\text{PM}_{2.5}$ (tamaño menor a 2.5 micrómetros), son aproximadamente 30 veces más pequeñas que el diámetro de un cabello humano y, debido a este tamaño, pueden penetrar en la parte profunda del sistema respiratorio.

Distribución espacial y temporal de las partículas suspendidas PM_{10} Y $\text{PM}_{2.5}$

En 2022, los promedios anuales que consideraron todas las mediciones y estaciones fueron de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $\text{PM}_{2.5}$. El promedio anual más alto de PM_{10} lo registró la estación Apodaca (NE2) con $71 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la estación Juárez (SE2) obtuvo el promedio anual más alto para $\text{PM}_{2.5}$ con $28.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, la concentración máxima del promedio de 24 horas para PM_{10} se registró en la estación San Pedro (SO2) al suroeste de la zona metropolitana con $267 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (30 de marzo) para PM_{10} , provocado por las rachas de viento que se presentaron ese día provenientes del noroeste y norte del AMM desde las 13:00 y hasta las 21:00 h. Debido a ello, todas las estaciones presentaron concentraciones mayores a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio de 24 h en ese día; las estaciones del noreste (NE, NE2, NE3) y Norte 2 (N2), así como la estación SO2, presentaron concentraciones mayores a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Otro día que también presentó concentraciones altas de PM_{10} fue el 15 de enero, debido al fuerte viento proveniente del norte y noroeste desde las 08:00 h; ese día la estación que tuvo el promedio de 24 h más bajo fue NO con $139.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el promedio más alto se registró en la estación Norte 2 con $252.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para el caso de las PM_{10} , cuando ocurren rachas de viento fuertes se puede ver con claridad el efecto en las mediciones de este contaminante debido a la resuspensión de polvo, como en los dos ejemplos mencionados.

En el caso de las $\text{PM}_{2.5}$, la concentración máxima del promedio de 24 horas se registró en la estación Juárez (SE2) con $118.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el día 14 de enero; sin embargo, es la única estación que presentó concentraciones altas ese día, lo cual puede deberse a alguna emisión local. En cuanto a las concentraciones horarias máximas, estas se presentan en los días festivos de fin de año (1 de enero, 25 y 31 de diciembre), reflejando el impacto de los juegos pirotécnicos en las celebraciones de esta temporada que ocasionan altas concentraciones de partículas en el ambiente; incluso las estaciones CE, N2, NE, NO, NO2, NTE y SO presentan concentraciones del promedio de 24 horas mayores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$; asimismo, la concentración horaria más alta se registró el día 31 de diciembre a las 23:00 h en la estación San Bernabé (NO) con $442 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta situación ya se ha reportado en años anteriores en el AMM (ver sección 5.2.6). Es importante el impacto a la salud que pueden tener las partículas generadas por la quema pirotécnica. En estudios realizados por Yang et al. (2014), Fang et al. (2017), entre otros, se sabe que las partículas formadas por las emisiones de la pirotécnica tienen un alto potencial oxidativo, ocasionando efectos adversos a la salud de la población, así como un impacto negativo sobre enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

La distribución espacial de las PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ se presenta en las Figura 45i y Figura 46i, respectivamente. En el caso de las partículas gruesas, hay una influencia importante de las emisiones locales en algunas estaciones como NE2, N2, NTE y SE2. En las $\text{PM}_{2.5}$ se observa que no hay diferencias importantes entre las estaciones, con la excepción de dos de ellas: a) la estación SE2 que tiene en promedio $28.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, posiblemente por la influencia de las emisiones locales de comercios de alimentos cercanos; y b) la estación Santa Catarina (SO) con un promedio de $24.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ubicada en un parque industrial que se encuentra a 1.5 km al noroeste de la estación, además a 650 m al norte cruza la autopista Matehuala-Monterrey; estas fuentes pueden influir en las mediciones de las estaciones. En cambio, la estación SE3, que se ubica cerca de la refinería, es la que registra el promedio anual menor con $15.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En los días de la semana para 2022, las PM_{10} muestran un comportamiento de incremento paulatino de lunes a viernes y un decremento el fin de semana, relacionado con las principales fuentes de emisión como las industrias (Figura 46ii). En el caso de las $\text{PM}_{2.5}$, se observa un comportamiento similar con un incremento paulatino los días hábiles hasta el sábado, mientras que el domingo es el día con el promedio menor de $20.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual se corresponde con la circulación vehicular y emisiones de las fuentes puntuales y de área que decrecen su actividad notoriamente ese día (Figura 47ii).

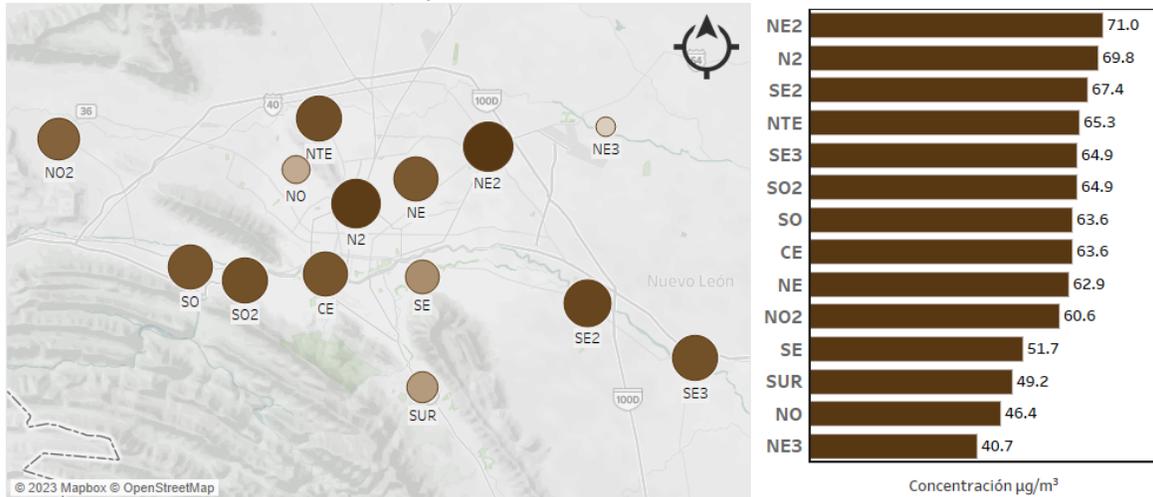
En el comportamiento mensual para ambas fracciones de partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$) se observa que tanto enero como diciembre presentan las concentraciones altas, para PM_{10} y $PM_{2.5}$ con valores de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente; también el mes de marzo tiene un promedio alto de $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$, debido a concentraciones horarias elevadas para este contaminante en varias estaciones y ocasionadas por las rachas de viento que se registraron en varios días de marzo como el 7, 11, 17, 18, 21, 22 y 30, entre otros. Para el caso de las $PM_{2.5}$, el mes de diciembre (con $28.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y enero (con $26.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) presentan las concentraciones promedio más altas influidas tanto por las emisiones altas por las festividades de fin de año, así como al incremento de inversiones térmicas, condiciones de estabilidad atmosférica y disminución de la capa de mezcla en esta temporada; asimismo, el mes de mayo presenta concentraciones de $26.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio, debido a su componente secundario.

De acuerdo con los estudios de composición química, el último realizado por el Centro Mario Molina (2020), se menciona que el $PM_{2.5}$ tiene una composición reactiva conformada con un 29 y 46% de compuestos orgánicos producto de los combustibles fósiles; es decir, formado por medio de reacciones químicas en la atmósfera a partir de otros contaminantes gaseosos o líquidos. En su composición predominan los productos de estas reacciones (por ejemplo, nitratos y sulfatos), además de metales pesados, compuestos orgánicos secundarios y carbono negro. Por otro lado, tanto para las PM_{10} y $PM_{2.5}$ las concentraciones menores se registran en la temporada de lluvia, en la cual se presenta el efecto de lavado atmosférico entre agosto y septiembre (Figura 46iii y Figura 47iii).

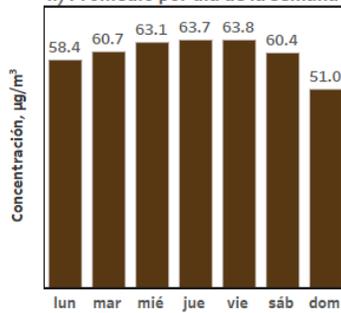
En cuanto al comportamiento horario del material particulado (Figura 46iv y Figura 47iv), para la fracción de las PM_{10} se presentan dos picos (09:00 a 11:00 h y 21:00 a 23:00 h), siendo el pico de la mañana mayor que el de la noche. Para el caso de las partículas finas ($PM_{2.5}$), se observa un pico entre las horas del mediodía definido por la formación de las partículas secundarias; algunas estaciones presentan un segundo pico de las 20:00 a las 22:00, como son NE, SE3, NTE y SE2, las cuales tienen que ver con emisiones locales de tránsito vehicular o industrias cercanas.

Partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀)

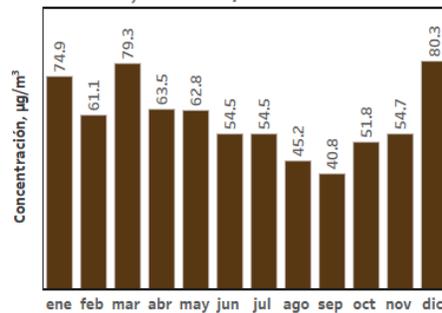
i) Concentración promedio anual por estación



ii) Promedio por día de la semana



iii) Promedio por mes



iv) Perfil horario

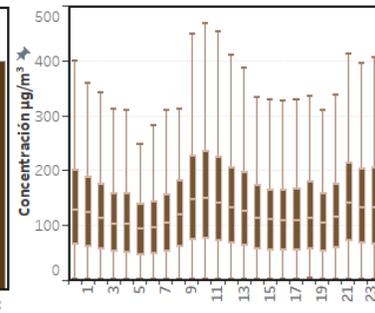


Figura 46. Distribución espacial y temporal de las concentraciones de PM₁₀ en el año 2022

Nota: i) promedio anual por estación y distribución espacial (el color y tamaño del círculo se relaciona con la concentración de la gráfica de la derecha), ii) promedio por día de la semana, iii) promedio mensual, iv) perfil del promedio horario. La línea en medio de la barra del perfil horario significa el valor de la mediana de todos los datos de las 14 estaciones, el tamaño de la caja representa el rango intercuartil-RI (percentil 75 -percentil 25) y el bigote corresponde a 1.5 veces el RI.

Partículas menores a 25 micrómetros (PM_{2.5})

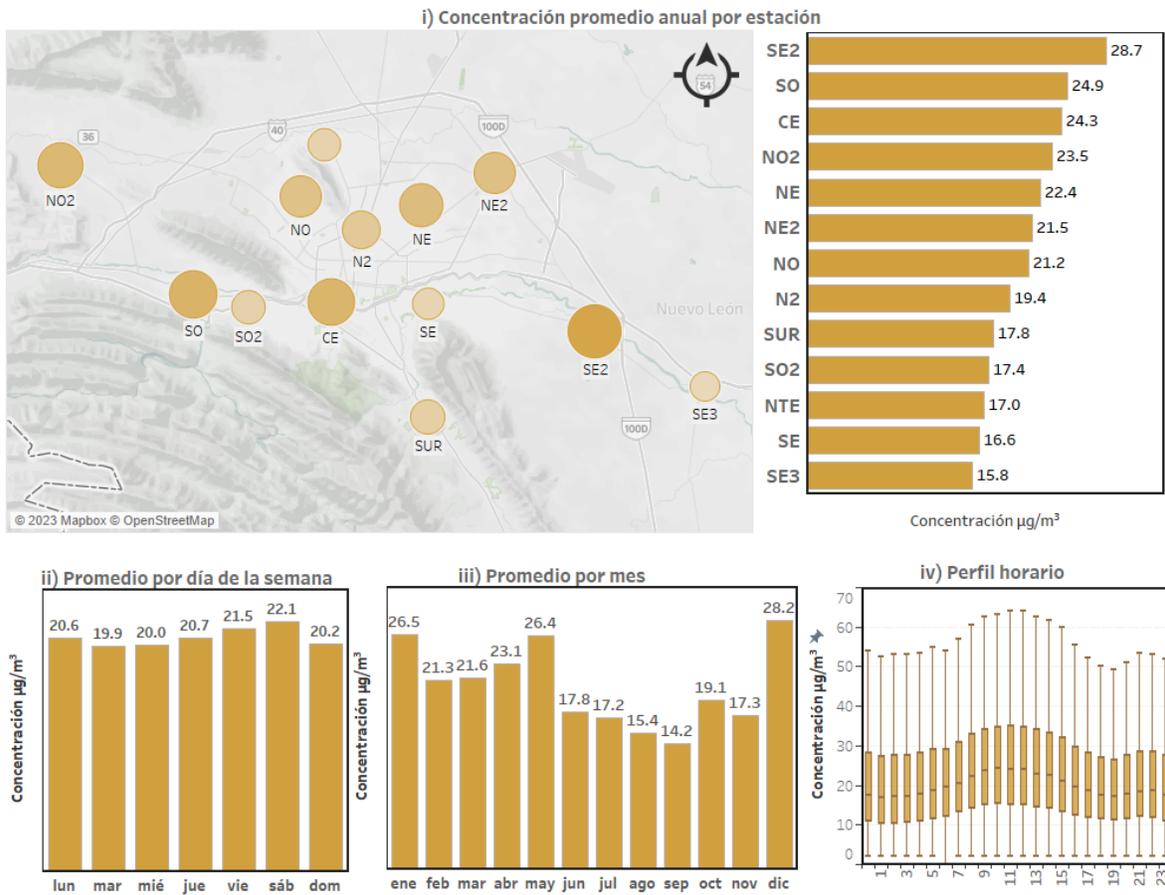


Figura 47. Distribución espacial y temporal de las concentraciones de PM_{2.5} en el año 2022

Nota: i) promedio anual por estación y distribución espacial (el tamaño y color del círculo se relaciona con la magnitud de la concentración, cuando es mayor es más intenso y grande), ii) promedio por día de la semana, iii) promedio mensual, iv) perfil del promedio horario. La línea en medio de la barra del perfil horario significa el valor de la mediana de todos los datos de las 14 estaciones, el tamaño de la caja representa el rango intercuartil-RI (percentil 75 -percentil 25) y el bigote corresponde a 1.5 veces el RI.

- Evaluación del cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas para partículas suspendidas (NOM-025-SSA1-2021)**

La publicación de la Norma Oficial Mexicana de salud ambiental para partículas suspendidas se realizó en 2014 (NOM-025-SSA1-2014). El 27 de octubre de 2021 se publicó la última actualización de esta NOM que tienen como objetivo alcanzar gradualmente las guías recomendadas por la OMS con la finalidad de proteger la salud de la población.

En la Tabla 19 se muestran los valores e indicadores límite de PM₁₀ y PM_{2.5}, los cuales deben ser aplicados desde 2022, con cambios previstos para 2024 y 2026.

Tabla 19. Cumplimiento gradual para los valores límite de PM₁₀ y PM_{2.5} en el aire ambiente en México

Contaminante	Concentración	Año 2022	Año 2024	Año 2026
PM ₁₀ (µg/m ³)	24 h	70	60	50
	Anual	36	28	20
PM _{2.5} (µg/m ³)	24 h	41	33	25
	Anual	10	10	10

Fuente: adaptado de NOM-025-SSA1-2021.

Al evaluar los indicadores de la NOM vigente para partículas ninguna estación cumple con ambos límites como lo establece la norma. Sin embargo, de forma individual, la estación ITNL (SUR) y Cadereyta (SE3) están por debajo del valor límite que marca la NOM de 41 µg/m³ para el indicador de 24 h de PM_{2.5} (Tabla 20).

Tabla 20. Evaluación de los indicadores de la NOM-025-SSA1-2021 para PM₁₀ y PM_{2.5} por estación en el año 2022

Estación	PM ₁₀ (µg/m ³)		PM _{2.5} (µg/m ³)		Cumplimiento
	24 h	Anual	24 h	Anual	
Obispado (CE)	152	64	50	24	No cumple
Universidad (N2)	176	70	45	19	No cumple
San Nicolás (NE)	146	63	54	22	No cumple
Apodaca (NE2)	159	71	45	21	No cumple
Pesquería (NE3)	139	41	Sin datos	Sin datos	No cumple
San Bernabé (NO)	124	47	*	*	No cumple
García (NO2)	152	61	48	23	No cumple
Escobedo (NTE)	*	*	*	*	-
ITNL (SE)	*	*	39	17	No cumple
Juárez (SE2)	149	67	*	*	No cumple
Cadereyta (SE3)	166	65	40	16	No cumple
Santa Catarina (SO)	157	64	72	25	No cumple
San Pedro (SO2)	161	65	43	17	No cumple
Prepa Tec (SUR)	131	49	*	*	No cumple

* Sin suficiencia de datos para ser evaluados, por no haber tres trimestres mínimos, tal como estipula la NOM en el punto 4.2.2.

Al evaluar los indicadores de las estaciones de la AMM para PM₁₀ con respecto al valor límite de la NOM-025-SSA1-2021 y de las guías de la OMS de 2021, se observa que ninguna estación cumple con los valores límite (Figura 48). Para el límite de 24 horas de PM_{2.5}, dos estaciones (ITNL -SE- y Cadereyta -SE3-) no superan el valor de 41 µg/m³ que marca la NOM; ambas estaciones están ubicadas al sureste del AMM.

Por el contrario, para el promedio anual de $PM_{2.5}$ todas las estaciones sobrepasan el límite de la NOM de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el de la OMS de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 49).

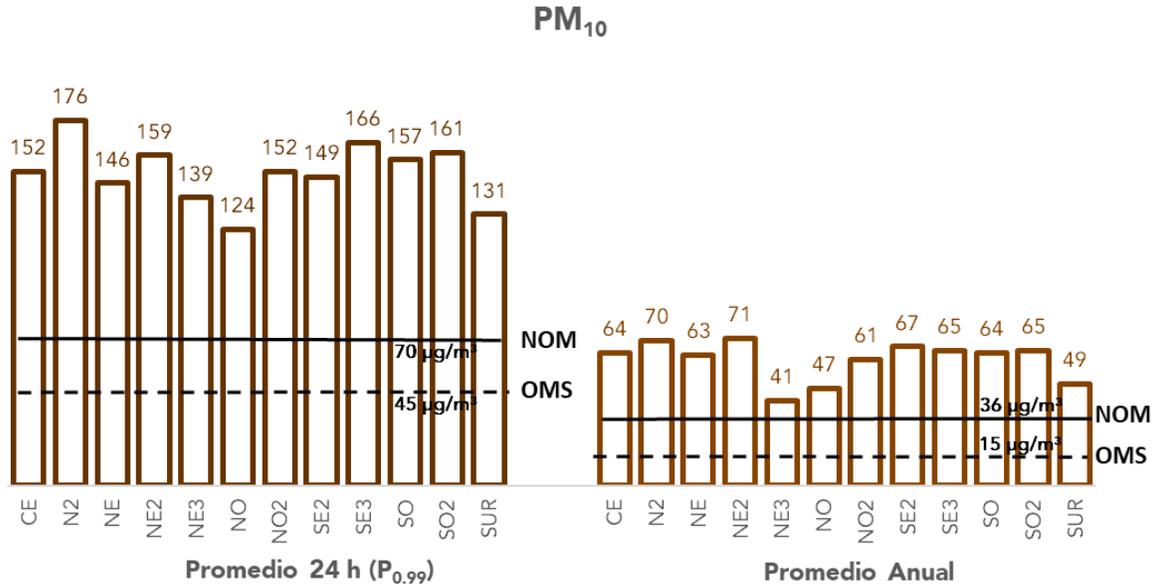


Figura 48. Comparación del valor límite de la NOM y de la OMS para los indicadores del promedio anual y promedio de 24 h para PM_{10}

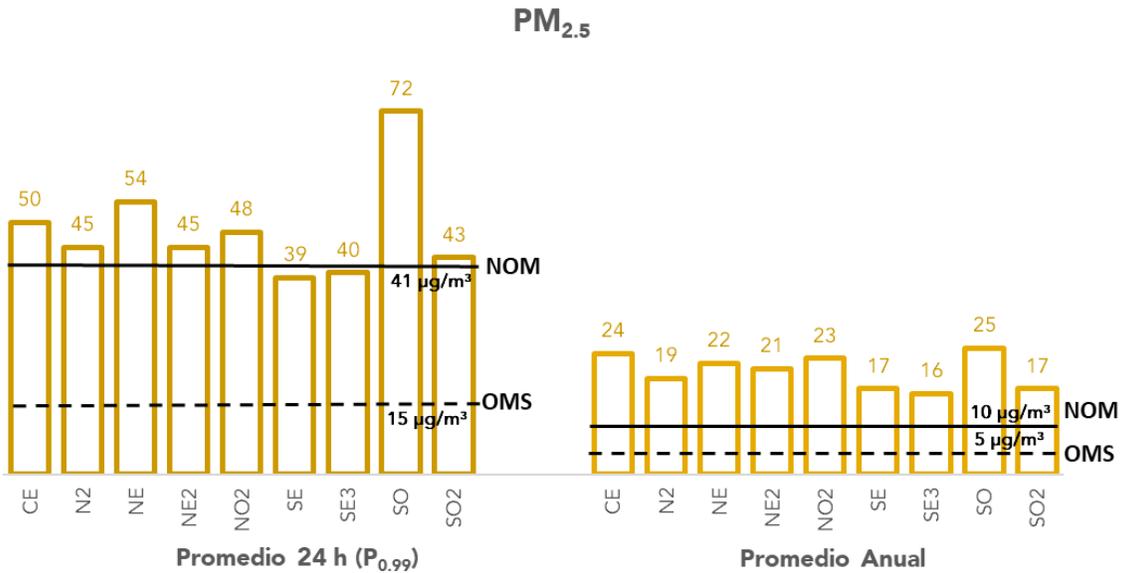


Figura 49. Comparación del valor límite de la NOM y de la OMS para los indicadores del promedio anual y de 24 h para $PM_{2.5}$

- **Evaluación de la tendencia PM₁₀ Y PM_{2.5}**

La tendencia es una herramienta que permite evaluar, a través del tiempo, la calidad del aire e identificar si las estrategias de control que se han aplicado han tenido efecto en la reducción de los contaminantes. Para evaluar la tendencia del material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), se consideró a las estaciones con mayor suficiencia a través de los años y se obtuvo el promedio mensual de todas las mediciones horarias de esas estaciones. Para el caso de PM₁₀ se consideraron las estaciones: CE, NE, NE2, NO, NO2, NTE, SE, SE2, SO y SO2, mientras que para PM_{2.5} se consideraron seis estaciones que tenían mejor desempeño desde 2010 o que presentaron suficiencia anual: CE, NE, NO, SE, SO2 y SO. Como se mencionó en la sección anterior, el método utilizado es Theil-Sen y se comprobó con el método de los modelos aditivos generalizados (GAM).

De las diez estaciones analizadas, cinco de ellas tienen decrementos significativos desde el inicio de la operación de la estación (NE, NO, NO2, SE y SO), siendo las estaciones NO y NO2 las que más reducción presentaron. Las otras cinco estaciones (CE, NE2, NTE, SE2 y SO2) presentan ligeros incrementos o decrementos; sin embargo, no fueron estadísticamente significativos, lo cual quiere decir que no hay cambios en sus concentraciones a través del tiempo, ya sea porque han incrementado las fuentes de emisión a pesar de los programas de control que se han implementado, o porque el entorno de la estación puede cambiar y afectar las mediciones que se realizan en ella; debido a ello es necesario realizar un estudio de representatividad de las estaciones. Los resultados de la tendencia histórica se observan en la Tabla 21 y Figura 50

Tabla 21. Evaluación de la tendencia histórica con el método Theil-Sen para PM₁₀ en el periodo de 2010 a 2022 con algunas excepciones

Estación	Concentración promedio de todo el periodo (µg/m ³)	Promedio de la tendencia (µg m ⁻³ /año)	p-value	Nivel de significancia ⁺⁺
Obispado (CE)	49.6	-0.43	0.17	
San Nicolás (NE)	58.0	-1.41	<2e-16	***
Apodaca (NE2)	53.5	0.01	0.96	
San Bernabé (NO)	60.3	-2.72	<2e-16	***
García (NO2)	65.6	-3.11	<2e-16	***
Escobedo (NTE)	46.6	-0.32	0.29	
ITNL (SE)	48.8	-0.61	0.04	*
Juárez (SE2)	53.4	0.09	0.71	
Santa Catarina (SO)	63.1	-1.87	<2e-16	***
San Pedro (SO2)	54.4	0.10	0.72	

⁺⁺p < 0.001 = ***, p < 0.01 = **, p < 0.05 = * y p < 0.1 = +

Nota: la tendencia de la estación NE2 y SE2 va de 2012 a 2022 y la estación San Pedro (SO2) va de 2014 a 2022.

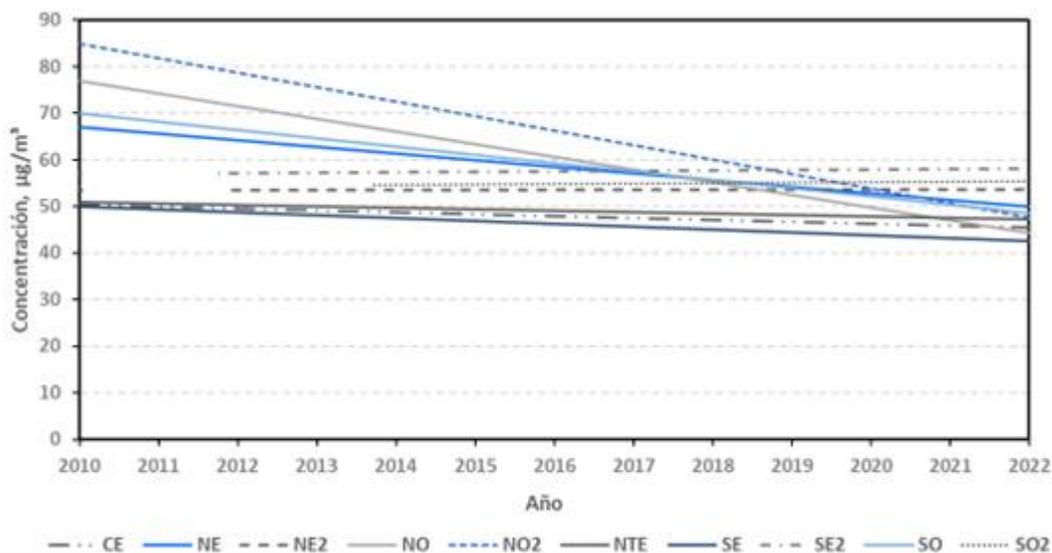


Figura 50. Tendencias históricas de PM_{10} en las 10 estaciones a las que se les aplicó el método de Theil-Sen

Nota: las líneas de color azul representan las estaciones con tendencia significativa decreciente, el color gris y negro las estaciones que no presentaron tendencias estadísticamente significativas.

El análisis de tendencia de las $\text{PM}_{2.5}$ se realizó con seis estaciones que tenían los datos más completos desde 2010 o cuando iniciaron operaciones; los sitios seleccionados fueron: CE, NE, NO, SE, SO y SO_2 , esta última considerando de 2014 a 2022. Los resultados del método Theil-Sen muestran que cinco de las estaciones presentan tendencia estadísticamente significativa (Tabla 22 y Figura 51). Las estaciones NE, NO, SO y SO_2 muestran un decremento en su tendencia muy similar entre ellas, yendo, en promedio, de $-0.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $-0.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$; en cambio la estación Obispado (CE) presenta una tendencia ligeramente creciente y significativa con un valor de $0.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por año. La única estación que no presentó tendencia estadísticamente significativa fue ITNL (SE).

Tabla 22. Evaluación de la tendencia histórica del $\text{PM}_{2.5}$ con el método Theil-Sen en el periodo de 2010 a 2022 con algunas excepciones

Estación	Concentración promedio de todo el periodo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Promedio de la tendencia ($\mu\text{g m}^{-3}/\text{año}$)	p-value	Nivel de significancia ⁺⁺
Obispado (CE)	20.0	0.22	0.043	*
San Nicolás (NE)	21.4	-0.59	<2e-16	***
San Bernabé (NO)	20.5	-0.50	<2e-16	***
ITNL (SE)	16.1	0.02	0.81	
Santa Catarina (SO)	22.9	-0.43	<2e-16	***
San Pedro (SO_2)	17.0	-0.45	<2e-16	***

⁺⁺p < 0.001 = ***, p < 0.01 = **, p < 0.05 = * y p < 0.1 = +

Nota: la tendencia de la estación NE2 y SE2 va de 2012 a 2022 y la estación San Pedro (SO2) va de 2014 a 2022.

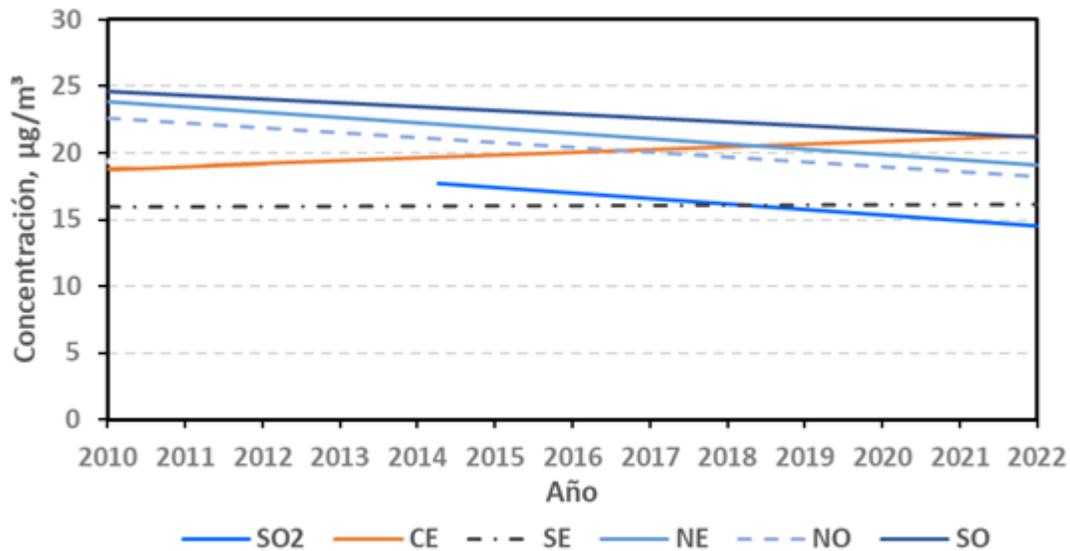


Figura 51. Tendencias históricas del PM_{2.5} para las seis estaciones a las que se les aplicó el método de Theil-Sen

Nota: la línea color azul representa las estaciones con tendencia significativa decreciente, el color gris y negro las estaciones que no presentaron tendencia estadísticamente significativa y el color naranja la estación con tendencia creciente significativa.

Al hacer la proyección de las concentraciones para 2033, usando los indicadores resultantes de la prueba Theil-Sen para las PM_{2.5}, la mayor reducción se presentó en la estación San Nicolás (NE) de un promedio de 23.8 a 10.2 µg/m³, mientras que la única estación que muestra incremento en la tendencia es Obispedo (CE) el cual sería de 18.8 a 23.8 µg/m³. En cuanto a PM₁₀, de las diez estaciones que se les aplicó la prueba, cinco tuvieron decremento significativo, de las cuales presentó mayor decremento la estación García (NO₂) con una concentración inicial en 2010 de 85 µg/m³ y se reduce a 13.5 µg/m³ con la proyección a 2033, representando una reducción del 84% de la concentración. Estas proyecciones deben tomarse con reservas debido a que en la contaminación los factores no son lineales sino una mezcla compleja de diversos elementos.

- **Caracterización de las partículas**

Las partículas tienen un impacto en la salud muy importante, por lo que es prioritario reducir la emisión de estas. Mancilla et al. (2019) realizaron un estudio sobre la diferencia espacial de las partículas gruesas y finas en AMM. Encontraron que el material geológico que incluía Calcio (Ca), Hierro (Fe), Silicio (Si) y Aluminio (Al) -45 %- y sulfatos (11 %) eran los principales componentes de PM_c (PM_c = PM₁₀ – PM_{2.5}), mientras que los sulfatos (54 %) y los compuestos orgánicos (30%) fueron los constituyentes destacados de PM_{2.5}. La relación carbón orgánico (OC) a carbón elemental (EC) para PM_c osciló entre 4.4 y 13, y para PM_{2.5} varió entre 3.97 y 6.08. El Aerosol Orgánico Secundario (SOA) contribuye a la masa total de PM_{2.5} en alrededor del 70-80%, mientras que para PM_c el aporte fue entre 20-50%. Tomando en cuenta la alta

contribución de los elementos de la superficie de la tierra y los altos valores de factores de enriquecimiento, el PM_c está fuertemente influenciado por la resuspensión del suelo, mientras que el $PM_{2.5}$ por las fuentes antropogénicas. Otro aspecto para destacar de la investigación es que las partículas encontradas en la región oriente del AMM eran químicamente diferentes de las del aire de la región occidental, lo cual quiere decir que los patrones de PM pueden variar significativamente a lo largo del AMM.

Desde el punto de vista de las posibles políticas públicas, el estudio de Mancilla et al. (2019) indica que “reducciones importantes en la fracción gruesa pueden provenir de controles de emisión de partículas primarias; para las partículas finas, se debe considerar el control de los precursores gaseosos, en particular las especies que contienen azufre y los compuestos orgánicos”. Se requiere reducir las emisiones de los compuestos orgánicos volátiles (COV), así como la emisión por la preparación de alimentos en vía pública, quema de biomasa por incendios, la emisión del escape de los vehículos y también la reducción de la quema pirotecnia.

Con el análisis realizado en este capítulo sobre las partículas, se muestran concentraciones altas en toda el AMM, también cómo los factores meteorológicos influyen en la resuspensión del suelo, sobre todo en la época invernal y la entrada de frentes fríos. Es importante realizar un estudio de la representatividad espacial de los sitios de monitoreo para identificar si lo que muestran algunas estaciones son mediciones de fuentes locales que impactan las concentraciones registradas allí o realmente es la mezcla de toda el área cercana.

En el informe realizado por el Centro Mario Molina en el año 2020 sobre la caracterización química de $PM_{2.5}$ en el AMM, se encontró que las especies químicas más abundantes para toda la región fueron el carbono orgánico, los iones sulfato, nitrato y amonio, los cuales denotan la ocurrencia elevada de reactividad atmosférica, tanto para la conversión de gas a partícula de los óxidos de nitrógeno y azufre, como para la formación secundaria de carbono orgánico, con una relación de seis a diez veces mayor que la emisión primaria, además se encontraron elementos traza como Ni, Cu y Pb y S, Zn y Br.

El mismo estudio del Centro Mario Molina menciona que en las investigaciones previas sobre caracterización de 1997 a 2014, se observó que Ca, V y Pb tienen una tendencia decreciente en sus concentraciones; en cambio, Ni, Cu y Zn se han incrementado. Mencionan que las variaciones se deben a la reformulación de los combustibles, el incremento de los vehículos, así como una posible reducción de la actividad de las pedreras, cementeras y de la industria química y metalúrgica de la localidad. De las 60 muestras colectadas en estos estudios se determinó que la mayor contribución es el material orgánico particulado primario y secundario, producto de la combustión de combustibles fósiles los cuales aportan entre 29 y 46% de la composición de $PM_{2.5}$. Otros contribuyentes son las partículas secundarias inorgánicas de la conversión de los gases de los óxidos de nitrógeno y azufre a nitratos de amonio y sulfatos derivados de la combustión de los automotores e industria con un aporte del 38 al 47%.

5.4.4. Ozono

Es un gas incoloro que contiene tres átomos de oxígeno (O_3), pero en grandes concentraciones toma un color púrpura. El O_3 absorbe la longitud de onda verde de la luz visible por lo cual refleja el rojo y azul, que se combinan para formar púrpura. Es un gas que desprende fuerte olor (metálico y picante) cuando excede los 20 ppb; de ahí su nombre de origen griego *ozein* (ὄζειν), que significa 'tener olor'. En la estratósfera absorbe la radiación UV y proporciona un escudo protector para la vida en la Tierra.

El ozono troposférico es el mayor componente del smog fotoquímico. Existe evidencia sobre el riesgo significativo que tiene para la salud humana (Mudway y Kelly, 2000; OMS, 2006), los cuales se profundizarán en la sección 5.5. Es un contaminante secundario que se forma de reacciones complejas en la atmósfera entre los compuestos orgánicos volátiles y los óxidos de nitrógeno en presencia de luz solar. Debido a la complejidad de los mecanismos de reacción que intervienen en la producción del ozono, su control requiere del conocimiento sobre la composición química de los compuestos precursores, sus propiedades químicas y la dinámica atmosférica (Finlayson-Pitts y Pitts, 2000; Seinfeld y Pandis, 2006).

En la tropósfera, las emisiones antropogénicas de sus precursores (NO_x y COV) incrementan su presencia. El O_3 es importante en la química de esta zona de la atmósfera y, de forma natural, su concentración de fondo se encuentra entre los 20 y 40 ppb al nivel del mar, mientras que en altitudes mayores se encuentra en un rango entre 30 y 70 ppb (Jacobson, 2012).

- **Distribución espacial y temporal del ozono**

Durante el año 2022, la concentración promedio anual de este contaminante, considerando a todas las mediciones horarias de las 14 estaciones del año, fue de 24.9 ppb, el cual, comparado con el año anterior que fue de 26.5 ppb, representa un decremento del 6%. La estación que registró el mayor promedio anual es la ubicada en la San Bernabé (NO) con 28.2 ppb; el valor máximo horario registrado para 2022 fue de 151 ppb, en la estación San Nicolás (NE) el 14 de noviembre. En los meses de octubre y noviembre es cuando se presentan los cambios de sistemas y esto provoca estabilidad atmosférica, razón por la cual no es raro encontrar altas concentraciones en esta época del año, aunque es más frecuente observarlos en abril, mayo y junio.

El mapa de las concentraciones anuales de ozono en la AMM (Figura 52i) muestra que la mayor concentración se registró al poniente, debido a la dirección del viento dominante que va del oriente al poniente, así como la ubicación de las fuentes fijas y principales vialidades que se encuentran al oriente y centro, por lo cual todo el arrastre y la transformación fotoquímica se va gestando e impacta en la zona poniente que también es la salida del viento.

Las estaciones que en 2022 registraron mayor número de horas con más de 90 ppb fueron: Santa Catarina (SO) con 102 horas, García (NO₂) con 98 horas, San Bernabé (NO) con 89 horas y San Pedro (SO₂) con 81 horas, todas ubicadas en la zona poniente. La estación que presenta el menor número de horas es Apodaca (NE₂) con solo cuatro horas en todo el año; este sitio se encuentra cerca de vialidades con alto flujo vehicular, razón por la cual las emisiones de NO_x pueden actuar como un sumidero de O_3 que estaría afectando las mediciones reales de la zona; es importante evaluar el impacto de fuentes móviles, las fuentes locales de venta de comida y la zona industrial cercana a la estación. En 2022, el número de horas que se registraron en toda el AMM mayores a 90 ppb (valor en 60 min) fue de 256 horas. En cuanto al número de excedencias a la NOM, en 2022 se registró un total de 90 días en los que su máximo horario fue superior al límite de 90 ppb.

En cuanto al promedio por día de la semana (Figura 52ii), los sábados y domingos registraron los valores más elevados; esto es debido al régimen de producción de O_3 que es sensible a los compuestos orgánicos volátiles (COV) y se conoce como “efecto fin de semana”. Se han realizado varios estudios en diferentes ciudades del mundo donde se ha encontrado que los días hábiles presentan patrones similares, además de concentraciones de los contaminantes primarios como monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) menores el fin de semana; a pesar de eso la concentración de ozono no se reduce. Se han

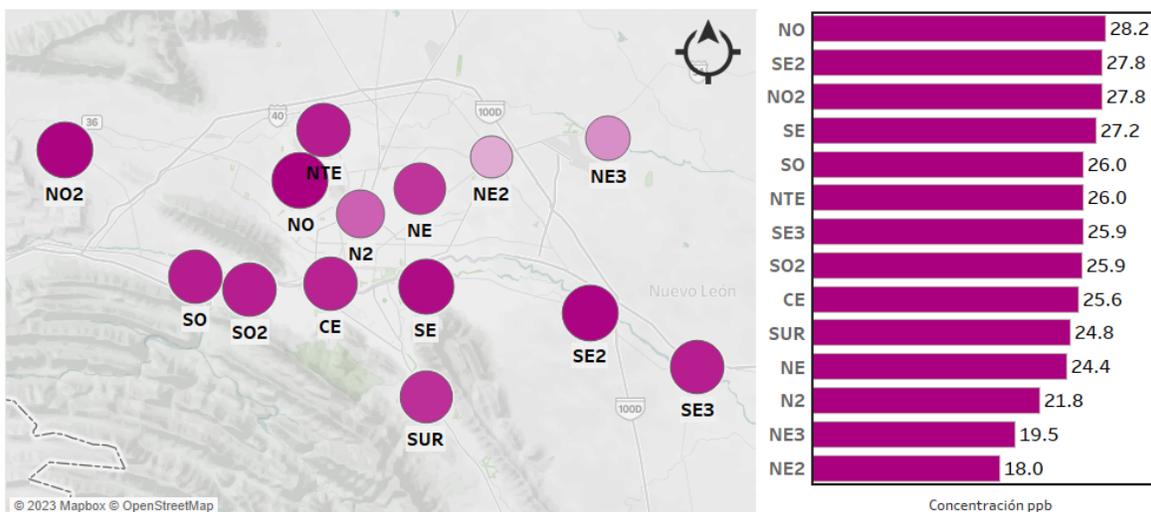
dado muchas explicaciones al respecto, pero una (Wolff et al., 2013) menciona que la variación de las respuestas del ozono a los cambios de las emisiones de sus precursores es compleja, resultando una química no lineal en la formación del ozono que depende de la relación de COV y NO_x en la atmósfera. Un aspecto importante para resaltar es que las estrategias de control se han enfocado, en mayor parte, a la reducción de NO_x, provocando que los radicales OH se encuentren disponibles para reaccionar con los COV, lo cual favorece la formación de O₃; es decir, una reducción en NO_x puede incrementar la generación de O₃ (Fujita et al., 2003; Wolff et al. 2013). El día de la semana que registra la menor concentración es el lunes.

Por otro lado, el comportamiento temporal mensual muestra que la concentración mayor se encuentra en los meses secos calientes como son marzo, abril y mayo, caracterizados por el aumento de la duración de los días, así como la intensidad de la radiación solar, poca nubosidad y viento débil, todos factores que favorecen la estabilidad atmosférica. Los meses con concentraciones menores es la época invernal (noviembre a febrero) donde se presenta una menor radiación solar; comportamiento similar al de años anteriores descritos por Benítez-García et al. (2014) en su estudio. También en los meses de lluvia de agosto y septiembre se detecta una reducción de las concentraciones por el efecto de lavado.

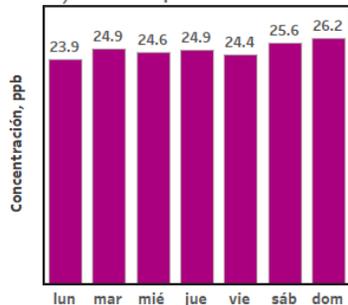
En el perfil horario de ozono (Figura 52.iv) se observó que la concentración máxima se presentó entre las 13:00 y 17:00 h; este horario coincide con el de mayor intensidad de radiación solar y actividad fotoquímica, mientras que los mínimos ocurren en la mañana cuando la emisión de NO_x por el flujo vehicular aumenta y se consume el ozono, y también por la noche cuando ya no hay formación de O₃.

OZONO (O₃)

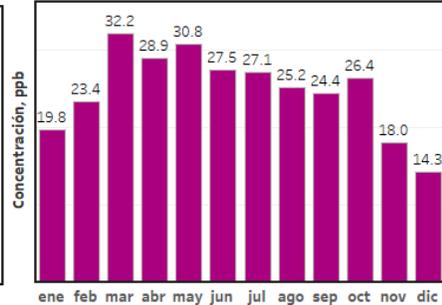
i) Concentración promedio anual por estación



ii) Promedio por día de la semana



iii) Promedio por mes



iv) Perfil horario

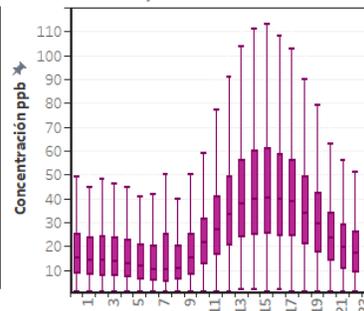


Figura 52. Distribución espacial y temporal de las concentraciones de O₃ en el año 2022

Nota: i) promedio anual por estación y distribución espacial (el tamaño e intensidad del color tienen que ver con la magnitud de la concentración), ii) promedio por día de la semana, iii) promedio mensual, iv) perfil del promedio horario. La línea en medio de la barra del perfil horario significa el valor de la mediana de todos los datos de las 14 estaciones, el tamaño de la caja representa el rango intercuartil-RI (percentil 75 -percentil 25) y el bigote corresponde a 1.5 veces el RI.

- Evaluación del cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas para ozono (NOM-020-SSA1-2021)**

La Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014 sobre el valor límite permisible para la concentración de O₃ en el aire ambiente y criterios para su evaluación (Tabla 23), especificó como valor límite máximo de concentración de ocho horas los 137 µg/m³ (equivalentes a 0.070 ppm a condiciones de referencia 25 °C y 1 atm de presión), el cual es mayor al valor guía de calidad del aire de 100 µg/m³ (0.051 ppm) recomendado por la OMS. Es por esto por lo que en la actualización de 2021 se realizó un cambio que, de manera gradual, va hacia el valor sugerido en las Guías de Calidad del Aire de la OMS (2021) correspondiente a ozono, con la finalidad de proteger la salud de la población.

Tabla 23. Cumplimiento gradual para los valores límite de ozono de 1 h y promedio móvil de 8 h en el aire ambiente

Concentración	Año 2022	Año 2024	Año 2026	Cálculo
De una hora	176 µg/m ³	176 µg/m ³	176 µg/m ³	Máximo de los máximos diarios
	0.090 ppm	0.090 ppm	0.090 ppm	
Del promedio móvil de 8 h	127 µg/m ³	118 µg/m ³	100 µg/m ³	Máximo de los máximos diarios del promedio móvil de 8 h
	0.065 ppm	0.060 ppm	0.051 ppm	

Fuente: adaptado de NOM-020-SSA1-2021.

Al evaluar los indicadores de la NOM vigente para ozono, ninguna estación cumple con ambos límites de la norma (Tabla 24).

Tabla 24. Evaluación de los indicadores de la NOM-020-SSA1-2021 sobre los criterios para evaluar el O₃ por estación en el año 2022

Estación	O ₃ (ppm)		Cumplimiento
	1 h	Móvil 8 h	
Obispado (CE)	0.129	0.084	No cumple
Universidad (N2)	0.119	0.093	No cumple
San Nicolás (NE)	0.151	0.077	No cumple
Apodaca (NE2)	0.103	0.071	No cumple
Pesquería (NE3)	0.131	0.082	No cumple
San Bernabé (NO)	0.147	0.114	No cumple
García (NO2)	0.145	0.107	No cumple
Escobedo (NTE)	0.133	0.104	No cumple
ITNL (SE)	0.136	0.089	No cumple
Juárez (SE2)	0.127	0.096	No cumple
Cadereyta (SE3)	0.150	0.118	No cumple
Santa Catarina (SO)	0.141	0.096	No cumple
San Pedro (SO2)	0.136	0.094	No cumple
Prepa Tec (SUR)	0.133	0.094	No cumple

Al evaluar los indicadores de las estaciones de la AMM para ozono con respecto a los valores límite de la NOM-020-SSA1-2021 y de las guías de la OMS de 2021, se observa que ninguna estación cumple con los valores límite (Figura 53). Las estaciones que registran los indicadores más altos son San Bernabé (NO), García (NO2) y Cadereyta (SE3). En los dos primeros casos, el impacto de la trayectoria del viento dominante que va de oriente a poniente y la salida de la contaminación hacia esa zona, puede tener

relación con esta observación. Además, la estación SE3 cercana a la refinería con abundancia de hidrocarburos, quizá se refleja en los valores altos que se registraron.

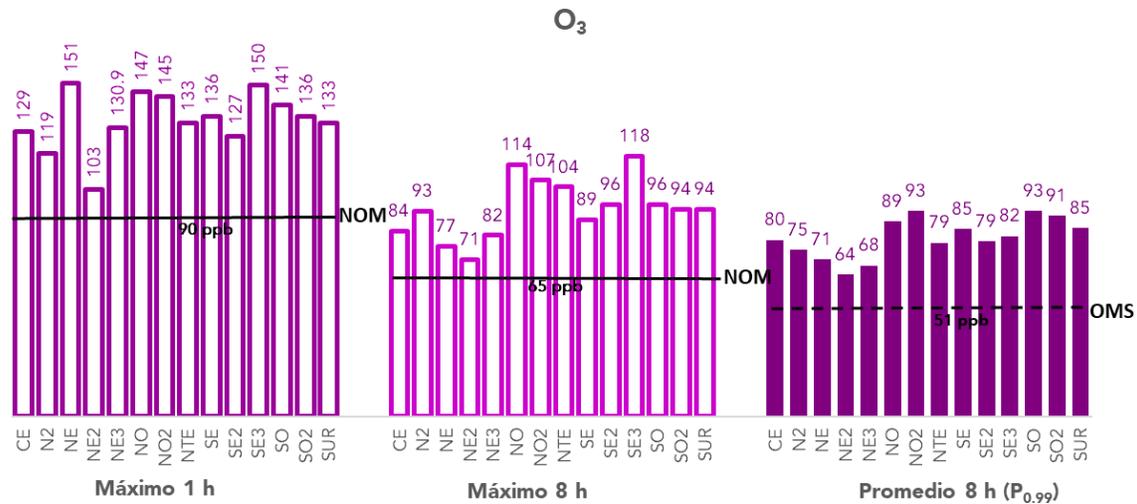


Figura 53. Comparación del valor límite de la NOM y de la OMS para los indicadores del promedio horario y el móvil de ocho horas para O₃

Es importante mencionar que el valor más alto registrado para el promedio de una hora no rebasó el límite para declarar contingencia, el cual es mayor o igual a 0.154 ppm para la fase 1, de acuerdo con el Programa de Respuesta a Contingencias Atmosféricas de la Zona Metropolitana de Monterrey (Gabinete de Generación de Riqueza Sostenible y Sistema Integral de Monitoreo Ambiental, 2021), por cuanto, como se observa en la gráfica, el máximo registrado para una hora fue de 0.151 ppm en la estación de San Nicolás (NE).

- Evaluación de la tendencia del O₃**

En el estudio realizado por Hernández-Paniagua et al. (2017), donde realizaron una comparación de la tendencia del ozono de 1993 a 2014 en la ciudad de Monterrey, Guadalajara y de México, se encontró que en el AMM la tendencia era creciente significativa en los sitios estudiados de la Pastora (SE), San Nicolás (NE), Obispado (CE), San Bernabé (NO) y Santa Catarina (SO), además menciona que la tendencia de los meses de abril a septiembre es consistente entre el transporte de las emisiones de la zona industrial viento abajo de estas estaciones y con el proceso fotoquímico del viento dominante que llega del noreste, este y sureste hacia el poniente del territorio metropolitano. El comportamiento reportado en esta investigación se confirma con el análisis realizado aquí con el método Thiel-Sen de tendencia que se aplicó a las estaciones con registros históricos más completos de 2010 a 2022: Obispado (CE), San Nicolás (NE), San Bernabé (NO), la Pastora (SE), Santa Catarina (SO) y San Pedro (SO2). Los resultados muestran que cuatro estaciones presentan tendencia creciente significativa (CE, NO, SO y SO2) y dos estaciones no presentan tendencia (NE y SE) (Tabla 25 y Figura 54).

Tabla 25. Evaluación de la tendencia histórica con el método Theil-Sen para O₃ en el periodo de 2010 a 2022 con algunas excepciones

Estación	Concentración promedio de todo el periodo (ppb)	Promedio de la tendencia ppb/año	p-value	Nivel de significancia ⁺⁺
Obispado (CE)	21.3	0.60	<2e-16	***
San Nicolás (NE)	20.2	0.05	0.608	
San Bernabé (NO)	23.8	0.40	<2e-16	***
ITNL (SE)	23.1	0.17	0.124	
Santa Catarina (SO)	20.2	0.31	0.003	**
San Pedro (SO2)	20.8	1.17	<2e-16	***

⁺⁺p < 0.001 = ***, p < 0.01 = **, p < 0.05 = * y p < 0.1 = +

Nota: la tendencia de la estación San Pedro (SO2) va de 2014 a 2022.

La estación que presenta el mayor incremento es San Pedro (SO2) con 1.17 ppb por año. Este sitio es el que se ubica más al poniente, pudiéndose decir que se encuentra viento abajo de las principales fuentes de emisión, además que está ubicada muy cerca de vialidades primarias con alto flujo vehicular, así como de un corredor industrial. Esta tendencia puede representar el incremento de emisiones tanto por el crecimiento del parque vehicular como de las emisiones de la industria.

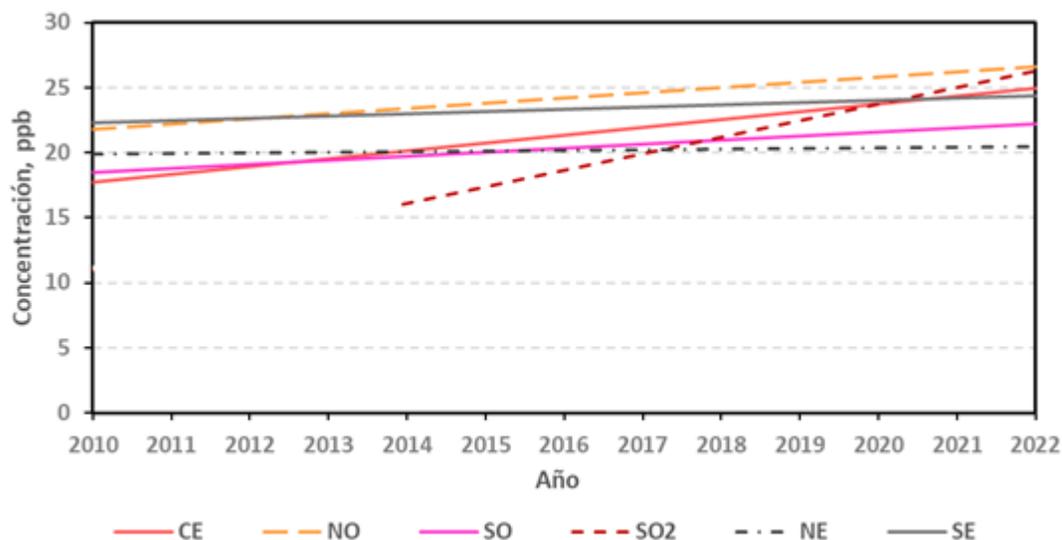


Figura 54. Tendencias históricas del O₃ para las seis estaciones a las que se les aplicó el método de Theil-Sen

Nota: la línea de color gris y negro representa las estaciones que no presentaron tendencia estadísticamente significativa y el color rojo o naranja las estaciones con tendencia creciente significativa.

Al realizar una proyección lineal con base en los resultados de la prueba Theil-Sen, se encontró que el incremento mayor de concentración se daría en la estación San Pedro (SO₂) que va de 11.0 a 38.0 ppb en 2033, representando un 245% de incremento.

El ozono, como se mencionó con anterioridad y con base en los estudios realizados en el AMM, es especialmente sensible a COV dado el efecto “fin de semana” (Carrillo-Torres et al., 2017). Se ha notado el incremento del O₃ a pesar de las medidas de control aplicadas que han reducido el NO_x; la relación COV/NO_x ha aumentado teniendo mayor abundancia de COV, por lo que los esfuerzos de la reducción de los precursores del O₃ debe enfocarse en las fuentes de COV, principalmente. De no disminuir las emisiones de estos precursores, podría llegar a tenerse importantes problemas de ozono en los que se pudieran alcanzar valores de contingencia con mayor frecuencia. Los resultados de Theil-Sen muestran que, de las seis estaciones, cuatro presentaron una tendencia creciente significativa, resultado acorde con el estudio que realizó Hernández-Paniagua et al. (2017); esto significa que no se ha logrado disminuir de forma eficiente la emisión de los precursores, sobre todo de los COV.

El estudio realizado por Menchaca-Torres et al. (2015a) sobre la variación temporal de los carbonilos y su efecto en las concentraciones en la atmósfera de Monterrey, muestran que el formaldehído es el carbonilo más abundante (46-42 ppbV), seguido del acetaldehído (5-16 ppbV) y acetona (7-15 ppbV). La mayor concentración se encuentra entre las 10:00 y las 14:00 h, cuando la actividad fotoquímica es intensa, seguida del incremento de la producción de O₃; también se encontró que la producción secundaria de los carbonilos es estadísticamente significativa en este territorio. Los carbonilos son parte de los COV y reaccionan con los NO_x en la atmósfera en presencia de radiación solar, por lo que son precursores del ozono. En este estudio se demuestra cómo el ozono es sensible a los cambios de concentración de estos compuestos: si se reducen, la concentración del O₃ también disminuyen; en cambio, si decrece el NO_x la concentración del O₃ aumenta, lo que confirma que la atmósfera del AMM es sensible a los COV.

Un aspecto importante es que el formaldehído es la mayor fuente del radical hidroxilo (OH); esta especie es clave en la reactividad de la atmósfera, ya que inicia la oxidación fotoquímica del CO y la mayor parte de los COV (NARSTO, 2000). Es importante que las estrategias de control no solo vayan enfocadas a la reducción de COV, sino de los más reactivos. Se sabe que los carbonilos son un componente común en la atmósfera urbana y que son emitidos en su mayoría por fuentes antropogénicas como las fuentes móviles, las carboeléctricas, la quema de basura y los procesos industriales (Possanzini et al., 2002).

El estudio de Menchaca-Torres et al. (2015b) hace una caracterización de los COV en la atmósfera de Monterrey, encontrando que el compuesto más abundante de los analizados fue el propano, seguido del etano, butano e isopentano. Otro hallazgo fue que las concentraciones de los COV eran mayores durante el otoño y menores en primavera, lo cual se explica por la altura de la capa de mezcla que es menor en el otoño, donde ocurre una reducción de la actividad fotoquímica. Identifican, además, que las principales fuentes son las fugas de gas natural, GLP y gasolina, uso de solventes, fuentes móviles, emisiones industriales y biogénicas.

Por todo lo anterior, resulta necesario y urgente aplicar medidas de control eficientes para los COV, lo cual no solo aporta en la reducción de los niveles de ozono sino también tendría un impacto en casi todos los contaminantes criterio por tratarse, en muchos casos, de fuentes de emisión comunes.

5.4.5. Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) son un grupo de compuestos químicos gaseosos formados por la combinación de oxígeno y nitrógeno. Los principales compuestos son óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂), y generalmente se hace referencia a la suma del NO más el NO₂ para referirse a los NO_x. La mayor proporción del NO_x emitido es de NO, estimado entre el 70 al 90%, mientras que la fracción del NO₂ es menor (del 10 hasta 30%). El dióxido de nitrógeno (NO₂) es un gas tóxico e irritante de color marrón-amarillento, también es un potente agente oxidante formado por un átomo de nitrógeno y dos de oxígeno, absorbe la onda corta de la radiación visible (azul y verde), lo cual le da su color café-rojizo; es un intermediario entre la emisión del NO y la formación del O₃, además es un precursor del ácido nítrico que es un componente de la deposición ácida. El NO₂ natural, al igual que el NO, reduce el O₃ en la estratósfera. Se sabe que el NO₂ tiene contribuciones de origen primario y secundario; sin embargo, su fuente más importante es la oxidación en la atmósfera del NO emitido durante los procesos de combustión. La exposición a valores altos de NO₂ puede, tiene diferentes efectos sobre la salud que se explicarán en la sección 5.5.

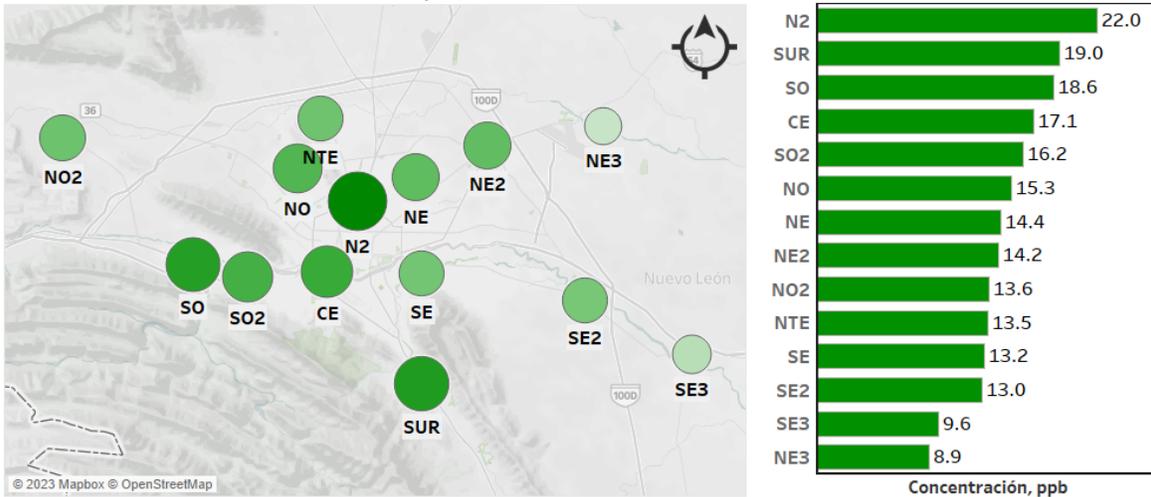
- **Distribución espacial y temporal del NO₂**

La concentración promedio anual del NO₂ en 2022, considerando todas las mediciones de las 14 estaciones, fue de 14.9 ppb; este valor es mayor al registrado en los últimos cinco años. Al comparar con el año de 2021 que registró una concentración promedio anual de 13.5 ppb, se obtiene un incremento del 10.3%. La concentración de NO₂ tiene aportaciones de origen primario y secundario, por lo tanto, su distribución espacial está determinada por la ubicación de las fuentes de emisión y por la actividad química de la atmósfera. Los sitios de monitoreo que se encuentran en zonas donde el tránsito vehicular es abundante como el centro, sur y poniente (Figura 55i), reportan los promedios anuales más altos (Universidad (N2), Prepa Tec (SUR), Santa Catarina (SO) y Obispado (CE)), mientras que los más bajos son en la zona del origen del viento dominante al este de la AMM como Pesquería (NE3) con 8.9 ppb y Cadereyta (SE3) con 9.6 ppb. Es importante mencionar que la estación SUR lleva poco tiempo monitoreando; sin embargo, en los meses de octubre a diciembre presenta un incremento en promedio del 200% con respecto a los otros meses, por lo que sería importante realizar un análisis particular para caracterizar este fenómeno.

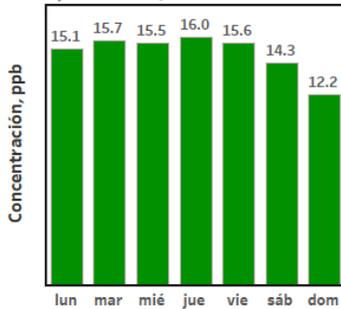
En cuanto a los días de la semana, el jueves presenta la concentración promedio más alta de 16 ppb. En general, los días laborables tienen pequeñas variaciones, lo cual presenta una diferencia significativa entre estos con respecto al sábado y domingo, debido a la reducción del tránsito vehicular durante el fin de semana; el domingo es el día que históricamente registra los valores más bajos (Figura 55ii). El NO₂ se comporta con un patrón estacional muy marcado durante el año, los valores mínimos de concentración se presentan en los meses de lluvia y los máximos durante la temporada invernal (Figura 55iii). En 2022, diciembre reportó el promedio mensual máximo con una concentración de 25.9 ppb, mientras que los meses de lluvia, en este caso junio y julio, registraron 8.1 y 8.3 ppb, respectivamente, siendo los promedios mensuales más bajos. El perfil horario presenta una distribución bimodal, con un pico matutino de las 09:00 a 11:00 h y uno vespertino de las 19:00 a 00:00 h; ambos picos están asociados con las horas de máximo tránsito vehicular. Entre las 14:00 y las 17:00 h la concentración de NO₂ disminuye por cuanto se consume en la reacción de formación de ozono (Figura 55iv).

Dióxido de nitrógeno(NO₂)

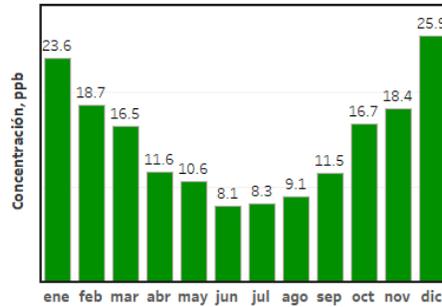
i) Concentración promedio anual por estación



ii) Promedio por día de la semana



iii) Promedio por mes



iv) Perfil horario

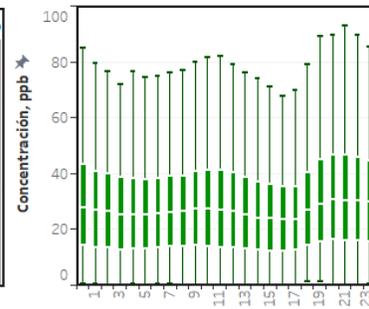


Figura 55. Distribución espacial y temporal de las concentraciones anuales de NO₂ en el año 2022

Nota: i) promedio anual por estación y distribución espacial (el tamaño e intensidad del color tienen que ver con la magnitud de la concentración), ii) promedio por día de la semana, iii) promedio mensual, iv) perfil del promedio horario. La línea en medio de la barra del perfil horario significa el valor de la mediana de todos los datos de las 14 estaciones, el tamaño de la caja representa el rango intercuartil-RI (percentil 75 -percentil 25) y el bigote corresponde a 1.5 veces el RI.

- Evaluación del cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas para el NO₂ (NOM-023-SSA1-2021)**

Los valores límite que se establecieron en la actualización de la NOM-023-SSA1-2021 quedaron como se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26. Cumplimiento límite para la concentración ambiental del NO₂ en México

Concentración	NO ₂ (µg/m ³)	NO ₂ (ppm)	Cálculo
De una hora	200	0.106	Máximo de las concentraciones horarias, calculado como se especifica en el inciso 5.2 de la NOM
Anual	40	0.021	Promedio aritmético de las concentraciones horarias, calculado como se especifica en el inciso 5.2 de la NOM

Fuente: adaptado de NOM-023-SSA1-2021.

La evaluación del cumplimiento de los límites de la NOM-023-SSA1-2021 en el AMM muestra que solo dos estaciones cumplen ambos límites (Tabla 27). Si se evalúa de forma separada el valor límite de una hora (0.106 ppm), 13 estaciones cumplen con ello.

En cuanto al valor límite de la OMS de 2021, los registros están lejos de cumplirse. El promedio de 24 horas propuesto por la OMS es de 25 µg/m³ (0.013 ppm, condiciones de referencia de 1 atm y 25 °C) y el anual de 10 µg/m³ (0.005 ppm, condiciones de referencia) (Tabla 27 y Figura 56).

Tabla 27. Evaluación de los indicadores de la NOM-023-SSA1-2021 para el NO₂ por estación del AMM en el año 2022

Estación	NOM-NO ₂ (ppm)			OMS (ppm)	
	1 h	anual	Cumplimiento	24 h	Cumplimiento
Obispado (CE)	0.089	0.033	No cumple	0.043	No cumple
Universidad (N2)	0.113	0.036	No cumple	0.049	No cumple
San Nicolás (NE)	0.090	0.027	No cumple	0.041	No cumple
Apodaca (NE2)	0.078	0.027	No cumple	0.037	No cumple
Pesquería (NE3)	0.050	0.017	Cumple	0.022	No cumple
San Bernabé (NO)	0.100	0.028	No cumple	0.041	No cumple
García (NO2)	0.093	0.026	No cumple	0.038	No cumple
Escobedo (NTE)	0.083	0.027	No cumple	0.040	No cumple
ITNL (SE)	0.075	0.026	No cumple	0.034	No cumple
Juárez (SE2)	0.076	0.026	No cumple	0.038	No cumple
Cadereyta (SE3)	0.085	0.020	Cumple	0.032	No cumple
Santa Catarina (SO)	0.089	0.033	No cumple	0.045	No cumple
San Pedro (SO2)	0.097	0.030	No cumple	0.038	No cumple
Prepa Tec (SUR)	0.060	*	No cumple	0.031	No cumple

* No cumple con los requerimientos de suficiencia para la obtención de promedios de acuerdo con lo que marca la NOM en el punto 5.2.2.

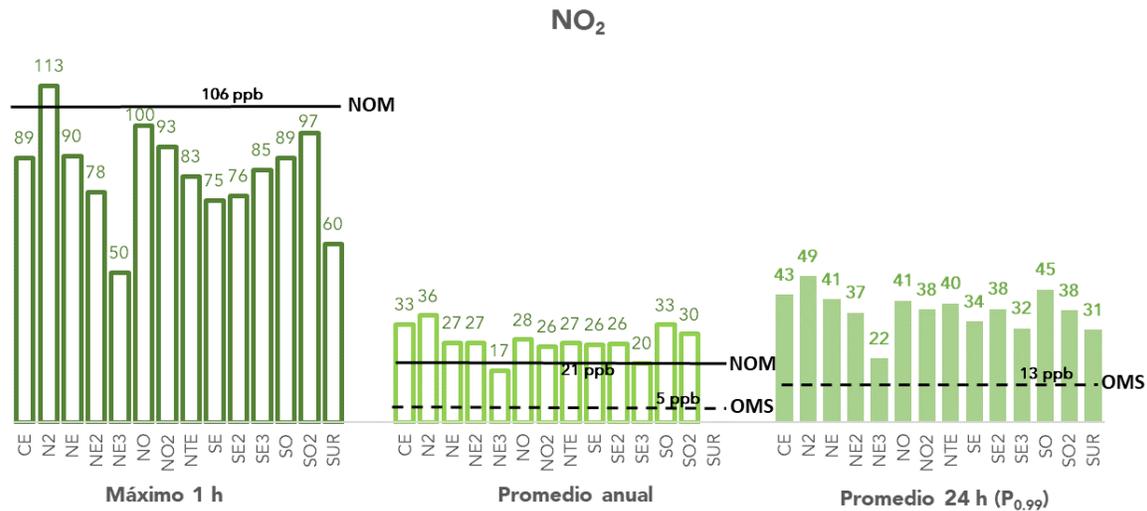


Figura 56. Comparación del valor límite de la NOM y de la OMS para los indicadores del promedio horario, anual y de 24 horas para NO₂

- Evaluación de la tendencia del NO₂**

El estudio de Hernández-Paniagua et al. (2017) revela que el crecimiento económico dentro del AMM ha originado un incremento en las emisiones de los precursores de ozono (NO_x y COV) de las fuentes puntuales y de área, debido a que los programas de control de emisiones eran muy limitados a finales de los 90 y principio del nuevo siglo. Aunado a esto se encuentra la dirección dominante del viento del este y sureste que transporta los contaminantes primarios y sus productos oxidados viento abajo de la zona industrial, lo cual puede contrarrestar la reducción de emisiones de otras fuentes como las móviles; esto se observa en la disminución de la tendencia de NO_x en la estación Obispado (CE). Para el caso del NO₂, el análisis de tendencia se realizó con solo cuatro estaciones: CE, SO, SO2 y SE3; las dos primeras para el periodo 2010 a 2022, la estación SO2 para el periodo 2014 a 2022 y, por último, la estación Cadereyta (SE3) de finales de 2017 a 2022. Al igual que los otros contaminantes se aplicó el método Theil-Sen. Los resultados muestran, para el caso de la estación Obispado (CE), que continúa la tendencia decreciente significativa; esto se explica por la mejora en la tecnología de los vehículos con convertidores de tres vías, tal como lo mencionan Hernández-Paniagua et al. (2017).

Sin embargo, como lo afirman en dicha investigación, la mayor producción en la industria, así como el crecimiento del parque vehicular y urbano, han generado un incremento en las emisiones de NO_x y por lo tanto de NO₂; este comportamiento se observa en las dos estaciones con tendencia creciente significativa, una del sureste (SE3) y otra del suroeste (SO2), siendo esta última la que tiene un aporte por año de 0.84 ppb, lo cual es importante en la formación del ozono, aunque parezca una concentración baja. Cabe mencionar que solo cuatro estaciones (de las 14 con registros) se pudieron utilizar para este análisis debido a la falta de datos en varios años, así como el proceso de validación en algunos datos atípicos que deben revisarse exhaustivamente. Es necesario implementar estrategias de control más estrictas para las emisiones de las fuentes fijas y móviles, con el fin de disminuir sus emisiones que impactan directamente con la calidad del aire de la AMM.

Tabla 28. Evaluación de la tendencia histórica con el método Theil-Sen para NO₂ en el periodo de 2010 a 2022 con algunas excepciones

Estación	Concentración promedio de todo el periodo (ppb)	Promedio de la tendencia (ppb/año)	p-value	Nivel de significancia ⁺⁺
Obispado (CE)	12.4	-0.75	<2e-16	***
Cadereyta (SE3)	7.4	0.55	<2e-16	***
Santa Catarina (SO)	16.7	-0.16	0.36	
San Pedro (SO2)	11.6	0.84	<2e-16	***

⁺⁺p < 0.001 = ***, p < 0.01 = **, p < 0.05 = * y p < 0.1 = +

Nota: la tendencia histórica de la estación San Pedro (SO2) va de 2014 a 2022 y Cadereyta (SE3) va de 2017 a 2022.

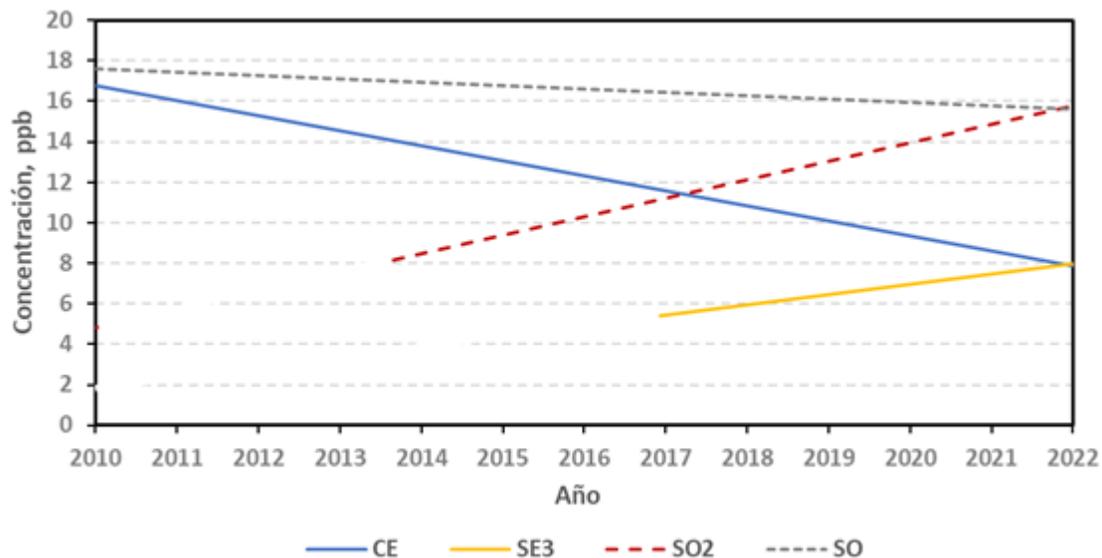


Figura 57. Tendencias históricas del NO₂ para las cuatro estaciones a las que se les aplicó el método de Theil-Sen

Nota: la línea de color azul representa la tendencia decreciente significativa, las líneas rojas y naranjas refieren a tendencias crecientes significativas, y la línea gris indica que no hubo tendencia estadísticamente significativa.

Al realizar una proyección lineal con base en los resultados de la prueba Theil-Sen para NO₂, la estación San Pedro que registró una concentración de 11.6 ppb en 2010, de acuerdo con el ajuste de Theil-Sen, se incrementaría hasta un 27.6 ppb en 2033, representando un 137% de incremento. Lo anterior se realizó sin incluir factores, como las medidas de control, los cuales pueden afectar la evolución de las emisiones y su concentración ambiente, tal como se ha mencionado en secciones pasadas.

5.4.6. Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono (CO) es emitido a la atmósfera principalmente por las fuentes móviles. En general, las concentraciones de este contaminante son bajas en el ambiente y su presencia es un indicador de las emisiones vehiculares.

Es importante mencionar que este contaminante tiene los registros más bajos de todos los contaminantes criterio y, en ocasiones, hay problemas para ajustar la línea base a partir de las calibraciones que se realizan, además de la obsolescencia de los equipos para medir concentraciones bajas. Por lo anterior, al analizar la información de las 14 estaciones de forma histórica, no es posible determinar la tendencia debido a las variaciones que tienen los registros históricos desde 2010 a 2022. Si se realizara un análisis tendencial con los datos disponibles, podría reflejarse un comportamiento que no es real debido a las variaciones de la línea base de este contaminante.

Con respecto al año 2022, todas las estaciones presentan problemas con la línea base, lo cual ocasiona que los análisis sobre temporalidad presenten información equivocada de lo que realmente está ocurriendo con respecto al comportamiento del CO, cuya actuación como contaminante primario es muy semejante al que presentan los óxidos de nitrógeno. El comportamiento temporal y espacial de las concentraciones del contaminante está relacionado directamente con la dinámica del tránsito vehicular en la ciudad y la meteorología. Las zonas con mayor tránsito vehicular o con congestiones vehiculares frecuentes, son las que, generalmente, reportan los mayores niveles del contaminante.

- **Evaluación del cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas para el monóxido de carbono (NOM-021-SSA1-2021)**

Esta NOM establece los límites máximos permisibles para el contaminante criterio CO para una y ocho horas (Tabla 29), considerando los valores guía recomendados por la OMS en 2005 y con fundamento en la evidencia de estudios experimentales y epidemiológicos que documentan efectos adversos en la salud humana por la exposición en diversos niveles de concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente, especialmente en órganos con alto consumo de oxígeno como el cerebro y corazón (OMS - Oficina Regional para Europa, 2016).

Tabla 29. Cumplimiento límite para la concentración ambiental del CO

Concentración	CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO (ppm)	Cálculo
De una hora	30,000	26.0	Máximo de las concentraciones horarias, calculado como se especifica en el inciso 5.2 de la NOM
De ocho horas	10,000	9.0	Máximo de los promedios móviles de ocho horas de CO, calculado como se especifica en el inciso 5.2 de la NOM

Fuente: adaptado de NOM-021-SSA1-2021.

Como se mencionó con anterioridad, la línea base de las mediciones de CO presentan gran variabilidad; sin embargo, como ejercicio, se evaluaron los indicadores de la NOM en 2022 para conocer en qué niveles

se encuentra este contaminante en el AMM (Tabla 30 y Figura 58). El valor de la OMS para CO es el promedio de 24 horas es 4 mg/m³ que equivale a 3.5 ppm en condiciones de referencia (25 °C y 1 atm).

Tabla 30. Evaluación de los indicadores de la NOM-021-SSA1-2021 sobre los criterios para evaluar el CO por estación en el año 2022

Estación	NOM (ppm)			OMS (ppm)	
	1 h	Móvil 8 h	Cumplimiento	24 h	Cumplimiento
Obispado (CE)***	-	-	-	-	-
Universidad (N2)	5.1	3.4	Cumple	1.8	Cumple
San Nicolás (NE)	5.6	3.9	Cumple	2.2	Cumple
Apodaca (NE2)	7.0	3.5	Cumple	2.6	Cumple
Pesquería (NE3)	1.6	1.4	Cumple	1.0	Cumple
San Bernabé (NO)	5.8	4.2	Cumple	2.5	Cumple
García (NO2)	5.8	3.5	Cumple	2.1	Cumple
Escobedo (NTE)	7.4	3.4	Cumple	1.8	Cumple
ITNL (SE)	4.4	3.1	Cumple	2.6	Cumple
Juárez (SE2)	7.1	5.1	Cumple	2.5	Cumple
Cadereyta (SE3)	4.0	2.6	Cumple	1.8	Cumple
Santa Catarina (SO)	6.3	4.7	Cumple	2.9	Cumple
San Pedro (SO2)	4.7	3.5	Cumple	2.4	Cumple
Prepa Tec (SUR)	3.3	2.6	Cumple	2.3	Cumple

*** Esta estación es la que presenta el mayor problema de línea base y puede dar una idea errónea del cumplimiento de la NOM, por eso se excluyó del análisis.

Los resultados muestran que todas las estaciones cumplen con los valores límite tanto de la NOM-021-SSA1-2021 como el valor de 24 horas de la OMS de 2021 (Figura 58). A pesar de la variabilidad de la línea base, las concentraciones de este contaminante están por debajo de los límites normados. Se reitera que estos resultados son realizados solo a modo de ejercicio, por cuanto sus datos presentan varias particularidades.

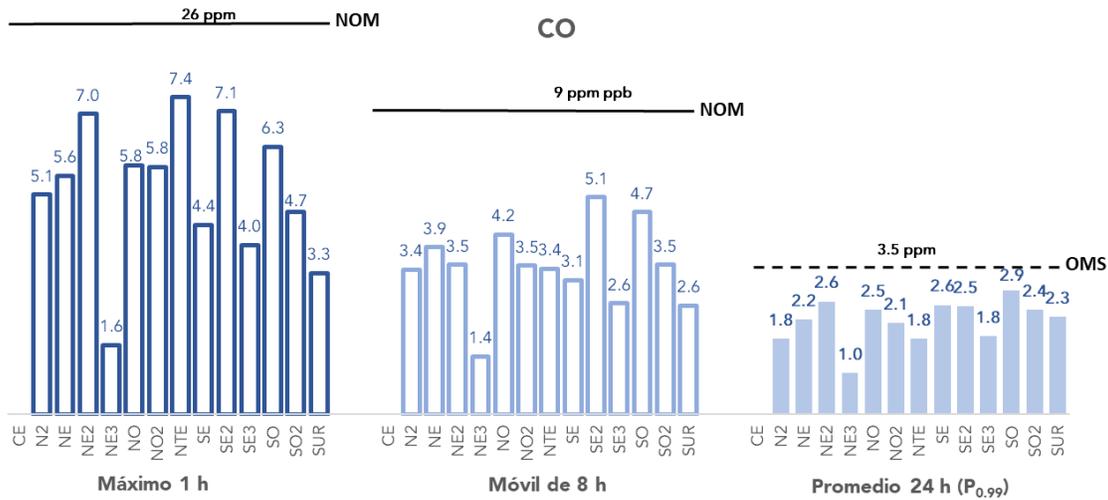


Figura 58. Comparación del valor límite de la NOM y de la OMS para los indicadores del promedio horario, el móvil de ocho horas y el de 24 horas para CO

5.4.7. Categorización de la calidad del aire en la AMM en 2022

La calidad del aire está determinada por su composición. La presencia o ausencia de varias sustancias y sus concentraciones son los principales factores determinantes. Para determinar cómo es la calidad del aire se requieren mediciones para evaluar si el aire está contaminado y en qué magnitud. Una forma de saber cuán limpio está (si tiene pocos contaminantes) y si las personas puedan respirarlo sin que su salud se vea afectada, es compararlo con los valores límite de los principales contaminantes atmosféricos que pueden tener efectos potenciales sobre la población. En México existen las Normas oficiales Mexicanas de Salud Ambiental para cinco contaminantes (O_3 , NO_2 , CO, SO_2 , PM_{10} y $PM_{2.5}$), las cuales ya han sido citadas en las secciones anteriores. Con la finalidad de evaluar la calidad del aire en la AMM, se hizo una clasificación de buena, regular y mala calidad; estas categorías se definen para cada contaminante que tiene NOM de la siguiente manera:

- **Buena:** el valor de concentración se ubica entre el cero y la mitad del valor límite de la NOM.
- **Regular:** el valor de la concentración se ubica entre la mitad y el valor límite de la NOM.
- **Mala:** el valor de la concentración rebasa el valor límite especificado en la NOM.

Se utilizaron los datos del año 2022 y se categorizó, tal como se mostró anteriormente, tomando en cuenta las NOM vigentes en 2022 (Tabla 31 y Figura 59).

Tabla 31. Categorías de calidad del aire para cada contaminante y límites

Categoría	Buena	Regular	Mala
O_3 (1 h), ppb	≤ 45	$>45 - \leq 90$	> 90
O_3 (8 h), ppb	≤ 32.5	$>32.5 - \leq 65$	> 65
PM_{10} (24 h), $\mu g/m^3$	≤ 35	$>35 - \leq 70$	> 70
$PM_{2.5}$ (24 h), $\mu g/m^3$	≤ 20.5	$>20.5 - \leq 41$	> 41

Categoría	Buena	Regular	Mala
NO ₂ (1 h), ppb	≤ 53	>53 - ≤106	> 106
SO ₂ (1 h), ppb	≤ 37.5	>37.5 - ≤75	> 75
SO ₂ (24 h), ppb	≤ 20	>20 - ≤40	> 40
CO (1 h), ppm	≤ 13	>13 - ≤26	> 26
CO (8 h), ppm	≤ 4.5	>4.5 - ≤9	> 9

Calidad del aire

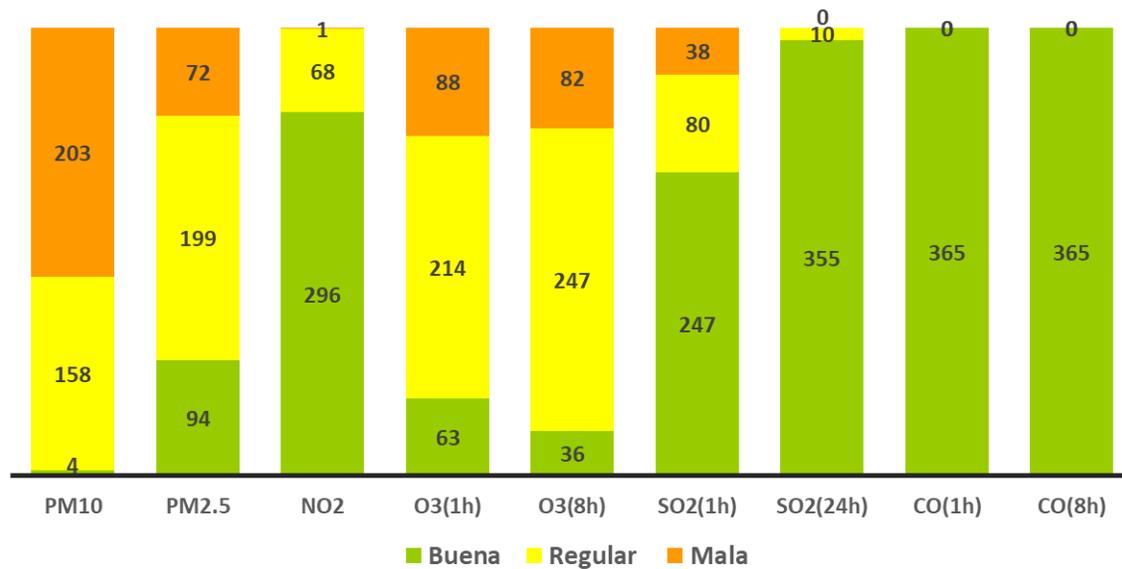


Figura 59. Número de días con categoría buena, regular o mala calidad del aire para el Área Metropolitana de Monterrey por contaminante e indicadores

5.4.8. Conclusiones de análisis de calidad del aire

El análisis realizado en este capítulo muestra la evolución y comportamiento de los contaminantes criterio, así como su impacto en la calidad del aire del AMM. Algunas de las conclusiones que se pueden mencionar son:

1. La red de monitoreo presenta una **amplia cobertura**. Tiene 15 estaciones de monitoreo que miden todos los contaminantes y los parámetros meteorológicos, excepto la de Pesquería que no mide PM_{2.5}; esto asegura la cobertura del área urbana y las zonas de expansión de la mancha urbana.
2. Resulta fundamental y urgente una validación histórica para ajustar los datos de la red de monitoreo, por cuanto la reseña de los gases (NO_x, NO₂, NO, SO₂, O₃ y CO) requieren **ajuste de la línea base** previo a su análisis, con lo cual se podrán emitir conclusiones acertadas sobre lo que está ocurriendo en la AMM.

3. Sobre el **dióxido de azufre**, la mayor parte son emisiones provenientes de la **refinería** de Cadereyta con el 96%. Las concentraciones más altas se registran en la estación cercana a la refinería (Cadereyta (SE3)). El cumplimiento de los valores límite de la NOM indica que hay problemas en la AMM asociados a este contaminante, por cuanto solo cuatro sitios cumplen con los valores establecidos en la normativa. De hecho, en 2022 se presentaron 40 días con valores por arriba del límite de una hora de 0.075 ppm. Hay días del año en los que el impacto de las emisiones en la calidad del aire es mayor debido a las condiciones de estabilidad atmosférica que no permiten la dispersión de las emisiones. El comportamiento mensual y por día de la semana no muestra una diferencia significativa, solo en julio que se incrementa en 2 ppb la concentración promedio de SO_2 , lo cual debe analizarse en detalle; esto puede indicar que la fuente de emisión principal del gas no tiene cambios entre los días laborables y los fines de semana, ni durante el año. Es necesario el compromiso de todos los niveles de gobierno (Municipal, Estatal y Federal) en las medidas de control de las fuentes de emisión para reducir la contaminación.
4. Las partículas tienen un impacto en la salud muy importante, por lo que es prioritario reducir la emisión de estas. Para el 2022 no se cumple con los límites de la NOM, tanto para PM_{10} como $PM_{2.5}$. Las estrategias de control deben estar enfocadas en reducir las emisiones para lograr cumplir con los valores límite y proteger la salud de la población. Debe haber especial énfasis en las $PM_{2.5}$ por su elevada composición de origen secundario, lo cual conlleva a elaborar estrategias de control más complejas y eficientes en el control de los COV y otros contaminantes primarios que tienen transformaciones químicas, como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno. La tendencia de las PM_{10} muestra decremento en la mitad de las estaciones con tendencia significativa, lo cual es un indicativo positivo, pero deben seguir los esfuerzos para que esta tendencia sea generalizada. Es importante asegurar la medición del $PM_{2.5}$ por su impacto en la salud; para ello se requiere contar con los recursos necesarios que garanticen datos suficientes y de calidad que permitan el mejor análisis tendencial en el AMM. El control de las partículas finas también debe tomar en cuenta la emisión por la preparación de alimentos en vía pública, quema de biomasa por incendios, la emisión del escape de los vehículos y la reducción de la quema de pirotecnia.
5. El ozono, como lo mencionan varios estudios y lo observado en este capítulo, es sensible a COV en el aire del AMM. Se encontró un incremento en el O_3 a pesar de las medidas que se aplicaron para reducir los NO_x , lo cual modificó la relación COV/ NO_x provocando una mayor abundancia de los primeros. Es necesario enfocar los esfuerzos de reducción de los precursores del O_3 en los COV. En función de ello, es importante checar las emisiones evaporativas de la AMM y el control de las emisiones en las estaciones de servicio; estas son fuentes que requieren especial atención. Los hallazgos de este capítulo y las investigaciones realizadas muestran que se deben atender ciertas particularidades de la reactividad atmosférica en zonas del territorio metropolitano y priorizar sobre las fuentes de los COV que sean más reactivos.
6. Con respecto al NO_2 , se presenta mayor concentración cerca de vialidades, confirmándose su relación con las fuentes móviles, tanto de forma espacial como temporal. La calidad de los datos históricos es muy pobre, requiere de ajustes de línea base y no hay continuidad en la mayoría de las estaciones, por lo que hay limitaciones al momento de evaluar a este contaminante y el impacto de las medidas de control.
7. En el caso del CO se requiere una intervención mayor para ajustar los datos, por cuanto tienen problemas en su variabilidad como consecuencia de la línea base; resulta urgente una validación

histórica. Este es un contaminante importante para conocer la evolución de las emisiones de las fuentes móviles y de la emisión de contaminantes primarios.

8. La calidad del aire del AMM, y de acuerdo con la actualización de las NOM, presenta como principales problemas de contaminación al material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), O_3 , SO_2 y NO_2 .
9. Hay varias oportunidades de trabajo en la red de monitoreo del AMM. Se cuenta con una red importante, pero es necesario mejorar y garantizar la precisión y exactitud de la información que se genera. Para ello, es necesario asegurar los recursos financieros suficientes, así como la adecuada cantidad y capacidad del talento humano.

5.4.9. Recomendaciones

En esta sección se resumen las principales **recomendaciones** que se mencionaron en los puntos anteriores:

- Contar con **personal técnico suficiente** dedicado exclusivamente al SIMA. Para operar la red en las condiciones actuales se recomienda incrementar el personal de la siguiente manera: cuatro técnicos de campo, dos analistas de datos, un meteorólogo instrumentista y dos técnicos para el laboratorio de mantenimiento, un responsable de calidad, un coordinador de actividades de campo, un responsable de la validación de datos, un experto en comunicación para el manejo de redes sociales y la estrategia de difusión.
- Se requiere la **calibración** continua de los equipos de monitoreo.
- **Programa de capacitación continua**, incluyendo la capacitación en validación de datos. Sin una buena validación de los datos se pueden generar análisis e interpretaciones equivocadas.
- **Fortalecer los vínculos con otras ciudades** del país para intercambiar experiencias y obtener capacitación.
- Instalar al menos una **estación de depósito atmosférico** con el objetivo de evaluar el impacto de las fuentes de emisión cuando se convierten a sulfatos o nitratos y evaluar la acidez de la lluvia; con estas mediciones también se ven los resultados de las medidas de control. Se debe garantizar el presupuesto para operar este tipo de sitios que requieren de análisis químico en laboratorio y para ello se puede necesitar un convenio con alguna universidad que cuente con el equipo y materiales necesarios, así como personal que pueda hacerse cargo de las campañas que deben hacerse cada ocho días sin fallar durante la época de lluvias.
- **Realizar una modelación de las emisiones de la refinería** para ver el impacto en el AMM.
- Ampliar los **estudios de caracterización de partículas y de la química atmosférica**.
- **Realizar un estudio de la representatividad espacial de las estaciones** para evaluar si las mediciones que realizan son de fuentes locales o de la mezcla de la atmósfera, así como definir los objetivos de monitoreo de cada sitio/estación con base en la representatividad de los lugares de medición. En caso de ser necesario, reubicar algunas estaciones o modificar la toma de muestra, según sea el caso y los resultados del estudio.
- **Dar mantenimiento a las casetas de monitoreo e incluir sistemas de seguridad**, debido a que algunas presentan riesgos altos para el personal operativo y también peligro de robo o de daño a los equipos que allí se encuentran.
- **Establecer una bodega** para el material que se encuentra en las casetas de monitoreo, por cuanto este no permite la buena operación de los equipos de medición y son un riesgo de incendio.

- **Mayor difusión de la calidad del aire** a través de distintas plataformas, incluyendo el desarrollo de una aplicación para teléfonos móviles. La gente debe conocer dónde puede consultar la información oficial de calidad del aire y las recomendaciones para proteger su salud, para ello la información que se genera debe ser confiable y se requiere de personal para asegurarlo.
- **Programa de sensibilización de los servidores públicos** de los municipios, así como coordinación en las acciones para el control de emisiones a nivel municipal, estatal y federal.

5.5. IMPACTOS Y EFECTOS EN SALUD Y AMBIENTE ASOCIADOS A LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

El 99% de la población mundial vive en lugares donde se superan los niveles de contaminantes del aire recomendados por la Organización Mundial de la Salud (2021c) para proteger la salud de las personas. La contaminación atmosférica ocupa el cuarto lugar como factor de riesgo de muerte prematura a nivel global, después de presión arterial alta, tabaquismo y dieta poco saludable (HEI, 2020), y es el riesgo ambiental que más impacta a la salud de la población (OMS, 2014).

De acuerdo al estudio de la Carga Global de la Enfermedad (GBD, por sus siglas en inglés), cada año ocurren casi 7 millones de muertes prematuras atribuibles a la contaminación de aire. Alrededor de 4.5 millones de estas muertes se asocian a la contaminación atmosférica extramuros, de las cuales más del 90% se atribuyen a la exposición a partículas finas (PM_{2.5}) (HEI, 2020; OMS, 2021a). Por otro lado, se estiman más de 2 millones de muertes anuales por la contaminación del aire intramuros principalmente por el uso de biomasa en los hogares. El costo estimado de estos impactos para el año 2018 fue de \$2.9 trillones de dólares al año u \$8 billones de dólares al día (OMS, 2020).

En el caso de América Latina y el Caribe se estiman más de 200 mil muertes atribuibles a la contaminación del aire. El 70% de ellas se asocia a la contaminación atmosférica extramuros por PM_{2.5} y el 27% a la contaminación intramuros. Mientras que, para México, la contaminación del aire representa la novena causa de muerte, con más de 48 mil muertes atribuibles, de las cuales 75% se asociaron a la exposición a PM_{2.5} y 5% a la exposición a ozono en el aire de extramuros, además de un 20% asociadas a la contaminación intramuros (HEI, 2020; IHME, 2020).

Finalmente, la estimación de mortalidad atribuible a la exposición cónica a PM_{2.5} más reciente de la que se tiene conocimiento para el AMM (2015), indica que al menos 1,200 muertes prematuras se atribuyen a la contaminación del aire (Trejo et al., 2019). Esto se debe a que, en dicho año, el AMM no cumplió con el valor límite permisible de la Norma Oficial Mexicana de Salud Ambiental ni con la Guía de Calidad del Aire (GCA) de la OMS vigentes en su momento para dicho contaminante.

En este sentido, la OMS (2018a) estableció como meta a 2030 reducir en dos terceras partes la mortalidad prematura por contaminación del aire en el mundo. Asimismo, en 2015, 193 países, incluido México, adoptaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, la cual incluye tres objetivos que hacen referencia a la contaminación del aire con metas al 2030 y que están bajo el resguardo de la OMS: el Objetivo 3 Salud y Bienestar, sobre la reducción sustancial del número de muertes y enfermedades causadas por la contaminación del aire ambiente y doméstico; el Objetivo 7 Energía Asequible y No Contaminante, prevé garantizar el acceso universal a combustibles y tecnologías limpias en los hogares; y el Objetivo 11 Ciudades y Comunidades Sostenibles, busca disminuir los niveles de partículas finas (PM_{2.5}) en las ciudades. El estado de Nuevo León fue uno de los primeros en el país en crear una comisión estatal para la puesta en marcha de esta Agenda y alineó su Plan Estratégico para el Estado de Nuevo León 2015-2030 “Nuevo León Mañana” a los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Gobierno de Nuevo León, 2022b).

Por otro lado, la contaminación del aire tiene efectos más allá de la salud humana, afecta a los ecosistemas naturales, los cultivos agrícolas, el patrimonio cultural que incluye las edificaciones históricas, esculturas, sitios arqueológicos, entre otros, además de la infraestructura de las ciudades. Esto, a su vez, puede impactar los servicios ambientales de la región, la productividad del campo, la industria del turismo y otros.

Asimismo, el cambio climático fue declarado por la OMS (2021c) como la mayor amenaza para la salud que enfrenta la humanidad. La contaminación del aire y el cambio climático están estrechamente vinculados: además de compartir fuentes de emisión, varios de los contaminantes tienen un impacto en el clima, y el cambio climático, a su vez, incrementa la contaminación del aire (Keswani et al., 2022). En este sentido, mejorar la calidad del aire protegerá la salud y beneficiará los esfuerzos para combatir el cambio climático.

Finalmente, también hay que tomar en cuenta el contexto de la pandemia por COVID-19. Distintos estudios muestran que existe una mayor incidencia y un mayor riesgo de mortalidad y morbilidad por COVID-19 en ambientes contaminados (Félix-Arellano et al., 2020; López-Feldman et al., 2021; Wu et al., 2020). Esto refuerza la necesidad de implementar medidas para mejorar la calidad del aire como un elemento clave en las políticas de salud pública.

En este capítulo se describen, en primer lugar, los efectos a la salud de los contaminantes criterio, que incluye la descripción de los grupos de población vulnerable, los mecanismos fisiopatológicos a través de los cuales los contaminantes del aire dan lugar a la enfermedad o a la muerte y los efectos en salud específicos por contaminante, así como los resultados de estudios desarrollados en México y en el AMM. Se muestra, también, la evaluación de la evidencia empleada para actualizar los estándares de calidad del aire de los Estados Unidos y los estimadores de efecto utilizados para actualizar las GCA OMS (2021b). Posteriormente, se presentan las evaluaciones de riesgo a la salud realizadas para el AMM, junto con una actualización de dichas estimaciones para el año 2019 como línea base del presente PIGECA. Por último, se describen los impactos que tiene la contaminación del aire en los ecosistemas naturales, en los cultivos y en la infraestructura urbana.

5.5.1. Efectos de la contaminación del aire en la salud

Cada vez existe mayor evidencia científica de los múltiples efectos en salud asociados a la exposición a la contaminación del aire afectando a diferentes partes del cuerpo humano (Figura 60) (Keswani, et al., 2022; OMS, 2021b). La muerte prematura y, por tanto, la disminución de la esperanza de vida de las personas, es de los efectos a la salud más graves de la contaminación del aire. La OMS (2021a) estima que casi el 60% de las muertes asociadas a la contaminación atmosférica se deben a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, el 18% a enfermedades pulmonares obstructivas crónicas e infecciones respiratorias agudas, y el 6% a cáncer de pulmón.



Figura 60. Partes del cuerpo afectadas por la contaminación del aire

Fuente: Bishop (2022).

Sin embargo, la muerte es solo la punta del iceberg (Figura 61). Los efectos adversos de la contaminación del aire incluyen afecciones respiratorias, cardiovasculares, reproductivas, neurológicas, metabólicas, cáncer, entre otras, las cuales inciden negativamente en la calidad de vida de las personas, reducen los años de vida saludable y pueden dar lugar a un incremento en el uso de medicamentos, en el número de consultas médicas, visitas a urgencias y admisiones hospitalarias. Esto genera no solo gastos en salud, sino también ausentismo escolar y laboral, que se traduce en un costo importante para las familias, la sociedad y el gobierno (IARC, 2016; Keswani et al., 2022; US EPA, 2020, 2022a).



Figura 61. Efectos a la salud por la contaminación del aire de acuerdo a la magnitud y a la severidad de los efectos

Fuente: US EPA (2022a).

- **Población vulnerable**

La contaminación del aire afecta a todas las personas en todas las etapas de la vida, sin embargo, el mayor riesgo a la salud se presenta en las y los niños, las mujeres embarazadas, los adultos mayores y las personas con enfermedades cardiovasculares y pulmonares preexistentes (Royal College of Physicians, 2016; US EPA, 2022g).

La gestación, la infancia y la niñez temprana son de los momentos más vulnerables de la vida porque el cuerpo, incluidos los pulmones y el cerebro, están en desarrollo, siendo más susceptibles a la inflamación y a otros efectos dañinos de los contaminantes. Además, las y los niños respiran más rápido que los adultos, inhalando mayor cantidad de aire por peso corporal y, con ello, mayor cantidad de contaminantes. Asimismo, tienden a permanecer más tiempo en exteriores realizando actividad física vigorosa. El daño ocasionado en estas etapas tendrá un impacto que permanecerá a lo largo de su vida y que los pone en mayor riesgo de presentar enfermedades crónico-degenerativas (OMS, 2018b). En la Figura 62 se muestran los efectos a la salud que han sido asociados a la exposición a la contaminación del aire durante el desarrollo intrauterino y la infancia.

EFFECTOS A LA SALUD ASOCIADOS A LA EXPOSICIÓN A LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE DURANTE EL DESARROLLO INTRAUTERINO Y LA INFANCIA

1. Parto prematuro y bajo peso al nacer.
2. Retraso en el crecimiento pulmonar y disminución de la función pulmonar.
3. Mayor riesgo de desarrollar asma y de presentar crisis asmáticas.
4. Infecciones respiratorias agudas de vías inferiores incluyendo neumonía.
5. Trastornos en el neurodesarrollo los niños (cognitivo y motor).
6. Trastornos del comportamiento como autismo y trastorno por déficit de atención e hiperactividad.
7. Obesidad y resistencia a la insulina.
8. Cáncer como leucemia y retinoblastoma.
9. Mortalidad infantil.
10. Mayor riesgo de enfermedades del corazón, diabetes e infarto cerebral durante la edad adulta.

Figura 62. Efectos a la salud asociados a la exposición a la contaminación del aire durante el desarrollo intrauterino y la infancia

Fuente: OMS (2018b).

Los adultos mayores se consideran un grupo vulnerable debido a los procesos degenerativos que sufre el cuerpo con la edad, lo que produce menor capacidad para enfrentar los efectos tóxicos de los contaminantes y de responder ante una infección. Además, presentan una mayor prevalencia de enfermedades crónicas del corazón y de los pulmones que pueden agravarse por la exposición a los contaminantes (Ailshire y Brown, 2021).

Las personas que debido a su ocupación permanecen más tiempo en exteriores, como aquellas que trabajan en la construcción o los policías de tránsito, inhalan una mayor dosis de contaminantes, colocándolos en un mayor riesgo de presentar efectos agudos y crónicos por contaminación del aire. Finalmente, las personas y las comunidades con nivel socioeconómico bajo pueden ser más vulnerables a la contaminación del aire por diversos factores que incluyen la proximidad a las fuentes de emisión, su condición de salud, desnutrición, estrés, entre otros (US EPA, 2022g).

- **Mecanismos fisiopatológicos**

Los mecanismos fisiopatológicos se refieren a aquellos mediante los cuales los contaminantes del aire dan lugar a la enfermedad o a la muerte. La contaminación del aire es una mezcla compleja de partículas de diferente tamaño y de múltiples componentes gaseosos que penetran en el cuerpo humano principalmente por las vías aéreas. Las partículas, de acuerdo a su tamaño, alcanzan distintas partes del aparato respiratorio: las más grandes se impactan en las vías aéreas superiores afectando las membranas

mucosas de los ojos, la nariz y la garganta, y las más pequeñas alcanzan las zonas más profundas de los pulmones y atraviesan al torrente sanguíneo afectando casi cualquier órgano del cuerpo. En cuanto a los contaminantes gaseosos, el SO₂ es altamente soluble en agua y afecta principalmente los tejidos de las vías aéreas superiores, mientras que el NO₂ y el O₃ son menos solubles e impactan las vías aéreas inferiores (Keswani et al., 2022; OMS, 2021a; Schraufnagel, 2020).

El O₃, NO₂, SO₂ y las partículas son oxidantes potenciales (Cerón-Bretón et al., 2021; Meng, 2003), propiedad que les permite generar un daño a la salud humana. El primer impacto de los contaminantes es en las vías aéreas donde, a través de estrés oxidativo, provocan inflamación, afectan el barrido mucociliar -que es uno de los mecanismos de limpieza del aparato respiratorio-, aumentan la sensibilización alérgica y ocasionan daño pulmonar. Además, los contaminantes del aire afectan a casi todos los sistemas de órganos a través de una interacción compleja de aumento del estrés oxidativo, inflamación sistémica y disregulación inmunitaria. Se ha observado una asociación positiva entre la exposición a partículas, O₃, NO₂ y SO₂ y niveles elevados de proteína C reactiva, fibrinógeno y factor de necrosis tumoral alfa, los cuales son un indicador de inflamación sistémica. Asimismo, la exposición a partículas y NO₂ se ha asociado con un incremento de la actividad del sistema nervioso simpático, lo que puede afectar la función del corazón.

Finalmente, se ha demostrado que la exposición a partículas, O₃, CO y NO₂ puede alterar la metilación del ADN y los patrones de expresión de genes inmunorreguladores; además, se ha identificado que los efectos carcinogénicos de las PM_{2.5} pueden estar relacionados con defectos en la reparación y replicación del ADN (Brook et al., 2010; Hamanaka y Mutlu, 2018; Keswani et al., 2022). Así mismo, investigadores del University College London recientemente presentaron evidencia de que algunas de los cientos de miles de células en los pulmones ya presentan mutaciones potencialmente cancerígenas en su ADN y que solo requieren de un detonador que la haga cancerígena. Este detonador puede ser la interleucina 1 beta (IL-1β), la cual es liberada en los pulmones cuando las personas se exponen a PM_{2.5} (Gallagher, 2022).

Los efectos a la salud por la contaminación del aire resultantes en un individuo dependen de la interacción de los múltiples mecanismos biológicos por los cuales los contaminantes ocasionan un daño en el cuerpo humano, que a su vez están determinados por la exposición aguda y crónica a los mismos, la susceptibilidad genética, las circunstancias socioeconómicas y otros determinantes sociales de la salud, el estilo de vida de cada persona, entre otros.

- **Efectos en la salud por contaminante atmosférico**

A continuación, se presentan las características principales de cada contaminante y los efectos a la salud a los que se ha asociado cada uno.

- a. **Partículas finas (PM_{2.5}) y gruesas (PM₁₀)**

Las partículas son los contaminantes que mayor impacto tienen en la salud de la población y se consideran un contaminante prioritario a atender en el AMM.

El material particulado consiste en una compleja mezcla de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire cuyos componentes principales incluyen sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro de sodio, carbono negro, polvos minerales y agua, pero pueden estar formadas por cientos de productos químicos diferentes.

Las partículas primarias se emiten directamente desde una fuente, como procesos de combustión provenientes de las fuentes móviles y la industria, incendios, sitios de construcción, canteras y procesos de extracción de piedra caliza, resuspensión de polvo, caminos sin pavimentar, entre otros. Por otro lado, las partículas secundarias se forman en la atmósfera como resultado de reacciones complejas de sustancias químicas como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, los cuales son contaminantes emitidos principalmente por las centrales eléctricas, las industrias y los automóviles (Cerón-Bretón et al., 2021; OMS, 2021a; US EPA, 2022c).

El tamaño de las partículas está directamente relacionado con su potencial para causar daño a la salud. Las partículas con un diámetro aerodinámico de hasta 10 micrómetros o menos (PM_{10}) pueden penetrar al tracto respiratorio alto; de estas, las que presentan un diámetro de hasta 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$), es decir 30 veces más pequeño que el diámetro de un cabello, logran penetrar hasta las zonas profundas de los pulmones. Finalmente, las partículas ultrafinas ($PM_{0.1}$) pueden alcanzar los alveolos, pasar al torrente sanguíneo y afectar a la mayoría de los órganos del cuerpo humano (OMS, 2021a; Schraufnagel, 2020; US EPA, 2022c). Asimismo, las partículas ultrafinas pueden penetrar en el cuerpo a través de las barreras olfatoria, gastrointestinal y placentaria, atravesar al torrente sanguíneo y alcanzar los sistemas nervioso central y linfático (Calderón-Garcidueñas y Ayala, 2022).

Por otro lado, estudios toxicológicos muestran que la composición de las partículas es de gran relevancia. Existen ciudades con concentraciones similares de partículas, pero con diferente composición química, lo que podría dar lugar a impactos en salud diferenciados de acuerdo a sus componentes principales, algunos de los cuales son más tóxicos y cancerígenos que otros. De igual modo, la composición de las partículas y, por tanto, sus impactos en salud también pueden variar de forma espacial y temporal en una misma ciudad. Ciertas zonas de una zona urbana pueden presentar mayor concentración de compuestos tóxicos, como carbono negro e hidrocarburos aromáticos policíclicos, que otras, debido a las fuentes de emisión. Por otro lado, de acuerdo a la época del año por la presencia de distintas fuentes de emisión (incendios forestales) y a las condiciones meteorológicas que favorecen la formación de partículas secundarias, ciertos momentos pueden presentar mayor concentración de compuestos tóxicos. En este sentido, es importante monitorear la concentración y también la composición de las partículas, así como sus efectos en salud para apoyar la toma de decisiones (Amador, 2022; De Vizcaya-Ruiz et al., 2006; Jiménez et al., 2009; OMS, 2007).

La exposición a partículas se ha asociado a mortalidad prematura y también a una gran diversidad de efectos en salud. Entre ellos se encuentran los efectos respiratorios que incluyen disminución de la función pulmonar, síntomas respiratorios como irritación de las vías aéreas, tos y dificultad para respirar, desarrollo y exacerbación de asma, exacerbación de enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), infección de vías respiratorias altas y neumonía, e incremento en la incidencia y mortalidad por COVID-19 y cáncer de pulmón (Keswani et al., 2022; OMS, 2021a; US EPA, 2022c).

Asimismo, las partículas se han asociado a efectos cardiovasculares subclínicos como aterosclerosis y disfunción endotelial, y eventos clínicos como angina de pecho, infarto al miocardio, arritmia cardíaca, insuficiencia cardíaca, enfermedad cerebrovascular y tromboembolismo venoso (Cerón-Bretón et al., 2021; Keswani et al., 2022; OMS, 2021a; Ugalde-Resano, 2022; US EPA, 2022c).

Los efectos reproductivos asociados a la exposición a partículas incluyen bajo peso al nacer y parto prematuro (OMS, 2018b); respecto a los efectos neurológicos se ha vinculado con alteraciones en el neurodesarrollo, ansiedad y depresión, demencia, enfermedad de Parkinson y suicidio (Calderón-Garcidueñas y Ayala, 2022; Hurtado-Díaz et al., 2021; Keswani et al., 2022); en cuanto a los efectos

metabólicos se ha ligado a un incremento en el riesgo de desarrollar diabetes y obesidad (Cervantes-Martínez et al., 2022; Keswani et al., 2022; Tamayo-Ortiz et al., 2021); en relación a los efectos del sistema gastrointestinal, se ha asociado a hígado graso y cáncer gástrico y de hígado. Finalmente, se ha vinculado con insuficiencia renal crónica y osteoporosis, aunque para este último no hay resultados concluyentes (Keswani et al., 2022; Pang et al., 2021).

Es importante destacar que para partículas no se ha identificado evidencia de un umbral seguro, por lo que incluso a valores por debajo de las GCA de las OMS podría haber impactos a la salud (OMS 2021a).

b. Ozono (O₃)

El ozono es un contaminante secundario que, como se explicó en la sección 5.4., se forma por las reacciones fotoquímicas entre los óxidos de nitrógeno -emitidos por los vehículos y la industria- y los compuestos orgánicos volátiles -emitidos por los vehículos, los disolventes y la industria-, en presencia de radiación solar.

La exposición a ozono puede dar lugar a síntomas como irritación de ojos, nariz y garganta, tos y secreción nasal; exacerba los síntomas en personas con enfermedades pulmonares como asma, enfisema y bronquitis crónica, lo que incrementa las visitas a urgencias; reduce la función pulmonar y hace a las personas más susceptibles a infecciones de vías aéreas superiores y neumonías. Asimismo, en personas con asma expuestas a altos niveles de ozono se ha observado una mayor probabilidad de desarrollar una enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), dando lugar a un peor pronóstico. Finalmente, la exposición a este gas también se ha relacionado con aterosclerosis e hipertensión, artritis reumatoide y mortalidad prematura (Cerón-Bretón et al., 2021; Keswani et al., 2022; OMS, 2018, 2021a; US EPA, 2022c).

c. Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Las principales fuentes de emisiones antropogénicas de NO₂ son los procesos de combustión provenientes de las fuentes móviles, la industria y la generación de electricidad, según el inventario de emisiones del año 2018. La exposición a este contaminante se ha asociado a la exacerbación de enfermedades respiratorias, como el asma, lo que incrementa la ocurrencia de síntomas respiratorios (tos, sibilancias y dificultad para respirar), admisiones hospitalarias y visitas a urgencias. La exposición crónica a este contaminante puede contribuir a la disminución de la función pulmonar, al desarrollo de asma, al incremento de la susceptibilidad a las infecciones respiratorias, al incremento en la incidencia y mortalidad por COVID-19, así como a una mayor incidencia de alergia al polen (Cerón-Bretón et al., 2021; Keswani et al., 2022; OMS, 2018b, 2021a; US EPA, 2022e). Igualmente, se ha asociado al desarrollo de aterosclerosis y a hipertensión arterial, a infarto agudo al miocardio, a un mayor riesgo a desarrollar diabetes, insuficiencia renal crónica, cáncer gástrico y hepático, y a mortalidad prematura (Keswani et al., 2022).

Es importante mencionar que, además de sus efectos directos en la salud, el NO₂ contribuye a la formación de contaminantes secundarios como PM_{2.5} y O₃, los cuales también son dañinos para el ser humano.

d. Dióxido de azufre (SO₂)

El SO₂ puede ingresar y dañar las vías aéreas dando lugar a síntomas respiratorios como tos y secreción nasal, exacerbación de asma y bronquitis crónica, alveolitis e insuficiencia respiratoria. La exposición a este contaminante reduce la función pulmonar y hace a las personas más propensas a contraer

infecciones de vías respiratorias. Las personas con asma, especialmente los niños, son más sensibles a estos efectos. Por otro lado, el dióxido de azufre se ha asociado a un incremento en los ingresos hospitalarios y en la mortalidad por enfermedad cardíaca como infarto al miocardio y, aunque no hay resultados consistentes, también se ha relacionado al desarrollo temprano de colitis ulcerativa (Cerón-Bretón et al., 2021; Keswani et al., 2022; OMS, 2021a; US EPA, 2022b).

Es importante mencionar que, además de sus efectos directos en la salud, al igual que el NO₂, el SO₂ contribuye a la formación de partículas secundarias, las cuales son perjudiciales para el ser humano.

e. Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro que puede ser dañino cuando se inhala en grandes cantidades. Esto es raro que ocurra al aire libre, cuyas fuentes de emisión principales son los procesos de combustión provenientes de los vehículos y de cualquier maquinaria que queme combustibles fósiles. En aire intramuros sí se llegan a alcanzar altas concentraciones por el uso de calentadores de queroseno y de gas sin ventilación, así como chimeneas y hornos con fugas (US EPA, 2022f).

El CO tiene una fuerte capacidad de unirse a la hemoglobina y su inhalación produce hipoxia en el ser humano. Respirar aire con una alta concentración de CO reduce la cantidad de oxígeno que puede transportarse en el torrente sanguíneo a órganos críticos como el corazón y el cerebro, y puede causar mareos, confusión, pérdida del conocimiento y la muerte, especialmente en personas con alguna enfermedad del corazón (Cerón-Bretón et al., 2021; US EPA, 2022f).

La exposición a CO también se ha asociado a infecciones respiratorias y a insuficiencia renal crónica (Keswani et al., 2022).

5.5.2. Morbilidad y mortalidad en el Área Metropolitana de Monterrey

Como se mencionó en la sección anterior, cada vez existe mayor evidencia científica de los múltiples efectos en salud asociados a la contaminación del aire. Las principales causas de morbilidad en las jurisdicciones sanitarias del Área Metropolitana de Monterrey en el año 2019 se presentan en la

Tabla 32. En ella se identifican ocho padecimientos que en diversos estudios se han asociado con la exposición a contaminantes atmosféricos. Estas incluyen a las infecciones respiratorias agudas, que son la causa número uno de enfermedad y comprenden más del 60% de los casos que ocurren anualmente en el AMM, y otras enfermedades respiratorias como la influenza, la neumonía y el asma. Asimismo, dentro de esta lista se encuentran diversas enfermedades crónicas como la obesidad, la diabetes, la hipertensión y la depresión que también se han asociado con la contaminación del aire y que, además, las personas que padecen estas enfermedades son más vulnerables a los efectos de la contaminación del aire. Será importante desarrollar un sistema de vigilancia de los efectos en salud por contaminación del aire para el AMM con el objetivo de estimar el número de casos que se atribuyen a la contaminación atmosférica.

Tabla 32. Veinte principales causas de morbilidad en jurisdicciones sanitarias del Área Metropolitana de Monterrey ocurridas en el año 2019

Lugar	Padecimiento	CIE-10	Total de casos	Tasa*	Porcentaje
1	Infecciones respiratorias agudas	J00-J06, J20, J21 excepto J02.0 y J03.0	1,194,349	24,518.4	61.7%
2	Infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas	A04, A08-A09 excepto A08.0	203,723	4,182.2	10.5%
3	Infección de vías urinarias	N30, N34, N39.0	144,550	2,967.4	7.5%
4	Conjuntivitis	H10	51,976	1,067.0	2.7%
5	Úlceras, gastritis y duodenitis	K25-K29	46,539	955.4	2.4%
6	Gingivitis y enfermedad periodontal	K05	43,378	890.5	2.2%
7	Otitis media aguda	H65.0-H65.1	36,918	757.9	1.9%
8	Obesidad	E66	36,146	742.0	1.9%
9	Hipertensión arterial	I10-I15	26,630	546.7	1.4%
10	Diabetes mellitus tipo 2	E11-E14	18,363	377.0	0.9%
11	Asma	J46	13,894	285.2	0.7%
12	Vulvovaginitis	N76	12,066	247.7	0.6%
13	Insuficiencia venosa periférica	I87.2	10,083	207.0	0.5%
14	Escabiosis	B86	9,062	186.0	0.5%
15	Influenza	J09-J11	7,588	155.8	0.4%
16	Quemaduras	T20-T32	7,236	148.5	0.4%
17	Varicela	B01	6,800	139.6	0.4%
18	Neumonías y bronconeumonías	J12-J18 excepto J18.2, J13 y J14	5,137	105.5	0.3%
19	Depresión	F32	4,130	84.8	0.2%
20	Hiperplasia de la próstata	N40	3,991	81.9	0.2%

*Décima edición de la Clasificación Internacional de Enfermedades de la OMS Internacional de Enfermedades.

Fuente: García (2023), citando a Sistema Único Automatizado de Vigilancia Epidemiológica (SUAVE, 2019).

Por otro lado, entre las principales causas de **mortalidad** en el AMM que ocurrieron en el año 2019 (Tabla 33), al menos 13 se han asociado a la exposición a contaminantes del aire -incluyendo las seis causas que encabezan la lista-, y que comprenden alrededor del 70% de las muertes en la región. Estas incluyen enfermedades cardiacas y cerebrovasculares, cáncer, diabetes mellitus, infecciones y enfermedades respiratorias como neumonía y enfermedad pulmonar obstructiva crónica, enfermedades del hígado y riñón, y trastornos cerebrales. En la sección de Evaluaciones de riesgo en salud en el AMM del presente Capítulo, se realiza una estimación de qué porcentaje de las muertes por causas naturales y por causas específicas se atribuyen a la contaminación del aire en el AMM.

Tabla 33. Veinte principales causas de defunción ocurridas en el Área Metropolitana de Monterrey en el año 2019

Lugar	Principales causas	Total de casos**	Tasa por 100,000 hab.	Porcentaje
1	Enfermedades del corazón	6,043	120	22.9%
2	Tumores malignos	3,818	76	14.5%
3	Diabetes mellitus	2,658	53	10.1%
4	Neumonía e influenza	1,790	35	6.8%
5	Enfermedades cerebrovasculares	1,497	30	5.7%
6	Enfermedades del hígado	1,080	21	4.1%
7	Accidentes	984	19	3.7%
8	Agresiones (homicidios)	837	17	3.2%
9	Insuficiencia renal	820	16	3.1%
10	Enfermedades pulmonares obstructivas crónicas	491	10	1.9%
11	Ciertas afecciones originadas en el período perinatal*	391	5	1.5%
12	Malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosómicas*	318	4	1.2%
13	Lesiones autoinfligidas intencionalmente (suicidios)	281	6	1.1%
14	Infecciones de la piel y del tejido subcutáneo	186	4	0.7%
15	Enfermedad por virus de la inmunodeficiencia humana	185	4	0.7%
16	Sepsis	181	4	0.7%
17	Enfermedad de Alzheimer	175	3	0.7%
18	Demencia	140	3	0.5%
19	Tuberculosis pulmonar	129	3	0.5%
20	Desnutrición y otras deficiencias nutricionales	115	2	0.4%

*Tasas por 1000 nacimientos.

**Según residencia habitual del fallecido.

Fuente: García (2023); citando a DGIS, Cubo de Principales Causas de Defunción según Lista Mexicana 1998-2021, Plataforma del SINAC (2019), Cubo de Poblaciones (2018) y CONAPO (2015).

5.5.3. Estudios nacionales e internacionales en salud que incluyen información de México y/o de alguna de sus ciudades

Existen múltiples estudios realizados en México sobre contaminación del aire y efectos en salud que se describen de forma muy breve a continuación. Aunque la mayoría se han desarrollado en la Ciudad de México, son relevantes al momento de abordar la gestión de la calidad del aire y sus impactos a la salud en el AMM, debido a las altas concentraciones de partículas que se alcanzan en la zona.

Gutierrez-Ávila et al. (2018). Estudio que estimó un aumento del 1.22% (IC95% 0.17-2.28) en la mortalidad cardiovascular y del 3.43% (IC95% 0.10-6.28) en la mortalidad cerebrovascular por cada incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2.5}$ en personas de 25 años de edad o más en la Ciudad de México en el período de 2004 a 2013.

Liu et al. (2019). Estudio multicidad que abarcó a 652 ciudades, incluyendo ocho ciudades mexicanas, y que evaluó la asociación entre la exposición aguda a PM y mortalidad. Los autores encontraron un aumento en el riesgo de mortalidad de 0.68% (IC95% 0.59-0.77) para las causas no externas, de 0.55% (IC95% 0.45-0.66) para mortalidad cardiovascular y 0.74% (IC95% 0.53-0.95) para mortalidad respiratoria por cada incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2.5}$ en el promedio móvil de dos días. Para México estimaron un incremento del 1.29% (IC95% 0.53-0.95) en el riesgo de mortalidad por todas las causas.

Ugalde-Resano et al. (2022). Estudio que estimó un incremento significativo en el porcentaje de visitas a urgencias por eventos cardiovasculares por cada incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} (2.8%, 95%CI 0.6–5.0; Lag³ 0-5), de $\text{PM}_{2.5}$ (3.7%, 95%CI 0.1–7.6; Lag0-6), de O_3 (1.1%, 95%CI 0.2–2.0; Lag 0-5), de NO_2 (2.5%, 95%CI 0.3–4.7; Lag0-4) y por cada incremento de 1 mg/m^3 de CO (6.6%, 95%CI 0.3–13.2; Lag0) en la Ciudad de México en el período 2016 a 2019. Se estima que, en total, al menos 10% de las visitas a urgencias por eventos cardiovasculares en la Ciudad de México pueden estar asociadas con la exposición a la contaminación del aire.

López-Feldman et al. (2021). Los autores estimaron los efectos de la exposición aguda y crónica a la contaminación del aire en la probabilidad de morir por COVID-19 en la Ciudad de México y encontraron evidencia de una relación positiva que se incrementa con la edad y que parece estar influenciada principalmente por la exposición crónica a la contaminación.

Tamayo-Ortiz et al. (2021). Estudio que evaluó la asociación entre la exposición a $\text{PM}_{2.5}$ (del año anterior) con la prevalencia de obesidad en la Zona Metropolitana del Valle de México a partir de datos de las Encuestas Nacionales de Salud y Nutrición 2006 y 2012. Los autores encontraron una fuerte asociación en el caso de adolescentes: un incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se asoció con un OR⁴ de 3.53 (95% CI: 1.45, 8.58) y 3.79 (95% CI: 1.40, 10.24) en 2006 y 2012, respectivamente.

Hurtado-Díaz et al. (2021). Estudio que examinó la asociación entre la exposición prenatal a $\text{PM}_{2.5}$ y su efecto en el neurodesarrollo de los niños a los dos años de edad en una cohorte de nacimientos de la Ciudad de México. Los autores encontraron que un incremento de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2.5}$ se asoció con una disminución de la función del lenguaje de -0.38 puntos en la escala de evaluación de desarrollo infantil de Bayley (95% CI: - 0.77, - 0.01). Asimismo, se observó que la exposición en el tercer trimestre del embarazo contribuyó más a la asociación observada.

Calderón-Garcidueñas y Ayala (2022). En el artículo se discute un caso de estudio que consiste en los más de 20 millones de residentes de la Zona Metropolitana del Valle de México quienes están expuestos de forma regular a un promedio anual de $\text{PM}_{2.5}$ mayor a 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En autopsias realizadas en niños y adultos jóvenes se identificaron alteraciones en varios organelos de las células del sistema nervioso que indican enfermedad de Alzheimer, enfermedad de Parkinson y la acumulación de la proteína de unión al ADN TAR (TDP-43). Asimismo, se identificaron nanopartículas (≤ 50 nm de diámetro) ricas en metales (hierro,

³ Lag o retraso en español, se refiere al número de días que transcurren entre la exposición y la presencia de los efectos en salud.

⁴ OR (*odds ratio*) o razón de momios, se define como la posibilidad de que una condición de salud o enfermedad se presente en un grupo de población expuesto al riesgo frente a otro que no estuvo expuesto.

aluminio y titanio), cuya fuente se ha asociado a los procesos de combustión y a la fricción durante el frenado de los vehículos. Dichas nanopartículas son reactivas y tóxicas para las células y podrían actuar como catalizadoras en la formación de especies reactivas de oxígeno, alterar la señalización celular, afectar el plegamiento de las proteínas, dar lugar a su agregación y a la formación de fibrillas que son características de las enfermedades neurodegenerativas como la enfermedad de Alzheimer.

Cervantes-Martínez et al. (2022). Estudio que estimó la asociación entre la exposición a $PM_{2.5}$ y a NO_2 y la incidencia de diabetes tipo 2 en una cohorte de maestras en la Zona Metropolitana del Valle de México. Los autores encontraron un incremento del 72% (HR = 1.72 [1.47–2.01]) por cada incremento de $10 \mu g/m^3$ de $PM_{2.5}$ y del 52% por cada incremento de 10 ppb de NO_2 (HR = 1.52 [1.37–1.68]).

5.5.4. Estudios nacionales e internacionales en salud que incluyen datos del Área Metropolitana de Monterrey

Es importante destacar que existen estudios internacionales y locales con resultados interesantes y de gran utilidad para entender los impactos de la contaminación del aire en la salud de la población del AMM y que se describen brevemente a continuación.

Romieu et al. (2012). El Estudio de Salud y Contaminación del Aire en Latinoamérica (ESCALA) es un estudio de series de tiempo que evaluó la asociación entre la exposición aguda a PM_{10} y el O_3 , y la mortalidad por causas generales y específicas. Considerando las ciudades evaluadas, se encontró que cada incremento de $10 \mu g/m^3$ de PM_{10} se asocia con un aumento del riesgo de morir por causas generales del 0.77% (IC 95%: 0.60 a 1.00%). Al considerar únicamente a la Ciudad de Monterrey, el riesgo fue de 1.01% (IC 95% 0.83-1.20). Por otro lado, en el caso de ozono, un incremento de $10 \mu g/m^3$ mostró un aumento en la mortalidad en Monterrey del 0.73% (IC 95%: 0.56 a 0.90%).

Santos-Guzmán et al. (2014). Los investigadores determinaron los niveles de plomo (Pb) en sangre en niños escolares de 1998 y 2008. Encontraron que, en promedio, los niveles de Pb de niños en 2008 fueron 2.1 veces menores después de 10 años, al pasar de una concentración promedio de $9.57 \mu g/dL$ a $4.5 \mu g/dL$. El límite máximo permisible de Pb en sangre en México es de $10 \mu g/dL$ (NOM-199-SSA1-2000). Esta disminución se asocia a mejores controles ambientales e industriales, donde la eliminación del Pb en la gasolina parece ser uno de los más importantes. Sin embargo, se localizaron más valores extremos en la población de 2008 que en la de 1998: once casos presentaron niveles de $25 \mu g/dL$ o mayores, en 1998 ninguno superó el nivel de $25 \mu g/dL$. En este sentido, los autores recomiendan un monitoreo de los niveles de Pb en aire, polvo, tierra, agua y comida, así como un monitoreo de las concentraciones de Pb en población de alto riesgo.

Gasca-Sánchez et al. (2019). Estudio exploratorio que evaluó, a través de distintos métodos, la asociación entre la distribución espacial de los casos de niños con labio y paladar hendido, así como la distribución de las zonas industriales y de la concentración de contaminantes del aire en el AMM. Aunque los resultados no establecen una relación causal, indican una proximidad geográfica entre los casos de labio y paladar hendido, las zonas industriales y los contaminantes del aire, que incluyen PM_{10} , níquel, plomo, mercurio, arsénico, cianuro y dióxido de carbono, algunos de los cuales se asocian a malformaciones congénitas. Para poder estudiar la influencia de los contaminantes en la incidencia de labio y paladar hendido, se requieren mediciones de exposición personal, caracterización de las emisiones de contaminantes de las fuentes y ajustar para diversas variables que pueden influir en la asociación, como tabaquismo, nivel socioeconómico, entre otros.

Vicedo-Cabrera et al. (2020). Investigación que abarcó 496 ciudades, incluyendo siete mexicanas, dentro de las cuales se encuentra Monterrey, y evaluó la asociación entre la exposición aguda a ozono y la mortalidad. Los autores encontraron un aumento en el riesgo de mortalidad en 0.18% (RR 1.0018; IC 95%: 1.0012 a 1.0024) por cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (equivalente a 6 ppb) de incremento en la concentración máxima del promedio de ocho horas de O_3 , mientras que para México se estimó un incremento del 0.08%. Asimismo, estimaron el exceso de muertes anuales en cada una de las ciudades y, en el caso de Monterrey, fue de 45 muertes atribuibles a la exposición a ozono por presentar niveles por encima de la concentración de fondo de las ciudades (70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ o 35 ppb).

Martínez-Muñoz et al. (2020). Es un estudio de series de tiempo para el AMM en el período 2004-2014 en el cual se encontraron asociaciones positivas y significativas entre la exposición a $\text{PM}_{2.5}$ y a $\text{PM}_{2.5-10}$ y la mortalidad diaria. Cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de aumento de $\text{PM}_{2.5}$ incrementó el riesgo de mortalidad por todas las causas (excluyendo las externas) en un 1.42% (0.89-1.94). Los mayores riesgos de mortalidad se observaron en la población de 65 años o más, con un incremento en la mortalidad por causas respiratorias de 5.36% (IC95% 3.56-7.16) (lag 0); mientras que la mortalidad respiratoria en menores de cinco años se incrementó en un 11.16% (IC95% 1.03-21.39). El riesgo de mortalidad asociado con las $\text{PM}_{2.5-10}$ fue menor. El análisis incluyó siete municipios del AMM (Apodaca, Escobedo, Guadalupe, Monterrey, San Nicolás, San Pedro y Santa Catarina), los cuales comprenden una población de 3,463,349 habitantes y contaron con datos de calidad del aire válidos. Este es el primer estudio que evalúa la asociación entre la exposición aguda a $\text{PM}_{2.5}$, $\text{PM}_{10-2.5}$ y la mortalidad diaria por causas no externas, cardiovasculares y respiratorias en el AMM.

Longoria-Rodríguez et al. (2020). Investigación que analizó el contenido de hidrocarburos aromáticos policíclicos en PST y en $\text{PM}_{2.5}$ en el AMM en 2016. Para la estación de Obispedo se estimó el exceso de riesgo de cáncer por inhalación a lo largo de la vida. Se encontró que el valor fue del doble del recomendado por la OMS, pero dos órdenes de magnitud por debajo del límite de riesgo alto, lo cual indica un riesgo moderado a la salud de la población expuesta.

Cerón-Bretón et al. (2021). Estudio de series de tiempo que evaluó la asociación entre la exposición aguda a la contaminación del aire y el número de admisiones hospitalarias por causas generales y específicas en ocho municipios del AMM de 2016 a 2019. La mayoría de los contaminantes que se evaluaron presentaron un incremento en la asociación entre el escenario hipotético de un incremento del 10% en la concentración basal y la morbilidad.

Gasca-Sánchez et al. (2021). Estudio exploratorio que evaluó la asociación entre la distribución espacial de los casos de cáncer de mama y la concentración de contaminantes presente en las distintas zonas del AMM. Los resultados indican que 65% de las personas con cáncer de mama que se incluyeron en el estudio estuvieron expuestas a más de 56 puntos de PM_{10} . Asimismo, se identificaron clúster de hasta 39 casos de cáncer de mama en un radio de 3.5 km de fuentes de contaminación como refinerías, plantas procesadoras de alimentos, de cemento y metales. Este estudio puede servir de plataforma para otras investigaciones clínicas al identificar zonas geográficas que pueden ayudar a centrar los esfuerzos de las políticas sanitarias.

5.5.5. Base científica para la actualización de los estándares de calidad del aire internacionales

La Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (US EPA) realiza una revisión periódica de la evidencia científica de todo tipo de estudios (toxicología animal, epidemiología, ciencias de la exposición, dosimetría, entre otros) para determinar la causalidad entre la exposición a un contaminante y los efectos a la salud. A partir de esta revisión elabora los documentos conocidos como Evaluaciones Integradas de la Ciencia (Integrated Science Assessments - ISA) que sirven de soporte para actualizar los estándares nacionales de calidad del aire (US EPA, 2020).

En la Figura 63 se sintetiza el tipo de relación causal identificada y plasmada en las ISAs entre los efectos a la salud humana y la exposición aguda y crónica a los contaminantes criterio. En ella se indica si la evidencia científica actual sustenta una relación causal, probablemente causal, sugestiva o inadecuada para determinar una relación causal.

Evaluación Integrada de la Ciencia (Integrated Science Assessment US EPA)	Año	2017	2016	2020	2010	2019			
	Contaminante	SO ₂	NO ₂	O ₃	CO	Partículas suspendidas			
		PM _{2.5}	PM _{10-2.5}	Ultrafinas					
Impacto en salud	Mortalidad	Exposición a corto plazo							
		Exposición a largo plazo							
	Respiratorios	Exposición a corto plazo							
		Exposición a largo plazo							
	Cardiovasculares	Exposición a corto plazo							
		Exposición a largo plazo							
	Reproductivos	Exposición a largo plazo	Fertilidad, embarazo y reproducción	Fertilidad, embarazo y reproducción	Fertilidad y reproducción		Fertilidad y reproducción	Fertilidad y reproducción	Fertilidad y reproducción
			Efectos en el parto	Efectos en el parto	Embarazo y parto		Embarazo y parto	Embarazo y parto	Embarazo y parto
			Efectos de desarrollo	Efectos de desarrollo	Efectos de desarrollo		Efectos de desarrollo	Efectos de desarrollo	Efectos de desarrollo
	Cáncer	Exposición a largo plazo							
	Efectos metabólicos	Exposición a corto plazo							
		Exposición a largo plazo							
	Efectos en el sistema nervioso central	Exposición a corto plazo							
		Exposición a largo plazo							

RELACIÓN EPIDEMIOLÓGICA:

- Causal
- Sugestiva
- Poco probable
- Probablemente causal
- Inadecuada
- No evaluada

Figura 63. Determinación de causalidad entre los efectos a la salud humana y la exposición a contaminantes criterio

Fuente: US EPA (2020) y adaptada por SEDEMA (2021).

En la Figura 63 se observa que existe evidencia de una asociación entre los contaminantes criterio y múltiples efectos en salud. La evidencia más fuerte y que apoya una relación causal, ocurre para el caso de PM_{2.5} con mortalidad y efectos cardiovasculares, y para los contaminantes gaseosos O₃, NO₂ y SO₂ con efectos respiratorios.

Por otro lado, la OMS actualiza periódicamente las Guías de Calidad del Aire (GCA) que se refieren a los niveles de contaminantes del aire a partir de los cuales existe evidencia robusta de efectos a la salud. Para ello, solicita el desarrollo de revisiones sistemáticas y de meta-análisis de estudios epidemiológicos que evalúan la relación entre los cambios en concentración de un contaminante (exposición) y el riesgo de

morir, con la finalidad de sintetizar la evidencia y poder ser empleada como sustento para modificar las Guías (OMS, 2021b).

Los estimadores de efecto resultantes de dichos meta-análisis son riesgos relativos (RR) que estiman la magnitud de la asociación e indican la probabilidad de morir o enfermar en el grupo expuesto en relación al no expuesto. Por ejemplo, en el meta-análisis de Chen y Hoek (2020), el RR de exposición crónica a PM_{2.5} para mortalidad por causas naturales es de 1.08 (IC 95% = 1.06-1.09) por cada incremento en el promedio anual de PM_{2.5} de 10 µg/m³. Esto quiere decir que un incremento de 10 µg/m³ está asociado a un aumento del 8% en las muertes por esta causa (con intervalos de incertidumbre del 6 al 9%).

En la Tabla 34 se presentan los riesgos relativos, así como el intervalo de confianza del 95% de los meta-análisis detallados en el documento de las GCA de la OMS (2021b). Todos los RR se refieren a mortalidad, excepto para SO₂ en el cual se evaluaron las admisiones hospitalarias y visitas a urgencias por asma, mientras que para CO se evaluaron las admisiones hospitalarias por infarto al miocardio.

Tabla 34. Riesgos relativos de distintos contaminantes asociados con mortalidad prematura por causas naturales (no externas) provenientes de los meta-análisis utilizados para actualizar las GCA de la OMS 2021

	PM _{2.5}	PM ₁₀	O ₃	NO ₂	SO ₂ **	CO**
Exposición aguda	Promedio 24 h	Promedio 24 h	Máximo diario 8 h	Promedio 24 h	Promedio 24 h	Promedio 24 h
	1.0065 (1.0044–1.0086) Orellano et al. (2020)	1.0041 (1.0034–1.0049) Orellano et al. (2020)	1.0043 (1.0034–1.0052) Orellano et al. (2020)	1.0072 (1.0059–1.0085) Orellano et al. (2020)	1.01 (1.001–1.020) Zheng et al. (2021)	1.019 (1.011–1.027) Lee et al. (2020)
Exposición crónica	Promedio anual	Promedio anual	Promedio de la temporada pico*	Promedio anual		
	1.08 (1.09–1.10) Chen y Hoek (2020)	1.04 (1.03–1.06) Chen y Hoek (2020)	1.01 (1.00–1.02) Huangfu y Atkinson (2020)	1.02 (1.01–1.04) Huangfu y Atkinson (2020)		

Notas: el riesgo relativo es por cada cambio de 10 µg/m³ con un intervalo de confianza del 95%, excepto para CO que es por cada mg/m³.

*Promedio de la temporada pico: se refiere al promedio de la concentración máxima diaria de ocho horas de ozono en los seis meses consecutivos con la mayor concentración de O₃.

**Para SO₂ y CO se evaluaron las admisiones hospitalarias y visitas a urgencias por asma, y las admisiones hospitalarias por infarto al miocardio, respectivamente.

Con base en esta evidencia y a la identificación de riesgos a la salud a concentraciones más bajas que las recomendadas en las GCA de 2005, la OMS hizo más estrictas las guías para la mayoría de los contaminantes. Es importante destacar que, aunque la aspiración final de una ciudad debe ser proveer de un aire que esté por debajo de los valores de las GCA de la OMS, la mayoría de las ciudades en el mundo están lejos de alcanzarlas. Sin embargo, con los RR es posible observar que la reducción de un solo µg/m³ de PM_{2.5} tiene grandes beneficios en salud, razón por la cual los esfuerzos de las ciudades deben enfocarse en asegurar una mejora continua de la calidad del aire.

Los RR, también conocidos como funciones concentración-respuesta (FCR), se emplean para realizar evaluaciones de riesgo en salud (ERS) y estimar la carga de la enfermedad (mortalidad y morbilidad atribuible) por contaminación del aire, además de los beneficios en salud de la implementación de medidas de reducción de emisiones en poblaciones distintas a las de los estudios de origen. A continuación, se describen las ERS.

5.5.6. Evaluación de riesgo en salud

Una evaluación de riesgo en salud (ERS) consiste en la estimación de la magnitud de los efectos adversos a la salud que pueden resultar de la exposición a un peligro en particular (costos), en este caso se refiere a la contaminación atmosférica, o la estimación de los efectos que se podrían evitar (beneficios) con la implementación de políticas públicas para mejorar la calidad del aire (OMS, 2016).

Las ERS son un elemento crítico para la toma de decisiones y el diseño de política pública en materia de calidad del aire y salud (OMS, 2001). Son el punto de partida para actualizar los estándares de calidad del aire de un país y para definir metas en salud y calidad del aire en una ciudad o región, así como para diseñar y evaluar la implementación de los programas de gestión para mejorar la calidad del aire en las ciudades. Por otro lado, los resultados de las ERS son un insumo clave de las estrategias de comunicación sobre calidad del aire y salud de los gobiernos.

Para cuantificar el riesgo se emplean resultados de estudios epidemiológicos (función concentración-respuesta), datos locales de salud, población y calidad del aire de una ciudad o país, además de herramientas digitales como BenMAP-CE (Benefit Mapping and Analysis Program – Community Edition) de la US EPA o AirQ+ de la OMS, los cuales facilitan la realización de dichas estimaciones.

En esta sección se presentan los resultados de ERS que se han realizado en los últimos años para el AMM, así como la estimación de las muertes atribuibles a la contaminación del aire para el año 2019 como línea base para el presente PIGECA. Asimismo, se evaluaron diferentes escenarios para contribuir a la definición de la meta del Plan, entre los cuales se encuentran los siguientes: las muertes evitables de alcanzar el límite máximo permisible de la NOM de salud ambiental y de alcanzar la GCA OMS del 2021 para exposición crónica por $PM_{2.5}$. Es importante recalcar que el valor recomendado por la OMS es más estricto que el límite establecido en la normatividad local y debe considerarse como un escenario ideal. Finalmente, se presenta la valoración económica de dichas muertes, lo cual es de utilidad para la toma de decisiones al momento de comparar con los costos de implementar políticas para mejorar la calidad del aire y proteger la salud de la población.

- **Evaluaciones de riesgo en salud en el AMM**

Se han realizado diversas ERS por contaminación del aire para el AMM con el objetivo de estimar el número de muertes que se podrían evitar con la mejora de la calidad del aire; específicamente se ha evaluado la exposición crónica a $PM_{2.5}$. La más reciente de la que se tiene conocimiento es de Trejo y colaboradores (2019). En ella se estimó que la reducción de $PM_{2.5}$ al valor de la NOM-025-SSA1-2014 ($12 \mu g/m^3$) y al valor GCA OMS 2005 ($10 \mu g/m^3$), en el año 2015, podría evitar al menos 1,200 y 1,400 muertes, respectivamente, en la población de 15 años de edad o más que reside en el AMM, además de generar un ahorro de más 2 mil millones de dólares.

Por otro lado, como parte del ProAire de Nuevo León 2016-2025 se realizó una ERS para el año 2014. En ella se estimó que se podrían evitar al menos 316 muertes en la población de 30 años de edad o más que habita en el AMM si se alcanzara el valor de la NOM-025-SSA1-2014 ($12 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Los autores refieren que los municipios con mayor número de casos de mortalidad fueron Monterrey y San Nicolás de los Garza con el 77% del total, seguido de los municipios de Santa Catarina, Apodaca, General Escobedo y San Pedro Garza García que concentraron el 21% del total. En este caso, la estimación de mortalidad es mucho menor a la obtenida por Trejo et al., (2019), ya que solamente se evaluaron las muertes por enfermedades cardiovasculares, EPOC y cáncer de pulmón; en el caso de Trejo y colaboradores evaluaron mortalidad por causas generales (no externas), además de causas específicas.

5.5.7. Otros impactos de la calidad del aire

Además de los impactos en la salud de la población, los contaminantes del aire tienen efectos negativos sobre los ecosistemas naturales, los cultivos agrícolas, la infraestructura urbana, el patrimonio cultural y la visibilidad, los cuales se describen brevemente a continuación.

- **Ecosistemas naturales**

Las exposiciones a altas concentraciones de ozono, al ser un oxidante, pueden afectar la vegetación y los ecosistemas que son sensibles a este contaminante, como los bosques, los parques nacionales, las áreas naturales protegidas y los refugios de vida silvestre, particularmente cuando están en crecimiento, lo que contribuye a la pérdida de la diversidad de especies y a cambios en los ciclos del agua y de nutrientes. Cuando el ozono ingresa a las hojas de una planta puede reducir la fotosíntesis y la velocidad de crecimiento de la misma, y aumentar el riesgo de presentar alguna enfermedad, de sufrir daños por insectos, por otros contaminantes o por mal tiempo (US EPA, 2022c).

En México, se ha evaluado la afectación de bosques por la exposición a ozono y se ha encontrado que el nivel establecido como crítico para la protección de este recurso en la Unión Europea se superó en 85% de la superficie boscosa de la región centro del país, frecuentemente alcanzando valores que superan en cuatro veces dicho umbral (INECC, 2016). Esto impacta los servicios ambientales que los bosques proveen a la región. Asimismo, el INECC (2016) resalta que en México se han realizado pocas observaciones de ozono y otros compuestos reactivos (como los óxidos de nitrógeno) en medios rurales para evaluar su impacto en el crecimiento y equilibrio entre especies vegetales en distintos ecosistemas, por lo que se considera indispensable el monitoreo rural de oxidantes atmosféricos y del depósito de contaminantes.

En altas concentraciones, los óxidos de azufre (incluido el SO_2), pueden afectar a los árboles y las plantas al dañar su follaje y disminuir su crecimiento (US EPA, 2022b).

Cuando el SO_2 y el NO_2 se combinan con agua para formar ácido sulfúrico y ácido nítrico, los componentes principales de la lluvia ácida, pueden dañar a los ecosistemas naturales y causar deforestación. La lluvia ácida libera el aluminio del suelo que puede ser dañino para las plantas y los animales, y elimina los minerales y nutrientes del suelo que los árboles necesitan para crecer. En zonas de mayor altitud, las nubes y la niebla ácidas pueden quitar los nutrientes del follaje de los árboles, dejándolos con hojas color marrón u hojas muertas. Con esta alteración, los árboles tienen menor capacidad de absorber la luz solar, lo cual los hace débiles y con menor capacidad de soportar temperaturas bajo cero (OMS, 2021a; US EPA, 2022b, 2022e).

El INEGI (2019) publicó un comunicado en donde menciona que la contaminación atmosférica en México representó el mayor costo ambiental en 2018, al ubicarse en 656,779 millones de pesos, equivalente al 2.8% del PIB. Este monto se refiere a los costos ambientales derivados del agotamiento de los recursos naturales y de la degradación del medio ambiente y, por tanto, refleja los gastos en los que tendría que incurrir la sociedad para prevenir o remediar la disminución y pérdida de recursos naturales, así como el deterioro del medio ambiente.

- **Cultivos agrícolas**

Las PM_{2.5} y el ozono pueden dañar los cultivos agrícolas (INECC, 2016; US EPA, 2022d). En México, los estudios que evalúan el impacto de la contaminación atmosférica sobre los cultivos se han llevado a cabo principalmente en el centro del país. De manera especial, se ha evaluado el impacto de la contaminación por ozono sobre los cultivos de maíz y avena que han sido reportados como poco sensible y sensible al ozono, respectivamente, además del frijol y sorgo, los cuales han sido catalogados como altamente sensibles. Los resultados muestran una disminución importante en el rendimiento de los cultivos, con su consecuente impacto económico que se estima en al menos 800 millones de pesos anuales (INECC, 2016).

Los cultivos de amaranto, nopalitos, agave y pulquero son considerados relevantes económicamente y característicos de México; sin embargo, no existe información de su sensibilidad a la exposición a contaminantes para poder evaluar el impacto sobre los mismos y las pérdidas económicas.

- **Daños materiales**

Todos los materiales, incluyendo los recubrimientos de exteriores, las estructuras metálicas (como marcos, puentes y torres de alto voltaje), la piedra y el concreto, se degradan por el uso y por estar a la intemperie. Este deterioro es acelerado por la exposición a contaminantes como ozono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y partículas, los cuales dañan y manchan los materiales, derivando en un mayor gasto de mantenimiento y/o reposición (INECC, 2016; US EPA, 2022b, 2022d, 2022e). Sin embargo, lo más grave es que puede afectar la operación de los equipos y la estabilidad de las estructuras, poniendo en riesgo la seguridad de las personas.

El deterioro acelerado generado por la contaminación del aire también representa una amenaza para el patrimonio cultural, incluyendo monumentos, palacios, iglesias y ruinas arqueológicas, los cuales tienen un valor irremplazable y que, a su vez, impacta a la industria del turismo. Se ha recomendado la elaboración de mapas de afectación para optimizar el uso de recursos para conservación (INECC, 2016).

- **Visibilidad**

Las partículas primarias y secundarias reducen la visibilidad (US EPA, 2022b, 2022d, 2022e), lo que puede tener un impacto negativo en el turismo. Como se mencionó anteriormente, algunas de las partículas secundarias se forman a partir de SO₂ y otros óxidos de azufre, así como de NO₂ y los óxidos de nitrógeno, al reaccionar con otros compuestos de la atmósfera.

5.6. RESPUESTA: POLÍTICAS, PROGRAMAS Y ACCIONES

Como se mencionó previamente, el crecimiento urbano del AMM propicia un aumento en la contaminación atmosférica del área, principalmente por el incremento de la actividad industrial y del aumento en la flota vehicular, además de otras fuentes de emisiones, lo cual desencadena diversos problemas de salud, económicos y ambientales. No obstante, en este territorio se han diseñado e implementado diversos instrumentos que buscan prevenir y controlar la contaminación del aire.

En la presente sección se presentan los planes y acciones que se han generado en el contexto del Estado de Nuevo León y los municipios metropolitanos para mejorar la calidad del aire. Asimismo, se presentan políticas, programas y acciones como antecedentes al presente Programa que han aportado en la generación de acciones para la mejora de la calidad del aire.

5.6.1. Contexto de normativas de calidad del aire en México y Nuevo León

Para llevar a cabo una mejor gestión de la calidad del aire y proteger la salud de la población en general, se ha diseñado un importante marco jurídico nacional. Desde la **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos** se reconoce los derechos a la salud y a un medio ambiente sano para todas las personas, además de existir un compendio de leyes que se diseñaron para garantizar el goce de estos derechos. Dentro de ellas se destaca la **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente (LGEEPA)** que busca propiciar el desarrollo sustentable en México y es la principal norma ambiental del país.

Tal como ocurre en el marco federal, a nivel estatal la actual y reciente **Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Nuevo León** establece los derechos a un medio ambiente sano, así como el deber de conservarlo; derecho al aire limpio; al aprovechamiento de las energías limpias y renovables; a la ciudad sustentable como derecho colectivo; a la movilidad segura, accesible, sostenible, eficiente y de calidad; entre otros. Asimismo, la **Ley Ambiental del Estado de Nuevo León** tiene por objeto “propiciar la conservación y restauración del equilibrio ecológico, la protección al ambiente y el desarrollo sustentable del Estado”, además de contener secciones específicas sobre la prevención y control de la contaminación del aire.

Otra normativa importante es la **Ley de Cambio Climático del Estado de Nuevo León**. En ella se “establece disposiciones para lograr la adaptación al cambio climático, así como la mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero”.

Los detalles del marco legal nacional y estatal vigente se encuentran en la sección inicial del presente documento, por cuanto existen normas adicionales tanto a nivel nacional como estatal.

5.6.2. Antecedentes de la gestión de la calidad del aire en el AMM

Como se ha mencionado previamente, diferentes estudios sustentan la relación entre la mala calidad del aire en México y la muerte de 32 mil personas al año (CEMDA, 2021), mientras que, de acuerdo con el informe de calidad de aire publicado por el INECC (2021), 63 ciudades y zonas metropolitanas en México cuentan con la capacidad para medir PM₁₀, de las cuales solo cinco cumplieron con la norma respectiva, 33 lo incumplieron y en 25 no fue posible llevar a cabo la evaluación por ausencia o insuficiencia de datos.

Para mitigar la contaminación en el país, la SEMARNAT ha impulsado junto con las Secretarías a nivel estatal, como la Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, y otras organizaciones, programas encargados de mejorar la calidad del aire de las ciudades. Un ejemplo clave de estos programas se encuentra en los ProAire que ha implementado en diferentes estados y zonas metropolitanas. En los siguientes párrafos se encuentran los principales instrumentos que han servido de antecedente a la gestión de la calidad del aire en el AMM.

Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey (PACADAMM)

El objetivo principal del programa es proteger la salud de los habitantes del AMM mediante acciones que controlen la contaminación del aire por agentes físicos y químicos (PACADAMM, 2000).

Este programa fue realizado por cuatro sectores en conjunto: educativo, industrial, gubernamental y no gubernamental, denominado “la acción más importante a llevar a cabo dentro de la sección de Contaminación del Aire del Plan Estatal del Medio Ambiente (PACADAMM, 2000). En el programa se evaluaron compuestos principales como óxidos de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, compuestos de azufre, oxidantes fotoquímicos, asbesto, metales y partículas; todos son compuestos que tienen repercusión en la salud humana.

Otro de los principales objetivos fue implementar la Red de Monitoreo Atmosférico en 1992, para generar datos de calidad de aire que tiene como fin informar a la población acerca del IMECA (Índice Metropolitano de Calidad de Aire). Además, planteó objetivos como reducir el porcentaje de días con problemas de calidad de aire, evitar la producción del 30% de las partículas y polvos, el 10% de hidrocarburos y más del 30% de los óxidos de nitrógeno (SEMARNAT, 2002).

Las metas planteadas en el PACADAMM 1997-2000 fueron las siguientes:

- General: reducir el IMECA de 70 puntos a 50 puntos para el año 2000 y, con ello, reducir la operación del Programa de Respuesta de Contingencias Ambientales.
- De corto plazo: revisar, complementar y validar el inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos para 1997.
- De mediano plazo: desarrollar y operar un sistema computarizado que permita la consulta y actualización de dicho inventario para 1998.
- De largo plazo: reducir el número de días con mala calidad de aire de 18% al 11% en 2000.

Para las metas establecidas, previamente se diseñaron estrategias para promover estudios de evaluación e investigación de la contaminación atmosférica, fomentar la educación ambiental; gestionar proyectos y apoyos económicos para el desarrollo de proyectos enfocados a resolver los problemas de contaminación del aire; entre otras, trabajando en conjunto con el Gobierno del estado, la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP, ahora SEMARNAT), instituciones de educación superior, centros de investigación, sector privado, instituciones internacionales, comisiones y otras secretarías con base en 31 acciones encaminadas al objetivo general, resultando en el año 2000 en 35 días con problemas de aire (9.6% del año) y, así, alcanzando una de las metas (SEMARNAT, 2002).

Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Nuevo León (ProAire)

En este programa se han establecido las medidas y acciones que derivan en el cumplimiento de la legislación vigente en cuestión del medio ambiente, presentando seis líneas estratégicas del programa:

- Emisiones de fuentes fijas.
- Emisiones de fuentes móviles.
- Emisiones de fuentes de área.
- Impacto a la salud.
- Educación y comunicación ambiental.
- Fortalecimiento institucional.

Estas líneas buscan establecer acciones de regulación, educación, difusión y sensibilización de la sociedad respecto a la calidad del aire. Cabe señalar que las líneas presentadas fueron el resultado de una consulta de mesas de trabajo en las que intervinieron el sector privado, gobierno y el sector académico (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Secretaría de Desarrollo Sustentable del Gobierno de Nuevo León, 2016).

El objetivo principal del ProAire es reducir las emisiones de contaminantes a la atmósfera, así como revertir las tendencias de deterioro de la calidad del aire, disminuyendo los días en que las concentraciones de contaminantes rebasan las normas, específicamente las PM_{10} , $PM_{2.5}$ y el ozono, mediante medidas y acciones llevadas a cabo por los sectores anteriormente mencionados, las cuales buscan proteger la salud pública y el medio ambiente.

La meta de este programa es reducir un 30% las emisiones contaminantes por parte de industrias y automóviles, llevando a cabo 18 medidas, en las que destacan fortalecer las regulaciones de las fuentes fijas, implementar programas y planes de reducción de contaminación por fuentes fijas, fortalecer el sistema de movilidad sustentable y el programa de contingencias atmosféricas, elaborar un programa de educación en calidad del aire, actualizar el inventario de emisiones, fortalecer el SIMA (Sistema Integral de Monitoreo Ambiental), entre otras.

Con el programa se logrará reducir los compuestos volátiles con sistemas de recuperación de vapores, reforestar en 2025 el 95% de las superficies del AMM, mejor manejo de residuos de construcción, proponer proyectos en materia de salud por exposición a la mala calidad del aire, realizar un sistema en el que se actualice la información de enfermedades presentadas por la mala calidad de aire, campañas de difusión de información de calidad de aire en concreto, lograr que en 2025 el 80% de la población tenga conocimientos en materia de calidad atmosférica, entre otros.

Todas las estrategias planteadas anteriormente se realizarán bajo diferentes fuentes de inversión extranjera, como la Agencia para el Desarrollo Internacional, la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza, el Banco Mundial, el Fondo Mundial para el Medio Ambiente, la Agencia de Protección Ambiental, entre otros. Los inversionistas nacionales pueden ser el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Banobras, Nacional Financiera, entre otras organizaciones (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Secretaría de Desarrollo Sustentable del Gobierno de Nuevo León, 2016).

Estrategia para la calidad del aire de Nuevo León

El gobierno de Nuevo León incorporó en 2017 un nuevo proyecto denominado “Nuevo León Respira” con el objetivo de controlar, mitigar y prevenir las emisiones de contaminantes a la atmósfera, teniendo dos líneas de acción:

- Establecer una estructura operativa adecuada para atender la problemática de la calidad del aire.
- Iniciar con procesos para mejorar la calidad del aire.

Para ello se cuenta con distintas estrategias de mitigación, de las que se destacan:

- La colaboración de los sectores académico y privado para el desarrollo de estudios científicos y evolución tecnológica en materia de calidad de aire.
- Conducir los estudios y evaluaciones para la toma de decisiones y la contribución del desarrollo de ciudades que prioricen la conservación de áreas verdes y áreas naturales protegidas que coexistan con la urbanización.
- Iniciar con procesos de regulación de fuentes emisoras fijas, móviles y de área.
- Desarrollar un organismo gestor de la mejora continua de calidad del aire a través de la elaboración de planes operativos, revisión de marcos regulatorios y el establecimiento de metas y objetivos.
- Identificar la evolución tecnológica que contribuya a mejorar la calidad del aire para adaptarla al AMM.
- Llevar a cabo y mantener actualizado el programa de registro y regulación de fuentes fijas y móviles para identificar emisiones mediante un listado ciudadano.
- Promover el mantenimiento vehicular y establecer programas de regulación de las fuentes móviles clasificadas como: transporte público y privado de carga, público y privado de pasajeros.
- Elaboración y actualización de la normatividad.
- Mejorar la calidad del aire respecto a $PM_{2.5}$ de 36 a 19-24 $\mu g/m^3$ en 2030.

Todas las estrategias anteriores buscan el mismo fin: mejorar la calidad de vida y aire del AMM (Secretaría de Desarrollo Sustentable - Gobierno del Estado de Nuevo León, 2017).

Implementación de la red de monitoreo atmosférico

Fue diseñado como estrategia de control para la contaminación atmosférica del AMM en 1992 y se nombró proyecto SIMA (Sistema Integral de Monitoreo Ambiental). En ese mismo año, fue puesto en marcha por parte de la Secretaría de Ecología. La implementación de las estaciones de monitoreo se llevó a cabo de acuerdo con distintos puntos, como el tamaño de área a monitorear, la meteorología local, la concentración humana, la topografía del lugar y la dispersión de contaminantes. Las estaciones son cabinas cerradas que contienen instrumentación para medir CO_2 , NO_x , SO_2 , O_3 , PM_{10} y $PM_{2.5}$ de manera continua y automática, además de medir parámetros como velocidad y dirección de vientos, temperatura, presión atmosférica, precipitación y radiación solar.

5.6.3. Programas auxiliares en la gestión de la calidad del aire

En 1991 el Gobierno de Nuevo León estableció un **programa de verificación vehicular** con el objetivo de prevenir y controlar las emisiones de contaminantes provenientes de los automóviles. Se establecieron

nueve centros de verificación y una periodicidad de dos veces al año; en 1996 se cambió a una verificación anual para autos particulares.

En el año 2021 se iniciaron las operaciones del **“Programa emergente de vigilancia ambiental de emisiones de fuentes móviles de competencia estatal”**, cuyo objetivo es prevenir, medir y controlar la contaminación atmosférica generada por fuentes móviles. Es un programa piloto de verificación de vehículos para la definición de estrategias de gestión de calidad del aire dirigidos a las fuentes de emisión móviles de la zona metropolitana, además de ser aplicado por la Secretaría de Medio Ambiente y el Instituto de Movilidad y Accesibilidad de Nuevo León. Estos puntos de verificación provisionalmente fueron instalados en Guadalupe, Monterrey y Apodaca (Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, 2021).

Se contó como meta del mencionado programa lograr la revisión de 800 mil a un millón de vehículos por año de operación de las actividades de revisión. En dichas revisiones, por encontrarse en su primera etapa, no se contempla el imponer multas económicas, además de tener un enfoque preventivo y la recomendación de asistencia a un taller para solucionar problemáticas del vehículo que inciden en el deterioro de la calidad del aire.

Los actores clave que estarán sujetos a la aplicación del programa son todos aquellos que inicien el proceso para la expedición y renovación de los permisos, concesiones o autorizaciones de recolección, transporte o tratamiento de residuos de manejo especial; permiso del Servicio Tradicional de Transporte (SETRA) y Servicio de Transporte Metropolitano (SETME); permiso para la prestación de Servicio Auxiliar de Transporte; y concesión para los servicios del SETME, SETRA y Servicios de Taxis.

La siguiente etapa a implementar será de control y se citarán a aquellos que en la fase preventiva tuvieron resultados que excedían los límites máximos establecidos por las NOM. En caso de obtener el mismo resultado, se aplicarán multas a los que no atendieron las recomendaciones en la etapa preventiva (Coel Abogados, 2021).

Programa de respuesta a contingencias atmosféricas (PRCA)

El programa puede definirse como “una serie de estrategias, acciones y procedimientos coordinados entre los municipios, el Estado y la Federación para prevenir, controlar y atender los episodios de altas concentraciones de los contaminantes atmosféricos que exceden los límites máximos permisibles establecidos en las NOM y que se presentan en un periodo de tiempo” sobre el AMM.

El documento contiene generalidades sobre los contaminantes del aire del territorio, los objetivos y las fases del PRCA, el marco jurídico y normativo afín, los criterios para establecer las fases del PRCA, los escenarios de los principales contaminantes. Finalmente, se muestran las acciones a realizar por tipo de fuente y jurisdicción durante y después de cada fase prevista en el PRCA.

5.6.4. La Agencia de Calidad del Aire de Nuevo León

Esta es una dependencia del Gobierno de Nuevo León recientemente creada en 2023, cuyas acciones “están encaminadas a prevenir, controlar y en su caso evitar la contaminación del aire, así como el monitoreo de contaminantes en la atmósfera y su correspondiente registro” (Gobierno de Nuevo León, 2023). De igual modo, parte de sus tareas es la implementación del PIGECA, por lo tanto será el centro de gestión y articulación para su ejecución exitosa. Entre otras tareas específicamente se encuentran:

- Coordinación con dependencias estatales y municipales para la implementación de las diferentes medidas establecidas en los instrumentos previstos para la gestión de la calidad del aire en el estado.
- Colaboración con los actores públicos y privados para el desarrollo de proyectos en materia de calidad del aire.
- Celebrar convenios con la Federación, sus entidades y los municipios.
- Aplicación estatal de los instrumentos en materia de contaminación del aire.
- Monitoreo de la calidad del aire, inventario de emisiones, Programa de Respuesta a Contingencias Atmosféricas e informes de la calidad del aire.
- Autorizaciones, permisos, licencias, entre otros, que deba conceder el gobierno estatal en materia de calidad del aire.

5.6.5. Otros programas que contribuyen en la gestión de la calidad del aire

Aquí se presentan otros programas manejados a nivel gubernamental que también contribuyen con la calidad del aire.

Programa de Acción ante el Cambio Climático Nuevo León (PACC NL 2010-2015)

En este programa participaron diferentes actores e instituciones, como la Embajada Británica, el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores Monterrey (ITESM), el gobierno estatal y federal. Fue elaborado con base en metodología científica y contó con la validación del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de la SEMARNAT. Tiene como objetivo principal identificar y plantear estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, reduciendo la vulnerabilidad y promoviendo un desarrollo sustentable para el estado (Secretaría de Desarrollo Sustentable - Gobierno del Estado de Nuevo León, 2010).

Está compuesto por tres etapas. La primera consiste en la evaluación técnica del proyecto presentando reportes de las cantidades de emisiones de GEI, sus fuentes y comportamientos durante un año. Asimismo, contiene los escenarios futuros que considera el comportamiento económico y tecnológico basado en fuentes de energía fósiles, no fósiles y un equilibrio de ellas. También presenta un análisis de impacto y vulnerabilidad en áreas de salud, agricultura y energética, una propuesta de estrategia para la adaptación ecológica al cambio climático y acciones para la mitigación de los GEI.

La segunda fase consistió en una consulta pública llevada a cabo por la Secretaría de Desarrollo Sustentable en 2010 con la finalidad de recabar opiniones de los ciudadanos para las acciones ante el cambio climático.

Como tercera etapa se llevó a cabo la implementación del programa por parte de la Secretaría de Desarrollo Sustentable, lo cual incluyó la difusión del plan, la implementación de las acciones consideradas en el mismo, su seguimiento, la evaluación de las estrategias y la integración de información actualizada para la toma de decisiones.

La meta del programa fue reducir 1,558 millones de toneladas de dióxido de carbono y mitigar los GEI. Entre las acciones se tiene invertir aproximadamente 14 millones de pesos en proyectos de mitigación, para reducir los costos energéticos, mejorar la calidad del aire, agua, salud y vida y, por último, otorgar oportunidades laborales (Secretaría de Desarrollo Sustentable - Gobierno del Estado de Nuevo León, 2010).

De momento, el PACC no ha sido actualizado.

Plan de Acción Climática Municipal (PACMUN) Santa Catarina – Nuevo León

Con el objetivo de mitigar y mejorar la calidad del aire se presentó este programa. Dentro de las estrategias previstas se encuentra: “instalar sensores que midan partículas contaminantes y equipos de medición en las escuelas, elaborar un proyecto de enfermedades respiratorias asociadas al cambio climático, realizar un inventario de la flora y la fauna que retrocede por el calentamiento global, además de proponer a legisladores que otorguen competencias jurídicas a los municipios para sancionar las fuentes de contaminación” (Reyes, 2020).

Reglamento de Prevención de Cambio Climático del Municipio de Guadalupe - Nuevo León

Como una acción a favor del medio ambiente, el municipio de Guadalupe aprobó un reglamento de prevención del cambio climático, en el cual se establece que todas las empresas privadas y públicas tienen la obligación de presentar un reporte y recopilación de emisiones y transferencias de contaminantes, como parte de las medidas de prevención y control de la contaminación atmosférica, así como el manejo de residuos líquidos, sólidos y gaseosos. Asimismo, se incorporarán en un futuro acciones para mitigar la contaminación atmosférica y reducir la emisión de GEI (Sala de Prensa del Gobierno Guadalupe, 2021).

Programas de pavimentación y mantenimiento de vialidades

El mantenimiento y buen estado de la vialidad es un ítem que está contemplado en diversos instrumentos de planificación del Estado de Nuevo León y las municipalidades que forman parte del AMM.

El Plan Estatal de Desarrollo Nuevo León 2022-2027 contempla la “generación de riqueza sostenible” como uno de sus ejes. Uno de sus objetivos es “ampliar y mejorar la oferta y operación de los sistemas de movilidad en el estado, articulando cadenas de viaje sostenibles, asequibles e incluyentes” (Gobierno de Nuevo León, 2022a), para lo cual se tienen previstos diversos resultados específicos, pero se destacan:

- Mejorar la interconexión carretera y las vialidades entre y dentro de las regiones del estado para potenciar un desarrollo regional y urbano más equilibrado.
- Incrementar la cooperación con las autoridades municipales para brindar mantenimiento a las calles y avenidas que se encuentran en malas condiciones.
- Impulsar la coordinación metropolitana para la reconstrucción de caminos en el sur.

Dentro de los proyectos previstos en el mencionado plan de desarrollo hay varios que buscan la construcción de nuevas carreteras y la rehabilitación de existentes. Al respecto, se destaca el proyecto X de la carretera Gloria – Colombia previsto entre 2022-2024, el cual permitirá la rehabilitación y ampliación de 47.2 km de vialidad. También, el proyecto XII busca la rehabilitación y ampliación de vías, entre otros aspectos, en el Puerto Fronterizo Colombia (Gobierno de Nuevo León, 2022a).

A nivel municipal, el Plan Municipal de Desarrollo de Monterrey 2021-2024 presenta como una misión de sus secciones “promover nuevas centralidades urbanas y un sistema de parques y calles completas diseñado para las personas”. Dentro de los objetivos que buscan hacer realidad esta misión, varios toman en cuenta el mantenimiento y buen estado de la vialidad (Gobierno de Monterrey, 2021).

Del mismo modo, el Plan Municipal de Desarrollo de Apodaca previsto entre 2021 y 2024 contempla como segundo eje programático el “urbanismo social”, dentro del cual está previsto el programa “Obras que transforman vidas” (punto 2.2) que busca brindar calles y avenidas en óptimas condiciones, a través de la

“mejora y mantenimiento de las vías públicas”. El punto 2.2.1 sobre “vialidades” está referido a la “rehabilitación, reconstrucción y mantenimiento de las vías públicas” (Gobierno de Apodaca, 2021).

Es importante recordar que el buen estado de la vialidad disminuye la resuspensión de material particulado en el aire. De esta manera, los esfuerzos que desarrollan o tienen previsto implementar los distintos niveles de gobierno en esta temática tienen un impacto positivo en la calidad del aire del AMM.

Programa especial de incendios forestales 2023

Como se ha mencionado en el apartado de contexto territorial, el estado de Nuevo León presenta entre 44 y 48 incendios forestales al año, lo cual contribuye como una fuente de contaminantes del aire. Por lo anterior, se llevó a cabo el programa especial para informar a la población acerca de los riesgos provocados por los incendios forestales en este territorio y sobre las acciones que pueden prevenir estos siniestros.

El programa fue elaborado y publicado por Protección Civil - Gobierno de Nuevo León (s.f.) y contiene como objetivos específicos los siguientes:

- Establecer coordinación con los sectores estatal y municipal a fin de mitigar y/o reducir los daños ocasionados por incendios forestales.
- Coordinar con las instancias necesarias para brindar atención oportuna en caso de un incendio para que este no genere riesgo a la población.
- Mantener un monitoreo constante de las temperaturas y frentes fríos para comunicar dicha información a la población en general.
- Mantener un inventario actualizado del recurso material, humano y albergues disponibles para emergencias.
- Fomentar la cultura de la prevención de incendios forestales.

Programa Integral de Movilidad Urbana Sustentable (PIMUS)

El PIMUS vislumbra al AMM como una ciudad con espacios públicos verdes y limpios, transportes con tecnologías limpias y uso racional del automóvil. El objetivo principal es contar con un instrumento que vincule el desarrollo urbano con la movilidad, definiendo acciones y proyectos que integren aspectos económicos, ambientales y urbanos de infraestructura, que esté enfocado y alineado en el desarrollo sostenible marcado por la ONU para el 2030 (Secretaría de Medio Ambiente - Gobierno del Estado de Nuevo León, 2020).

El propósito del PIMUS es mejorar la calidad de vida, mejorar la seguridad, reducir la contaminación respecto a las emisiones de GEI y el consumo de energía. Además, busca satisfacer las necesidades de la sociedad para moverse libremente por el AMM, priorizar el uso del espacio vial y distribuir los recursos para la realización de proyectos para peatones, ciclistas como prioridad y transporte público, de carga y autos como puntos finales, realizando proyectos con base a tecnologías limpias y con bajos costes energéticos.

Las principales propuestas y estrategias son las siguientes:

- Modernización de semáforos.
- Ampliación y optimización de la red vial estratégica.
- Optimización de la red vial existente.
- Implementación de foto multas.

- Gestión de estacionamientos.

Para llevar a cabo este programa se involucraron diferentes sectores académicos, de gobierno y empresas privadas (Secretaría de Desarrollo Sustentable - Gobierno del Estado de Nuevo León, 2022).

Programas de reforestación y/o de áreas verdes

Tanto el Estado de Nuevo León como las municipalidades que integran el AMM reconocen la importancia de las áreas verdes como elemento para el desarrollo sostenible de las ciudades y contribuir en la calidad de vida de sus habitantes. Asimismo, tienen previsto, dentro de sus planes rectores de desarrollo, el mantenimiento y mejoramiento de áreas verdes.

Al respecto, el Plan Estratégico para el Estado de Nuevo León 2015-2030 contempla el eje Desarrollo Sustentable, dentro del cual el objetivo 1 busca “asegurar una planeación y gestión urbana que posibilite comunidades compactas, articuladas y diversas”. Este objetivo tiene varias líneas estratégicas para su cumplimiento, destacándose la 1.3 “integrar un sistema de parques y espacios públicos que garantice el acceso a toda la población, su contribución a la gestión medioambiental y facilite su movilidad sustentable”. Dicho objetivo cuenta con tres indicadores, de los cuales se destacan estos dos: porcentaje de la población satisfecha con el servicio de parques y jardines públicos, y densidad de áreas verdes urbanas (Consejo Nuevo León, s.f.a).

En el mismo sentido, el Plan Estatal de Desarrollo Nuevo León 2022-2027 tiene dentro de sus objetivos “conservar, proteger y restaurar el patrimonio natural, la biodiversidad y los seres sintientes”, para lo cual busca como un resultado concreto el fomento del “mejoramiento del entorno urbano mediante la arborización para aumentar la resiliencia de la ciudad y su capacidad de adaptación y mitigación ante el cambio climático”. El indicador para este resultado es cantidad de convenios de colaboración firmados entre el Estado y los Municipios del AMM para promover esfuerzos conjuntos de reforestación urbana (Gobierno de Nuevo León, 2022a).

Otro objetivo consiste en “fortalecer la gestión del territorio en el estado, estableciendo las condiciones adecuadas de comunicación, cercanía y conectividad, para conformar polos urbanos y ciudades más accesibles, inclusivas y equitativas”. Dentro de sus resultados específicos se tienen:

- Impulsar la colaboración municipal para la construcción de camellones arbolados para incrementar la conectividad peatonal y las áreas verdes de la ciudad, obteniendo una reducción de emisiones contaminantes y armonía urbana.
- Sacar el patio ferroviario de la ciudad, y en su lugar, realizar un proyecto de parque urbano en el sitio que también ayude a crecer a la Universidad de Nuevo León.

El Gobierno de Nuevo León se unió a la campaña mundial Race to Zero en 2021; así, la entidad “se compromete a trabajar para lograr neutralizar el carbón a 2050” a través de una “estrategia estatal, que busca lograr la neutralidad”, la cual se basa en movilidad, industria y reforestación masiva, a través de alianzas colaborativas con diversos actores. Además, “en septiembre de 2022 se publicó la Norma Ambiental Estatal de Arbolado Urbano (NAE-SMA-007-2022) que establece los requisitos y especificaciones técnicas mediante las que se realiza la gestión integral del patrimonio forestal urbano de Nuevo León”. Como parte del programa Árboles para Dormir, entre 2021 y 2022 se firmaron 12 convenios de colaboración con igual número de municipios del AMM “para mitigar las islas de calor de las ciudades y aumentar los servicios ecosistémicos que brinda el bosque urbano al bienestar humano. En coordinación con el Fondo Ambiental Metropolitano de Monterrey y otras organizaciones, para el periodo que se

informa se han plantado 127,067 árboles” en la cuenca alta del Río San Juan y en el proyecto de reforestación urbana (Gobierno de Nuevo León, 2022c).

A nivel municipal, el Plan Municipal de Desarrollo de Monterrey 2021-2024 presenta como una misión de sus secciones “promover nuevas centralidades urbanas y un sistema de parques y calles completas diseñado para las personas”. Dentro de los objetivos que buscan hacer realidad esta misión, varios toman en cuenta el mantenimiento y mejoramiento de áreas verdes.

Del mismo modo, el Plan Municipal de Desarrollo de Apodaca previsto entre 2021 y 2024 contempla como segundo eje programático el “urbanismo social”, dentro del cual está previsto el “Distrito Verde” (punto 2.7) que prevé los proyectos “adopta un árbol” y “distrito verde”. Los resultados específicos que se esperan son “8.5 metros cuadrados de áreas verdes urbanas por habitante, mantener las áreas verdes con las que ya se cuentan y plantar un aproximado de 500 árboles por año”. Adicionalmente, el punto 2.3 sobre “imagen urbana” y la sección 2.3.1 concerniente a “ornato”, rehabilitará y acondicionará el vivero municipal, así como “reforestación y jardinería a plazas, camellones y parques públicos, construcción de paisajismo, ornato y jardinería y creación de corredores verdes” (Gobierno de Apodaca, 2021).

En cuanto a la implementación de acciones que mejoren o amplíen las áreas verdes en el AMM, la Secretaría de Desarrollo Urbano Sostenible del Gobierno de Monterrey (municipalidad) lleva a cabo el “Acuerdo Verde por Monterrey”, el cual “es un instrumento de gobernanza abierta y participativa de planeación y coordinación para la acción climática de Monterrey”. Foros abiertos sobre áreas verdes y biodiversidad, así como una mesa técnica al respecto, permitieron recopilar 481 propuestas y opiniones sobre esta temática (Secretaría de Desarrollo Urbano Sostenible – Gobierno de Monterrey, s.f.). A partir de allí, se creó un plan de corredores verdes a través del Sistema de Parques y Corredores Verdes que cuenta con 19 proyectos de parques, “los cuales suman un total de 94 hectáreas de parques rehabilitados y con más de 73 kilómetros de calles completas con arborización extrema”. Un proyecto que se inició en 2022 es el de Parque Lago, donde habrá ocho hectáreas de espacios públicos verdes (Forbes Staff, 2022).

Control del uso de pirotecnia

La Ley Ambiental del Estado de Nuevo León establece que “el Estado y los Municipios evitarán el uso de artificios pirotécnicos en los eventos públicos que estos lleven o cabo, cuando exista una contingencia ambiental”. Asimismo, mandata que los municipios deben “establecer como condicionante, al otorgar las autorizaciones o permisos para la realización de espectáculos, o en su caso, uso de uso de suelo para salones de eventos sociales o similares, la no utilización de artificios pirotécnicos, si existe al día del evento la declaración de contingencia ambiental” (artículo 133).

Con sustento en la anterior ley, en la Ley Federal del Armas de Fuego y Explosivos y en otras normas, el 12 de diciembre de 2022 el Gobierno de Nuevo León publicó un decreto por medio del cual “se prohíbe el uso de artificios pirotécnicos en todo evento público organizado por cualquier dependencia o entidad de la Administración Pública del Estado de Nuevo León”. Con ello, se busca mitigar la contaminación atmosférica que se produce en la época decembrina por el uso y quema de pirotecnia en Nuevo León.

Programa Operativo Anual de Ecología de Monterrey

Este programa se dedica a simplificar los trámites que se aplican en cada giro sin dejar a un lado la normatividad ambiental vigente, así como verificar que las industrias y empresas cumplan la normatividad. Además, contribuye con información ambiental con la sociedad, desarrollando cursos y talleres; formular, conducir y evaluar la política ambiental municipal; ubicar lugares disponibles para

reforestar; entre otros proyectos de mejora continua. Este plan pretende proporcionar los beneficios ecológicos a los ciudadanos de manera general, creando e implementando programas de protección y restauración ambiental (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología – Gobierno Municipal de Monterrey, 2018).

5.6.6. Algunas iniciativas por parte de la academia, sociedad civil y sector privado para contribuir con la mejora de la calidad del aire

Existen grupos y actores de la sociedad en el AMM, como la academia, la sociedad civil y el sector privado, que han jugado un papel clave en impulsar políticas e implementar acciones que contribuyen a una mejor calidad del aire y/o a disminuir sus efectos negativos en la población y los ecosistemas. Estas acciones van desde la generación de evidencia científica que permita contar con un mejor diagnóstico de la problemática de calidad del aire en el AMM que apoye la toma de decisiones y el diseño de política pública; acciones para visibilizar la problemática y sensibilizar a la población respecto a la contaminación del aire, sus fuentes de emisión e impactos en salud lo que incrementa la demanda social; la comunicación de los riesgos y las recomendaciones a la población para reducir su exposición y el daño a su salud, sobre todo en eventos de alta contaminación; hasta la implementación de medidas de vigilancia y control de emisiones. El rol de cada uno de estos grupos es fundamental para lograr una mejor calidad del aire en Nuevo León, además de ejercer la participación y el control social en las acciones de gobierno, lo cual está contemplado en la legislación ambiental nacional y estatal.

A continuación, se presentan algunas de las acciones más emblemáticas que desde la academia, la sociedad civil y el sector privado se han implementado.

Academia

Existen al menos cinco universidades públicas y privadas en el AMM con reconocimiento nacional y/o internacional que cuentan con capacidades para desarrollar proyectos dirigidos a evaluar y entender el comportamiento de los contaminantes atmosféricos y sus impactos en la salud y económicos, a identificar y estimar las emisiones de fuentes contaminantes, a evaluar y proponer medidas para mejorar la calidad del aire a nivel de una fuente específica como una industria o transporte, y/o a diseñar políticas públicas integrales a implementar por los gobiernos. Estas instituciones incluyen al Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), el Instituto Tecnológico de Nuevo León (ITNL), el Tecnológico de Monterrey, la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y la Universidad de Monterrey (UDEM).

Con el objetivo de conocer el amplio acervo de estudios con que cuenta el AMM en materia de calidad del aire y salud, se solicitó a las instituciones académicas los estudios que se han llevado a cabo para integrar una lista conocida como “Biblioteca de estudios de calidad del aire y salud” que se presenta en el ANEXO 4 del presente PIGECA. Esta lista incluye la línea temática a la que corresponde, el título y autores del estudio, así como los hallazgos más relevantes. En esta lista se incorporaron estudios desarrollados en la región por el Centro Mario Molina (CMM), el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y el Instituto Nacional de Salud Pública. Algunos de ellos se desarrollaron en colaboración con otras instituciones académicas del país y con el sector privado.

En la Tabla 35 se presentan las líneas temáticas consideradas y la cantidad de estudios para cada una de ellas. En la columna de línea temática principal se enumeran los estudios cuyo objetivo está dirigido a

atender dicho tema, y se cataloga como secundaria cuando la investigación aborda el tema, pero no es el principal. Se observa que los estudios de caracterización química de partículas, movilidad eficiente y baja en emisiones, inventarios de emisiones, y salud ambiental son los que predominan, además de que existen pocos estudios relativos a química atmosférica, caracterización de contaminantes en fase gaseosa, industria eficiente y baja en carbono, planeación y desarrollo urbano e instrumentos económicos. En total, se identificaron 94 estudios.

Tabla 35. Líneas temáticas de los estudios identificados sobre la calidad del aire del AMM

Líneas temáticas	Principal	Secundaria
Mediciones de contaminantes criterio y de otros contaminantes como carbono negro	9	11
Química atmosférica	2	5
Sistemas de pronóstico y modelación de calidad del aire	9	10
Caracterización química y física de las partículas y modelos receptor	18	18
Caracterización de contaminantes atmosféricos en fase gaseosa	4	4
Inventarios de emisiones y determinación de factores de emisión y datos de actividad locales	12	15
Movilidad eficiente y baja en emisiones	10	19
Industria eficiente y baja en carbono	3	6
Planeación y desarrollo urbano del territorio	2	3
Instrumentos económicos	0	0
Salud ambiental - estudios epidemiológicos y toxicológicos de efectos agudos y crónicos a la salud por contaminación del aire	12	20
Valoración económica de los impactos de la contaminación del aire en la salud, la sociedad, la productividad y el ambiente	0	4
Cambio climático	7	12
Planeación ambiental	2	14
Otros: comunicación de riesgos, purificación del aire.	2	2

En prospectiva, será clave la conformación de la Mesa de Trabajo de Asesoría Científica del PIGECA para definir los objetivos y la agenda de investigación a diez años con base en los estudios ya realizados y las prioridades de la región que apoyen la implementación del PIGECA.

La alianza del sector académico con el gobierno y con el sector privado es clave para el desarrollo de estudios de utilidad que mejoren los procesos en la industria y se fortalezca el diseño de políticas públicas integrales basadas en evidencia, los cuales contribuyen a la mejora de la calidad del aire y a la protección de la salud de la población.

Sociedad civil

Existen múltiples organizaciones de la sociedad civil en el AMM involucradas en el tema de calidad del aire, bien informadas, muy activas y trabajando de forma coordinada y conjunta, lo cual les ha permitido

incidir en el gobierno estatal y municipal y colocar la problemática de contaminación atmosférica y sus impactos en la salud en la agenda política y pública.

El Observatorio Ciudadano de Calidad del Aire del AMM (OCCAMM) y el Comité Ecológico Integral (CEI) son de las organizaciones que destacan por su trabajo específico en temas de calidad del aire. Dentro de las diversas acciones que llevan a cabo se incluye la organización y participación en marchas, foros, entrevistas de radio, televisión y prensa, producción de recursos educativos de temas ambientales, participación y liderazgo en proyectos de protección del medio ambiente, desarrollo de videos y documentales, exhortos al gobierno y al congreso estatal y nacional, alianzas con la academia para la difusión de información confiable y el desarrollo de estudios de investigación, producción de recursos educativos de temas ambientales, participación y liderazgo en proyectos de protección del medio ambiente, de mejora de la calidad del aire y de comunicación de riesgos, participación en la actualización de normas oficiales mexicanas y en el Consejo Ciudadano de la Secretaría de Medio Ambiente, entre otros. Estas organizaciones han recibido múltiples reconocimientos por su labor, han obtenido financiamientos para el desarrollo de proyectos y se preparan para estar al día con la evidencia científica más reciente para tener una mayor incidencia en la problemática. A continuación se presentan algunas de las acciones específicas que han implementado.

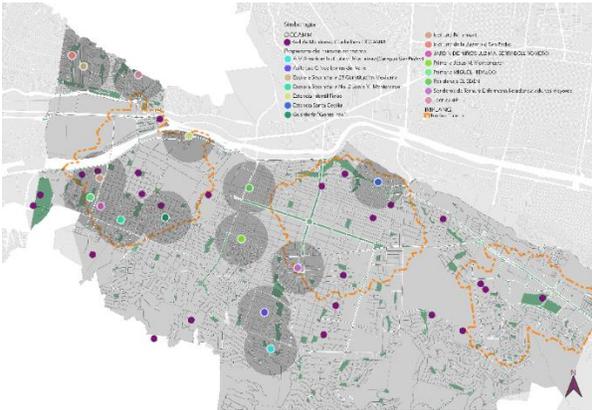
Observatorio Ciudadano de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey (OCCAMM)

Dentro de las actividades que ha desarrollado el OCCAMM se encuentran (Figura 64):

- Impulso de la creación de una Agencia Autónoma de Calidad del Aire de Nuevo León a través de una iniciativa que se presentó al Congreso de Nuevo León en 2019.
- Participación en el estudio de Martínez-Muñoz et al. (2020) sobre los efectos agudos de las partículas finas en la población del AMM junto con el Instituto Nacional de Salud Pública.
- Participación activa en la actualización de varias normas oficiales mexicanas relativas a calidad del aire y salud, incluyendo la NOM-172-SEMARNAT-2019.
- Impulso de la red de monitoreo ciudadano con sensores de bajo costo en el AMM desde hace más de tres años. La ciudad ya cuenta con más de 80 sensores cuya data en tiempo real está disponible en la web (<http://observatoriodelaire.com/>).
- Impulso de la adhesión de los gobiernos estatal y municipales a la Campaña Respira la Vida (Breathe life) de la OMS, PNUMA y la Coalición del Clima y Aire Limpio, y apoyo a los funcionarios en el llenado de formatos y cuestionarios requeridos.
- Co-producción del documental “Caballo de Troya” sobre los efectos en salud por la contaminación del aire en el AMM. Estreno local el 22 de marzo en Cinépolis y estreno nacional el 31 de marzo de 2023 por Canal 28 Nuevo León.
- Diseño del proyecto de Zona de Baja Emisión (ZBE) en el municipio de San Pedro Garza García que actualmente se encuentra en fase de ejecución. Su objetivo consiste en aumentar la red de monitoreo del aire en tiempo real en zonas que no cuentan con información y colocar señalética en sitios definidos como libres de emisiones del tráfico, seguros, caminables y circulables en transporte no motorizado. Se cuentan con el mapa de los distritos de 15 minutos donde se implementarán las ZBE y la propuesta de ubicación de los monitores de bajo costo. Este es un

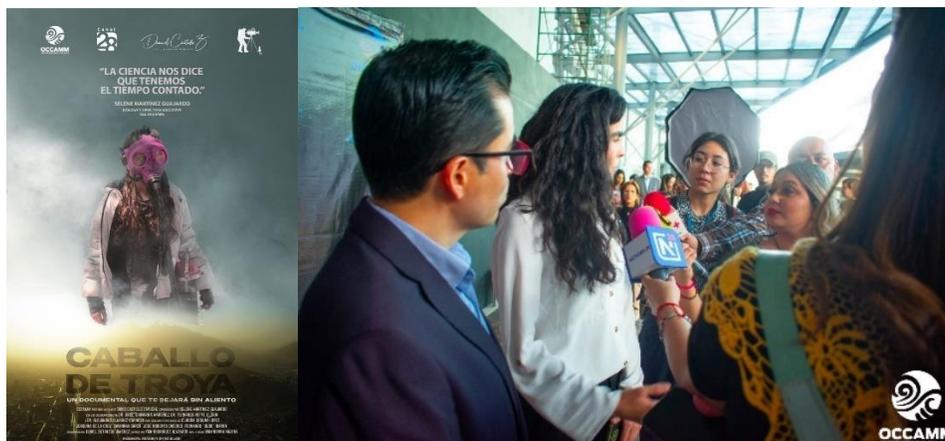
proyecto coordinado con las instancias municipales, financiado a través del presupuesto participativo, e incluye el consenso y la participación activa de los vecinos.

- Organización de pláticas con especialistas para el público en general. La más reciente titulada “Tu salud y la calidad del aire, ¿sabes cómo afecta a tu salud la mala calidad del aire del AMM?”, en el cual participaron médicos especialistas y está disponible en la web (<https://fb.watch/jtSc7q44ha/>).
- El OCCAMM cuenta con un Consejo Ciudadano conformado también por especialistas (<https://observatoriodelaire.com/nosotros.html>) y un Consejo Juvenil, donde se busca que sus miembros estén constantemente involucrados y activos.
- Hay diversos documentos de consulta pública disponibles en su página web: <https://observatoriodelaire.com/index.html>



Propuesta de ubicación de sensores de bajo costo del proyecto de Zona de Baja Emisión de San Pedro Garza García.

Firma del acuerdo para adherir oficialmente al Estado de Nuevo León y a cinco municipios del AMM a la campaña BreatheLife (Respira la Vida).



Cartel del documental Caballo de Troya y estreno local.



Cartel para la difusión de la plática titulada “Tu salud y la calidad del aire, ¿sabes cómo afecta a tu salud la mala calidad del aire del AMM?”

Reunión del Consejo Juvenil del OCCAMM con distintas instancias del municipio de San Pedro Garza García.

Figura 64 . Imágenes relativas a las acciones que ha implementado el OCCAMM en el AMM

Comité Ecológico Integral (CEI)

Por otro lado, desde 2018 el CEI ha estado implementando múltiples actividades, entre las cuales se encuentran:

- Liderazgo, organización y promoción de la Marcha por Aire Limpio a la que acudieron entre 5,000 y 6,000 personas a pedir aire limpio en el AMM en marzo del 2023.
- Creación y lanzamiento del video sobre contaminación del aire en Monterrey el cual está disponible en internet (<https://www.youtube.com/@comiteecologicointegral/videos>).
- Proyecto de análisis y cotejo de datos del Sistema de monitoreo ambiental de Nuevo León y creación de la plataforma para poner a disposición de la población datos confiables de calidad del aire.
- Alianza con el Tecnológico de Monterrey para emitir alertas ciudadanas sobre los días de mala calidad del aire con información clara, transparente y masiva.
- Colaboración en el desarrollo de la App “Mi Escuela Respira” apoyado por la Secretaría de Desarrollo Sustentable, la Secretaría de Salud y la Secretaría de Educación de Nuevo León para que los colegios puedan dar seguimiento a la calidad del aire de su territorio hora por hora.
- Impulsora de la red ciudadana de monitoreo de bajo costo con Purple Air y participación en el proyecto con Greenpeace, Redspira y la Secretaría de Desarrollo Sustentable, para calibrar los monitores ciudadanos con estaciones de monitoreo.
- Apoyo y acompañamiento del Plan de Movilidad Escolar Sustentable del Municipio de San Pedro Garza García, fomentando el uso de vehículos compartidos, transporte escolar y llegada a los colegios caminando o en bicicleta, e impulsoras de su réplica en otros municipios.

- Líderes, junto con el OCCAMM y 18 organizaciones de la sociedad civil, del proyecto VotoXAireLimpio en el que se solicitó a los candidatos a diputado local, diputado federal, senador o alcalde de Nuevo León a sumarse e implementar una serie de acuerdos para mejorar la calidad del aire del AMM.
- Creación, desarrollo y promoción de la plataforma de educación ambiental “La Neta del Planeta”.
- Impulsora del Amparo Colectivo para proteger las energías limpias en México, en conjunto con el despacho Sánchez Devanny, CEMDA y abogados y expertos del AMM, en donde reunieron más de 1,300 firmas certificadas ante Notario.
- Certificación como líderes climáticas del “Climate Reality Leadership Corp” en marzo del 2018 en Ciudad de México, con el fin de ser portavoces de los efectos del cambio climático.
- Información diversa sobre la calidad del aire, la organización, sus logros, entre otros, disponible en: www.comiteecologicointerescolar.org



¡SÚMATE A LA MARCHA, SEPARA LA FECHA!
QUEREMOS AIRE LIMPIO
POR LA SALUD DE LA NIÑEZ DE NUEVO LEÓN
DOMINGO 26 MARZO
MACROPLAZA - 5PM

Comité Ecológico Integral is in Monterrey.
3d

Alerta por Criterios 1 y 2 en estación #ApodacaNL. Contaminante: PM10.
Índice Calidad Aire y Salud: 183.31µg/m³.
Promedio de las últimas 24 horas: 141.67µg/m³.
#CalidaddelAire #AvisoCiudadano
<https://bit.ly/3x8yK7U>
@CICMty
<https://bit.ly/3GMHUVd>

CEIBOT INFORMA:
AIRE MUY CONTAMINADO

Recomendaciones para evitar daños a la salud por contaminación:
-Evitar las actividades físicas vigorosas al aire libre, incrementar la frecuencia de descansos para evitar daños a la salud.
-Vigilar que las personas vulnerables no presenten síntomas por daño en vías respiratorias. Llévalos inmediatamente a los servicios médicos en caso de molestias.
-Limitar el tiempo de exposición para evitar afectaciones.
-Personas vulnerables permanecer en interiores y sin actividad física.
-Mantener las puertas y ventanas cerradas.
-Activar filtros purificadores en caso de contar con ellos.
-Harvestar las áreas sin cobertura vegetal.

Síguenos en twitter: @CEcológico1
Más información en: www.comiteecologicointerescolar.org



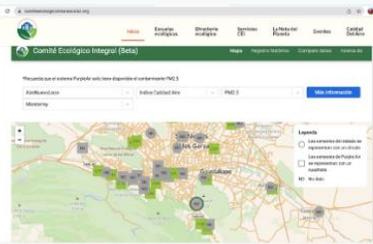


Figura 65. Imágenes relativas a las acciones que ha implementado el CEI en el AMM

Sector privado

Por parte del sector privado, la Cámara de la Industria de la Transformación de Nuevo León (CAINTRA), de la mano del Instituto para la Protección Ambiental de Nuevo León (IPA) (organismo filial de CAINTRA),

crearon un **Programa Voluntario de Verificación Vehicular**. Este programa es el primero en el país de su tipo y tiene el objetivo de medir las emisiones de la flota industrial (vehículos de carga y transporte comercial) en el AMM e identificar su cumplimiento con las normas federales. Asimismo, busca establecer medidas de corto, mediano y largo plazo que promuevan la reducción de emisiones y contribuir a una mejor calidad del aire en la ciudad (IPA-CAINTRA, 2021).

El programa consta de un vehículo, remolque y equipo de verificación, el cual opera de manera itinerante en distintas instalaciones de la empresa contratante. El programa tiene la capacidad de prestar el servicio de verificación a casi 10,000 vehículos de diésel, gasolina u otro combustible fósil al año. Al finalizar la verificación se entrega holograma y reporte de emisiones.

Existen 13 grupos empresariales participantes hasta el momento, sin embargo, la IPA-CAINTRA está invitando al resto del sector industrial, así como a las pequeñas y medianas empresas, a sumar a sus flotas de forma voluntaria a este Programa (IPA-CAINTRA, 2021).

5.7. RESUMEN DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS DEL DIAGNÓSTICO

A partir de los análisis realizados para el diagnóstico del Área Metropolitana de Monterrey en relación a su contexto geográfico y a los factores que inciden en la problemática de la calidad del aire, a continuación, se resumen los principales hallazgos preliminares que inciden en la problemática de la calidad del aire.

5.7.1. Contexto territorial

Entre los principales aspectos a resaltar del contexto territorial se encuentran:

- El AMM se encuentra ubicada en el estado de Nuevo León, al noreste de la República Mexicana. De acuerdo con el censo de población 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), es la segunda zona metropolitana más poblada del país con 5,341,177 habitantes (INEGI, 2020a, 2021a) y cuenta con un área aproximada de 7,691.66 km², la cual cubre un total de 18 municipios.
- Está rodeada de montañas y cordilleras, mientras que la zona urbana se encuentra principalmente ubicada en la llanura con cerros y pendientes pertenecientes al sistema orográfico (en un 55% dentro de la Sierra Madre Oriental y 45% Llanura Costera del Golfo Norte). Las cadenas montañosas que rodean el AMM actúan como una barrera física para la circulación natural del viento, provocando una alta acumulación de contaminantes atmosféricos en el territorio (González et al., 2018). Asimismo, el relieve característico del territorio favorece la acumulación de los contaminantes en ciertas zonas, y la configuración de sus pendientes inciden en una mayor emisión de ciertos contaminantes, al asociarse con mayores emisiones de PM_{2.5}, en el descenso vehicular debido a mayor desgaste de frenos, generando la re-suspensión de partículas que son llevadas al aire (Mancilla et al., 2012; Mancilla y Mendoza, 2012).
- El AMM se encuentra en la región hidrológica Bravo-Conchos, en la cuenca del río Bravo-San Juan, dentro de las subcuencas río Monterrey, río Pesquería y río San Juan. Sin embargo, se ha experimentado históricamente escasez hídrica, lo cual se ha reforzado debido al crecimiento acelerado de la población en los últimos años, un aumento en el crecimiento de la demanda del recurso (altos niveles de consumo por habitante) y la variabilidad en los niveles de precipitaciones que habitualmente se dan en este territorio (una baja constante en los últimos nueve años).
- El AMM se localiza en una región predominantemente semiárida con condiciones de sequedad y vegetación reducida pero diversa, se caracteriza por tener en un 79% de su uso de suelo como zona urbana y un 10% de vegetación (INEGI, s.f.). En este sentido, se está avanzando en un proyecto de arborización "Bosques Ciudadanos" como parte de los compromisos de la agenda verde y para revertir esta tendencia.
- Lo anterior sumado a los fenómenos meteorológicos particulares de esta área, pueden interactuar de manera sinérgica para agravar los problemas de calidad del aire que se viven hoy en este territorio:
 - Para el año 2022 el mes más frío fue enero con un valor promedio de temperatura de 14.1 °C, mientras que el más cálido fue julio con un promedio de 30.1 °C. Las temperaturas medias relativamente más bajas junto con condiciones secas, propician en el AMM condiciones de mayor estabilidad atmosférica y un menor movimiento vertical de las capas de aire, lo que reduce y suprime la dispersión de los contaminantes y un aumento en la acumulación de contaminantes primarios como el PM₁₀ y PST (Benítez-

García et al., 2014) y se han observado mayores concentraciones de óxidos de nitrógeno y CO (Carrillo-Torres et al., 2017). Mientras que las temporadas con las más altas temperaturas del año se han correlacionado fuertemente con elevadas concentraciones de contaminantes atmosféricos como el O₃ (Carrillo-Torres et al., 2017; Hernández-Paniagua et al., 2017) y los COV (uno de los precursores del O₃) (Cerón-Bretón et al., 2015).

- Según los análisis de la serie de tiempo para el 2022, los promedios diarios de humedad relativa muestran un ambiente relativamente seco en marzo y abril. En el AMM cuando se presentan condiciones de baja humedad relativa y baja precipitación pluvial, se agudiza la acumulación de contaminantes atmosféricos, al evitar su deposición en el caso de polvos y también favorecer la formación de ozono troposférico (González et al., 2018).
- El promedio de la presión atmosférica para ese mismo año fue de 716.1 mmHg a nivel de la cuenca del AMM; la cual desciende durante la temporada de lluvias (mayo a octubre) y aumenta el inicio y finales del año, en los meses de la época fría, de enero a finales de febrero y de noviembre a diciembre.
- La estación lluviosa (mayo a octubre) en el AMM se ha asociado a la remoción de contaminantes en el aire, hasta el punto de observarse bajas concentraciones de los mismos (material particulado) (Benítez-García et al., 2014; Carrillo-Torres et al., 2017). Además, en el periodo lluvioso se ha reportado una mayor y significativa deposición de nitratos, así como un efecto de dilución que podría influir en los flujos de deposición de amonio (Cerón-Bretón et al., 2019).
- El periodo de estiaje se presenta en los meses de noviembre a abril, con valores menores a los 40 mm de lluvia. En este se presentan las condiciones ideales para la acumulación de contaminantes, especialmente de material particulado, ya que se presentan de forma conjunta condiciones de baja precipitación y relativamente bajas temperaturas.
- El promedio anual de velocidad de viento en 2022 fue 9.02 km/h, con predominio de la dirección del viento del este al oeste. Durante los meses de abril y agosto se presentaron altos valores de velocidad de viento, meses que coincide con la época más calurosa en el AMM; mientras que en la temporada fría son comunes los vientos más tranquilos. Las zonas a favor del viento presentan mayores concentraciones de contaminantes atmosféricos, mientras que los sitios contra el viento se ven menos afectados por las emisiones del AMM. Asimismo, las bajas velocidades de los vientos limitan el transporte de los contaminantes y esto se presenta usualmente en la temporada fría en el AMM (Carrillo-Torres et al., 2017; González-Santiago et al., 2011; Hernández-Paniagua et al., 2017).
- De acuerdo con el reporte semanal nacional de incendios forestales (CONAFOR, 2022), desde enero a septiembre se registraron 6,712 incendios forestales en las 32 entidades federativas. En el estado de Nuevo León se han asentado 49 incendios forestales en el año 2022, afectando 11,987.17 hectáreas de terreno. La temporada donde se propician mayor los incendios en México corresponde a los meses de mayo a julio. Si bien, la CONAFOR establece que Nuevo León es un estado con baja incidencia de incendios y actualmente se vienen llevando a cabo diversas acciones y programas para prevenir los incendios forestales y de residuos desde la comunicación y educación de la ciudadanía, se requiere una estrategia a mediano y largo plazo que esté alineada con las acciones para la mejora de la calidad del aire y el control in situ de estos eventos de contaminación.

5.7.2. Fuerzas motrices

- La población alcanzó los 5,341,177 hab. al año 2020 (se tuvo un crecimiento de 24.3% desde 2010 al 2020 en Nuevo León), y se constituye como la segunda área metropolitana más poblada del país. Según datos del censo más reciente, podría aumentar hasta los 5.7 millones de hab. en el 2030, con una proporción de la población predominantemente cada vez más mayor.
- Nuevo León es el tercer estado del país con mejor Índice de Desarrollo Humano (IDH) con 0.799, superior al nacional de 0.774 (PNUD, 2019; Global DataLab, 2018; citados en Consejo Nuevo León, s.f.a). La desigualdad ha disminuido de 0.498 en 2010 a 0.435 en 2018 (medida por el coeficiente de Gini). En este sentido, la entidad federal dentro de los objetivos del Plan Estratégico para el Estado de Nuevo León 2015-2030, establece el reducir la pobreza y la desigualdad en su población (Consejo Nuevo León, s.f.a).
- Entre 2000 y 2015, la expansión urbana se ha dado en mayor medida hacia los suburbios y la población del AMM que ha crecido 43%, particularmente en la zona periférica (INEGI, CCM, 2019; citados en Consejo Nuevo León, s.f.a). La superficie de la mancha urbana del AMM aumentó en un 279% entre 1990 y 2020. Este crecimiento urbano acelerado y de baja densidad provoca mayores distancias de traslado y mayor costo en la provisión de infraestructura urbana y servicios (CCM, 2019; ICP, 2019; ONU Hábitat, 2017; Ponce y Lozano, 2021; todos citados en Consejo Nuevo León, s.f.a).
- El área metropolitana tuvo 60.5 hab./ha urbanizada en el 2015; este indicador ha descendido hasta 53.7 hab./ha en el 2018 (Consejo Nuevo León, s.f.b). Y en contraste, Nuevo León pasó de 878,600 viviendas habitadas en el 2000 a 1,654,199 en 2020, lo cual resulta en un aumento del 88.3% (INEGI, 2020c).
- El AMM es el principal centro de actividad industrial, comercial y de servicios en el norte del país, núcleo de importantes corporaciones de importancia nacional e internacional. Es también uno de los principales centros de atracción de población del país debido a su amplia oferta cultural y educativa, sus oportunidades de empleo y alto nivel de desarrollo, además de su cercanía a Estados Unidos.
- El AMM ha incrementado su aporte al PIB nacional, pasando de un 6.3% en 2003 a un 8% en 2020, y ha mantenido el segundo puesto, solo superada por la ZMVM.
- La región, caracterizada por su espíritu emprendedor y desarrollo empresarial, es considerada la capital industrial de México y concentra el 26.3% de la producción industrial del país.
- Actualmente existen 14 parques industriales en construcción (2022).
- En el contexto del desarrollo de la actividad empresarial y la atracción de población, la implementación de alternativas de transporte sostenibles y eficientes resulta de particular importancia para mantener altos niveles de productividad. El porcentaje de viajes en transporte público cayó del 42% al 20%, mientras que los viajes en automóviles particulares aumentaron del 36% al 47% para el periodo 2005 – 2020.
- La región evidencia la influencia del modelo de desarrollo de los Estados Unidos que da alta prioridad al transporte privado. Este aumento en el volumen vehicular ha implicado un aumento en las emisiones del sector.
- Otras fuentes de interés incluyen el uso de combustibles sólidos para cocinar, la quema de pirotecnia y de residuos sólidos se han identificado como fuentes de emisión de algunos contaminantes.

5.7.3. Emisiones a la atmósfera

- Las fuentes móviles representan el 75% de las emisiones de NO_x , siendo la categoría que más aporta de este contaminante. El NO_x es particularmente relevante en el AMM ya que es un precursor de ozono y material particulado secundario, los dos contaminantes que exceden la norma nacional.
- Las fuentes fijas representan el 59% y 57% de las emisiones de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ en el AMM y dentro de estas, son las fuentes de jurisdicción federal las que aportan un mayor porcentaje de estos contaminantes (61% y 65% respectivamente). Lo anterior tiene dos implicaciones importantes. La primera, el éxito del Plan de Gestión Integral de Calidad de Aire dependerá de una participación decidida del gobierno federal quien es responsable de las fuentes fijas de mayor participación. La segunda, es que existe un reto frente a las medidas que se puedan tomar para la reducción de emisiones, por cuanto el 81% de las fuentes federales usan gas natural como combustible, fuente que tradicionalmente se ha identificado como más limpia. De igual modo, las fuentes fijas tienen una participación del 99% de las emisiones de SO_2 , provenientes en su mayoría de las emisiones de la refinería de Cadereyta.
- Lo anterior igualmente aplica para las emisiones de gases de efecto invernadero en las cuales las fuentes fijas representan el 76.6% de las emisiones de $\text{CO}_{2\text{eq}}$.
- Si bien en 2018 las fuentes móviles representaron el 25.5% y el 34% de emisiones de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$, respectivamente, esto representa un aumento sustancial con respecto a su participación en 2013. Lo anterior se relaciona con los cambios metodológicos en cada inventario.
- Las actividades principales en las fuentes de área asociadas a las emisiones de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ son los asados al carbón, las emisiones re-suspendidas de caminos pavimentados y sin pavimentar, la combustión doméstica, la labranza y actividades de construcción. Acciones encaminadas a reducir estas emisiones pueden tener un impacto importante en las concentraciones de PM, por cuanto estas fuentes de emisión representan el 16% y 9% de las emisiones totales en el AMM de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ respectivamente.

5.7.4. Estado de la calidad del aire

- El Área Metropolitana de Monterrey cuenta con una red de monitoreo atmosférico que inició sus operaciones en 1970 y actualmente cuenta con 15 estaciones automáticas distribuidas en toda el AMM. En el año analizado para el PIGECA, un porcentaje importante de los días del año presentaron datos insuficientes para todos los contaminantes, lo que repercute al momento de evaluar la calidad del aire en el AMM y de comunicar dicha información, así como los riesgos a la salud a la población.
- Recientemente y con base en la evidencia científica internacional y nacional de los efectos a la salud por la contaminación del aire que se ha ido acumulando, se actualizaron las NOM de salud ambiental y las Guías de Calidad del Aire de la OMS para los contaminantes criterio, haciéndose más estrictas. Esto impone un reto aún mayor para las ciudades del país al momento de diseñar e implementar acciones para asegurar un aire limpio y proteger la salud de sus ciudadanos.
- Para el año 2022, las concentraciones de SO_2 superaron los valores establecidos en las NOM en la mayoría de las estaciones de monitoreo. La refinería ubicada en el AMM tiene gran participación en las emisiones de este contaminante.

- En cuanto a material particulado, no se cumple con los límites de la NOM, tanto para PM_{10} como $PM_{2.5}$. La evaluación de la tendencia en las concentraciones de PM_{10} en los últimos años arrojó disminuciones significativas en varias estaciones de monitoreo, pero deben seguir los esfuerzos para que esta tendencia sea generalizada.
- El ozono es otro contaminante que excede las NOM. Diversos estudios apuntan a que las emisiones de COV son las que están teniendo mayor incidencia en la formación de este contaminante.
- Las concentraciones de NO_2 fueron mayores en las áreas con vialidades. Las fuentes móviles también afectan el comportamiento temporal de este contaminante.
- Hay varias oportunidades de trabajo en la red de monitoreo del AMM. Se cuenta con una red importante, pero es necesario mejorar y garantizar la precisión y exactitud de la información que se genera.

5.7.5. Impactos y efectos en la salud

- El número y calidad de los estudios científicos que evalúan la asociación entre la exposición a los contaminantes del aire y sus efectos en salud es cada vez mayor. Dichos estudios, además de reforzar la evidencia existente de la asociación de la contaminación con efectos respiratorios y cardiovasculares, han permitido identificar efectos a la salud con los que previamente no se había relacionado a la contaminación del aire, como la diabetes, parto prematuro, demencia, entre otros. Asimismo, la evidencia científica respalda la presencia de efectos a la salud a concentraciones cada vez menores lo que ha justificado la actualización de los niveles de las NOM de salud ambiental y las GCA de la OMS haciéndose más estrictas.
- Esto es sustento suficiente para que las ciudades del país, incluyendo el AMM, aspiren, asignen recursos e implementen acciones para lograr la mejora continua de la calidad del aire. La disminución de una sola unidad de concentración de contaminantes criterio -partículas o gases- da lugar a beneficios muy importantes en salud y para el ambiente, los cultivos agrícolas y la infraestructura urbana.
- La ERS que se llevó a cabo como línea base del presente PIGECA muestra que de alcanzar el límite máximo permisible de $PM_{2.5}$ de la NOM de salud ambiente en el AMM se podrían evitar al menos 1,700 muertes prematuras cada año. Estos datos pueden ser empleados para justificar las medidas de reducción de emisiones y sensibilizar a distintos actores sobre la necesidad de su implementación.
- La participación constante del sector salud, así como la colaboración intersectorial, especialmente entre los sectores salud y ambiente, en la gestión de la calidad del aire, en la discusión de la evidencia científica, en la realización ERS y en la comunicación de los resultados a los tomadores de decisiones, a los grupos de interés y a la población general es clave para avanzar en la mejora de la calidad del aire que tiene como objetivo principal proteger la salud de la población.
- La generación de alianzas con centros de investigación y con organizaciones de la sociedad civil permitirá fortalecer las estimaciones de riesgo en salud por contaminación del aire, así como difundir sus resultados.
- Finalmente, es importante resaltar que se requiere de una red de monitoreo de cobertura para toda el AMM que provea de datos suficientes y válidos para poder evaluar la calidad del aire y

con ello los impactos en salud con la menor incertidumbre posible. En este sentido, se requiere fortalecer la operación y mantenimiento de las estaciones de monitoreo atmosférico.

5.7.6. Respuesta

- El Gobierno del Estado de Nuevo León y los gobiernos municipales que hacen parte del AMM han realizado diversos instrumentos de gestión que han procurado prevenir y mitigar los problemas de calidad del aire en el territorio. Estas políticas, planes y programas datan desde hace varios años atrás, además de que en fechas muy recientes también se han identificado acciones al respecto, como la reciente creación de la Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León.
- La academia, sociedad civil y entes privados también han desarrollado acciones importantes que contribuyan a la mejora de la calidad del aire del AMM.
- Se debe fortalecer la sinergia y colaboración entre los distintos entes que realizan esfuerzos en esta temática en el AMM, con la finalidad de lograr más resultados positivos en la gestión de la calidad del aire. El presente PIGECA representa una oportunidad muy importante para ello.

Proceso de formulación del PIGECA

6. PROCESO DE FORMULACIÓN DEL PIGECA

En esta sección se describen el proceso y los aspectos claves en los cuales se basó el desarrollo del PIGECA. El proceso está basado en el modelo conceptual de gestión de la calidad del aire que se ilustra en la Figura 66.

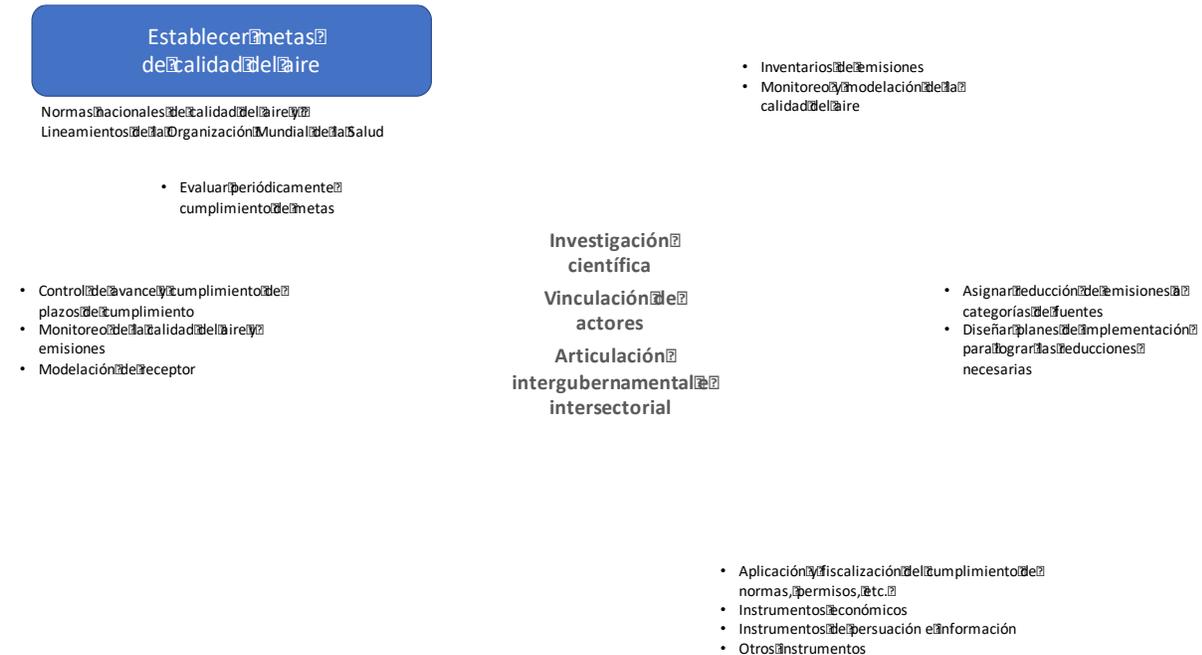


Figura 66. Esquema general para la gestión de la calidad del aire

Fuente: Elaborada por Clean Air Institute, a partir de una modificación al modelo conceptual de la teoría de la gestión de la calidad del aire planteada en Backmann (2007).

El primer paso que se consideró fue la definición de objetivos y metas. Estos se basaron en las normas de calidad del aire para protección de la salud de México y se encuentran direccionados hacia el cumplimiento de los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud. Consistentemente, las metas del PIGECA presentadas en este documento se expresan en términos de concentración de contaminantes y muertes evitadas.

El segundo paso consistió en estimar las reducciones de contaminantes proyectada si no se implementara el PIGECA (escenario tendencial). Este ejercicio se realizó para cada tipo de fuente de emisión (transporte, industria y área), que, en conjunto con el inventario de emisiones del año 2018, permitió identificar sectores prioritarios a los cuales enfocar las medidas que se proponen en el Plan.

El tercer paso buscó la identificación de oportunidades de reducción de emisiones en dichos sectores, así como evaluar el impacto que tendría la implementación de las medidas y acciones aplicables a cada uno de estos. El proceso de evaluación de las medidas involucró: a) un análisis detallado del inventario de emisiones y otra información disponible; b) establecimiento de líneas estratégicas para incidir sobre factores de actividad y factores de emisión en cada uno de los sectores identificados; c) identificación de oportunidades y acciones específicas para la reducción de emisiones con la participación de los actores

involucrados; d) un riguroso análisis técnico y de implementación; e) un amplio proceso de consulta con actores claves (gobierno, sector privado, academia y sociedad civil); y f) la definición de final de líneas estratégicas, medidas y acciones del Plan. En ese mismo paso se inició el proceso de evaluación de las medidas en términos de impacto en calidad del aire y análisis económico, lo cual permitió identificar el beneficio-costo del Plan y un costo aproximado de las medidas que se consideran de mayor impacto.

El siguiente paso consistió en identificar los instrumentos de política necesarios para materializar líneas estratégicas, medidas y acciones. Todo esto enmarcado en el “Pacto por la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey”, el cual tuvo como objetivo convocar a toda la ciudadanía a comprometerse voluntariamente con acciones que aporten a mejorar la calidad del aire y salvaguardar la vida de los habitantes del AMM a través de la suma de esfuerzos de la sociedad.

Finalmente, se estableció una propuesta de mecanismo de seguimiento y evaluación enmarcado en un esquema de gobernanza encabezado por la Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León, el cual se detalla en el ANEXO 5 y cuenta con las siguientes premisas: integración y articulación de actores e instrumentos en el territorio; coherencia, integración del lenguaje científico, político y social; respaldo jurídico, constitucional, legal, científico, técnico y académico; así como acuerdos, pactos y alianzas.

En este proceso, la verificación del cumplimiento de las metas es un elemento fundamental para evaluar el desempeño del plan y futuras actualizaciones que se pueden incluir; en caso necesario, se puede ajustar hacia metas más estrictas dirigidas al cumplimiento de estándares nacionales de calidad del aire y de los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud.

Adicional a los pasos antes ejecutados, el diseño del PIGECA se elaboró en forma paralela con un esquema de gobernanza que involucró el desarrollo de mesas de trabajo, talleres y reuniones, en donde se tuvo como fin la participación de actores fundamentales para la identificación de problemáticas en diferentes sectores, la evaluación de forma general de la viabilidad de medidas de reducción de emisiones, la identificación de posibles responsables, así como las posibles barreras para el desarrollo del PIGECA. Los resultados de este proceso participativo se presentan en la siguiente sección.

6.1. Modelo de gobernanza en el diseño del PIGECA

La metodología utilizada para implementar el modelo de gobernanza de calidad del aire en el AMM se basó en la selección de actores representativos y la definición de sus funciones para la implementación del PIGECA. Para ello, se instaló una serie de mesas de trabajo sectoriales que incluyeron a representantes de la academia, la ciudadanía, la salud, la comunicación pública, la industria y la movilidad.

En estas mesas, se revisó la retroalimentación y recomendaciones de los actores estratégicos, y se determinaron las medidas a evaluar. Posteriormente, se describieron y evaluaron las medidas con base en la reducción de emisiones y el impacto sobre la calidad del aire, así como los efectos y beneficios en la salud de la población. Finalmente, se realizó la firma de acuerdos y un Pacto Público por el mejoramiento de la calidad del aire en el AMM.

6.1.1. Desarrollo

El desarrollo del modelo de gobernanza de calidad del aire en el AMM implicó la conformación de cerca de ocho instancias a partir de alrededor de 70 reuniones (Figura 67).

La instancia con la ciudadanía permitió conocer las preocupaciones y propuestas de los habitantes de la región, mientras que la mesa de trabajo para fortalecimiento técnico de la Secretaría de Medio Ambiente contribuyó a mejorar las capacidades técnicas de la institución responsable de la gestión ambiental.

La mesa de comunicación pública tuvo como objetivo la divulgación y sensibilización de la población sobre el tema de la calidad del aire, mientras que las mesas sectoriales industrial y de movilidad permitieron identificar las medidas y metas adecuadas para reducir las emisiones de estos sectores. La mesa con la academia permitió integrar el rigor técnico en el diseño de las medidas acordes a la región, y la mesa de salud se convirtió en un indicador clave para la evaluación del impacto de las medidas sobre la salud de la población.



Figura 67. Fotografías de talleres y socializaciones para la formulación del PIGECA

6.1.2. Resultados

Como resultado de la implementación del modelo de gobernanza de calidad del aire en el AMM, se logró establecer un marco de colaboración y coordinación entre los actores involucrados en la gestión ambiental. Se identificaron y comprometieron diversas medidas para reducir las emisiones en los sectores industriales y de movilidad, y se establecieron estrategias de comunicación y sensibilización para la ciudadanía.

Las premisas principales del modelo de gobernanza establecido para el AMM, las cuales permitieron la participación en la formulación del PIGECA, son la articulación e integración de los actores e instrumentos en el territorio, la integración del lenguaje científico, político y social y el respaldo jurídico, constitucional, técnico, científico y académico.

Acorde a lo anterior, el proceso participativo para la formulación del PIGECA se desarrolló a partir de la ejecución de talleres participativos, de dialogo e interlocución con los diferentes actores, con el fin de

escuchar las propuestas, conocer las acciones que se vienen desarrollando y qué le aportan al mejoramiento de la calidad del aire, además de concretar acuerdos y pactos de mejora. Durante el tiempo de ejecución del proyecto se llevaron a cabo los siguientes talleres y/o espacios reportados en la Tabla 36.

Tabla 36. Descripción de actores y talleres realizados

Actor	Talleres desarrollados
Actores públicos: Gobierno federal, estado, municipios, funcionarios del nivel técnico y directivo	10 talleres que abarcaron municipios, funcionarios de las diferentes secretarías del Estado y la SEMARNAT. En estas reuniones se logró socializar el proyecto y los alcances, conocer de manera detallada los modelos de gobernanza de cada institución y/o equipos de trabajo, y contar con la retroalimentación de propuestas y acciones que se vienen desarrollando.
Ciudadanía y organizaciones sociales	Tres talleres. Se logró un importante proceso participativo, a través del cual se generaron propuestas de medidas a implementar por los diferentes actores, y establecieron acuerdos y compromisos.
Academia	Cuatro talleres. Se alcanzó un significativo proceso participativo, a través del cual los participantes generaron propuestas de medidas a implementar por los diferentes actores, y dieron a conocer los estudios e investigaciones que se vienen desarrollando en las diferentes instituciones y grupos de investigación.
Sector industrial	Siete talleres. Se generaron propuestas de medidas a implementar por el sector industrial, así como dar a conocer las acciones que vienen desarrollando desde el sector y sus aportes al mejoramiento de la calidad del aire. A través de estos espacios de trabajo también se logró el diálogo y concertación de compromisos.
Sector transporte	Tres talleres. Los participantes generaron propuestas de medidas a implementar por el sector, así como las acciones que vienen desarrollando desde el sector y sus aportes al mejoramiento de la calidad del aire. También se presentaron las posibles barreras que se han venido presentando para avanzar en proyectos como la renovación de flota vehicular.

Adicional a lo anterior se realizó la gestión, direccionamiento de dialogo y discurso para la instauración del consejo Rector del PIGECA, el cual se constituye como una instancia para generar procesos de relacionamiento, asesoría y articulación técnico y político. Los resultados detallados de las mesas de trabajo se presentan en el ANEXO 6.

El modelo de gobernanza planteado para el PIGECA articula a los diferentes actores, a través del planteamiento de un esquema, que permitirá la interacción en las diferentes etapas del plan: formulación, implementación y seguimiento, así mismo propone los mecanismos, de interacción y relacionamiento.

Estructura del PIGECA

7. ESTRUCTURA DEL PIGECA

Este capítulo plantea el marco estratégico del Programa Integral de Gestión Estratégica de la Calidad del Aire 2023-2033 para el AMM, incluyendo líneas estratégicas y medidas. El punto de partida para la formulación de este marco ha sido el análisis del contexto de la problemática de la contaminación del aire y una evaluación integral de la problemática de la calidad del aire en el Área Metropolitana de Monterrey. En dicha evaluación, se han analizado las relaciones sistémicas y causales que existen entre: a) los principales factores que influyen sobre la generación de contaminantes en el territorio; b) la presión que ejercen sobre la atmósfera de dichas emisiones; c) el estado de la calidad del aire resultante; d) el impacto de la calidad del aire sobre la salud, el ambiente, la sociedad y la economía, y e) la respuesta de gobierno, sector privado y sociedad civil ante tales fuerzas motrices, presión, estado e impactos.

Con respecto a la evaluación de las fuerzas motrices que representan las causas de las emisiones a la atmósfera, el PIGECA toma en cuenta que entre los factores que determinan la generación de emisiones en Monterrey y su zona metropolitana se encuentran: a) el acelerado crecimiento de la población registrado en las últimas décadas; b) los patrones de ocupación territorial que han propiciado una alta densificación de las laderas con asentamientos humanos regulares e irregulares de todos los estratos; c) un acelerado crecimiento del parque vehicular de carros y motos; d) una creciente pérdida de la participación modal del transporte público; e) una baja renovación de vehículos automotores y rezago tecnológico con respecto a otros mercados emergentes; f) un transporte de carga con importantes deficiencias logísticas y de operación; g) una base industrial intensiva en el uso de combustibles fósiles; h) un creciente consumo de combustibles fósiles; e) patrones culturales que propician emisiones excesivas (falta de una cultura de mantenimiento vehicular, preferencia por el uso de vehículos motorizados de uso individual, hábitos inadecuados de consumo de energía y de bienes y servicios).

La evaluación integral realizada evidencia que la acometida contra la contaminación del aire en la región es una carrera frente al tiempo y el acelerado crecimiento de los diversos factores que la propician. De todo ello se desprende la pertinencia no solo de actualizar, sino de rediseñar y ampliar los alcances de los ProAire anteriores, incorporando tanto acciones previas que se consideran necesarias y eficaces, como aquellas medidas que hacen parte del ProAire 2016-2025 y otros instrumentos complementarios en materia de movilidad sostenible, ordenamiento territorial, construcción sostenible y producción más limpia, entre otros.

Tomando en consideración las características de la región, el propósito del PIGECA 2023-2033 es configurarse como el instrumento que permita reducir significativamente la contaminación del aire en el en el Área Metropolitana de Monterrey en una extensión que sea consistente con la magnitud de los desafíos que se han evidenciado a lo largo de este documento, a través de un enfoque integral que incluya:

- Una estrecha articulación y corresponsabilidad entre las distintas entidades del Estado involucradas, en el ámbito de sus competencias.
- Intervenciones donde se busque reducir las emisiones contaminantes de todos los sectores de la actividad urbana y productiva relacionados con su generación.
- Atención tanto a las causas estructurales de los problemas como a los desafíos de los efectos que reclaman atención inmediata.
- Enfoque principal en los contaminantes atmosféricos de mayor riesgo para la salud (material particulado y su fracción respirable), sin empeoramiento de otros contaminantes atmosféricos.

- Prioridad en reducción del riesgo y efectos a la salud de los contaminantes atmosféricos, procurando otros beneficios de protección al ambiente, la elevación del bienestar social y desarrollo económico, así como de contribución a las metas metropolitanas y nacionales de mitigación del cambio climático.

7.1. Pilares del PIGECA

Los pilares del PIGECA son los ejes de carácter estructural que son relevantes para todo el Plan. Los ejes transversales atraviesan en forma longitudinal y horizontal todos los componentes del Plan, de tal manera que en torno a ellos se articulan las acciones. Los grandes ejes establecidos por el PIGECA son los siguientes:

1. Diálogo, articulación interinstitucional e intersectorial, y corresponsabilidad.
2. Comunicación pública.
3. Seguimiento y evaluación.

7.1.1. Pilar 1: Diálogo, articulación interinstitucional e intersectorial y corresponsabilidad

Este pilar está enfocado a la generación de espacios de diálogo y actuación permanente entre los actores, para articular sus diferentes perspectivas del territorio y posibilitar las sinergias necesarias para la implementación y seguimiento del PIGECA, contribuyendo, además, en la construcción de una verdadera gobernanza territorial.

La actual institucionalidad necesita para ello de los aprendizajes sociales y la corresponsabilidad entre cada uno de los actores que hacen parte de la sociedad. Tal y como lo plantea la ONU (2015), “la gobernanza ha venido a instaurar una perspectiva innovadora en el proceso de toma de decisiones que se contrapone a los modelos jerárquicos de gobierno tradicional, en los que los Estados ejercían el poder sin aprovechar el potencial de participación activa y comprometida de la sociedad” (p. 2).

La gobernanza territorial se refiere a la capacidad de las sociedades de resolver colectivamente sus problemas y contribuir al desarrollo de sus territorios mediante la articulación y participación de diversos actores territoriales, entre ellos: a) el Estado, b) la ciudadanía, c) el sector público localizado territorialmente, d) el sector privado, e) la academia y f) el sector financiero (primer y segundo piso), en un contexto en el cual la institucionalidad está enfocada en las oportunidades de los territorios, a partir de una propuesta que parta, no solo del crecimiento económico, sino también, de la inclusión social y la sostenibilidad ambiental (con base en propuesta de la ONU, 2015).

Siendo así, el diálogo, la articulación interinstitucional e intersectorial, y la corresponsabilidad serán parte fundamental de las medidas aquí formuladas, permitiendo avanzar hacia una gestión efectiva, con mayor legitimación y compromiso social. De esta forma, la participación activa de la ciudadana será determinante, teniendo como objetivo asumir plena y conscientemente la función que le corresponde como parte del proceso, lo cual quiere decir, al mismo tiempo, apoderarse, apropiarse y empoderarse de ese proceso; es decir, acceder a la toma de decisión en sus diferentes etapas, no necesariamente de manera exclusiva y excluyente, sino a través de un permanente diálogo de imaginarios, de saberes y de ignorancias, entre todos los actores sociales, institucionales y no gubernamentales que intervienen en él. La participación así entendida y ejercida, les introduce a los procesos una dinámica “orgánica” que

constituye la base de la sostenibilidad de los mismos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2017).

Esta mirada la refuerzan los planteamientos de Molina (2014), al subrayar en su propuesta que “un proceso de negociación en el que se concreten mesas o grupos y en el que participen tanto las iniciativas públicas como las privadas” (p. 39), será necesaria para el ejercicio de una buena gobernanza contemplando “la transparencia, el acceso a la información, la adaptación, el respeto por los derechos humanos y por la naturaleza, la responsabilidad y la aplicación de normas para regular el cumplimiento” (Molina, 2014, p. 39).

Finalmente, valdría la pena subrayar el papel central que debe tener la academia como actor clave en la gestión integral de la calidad del aire, por su conocimiento, capacidad técnica, bagaje investigativo y accionar en el ámbito educativo. Su vinculación activa será determinante para avanzar en los compromisos concertados.

Como parte de este pilar, en el ANEXO 5 se presenta una propuesta para la gobernanza de la calidad del aire en el Área Metropolitana de Monterrey que será el instrumento clave el desarrollo óptimo de acciones y estrategias en pro de la mejora de la calidad del aire. Además, en la sección 9.1 de este documento se muestra un resumen de la conformación de dicho esquema de gobernanza que permitirá, a su vez, dar seguimiento a la implementación de PIGECA.

7.1.2. Pilar 2: Comunicación pública

Este pilar consiste en establecer mecanismos específicos para consultar, informar y recibir retroalimentación por parte de los actores involucrados, audiencias específicas y el público, acerca del PIGECA y políticas, estrategias, estándares, regulaciones y otra información relacionada con la gestión integral de la calidad del aire en el Área Metropolitana de Monterrey.

Como parte de este pilar y bajo liderazgo del Gobierno de Nuevo León, se llevarán a cabo las siguientes acciones:

- a) Fortalecer la difusión oportuna de la información sobre la calidad del aire, incluyendo datos en tiempo real y análisis sobre comportamiento histórico y tendencias.
- b) Definir e implementar una estrategia integral de información vinculada a los procesos de educación ambiental, con actividades específicas educativas que puedan respaldar las medidas técnicas de prevención y control que sean desarrolladas por la autoridad ambiental. Ello incluye la facilitación de instrumentos informativos y educativos para el público en general y también para diversos actores que tienen injerencia en el problema de la calidad del aire.
- c) Desarrollar e implementar un programa de comunicación de la calidad del aire y temas relacionados dirigidos a ejercer un efectivo liderazgo comunitario que convoque a todas las fuerzas a comprometerse con la problemática y su solución.

Este pilar se desarrolla con mayor detalle en la medida 9T del PIGECA: Programa integral de comunicación y pedagogía enfocada a la calidad del aire.

7.1.3. Pilar 3: Seguimiento y evaluación del PIGECA

Este pilar es parte fundamental para lograr efectivamente la implementación del PIGECA, mediante el establecimiento de los mecanismos de seguimiento y evaluación para el cumplimiento sus objetivos. Para ello, cada medida cuenta con una serie de indicadores cualitativos y cuantitativos y un calendario de implementación que permitirán mediar los resultados en el corto, mediano y largo plazo. Los mecanismos de seguimiento y evaluación se describen en el capítulo 9.

7.2. Líneas estratégicas del PIGECA

Para el logro de los objetivos planteados, el PIGECA se estructura alrededor de ocho líneas estratégicas, de las cuales cuatro corresponden a líneas estratégicas sectoriales y cuatro a líneas estratégicas transversales (Figura 68). Las líneas estratégicas sectoriales son aquellas que integran medidas con impacto directo en la reducción de emisiones en las fuentes contaminantes, y las líneas estratégicas transversales integran medidas que permiten apoyar la implementación del PIGECA, a través de un mejor conocimiento del problema, respaldo a la toma de decisiones, comunicación y divulgación pública, participación de actores y seguimiento a las metas y las medidas del plan.

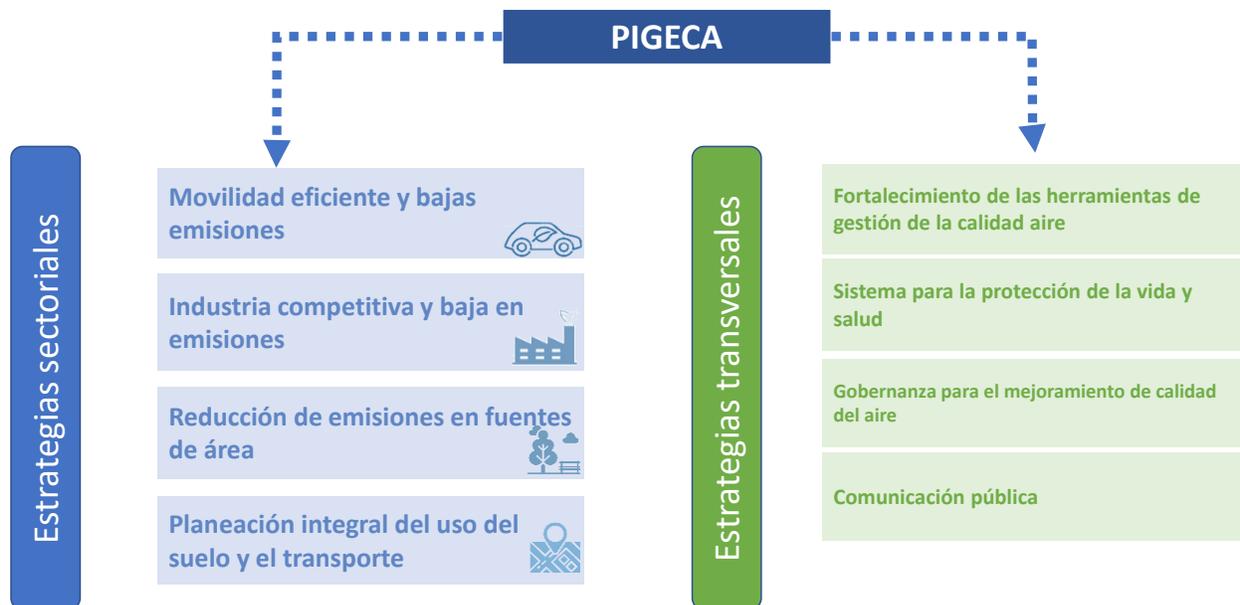


Figura 68. Líneas estratégicas del PIGECA

A continuación, se presenta una visión panorámica de las estrategias integrantes del PIGECA.

7.2.1. Líneas estratégicas sectoriales

Movilidad eficiente y baja en emisiones

Conforme a los análisis presentados en este documento, el transporte motorizado es la principal fuente de generación de emisiones de NO_x y tiene un importante aporte de partículas en la región. A esta

problemática contribuyen, tanto la intensidad de sus actividades relacionada con el desplazamiento de pasajeros y carga, como el estado actual de la tecnología automotriz de carros, motos, buses y camiones, además de los combustibles fósiles utilizados para su funcionamiento. Para reducir las emisiones en este sector es necesario poner en práctica una combinación de estrategias con diferentes frentes de acción: a) mejora tecnológica y de la calidad de los combustibles, b) expansión del transporte público masivo, c) desarrollo y promoción de modos de transporte activo (caminar y usar la bicicleta), d) gestión de la demanda de transporte público, y g) gestión integral del transporte de carga.

Industria competitiva y baja en emisiones

Esta línea está dirigida para asegurar que la industria y los servicios que operan en el AMM reduzcan sus emisiones a través de estrategias de mejora de procesos, instalación y optimización de sistemas de control de emisiones, mejora y sustitución de combustibles, control de emisiones evaporativas y fugitivas, sustitución de materias primas, mejora de su eficiencia energética y operativa, entre otras. Estas acciones se propone que estén enmarcadas en programas de reducción de emisiones que propicien una industria y servicios de bajas emisiones que sea al mismo tiempo más productiva y competitiva, en dirección hacia un desarrollo sostenible y de bajas emisiones.

Reducción de emisiones en fuentes de área

Las fuentes de áreas destacan en los inventarios de emisiones como mayores aportantes de contaminantes al aire asociados a las emisiones evaporativas de compuestos orgánicos volátiles generadas en las estaciones de servicios, emisiones de asados con carbón, emisiones de resuspensión de material particulado en vialidades, emisiones en establecimientos comerciales y de servicios. Esta línea de acción no solo contempla acciones encaminadas de reducción de emisiones en estos sectores, sino también busca fomentar la prevención de incendios y recuperación de las áreas verdes.

Planeación integral del uso del suelo

Reconociendo la contaminación atmosférica como una problemática integral, relacionada a factores como la expansión descontrolada de las urbes y una planeación sin elementos que busquen mejorar las condiciones ambientales para que sus habitantes y comunidades gocen de calidad de vida, esta estrategia busca integrar una visión de la planeación urbana que considere elementos que mejoren la calidad del aire en la zona, articulándose con planes de ordenamiento territorial y proponiendo medidas direccionadas a la identificación de zonas prioritarias en donde se enfoquen acciones de reducción de emisiones sobre diferentes fuentes contaminantes, además de brindar herramientas para una planeación estratégica del transporte.

7.2.2. Líneas estratégicas transversales

Fortalecimiento de las herramientas de gestión de la calidad aire

Mientras que la ciencia es esencial para la comprensión de la realidad, la tecnología combina ciencia e ingenio para diseñar y crear soluciones a los problemas que enfrenta la sociedad, e innovar medios y modos para satisfacer las necesidades esenciales y los deseos de la humanidad. Tecnología y ciencia se

refuerzan mutuamente, permitiendo ahorrar tiempo y dinero para expandir la educación, desarrollar innovación y propiciar mejores condiciones de vida. En este sentido, esta estrategia integra medidas para mejorar el conocimiento sobre la problemática de la calidad del aire a través de la ciencia y el uso de tecnología, así como fortalecer herramientas de seguimiento del cumplimiento de las metas del PIGECA.

Sistema para la protección de la vida y salud

El propósito de esta línea estratégica es establecer lineamientos que permitan mantener actualizado, vigente y operativo el Plan Operacional de Episodios Críticos con los siguientes objetivos principales: a) protección de la salud de la población de la zona metropolitana ante eventos de alta contaminación atmosférica asociados a condiciones meteorológicas desfavorables y circunstancias extraordinarias de emisión de contaminantes; b) efectividad en la implementación de acciones emergentes que permitan reducir la intensidad de las emisiones y sectores geográficos específicos ante tales situaciones; c) utilización del PIGECA como instrumento de concientización y fortalecimiento de cultura ciudadana a favor de la mejora de la calidad del aire; y d) impulso a acciones de transformación estructural que disminuyan emisiones y reduzcan la probabilidad de contingencias atmosféricas en el mediano y largo plazo. De la misma forma, se propone establecer un programa de vigilancia que permita contar con información confiable, comunicar de forma oportuna, fortalecer la capacidad de respuesta del gobierno y la población del AMM frente a los eventos en salud asociados con la contaminación atmosférica en la región.

Gobernanza para el mejoramiento de calidad del aire

Como parte integral del PIGECA se encuentra la implementación de un esquema de gobernanza diseñado específicamente para el AMM, el cual se detalla en el ANEXO 5. Esta línea estratégica se encuentra compuesta por medidas que permiten hacer seguimiento a la implementación de este esquema de gobernanza, proponiendo metas para su implementación que se desarrollarán de la mano con un programa de educación y comunicación, además de asegurar la transparencia a los procesos de ejecución del PIGECA.

Comunicación pública

Esta línea estratégica incorpora una medida que busca generar un modelo metropolitano de comunicación pública y permita liderar los contenidos que resulten de la conversación entre actores en los territorios del AMM, así como fortalecer los procesos de pedagogía ciudadana para la apropiación de la temática de calidad del aire y la generación de conciencia frente a hechos que involucran e impactan la vida de los habitantes en el territorio metropolitano.

7.3. Medidas del PIGECA

El PIGECA está conformado por 28 medidas distribuidas en las estrategias antes descritas, que fueron formuladas con base en los análisis y procesamiento de la información recolectada en los talleres de trabajos con actores; otros instrumentos como programas, planes y medidas en desarrollo o por desarrollar en el AMM; así como experiencias nacionales e internacionales en gestión de la calidad del aire. De igual forma, se busca que los componentes de las medidas (como metas, tiempo de ejecución,

indicadores, entre otros) puedan ser ajustables en tiempo si así es requerido y que se sigan desarrollando a través de procesos de concertación con actores directamente involucrados en su ejecución, utilizando las mesas de trabajo que esperan continúen desarrollándose como parte del esquema de gobernanza sugerido para la ejecución del PIGECA.

Las medidas se presentarán como fichas descriptivas con el siguiente contenido:

- **Actores:** esta sección presenta los actores que tendrán participación de forma directa o indirecta en el desarrollo de la medida. Estos actores se dividen en tres categorías descritas en la Tabla 37.

- **Tabla 37. Descripción de tipo de actores**

Tipo de actores	Descripción
Esfera de control	Actores que toman acciones y controlan directamente las acciones que se deben tomar.
Esfera de influencia	Actores que no tienen control directo pero que pueden tener una influencia en los proyectos (por ejemplo, acelerar/entorpecer procesos, potenciar acciones, replicar unas acciones en otras zonas, etcétera)
Esfera de interés	Especificar los actores que tienen algún, interés así no tengan control ni influencia. Actores a los que, por ejemplo, sea importante comunicarles los resultados por medio de talleres, documentos, etc.

- **Objetivo:** descripción resumida del objetivo principal de la medida. Será el resultado de la implementación de las acciones. Se presenta como una variable medible y verificable.
- **Meta:** resultado esperado del valor del indicador tras finalizar la implementación de la medida y cada acción. Estas metas son propuestas según la información disponible y podrán ser ajustadas durante la ejecución de la medida con su correspondiente justificación técnica. También pueden corresponder a metas ya establecida en otros instrumentos como planes o programas en ejecución en el AMM.
- **Justificación:** el propósito de esta sección es presentar los antecedentes, la identificación del problema a través de cifras y una breve introducción de cómo se propone se desarrolle la medida.
- **Acciones:** corresponde a la descripción de las acciones principales que se consideran relevantes para el desarrollo del proyecto. Dependiendo del avance en la formulación de la medida, se encontrarán acciones relacionadas con gestión o con desarrollo de estudios que permitan profundizar en la formulación de la medida. Un ejemplo de esto es el caso de ascenso tecnológico vehicular, en el cual se requiere un estudio detallado para desarrollar un esquema que permita su exitoso diseño e implementación de un programa de renovación de flota.
- **Impacto de la medida:** en la mayoría de las medidas de las estrategias sectoriales, los impactos se presentan como reducción de emisiones de contaminantes durante la ejecución de la medida. Para las demás medidas se presentan impactos en relación a aspectos sociales, en salud pública, articulación de actores, mejoramiento del conocimiento de la problemática de la calidad del aire en la región, entre otros impactos indirectos al desarrollo del PIGECA.
- **Indicadores:** son los indicadores para el monitoreo del cumplimiento de la meta. Deben ser específicos, medibles y asociados acciones con un determinado tiempo de ejecución. Como mínimo se presenta un indicador por medida y por acción. Así mismo, los indicadores de cada

ficha fueron consolidados en una matriz de indicadores presentados en el ANEXO 7 a este documento.

- **Calendario:** los calendarios presentados en las fichas son propuestas de ejecución de las acciones, que pueden seguir siendo concertados con los involucrados en las instancias del esquema de gobernanza del PIGECA.
- **Supuestos:** son aquellos factores externos expresados de forma positiva y como algo que debe ocurrir para que la medida o acciones se cumplan.

A continuación, se presentan las fichas descriptivas de cada medida que conforma el PIGECA por líneas estratégicas sectoriales y complementarias.

7.3.1. Medidas de las líneas estratégicas sectoriales

Son 19 las medidas de las líneas estratégicas sectoriales (Figura 69) y su numeración se encuentra relacionada al sector al que se dirige, como se muestra a continuación: cuatro se encuentran enfocadas a reducción de emisiones al sector de fuentes móviles (FM), siete enfocadas al sector de fuentes fijas (FF), cinco medidas dirigidas a la reducción de emisiones de las fuentes de área (FA) y tres medidas que van de la mano de la planeación urbana (P). Las fichas de formulación de estas medidas se presentan a continuación.

	Línea estratégica: Movilidad eficiente y bajas emisiones
	1FM. Desarrollo de infraestructura y promoción peatonal y ciclista
	2FM. Transición hacia vehículos automotores de emisiones cero
	3FM. Expansión e integración de modos de transporte público y mejoramiento de logística del transporte de carga – Megaproyectos en curso
	4FM. Inspección y mantenimiento estricto del parque vehicular
	Línea estratégica: Industria competitiva y baja en emisiones
	5FF. Programas de reducción de emisiones de sectores prioritarios de PM ₁₀ y PM _{2.5}
	6FF. Programas de reducción de emisiones de sectores prioritarios de NO _x
	7FF. Programas de reducción de emisiones de sectores prioritarios de SO ₂
	8FF. Programas de reducción de emisiones de sectores prioritarios de COV
	9FF. Prevención y control de emisiones a la atmósfera provenientes de la refinería
	10FF. Planes de reducción de emisiones en empresas dedicadas a extracción de caliza
11FF. Seguimiento y control a principales agentes contaminantes (control a fuente fijas)	
	Línea estratégica: Prevención y reducción de emisiones de fuentes de área
	12FA. Compromisos específicos de reducción de emisiones en actividades comerciales y de servicios a través de sus cámaras y asociaciones
	13FA. Programa de reducción de emisiones de gasolinas evaporativas en estaciones de servicios, transporte de combustibles y terminales de distribución (COV)
	14FA. Programa de limpieza, pavimentación y estabilización de vialidades para reducir emisiones y resuspensión de partículas
	15FA. Desarrollo de infraestructura verde
16FA. Monitoreo y control integral de incendios	
	Línea estratégica: Planeación eficiente y bajas emisiones
	17P. Zonas y corredores de bajas emisiones
	18P. Desarrollo Urbano Sostenible Integrando Transporte y Calidad del Aire
	19P. Articulación de planes/programas (desarrollo urbano, ordenamiento territorial y ecológico, Plan Estatal de Cambio Climático) con criterios de calidad del aire

Figura 69. Medidas de las líneas estratégicas sectoriales

7.3.1.1. Línea estratégica: Movilidad eficiente y baja en emisiones

LÍNEA ESTRATÉGICA: MOVILIDAD EFICIENTE Y BAJA EN EMISIONES																									
MEDIDA 1FM	Desarrollo de infraestructura y promoción ciclista																								
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Secretaría de Movilidad y Planeación Urbana de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León, Secretaría de Economía de Nuevo León, Secretaría de Salud de Nuevo León, Secretaría de Participación Ciudadana de Nuevo León, dependencias municipales del Área Metropolitana de Monterrey.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Grupos de la sociedad civil, otras secretarías estatales de Nuevo León.</p>																								
Objetivo	Reducir las emisiones de contaminantes locales y gases de efecto invernadero mediante un aumento en la participación de viajes en bicicleta en la distribución modal del Área Metropolitana de Monterrey (AMM).																								
Meta	<p>Se proponen metas en términos de viajes diarios adicionales en bicicleta que se logrará mediante la construcción de ciclovías y la instalación de bicicletas públicas en el AMM. Las siguientes metas se encuentran de acuerdo con lo propuesto en el PIMUS en el mediano plazo (6-12 años).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">Tipología vehicular</th> <th colspan="3">Variables</th> </tr> <tr> <th colspan="3">Año</th> </tr> <tr> <th>2026</th> <th>2029</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Viajes diarios adicionales en bicicleta</td> <td>63,000</td> <td>160,000</td> <td>230,000</td> </tr> <tr> <td>Kilómetros construidos de ciclovías</td> <td>No establecida</td> <td>No establecida</td> <td>426</td> </tr> <tr> <td>Bicicletas públicas</td> <td>No establecida</td> <td>No establecida</td> <td>900</td> </tr> </tbody> </table>			Tipología vehicular	Variables			Año			2026	2029	2033	Viajes diarios adicionales en bicicleta	63,000	160,000	230,000	Kilómetros construidos de ciclovías	No establecida	No establecida	426	Bicicletas públicas	No establecida	No establecida	900
Tipología vehicular	Variables																								
	Año																								
	2026	2029	2033																						
Viajes diarios adicionales en bicicleta	63,000	160,000	230,000																						
Kilómetros construidos de ciclovías	No establecida	No establecida	426																						
Bicicletas públicas	No establecida	No establecida	900																						
Justificación	<p>Si bien el transporte motorizado ha dominado buena parte de la atención en el diseño de sistemas de transporte en el último siglo, hoy en día es ampliamente aceptado que los sistemas de transporte del futuro tendrán que volver su atención a los modos activos, principalmente la caminata y bicicleta. Los modos activos no solo son en términos prácticos cero emisiones (tanto de contaminantes locales como de gases efecto invernadero –GEI-), sino que tienen beneficios que sobrepasan el impacto en calidad del aire. Los beneficios en salud física y mental por el fomento de la actividad física están ampliamente documentados; beneficios que son particularmente importantes en ambientes urbanos con altos y crecientes índices de sedentarismo y problemas de salud mental. Adicionalmente, de proveerse la infraestructura adecuada, estos modos también ayudan a la reducción de incidentes viales que hoy en día cobra cerca de 1.35 millones de vidas al año a nivel mundial y cerca de 15 mil en México. Finalmente, es importante resaltar que la movilidad basada en transporte privado motorizado tiene antecedentes históricos y tradiciones que benefician de manera inequitativa a los hombres, como se ha documentado en distintas regiones, y en particular en la región latinoamericana. Por ejemplo, típicamente en un hogar conformado por al menos un hombre y una mujer y con un solo vehículo, es el hombre quien tiene acceso constante. En este sentido, crear ambientes de transporte activo seguros puede ayudar a reducir la brecha de movilidad de género y construir ciudades que se desprendan de esquemas desiguales en cuanto a la movilidad. El camino hacia ambientes urbanos sostenibles necesita, sin lugar a dudas, una mayor participación de viajes realizados en bicicleta y caminata.</p> <p>En el AMM, en 2020 tan solo el 0.7% de los viajes se realizaron en bicicleta y el 18.3% a pie (Secretaría de Medio Ambiente - Gobierno del Estado de Nuevo León, 2020). Esta participación se relaciona con una infraestructura ciclista insuficiente que cuenta con tan solo 28 km de ciclovías, de los cuales tan solo una quinta parte se reporta en el PIMUS con “en buen estado” y más de la mitad está en mal o muy mal estado.</p> <p>Alrededor del mundo se han venido adelantando acciones para el fomento del transporte activo de las que el AMM puede tomar como inspiración para su aplicación en el contexto local. En cuanto al modo de caminata, acciones como las descritas en la ficha de “Desarrollo urbano sostenible” y de “Zonas de bajas emisiones” serán clave en ofrecer ambientes urbanos que se presten para este tipo de viajes. Sin embargo, para que la bicicleta pueda reemplazar viajes más largos y con más propósitos, será necesaria la construcción de infraestructura ciclista que lo permita.</p> <p>Esta ficha presenta dos acciones clave: la construcción de 426 km de ciclovías y la puesta en marcha de 900 bicicletas públicas, tal como se ha propuesto en las metas de mediano plazo del PIMUS. La creación de ciclovías exclusivas aleja a las personas que hacen viajes en bicicleta del resto del tráfico, lo que no solo tiene beneficios en seguridad vial (tanto percibida y como objetiva), sino que reduce las concentraciones de exposición a contaminantes locales como el material particulado al alejar a ciclistas de las fuentes. Por su parte, los beneficios de bicicletas públicas se deben no solo al potencial reemplazo de viajes en modos motorizados, sino a que juegan un papel simbólico que posiciona a las</p>																								



LÍNEA ESTRATÉGICA: MOVILIDAD EFICIENTE Y BAJA EN EMISIONES

MEDIDA 1FM

Desarrollo de infraestructura y promoción ciclista

bicicletas como un modo prioritario en la ciudad. Este rol simbólico es particularmente importante en ciudades que históricamente han tenido baja participación de bicicletas en las vías como el AMM.

Vale la pena mencionar que estas dos acciones deben venir acompañadas de una estrategia completa de fomento de uso de la bicicleta. Las personas del AMM se deben sentir seguras, tanto en términos de incidentes viales como de seguridad personal, deben conocer sus derechos y deberes al usar el espacio público, al igual que los otros actores en la vía, quienes deben modificar patrones de comportamiento agresivos y peligrosos. En ciudades de altas temperaturas será importante ofrecer espacios con sombra, en particular como medida de adaptación al inminente cambio climático de los próximos años. Es por esto que se han incluido campañas de reforestación urbana en las acciones del PIGECA.

Acciones

1. Crear una figura institucional que impulse proyectos de movilidad no motorizada (acción propuesta en el PIMUS).
2. Generar y publicar manuales de comportamiento en las vías para comunicar efectivamente las normas de tránsito que fomenten un comportamiento seguro en la vía de todos los actores viales.
3. Construir 426 km de ciclovías de acuerdo con los trazados definidos por la Secretaría de Movilidad y Planeación Urbana.
4. Puesta en marcha de un programa de bicicletas compartidas que asegure la disponibilidad de 900 bicicletas en el AMM para el año 2033.
5. Diseñar e implementar un plan de arborización en banquetas y ciclovías que permitan realizar viajes en transporte activo bajo la sombra.

Impacto de la medida

Se presentan, a continuación, los impactos de la medida en términos de porcentaje de reducción de emisiones con respecto al escenario tendencia de **emisiones fuentes móviles en carretera**.

Contaminante	Porcentaje de reducción										
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
PM ₁₀	0.00%	0.01%	0.03%	0.04%	0.06%	0.07%	0.07%	0.08%	0.09%	0.10%	0.09%
PM _{2.5}	0.01%	0.01%	0.03%	0.04%	0.06%	0.07%	0.07%	0.08%	0.09%	0.10%	0.10%
SO ₂	0.00%	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	0.06%	0.06%	0.07%	0.08%	0.09%	0.08%
NO _x	0.01%	0.02%	0.06%	0.09%	0.14%	0.16%	0.17%	0.19%	0.21%	0.23%	0.22%
COV	0.00%	0.01%	0.02%	0.02%	0.03%	0.04%	0.04%	0.05%	0.05%	0.06%	0.05%
CN	0.01%	0.01%	0.03%	0.04%	0.06%	0.07%	0.07%	0.08%	0.09%	0.10%	0.10%

Indicadores

Indicadores de medida:
Número de viajes al día adicionales en bicicleta.

Indicadores de acciones:
Acción 1: porcentaje de avance en la creación de la figura institucional y presupuesto asignado.
Acción 2: número de manuales y material promocional creado para la comunicación de cambios de comportamiento en las vías.
Acción 3: número de km de ciclovías construidos.
Acción 4: número de bicicletas públicas.
Acción 5: porcentaje de avance en el diseño e implementación del plan de arborización en banquetas y ciclovías que permitan realizar viajes en transporte activo bajo la sombra.

Calendario

Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Medida											
Acción 1		20%	100%								
Acción 2		0.5	0.5					0.5	0.5		
Acción 3		43	85	128	170	213	256	298	341	383	426
Acción 4		90	180	270	360	450	540	630	720	810	900
Acción 5		33.3%	66.6%	100%							

Supuestos:

Esta acción depende, en gran medida, del apoyo decidido de la Secretaría de Movilidad. Adicionalmente, supone que los viajes en bicicleta sustituyen viajes en vehículos motorizados siguiendo la siguiente distribución:

Categoría vehicular	Viajes en bicicleta sustituyen
Motocicletas	6%

LÍNEA ESTRATÉGICA: MOVILIDAD EFICIENTE Y BAJA EN EMISIONES

MEDIDA 1FM Desarrollo de infraestructura y promoción ciclista

	Autos particulares y taxis	12%
	Camionetas de pasajeros + pickup	12%
	Autobús	47%
	Vehículos > 3 Toneladas	0%

LÍNEA ESTRATÉGICA: MOVILIDAD EFICIENTE Y BAJA EN EMISIONES

MEDIDA 2FM Transición hacia vehículos automotores de emisiones cero

Actores	<p>Actores de la esfera de control: Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, Secretaría de Energía de México (SENER).</p> <p>Actores de la esfera de influencia: PEMEX; Agencia de Calidad del Aire del estado de Nuevo León; Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes de México; Secretaría de Hacienda y Crédito Público de México; Secretaría de Economía de Nuevo León; Secretaría de Movilidad y Planeación Urbana de Nuevo León; operarios de transporte público; empresas de transporte de carga y fleteo; empresas privadas con grandes flotas de carga.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Asociaciones de mecánicos y autopartes, grupos de la sociedad civil, y la academia.</p>																														
Objetivo	Reducir las emisiones de tubo de escape de contaminantes locales y GEI mediante un aumento en la participación de una flota eléctrica (electrificación) y de vehículos de combustión interna (renovación) con factores de emisión equivalente a estándares Euro VI en el transporte público, de carga y privado.																														
Meta	<p>Electrificación: Alcanzar una participación de vehículos eléctricos según categoría vehicular como se muestra a continuación:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">Tipología vehicular</th> <th colspan="2">Participación de vehículos eléctricos</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Año</th> </tr> <tr> <th>2028</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vehículos (i.e. vehículos livianos, camionetas de pasajeros y pickups, motocicletas)</td> <td>5%</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>Transporte de carga</td> <td>10%</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>Autobuses de transporte público</td> <td>25%</td> <td>40%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Renovación: Lograr que el 100% de autobuses diésel y 38% de camiones diésel cumplan con estándares de emisión equivalentes a las normas Euro VI o mejores, bien sea usando combustible diésel o gas natural vehicular.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">Tipología vehicular</th> <th colspan="2">Participación de vehículos de tecnologías euro VI o mejores</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Año</th> </tr> <tr> <th>2028</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Camiones Diésel</td> <td>15%</td> <td>38%</td> </tr> <tr> <td>Autobuses Diésel</td> <td>50%</td> <td>100%</td> </tr> </tbody> </table>		Tipología vehicular	Participación de vehículos eléctricos		Año		2028	2033	Vehículos (i.e. vehículos livianos, camionetas de pasajeros y pickups, motocicletas)	5%	10%	Transporte de carga	10%	20%	Autobuses de transporte público	25%	40%	Tipología vehicular	Participación de vehículos de tecnologías euro VI o mejores		Año		2028	2033	Camiones Diésel	15%	38%	Autobuses Diésel	50%	100%
Tipología vehicular	Participación de vehículos eléctricos																														
	Año																														
	2028	2033																													
Vehículos (i.e. vehículos livianos, camionetas de pasajeros y pickups, motocicletas)	5%	10%																													
Transporte de carga	10%	20%																													
Autobuses de transporte público	25%	40%																													
Tipología vehicular	Participación de vehículos de tecnologías euro VI o mejores																														
	Año																														
	2028	2033																													
Camiones Diésel	15%	38%																													
Autobuses Diésel	50%	100%																													
Justificación	<p>Electrificación El transporte basado en vehículos eléctricos es hoy en día una realidad alrededor del mundo. Si bien la participación de vehículos eléctricos como fracción de la flota total sigue siendo muy reducida, la presión mundial por reducir sustancialmente las emisiones de GEI viene acelerando este proceso. En noviembre de 2022, la Unión Europea anunció que se prohibirá la venta de automóviles nuevos de motores diésel y de gasolina, y en febrero de 2023 hizo un anuncio similar, buscando prohibir la venta de vehículos pesados diésel en 2040. Países como EE.UU. y el Reino Unido han adelantado programas legislativos equivalentes.</p> <p>La prohibición de venta de vehículos con motores de gasolina o diésel es quizá la apuesta más ambiciosa para hacer la transición a vehículos eléctricos, pero, sin lugar a dudas, no es la única. El fomento de vehículos eléctricos ha incluido otro tipo de acciones como: la creación de incentivos fiscales que permitan adquirir un vehículo eléctrico nuevo sin tener que pagar impuestos de importación o rodamiento, el acceso a créditos blandos para la compra de vehículos eléctricos, la exclusión de vehículos eléctricos de programas de restricción en días u horarios de mayor congestión como el “hoy no circula”, y la implementación de bahías de estacionamiento exclusivas para vehículos eléctricos.</p>																														

LÍNEA ESTRATÉGICA: MOVILIDAD EFICIENTE Y BAJA EN EMISIONES

MEDIDA 2FM Transición hacia vehículos automotores de emisiones cero

Típicamente, los obstáculos más importantes para la adquisición de vehículos eléctricos son falta de oferta suficiente por parte de ensambladoras e importadoras, falta de infraestructura de recarga y altos costos de capital iniciales, ya que, si bien la operación de un vehículo eléctrico es típicamente más económica, la adquisición del vehículo necesita de un respaldo financiero alto. Para que la electromovilidad sea una realidad en el AMM, será esencial dedicar especial atención a estos temas, pero se tendrán que hacer por medio de una colaboración estrecha con el gobierno federal. Quizá una de las flotas sobre la que el gobierno estatal de Nuevo León pueda tener mayor control es en el transporte público. Sin embargo, su nivel de control dependerá de los cambios en el esquema de contratación y recaudo del transporte público que se den en los próximos años (ver ficha de optimización de la flota para mayor detalle).

Renovación

Es claro que un objetivo de electrificar toda la flota a mediano plazo no es realista. Por eso, el proceso de electrificación se debe acompañar de un proceso de renovación. La renovación de la flota permite que los vehículos en operación cuenten con las últimas tecnologías de control de emisiones, pero esto debe venir acompañado de una legislación coherente. Los estándares Euro VI para vehículos pesados son hoy en día la base para buena parte de la legislación alrededor del mundo, ya que son estándares exigentes pero alcanzables por la industria automotriz. Sin embargo, para que los vehículos cumplan con estándares Euro VI, se debe asegurar un nivel de calidad de combustible equivalente, como es el uso exclusivo de diésel ultra bajo en azufre.

La legislación federal más exigente en México a la fecha es NOM-044-SEMARNAT-2017, la cual exige a todos los vehículos nuevos de más 3,857 kg de peso bruto y que utilicen diésel a que cumplan con estándares de emisión equivalentes a Euro VI. Esta legislación debe acompañarse de actualizaciones de la NOM-042-SEMARNAT-2003 (vehículos livianos nuevos tienen que cumplir con Euro III desde 2005) y de estándares de calidad del combustible coherentes con estos estándares. Vale la pena mencionar que aún hay municipios del AMM que distribuyen combustibles de menor calidad. La única forma de asegurar que la renovación de la flota sí traiga los beneficios en emisiones esperados, es asegurando, como mínimo, que el combustible disponible cumple con los estándares de calidad adecuados.

Electrificación:

1. Generación de un plan detallado de electrificación de la flota de transporte público y de carga que incluya algunos temas estratégicos necesarios como:
 - a) Definición de necesidades de energía eléctrica.
 - b) Esquemas contractuales con empresas comercializadoras de energía eléctrica o equivalente, con la finalidad de definir acuerdos para la provisión de estaciones de recarga de uso público.
 - c) Impactos en las rutas de transporte público y frecuencias.
 - d) Infraestructura para movilidad eléctrica requerida.
 - e) Un esquema de incentivos tributarios para la adquisición de vehículos eléctricos en sus distintas categorías.
 - f) Un plan de acceso a créditos blandos para la adquisición de vehículos eléctricos.
 - g) Definición de metas de electrificación

Renovación:

2. Definición de un cronograma de mejora de calidad de combustibles de manera que todo el diésel que se distribuya en el AMM cumpla con las necesidades de calidad para la operación de vehículos Euro VI.
3. Diseño y puesta en marcha de un plan de chatarrización.
4. Creación de una mesa de conversación nacional para actualizar estándares de emisión para vehículos nuevos que sean equivalentes a normas Euro VI o mejores.

Impacto de la medida

Se presentan, a continuación, los impactos de la medida en términos de porcentaje de reducción de emisiones con respecto al escenario tendencia de **emisiones fuentes móviles en carretera**.

Contaminante	Porcentaje de reducción de emisiones											
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
PM ₁₀	5.6%	11.3%	16.9%	22.6%	28.2%	33.8%	39.1%	44.5%	49.9%	56.3%	54.7%	
PM _{2.5}	5.7%	11.4%	17.1%	22.8%	28.5%	34.2%	39.6%	45.0%	50.5%	57.0%	55.4%	
SO ₂	4.5%	8.9%	13.4%	17.8%	22.3%	26.7%	31.0%	35.4%	39.7%	44.5%	43.3%	
NO _x	1.7%	3.4%	5.1%	6.8%	8.5%	10.2%	11.8%	13.4%	15.0%	16.6%	16.2%	

LÍNEA ESTRATÉGICA: MOVILIDAD EFICIENTE Y BAJA EN EMISIONES													
MEDIDA 2FM	Transición hacia vehículos automotores de emisiones cero												
		COV	5.3%	10.6%	15.8%	21.1%	26.4%	31.7%	36.6%	41.7%	46.8%	52.5%	51.1%
		CN	5.7%	11.4%	17.1%	22.8%	28.5%	34.2%	39.6%	45.0%	50.5%	57.0%	61.5%
Indicadores	<p>Indicadores de medida: Medida 1: porcentaje de participación de vehículos eléctricos en circulación discriminados por tipología vehicular. Medida 2: porcentaje de participación de vehículos con tecnologías de control de emisiones inferiores a Euro VI discriminado por tipología vehicular.</p> <p>Indicadores de acciones Acción 1: cantidad de planes de electrificación de la flota mencionado. Acción 2: porcentaje de avance en la definición de cronograma de mejora de calidad de combustibles. Acción 3: porcentaje de avance en el diseño e implementación de un programa de chatarrización. Acción 4: cantidad de mesas de trabajo para la actualización de los estándares de emisión.</p>												
Calendario		Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
		Medida											
		Acción 1		0.3	0.5	0.2							
		Acción 2		10%	55%	100%							
		Acción 3				45%	90%	100%					
		Acción 4			1								
Supuestos:	Estas medidas dependen en gran medida de alcanzar acuerdos de electrificación y renovación con el gobierno federal.												

LÍNEA ESTRATÉGICA: MOVILIDAD EFICIENTE Y BAJAS EMISIONES																
MEDIDA 3FM	Expansión e integración de modos de transporte público y mejoramiento de logística del transporte de carga															
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Secretaría de Movilidad y Planeación Urbana de Nuevo León, Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León; Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes de México; operarios de transporte público; empresas de transporte de carga y fleteo; empresas privadas con grandes flotas de carga.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Otras entidades responsables por el transporte público y de carga en otros estados de México.</p>															
Objetivo	Optimizar la operación del transporte público y del transporte de carga en el Área Metropolitana de Monterrey, logrando mover, respectivamente, más pasajeros y más carga recorriendo menores distancias por unidad que en el escenario tendencial.															
Meta	Mejorar el índice de pasajeros por kilómetro (IPK) en el transporte público y las toneladas por kilómetro (TPK) en el transporte de carga con respecto al escenario tendencial, tal como se presenta en la siguiente tabla: <table border="1" data-bbox="609 1539 1161 1661"> <thead> <tr> <th rowspan="3">Tipo de transporte</th> <th colspan="2">Mejora porcentual</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Año</th> </tr> <tr> <th>2028</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Transporte público (IPK)</td> <td>5%</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>Transporte de carga (TPK)</td> <td>5%</td> <td>10%</td> </tr> </tbody> </table>			Tipo de transporte	Mejora porcentual		Año		2028	2033	Transporte público (IPK)	5%	10%	Transporte de carga (TPK)	5%	10%
Tipo de transporte	Mejora porcentual															
	Año															
	2028	2033														
Transporte público (IPK)	5%	10%														
Transporte de carga (TPK)	5%	10%														
Justificación	<p>Transporte público El transporte público alrededor del mundo depende en gran medida de una combinación de autobuses de tamaños variables y trenes. Si bien los sistemas basados en trenes son fundamentales para el transporte de alta capacidad de pasajeros, sus altos costos de inversión e infraestructura poco flexible hace que sean poco viables para lograr una cobertura de toda la ciudad y en esta medida dependen de autobuses que complementen el sistema. Los sistemas de buses en las ciudades de América Latina han tenido procesos distintos, pero con muchos elementos en común en las distintas transiciones. A finales del siglo XX, una buena parte de las ciudades de la región tenían sistemas de</p>															

LÍNEA ESTRATÉGICA: MOVILIDAD EFICIENTE Y BAJAS EMISIONES

MEDIDA
3FM

Expansión e integración de modos de transporte público y mejoramiento de logística del transporte de carga

buses que se caracterizaban por una operación sin un control central en variables asociadas al nivel de servicio como frecuencias, condiciones de operación u oferta en zonas y horarios de poca demanda. Estos sistemas se basan típicamente en empresas operadoras independientes que adquieren permisos para operar en una ruta específica y su recaudo es directamente por medio del pago de pasajes a bordo. Los despachos, frecuencias y tamaño de flotas dependen de las empresas operadoras, quienes toman las decisiones tratando de optimizar su ganancia por la operación. Lo anterior resulta en una competencia *en* el mercado que da pie para operaciones redundantes, índices de pasajeros por kilómetro bajos e ineficiencias de operación debidas a las diferencias entre oferta, demanda, costos de operación y disponibilidad a pagar por parte de distintos niveles socioeconómicos.

Desde principios del siglo XXI, muchas ciudades han empezado una transición a un sistema central de operación, donde un ente gestor centralizado -típicamente público- define rutas, frecuencias, despachos, tamaño de vehículos y otras variables necesarias para garantizar un nivel de servicio específico y con tarifas integradas y asequibles para la mayoría de la ciudadanía, acudiendo en algunos casos a subsidios para cerrar la brecha entre la tarifa técnica (el costo por pasaje de la operación) y la tarifa a personas usuarias del sistema (costo del pasaje para pasajeros). En este tipo de sistemas, las empresas operadoras no compiten *en* el mercado sino *por* el mercado a través de licitaciones de 10 o 20 años y no hacen directamente el recaudo. El ente gestor centraliza el recaudo, acuerda una tarifa por kilómetro con las empresas operadoras y hace los pagos correspondientes.

La operación de los buses en el AMM se encuentra en una etapa de transición entre un esquema y el otro. Actualmente, cerca del 10% de la flota de transporte público depende directamente del gobierno estatal, pero la gran mayoría sigue funcionando por medio de operadores privados que hacen el recaudo por medio de pago de pasajes a bordo y tiene pleno control de sus operaciones, definiendo frecuencias, tamaño de vehículos y como resultado, niveles de servicio. Sin embargo, hay una voluntad por parte del sector público y algunas empresas operadoras para hacer la transición a un sistema que contenga las características de sistemas actuales de otras ciudades grandes de la región.

A lo anterior es importante adicionar los cambios de oferta y demanda que se dieron en Monterrey durante la pandemia de la COVID-19 en 2020. Si bien el fenómeno de reducción de demanda asociado a las medidas de aislamiento fue mundial, Monterrey ha tenido que sortear dos problemas adicionales en su transporte público. Por un lado, en los talleres realizados para el PIGECA se manifestó que, al reducirse la demanda de transporte público, la ciudad redujo también la oferta de manera que hoy las unidades restantes no son suficientes para atender un aumento en la demanda futuro. Adicionalmente, las empresas han optado por buscar transporte privado de pasajeros (buses de transporte especial) para asegurar el movimiento de sus empleados.

En este contexto, es fundamental continuar con la transición del sistema de transporte público que centralice el control y el nivel de servicio por medio de un ente gestor y que prepare al AMM para un transporte público, moderno y eficiente. La línea base del PIGECA está construida bajo el supuesto de que el transporte público seguirá creciendo bajo los patrones pre-pandémicos. Lo anterior implica que los bajos IPK que se experimentaban antes de la pandemia de la COVID-19 se mantienen constantes en la proyección de la línea base después de unos años de recuperación.

Las acciones aquí descritas, entonces, le apuntan a un rediseño del transporte público que permita aumentar los IPK, moviendo más pasajeros, pero recorriendo menos kilómetros. De manera conservadora, aquí se ha propuesto que los procesos de optimización de rutas y rediseño del sistema logran reducir los factores de actividad del transporte público en un 10%, sin afectar los niveles de servicio y atendiendo a una mayor población. Un cambio en el sistema de transporte público del AMM debe resultar en mejoras aún mayores, pero, debido a las incertidumbres de este cambio al momento de plantear el PIGECA, se ha optado por una meta conservadora.

Adicionalmente, se han incluido los impactos de la construcción de las tres nuevas líneas de metro (líneas 4, 5 y 6) proyectadas en el análisis costo-beneficio de agosto de 2022. El sistema de metro no solo permite una operación de las rutas de transporte público de buses más eficiente (mayor IPK), sino que posibilita un aumento en el número de pasajeros que se mueven en transporte eléctrico, y hace al sistema de transporte público más llamativo, evitando viajes de transporte privado.

Transporte de carga

Así como el transporte público, el transporte de carga también está sujeto a posibles optimizaciones que reduzcan los factores de actividad de vehículos pesados y de distribución en la última milla. Es común que, por ejemplo, algunas empresas con flota privada operen el 50% de sus viajes en vacío, por cuanto los camiones transportan carga en una sola dirección de, por ejemplo, plantas de producción y embalaje a centros de acopio.

Por otra parte, si bien el origen de la carga puede ser uno solo, según las características de distintos mercados, es común que un solo vehículo lleve carga que debe entregar en tres o cuatro puntos distintos. Esto implica que algunos vehículos

LÍNEA ESTRATÉGICA: MOVILIDAD EFICIENTE Y BAJAS EMISIONES																																																																																																
MEDIDA 3FM	Expansión e integración de modos de transporte público y mejoramiento de logística del transporte de carga																																																																																															
	<p>van una buena parte del recorrido sobredimensionados para la carga que transportan. Esto se convierte en ineficiencias todavía más evidentes en lugares como cadenas de mercado, por ejemplo, que reciben la carga de muchos proveedores, quizá varios de ellos con vehículos a capacidad media.</p> <p>Finalmente, alguna carga más liviana de fleteo y entrega de mensajería hoy en día se sigue distribuyendo en vehículos pequeños de motores de combustión interna, cuando bien se podría distribuir en bicicletas eléctricas equipadas para mover distintos tipos de carga.</p> <p>En este orden de ideas, el PIGECA plantea que la distribución de la carga en el AMM se optimice, aplicando las acciones que se plantean más adelante. El uso de centros de acopio en zonas estratégicas de la ciudad permite que existan bodegas a las que llega la carga de vehículos pesados y se redistribuye en vehículos de menor tamaño para evitar viajes ineficientes. Los esquemas de carga compartida permiten reducir algunos viajes en vacío, ya que los viajes sin carga de una empresa pueden ser los viajes estratégicos para otra.</p> <p>En este escenario se ha planteado de nuevo que, por medio de planes que optimicen la distribución de la carga, se va a alcanzar una reducción de 10% de los factores de actividad de los vehículos de carga con respecto a la línea base. Para la línea base, se ha asumido un aumento en los factores de actividad equivalente a las proyecciones de demanda de energía de manera que se ha supuesto que, sin medidas, no hay mejoras sustanciales en la eficiencia de distribución de la carga.</p>																																																																																															
Acciones	<p>Transporte público</p> <p>1: Re-diseño del sistema de operación del transporte público de pasajeros en el AMM, el cual incluya un plan de optimización de rutas de transporte que permita mantener la oferta y los niveles de servicio, y reduciendo las distancias totales recorridas. Algunas estrategias para lograrlo incluyen:</p> <ol style="list-style-type: none"> Reducción de recorridos en vacío. Aumento de capacidad de vehículos. Diseño de corredores de BRT y rutas exprés. <p>2. Puesta en marcha de las líneas 4, 5 y 6 del metro, de acuerdo a las proyecciones del análisis beneficio-costo de agosto de 2022.</p> <p>Transporte de carga</p> <p>3. Desarrollo y puesta en marcha de un programa de centros de acopio en zonas estratégicas de la ciudad para reducir los km en zonas urbanas de vehículos de carga pesados.</p> <p>4. Implementación de programas piloto de carga compartida y distribución nocturna.</p> <p>5. Diseño y puesta en marcha de un programa de distribución de carga de la última milla mediante bicicletas eléctricas.</p>																																																																																															
Impacto de la medida	<p>Se presentan, a continuación, los impactos de la medida en términos de porcentaje de reducción de emisiones con respecto al escenario tendencia de emisiones fuentes móviles en carretera.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Contaminante</th> <th colspan="11">Porcentaje reducción de emisiones</th> </tr> <tr> <th>2023</th> <th>2024</th> <th>2025</th> <th>2026</th> <th>2027</th> <th>2028</th> <th>2029</th> <th>2030</th> <th>2031</th> <th>2032</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PM₁₀</td> <td>0.6%</td> <td>1.4%</td> <td>2.1%</td> <td>2.8%</td> <td>3.5%</td> <td>4.2%</td> <td>4.8%</td> <td>5.4%</td> <td>6.1%</td> <td>6.7%</td> <td>6.5%</td> </tr> <tr> <td>PM_{2.5}</td> <td>0.6%</td> <td>1.4%</td> <td>2.1%</td> <td>2.8%</td> <td>3.5%</td> <td>4.2%</td> <td>4.8%</td> <td>5.5%</td> <td>6.1%</td> <td>6.8%</td> <td>6.6%</td> </tr> <tr> <td>SO₂</td> <td>0.4%</td> <td>1.1%</td> <td>1.8%</td> <td>2.4%</td> <td>3.1%</td> <td>3.7%</td> <td>4.1%</td> <td>4.5%</td> <td>5.0%</td> <td>5.4%</td> <td>5.2%</td> </tr> <tr> <td>NO_x</td> <td>0.4%</td> <td>2.5%</td> <td>4.5%</td> <td>6.4%</td> <td>8.2%</td> <td>9.9%</td> <td>10.2%</td> <td>10.4%</td> <td>10.7%</td> <td>10.9%</td> <td>10.6%</td> </tr> <tr> <td>COV</td> <td>0.8%</td> <td>1.8%</td> <td>2.9%</td> <td>3.9%</td> <td>4.9%</td> <td>5.9%</td> <td>6.6%</td> <td>7.3%</td> <td>8.0%</td> <td>8.8%</td> <td>8.5%</td> </tr> <tr> <td>CN</td> <td>0.6%</td> <td>1.3%</td> <td>1.9%</td> <td>2.6%</td> <td>3.2%</td> <td>3.9%</td> <td>4.5%</td> <td>5.2%</td> <td>5.8%</td> <td>6.5%</td> <td>7.1%</td> </tr> </tbody> </table>	Contaminante	Porcentaje reducción de emisiones											2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	PM ₁₀	0.6%	1.4%	2.1%	2.8%	3.5%	4.2%	4.8%	5.4%	6.1%	6.7%	6.5%	PM _{2.5}	0.6%	1.4%	2.1%	2.8%	3.5%	4.2%	4.8%	5.5%	6.1%	6.8%	6.6%	SO ₂	0.4%	1.1%	1.8%	2.4%	3.1%	3.7%	4.1%	4.5%	5.0%	5.4%	5.2%	NO _x	0.4%	2.5%	4.5%	6.4%	8.2%	9.9%	10.2%	10.4%	10.7%	10.9%	10.6%	COV	0.8%	1.8%	2.9%	3.9%	4.9%	5.9%	6.6%	7.3%	8.0%	8.8%	8.5%	CN	0.6%	1.3%	1.9%	2.6%	3.2%	3.9%	4.5%	5.2%	5.8%	6.5%	7.1%
Contaminante	Porcentaje reducción de emisiones																																																																																															
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033																																																																																					
PM ₁₀	0.6%	1.4%	2.1%	2.8%	3.5%	4.2%	4.8%	5.4%	6.1%	6.7%	6.5%																																																																																					
PM _{2.5}	0.6%	1.4%	2.1%	2.8%	3.5%	4.2%	4.8%	5.5%	6.1%	6.8%	6.6%																																																																																					
SO ₂	0.4%	1.1%	1.8%	2.4%	3.1%	3.7%	4.1%	4.5%	5.0%	5.4%	5.2%																																																																																					
NO _x	0.4%	2.5%	4.5%	6.4%	8.2%	9.9%	10.2%	10.4%	10.7%	10.9%	10.6%																																																																																					
COV	0.8%	1.8%	2.9%	3.9%	4.9%	5.9%	6.6%	7.3%	8.0%	8.8%	8.5%																																																																																					
CN	0.6%	1.3%	1.9%	2.6%	3.2%	3.9%	4.5%	5.2%	5.8%	6.5%	7.1%																																																																																					
Indicadores	<p>Medida</p> <p>Medida 1: porcentaje de mejora en el índice de pasajeros por kilómetro (IPK) del transporte público de pasajeros.</p> <p>Medida 2: porcentaje de mejora en el índice de toneladas transportadas por kilómetro (ITK) del transporte de carga.</p> <p>Transporte público:</p> <p>Acción 1: porcentaje de avance en el diseño financiero y operacional de un sistema integrado de transporte público.</p> <p>Acción 2.1: porcentaje de implementación de las líneas 4, 5 y 6 del metro.</p> <p>Acción 2.2: cambio de viajes al año del transporte privado (automóvil y motocicleta) al transporte público.</p> <p>Transporte de carga:</p> <p>Acción 3: porcentaje de centros de acopio estimados en el programa de centros de acopio en zonas estratégicas.</p>																																																																																															

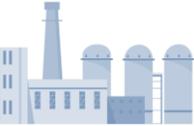
LÍNEA ESTRATÉGICA: MOVILIDAD EFICIENTE Y BAJAS EMISIONES													
MEDIDA 3FM	Expansión e integración de modos de transporte público y mejoramiento de logística del transporte de carga												
	<p>Acción 4: porcentaje de empresas en esquemas de carga compartida vinculadas al programa piloto.</p> <p>Acción 5: porcentaje de bicicletas eléctricas disponibles para la distribución de carga según lo estimado en el programa diseñado.</p>												
Calendario	Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
	Medida												
	Acción 1		5%	25%	45%	70%	90%	100%					
	Acción 2						100%						
	Acción 3					30%	60%	100%					
	Acción 4		30%	60%	100%								
	Acción 5				30%	60%	100%						
Supuestos:	<p>Transporte público Estas acciones dependen en gran medida de la voluntad del sector público y privado de continuar en el proceso de transición del sistema. Sin un cambio que permita la creación de un ente gestor y una competencia por el mercado por medio de licitaciones, los esfuerzos por optimizar las rutas serán superfluos. Igualmente, se ha supuesto una implementación de las líneas 4, 5 y 6 del metro relacionada con los resultados proyectados del análisis beneficio-coste de agosto de 2022.</p> <p>Transporte de carga La creación de centros de acopio, esquemas de carga compartida y distribución nocturna, dependen en gran medida de la disposición de colaboración entre distintos actores que pueden ser competencia o que tengan sospechas legítimas que les impidan compartir información detallada de sus esquemas de distribución. Será importante generar espacios que permitan generar un espacio de confianza mutua y aseguren ciertos niveles de confidencialidad. La viabilidad de distribución de carga en la última milla en bicicletas compartidas depende de que se implementen acciones de fomento de uso de la bicicleta. Para esto, remítase a la ficha de movilidad activa.</p>												

LÍNEA ESTRATÉGICA: MOVILIDAD EFICIENTE Y BAJA EN EMISIONES	
MEDIDA 4FM	Inspección y mantenimiento estrictos del parque vehicular
Actores involucrados	<p>Actores de la esfera de control: Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, Secretaría de Movilidad y Planeación Urbana, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: Transportistas.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Grupos de la sociedad civil.</p>
Objetivo	Fortalecer los mecanismos de control y seguimiento a las fuentes móviles vehiculares con el fin de aumentar la cobertura de inspección vehicular en términos de emisiones de contaminantes atmosféricos.
Meta	Diseño e implementación de un Programa de Inspección y Mantenimiento Vehicular para el transporte no privado regulado por el Estado de Nuevo León para el Área Metropolitana de Monterrey.
Justificación	<p>De acuerdo a los registros vehiculares del estado, el 80% de los vehículos se concentran en el AMM. De esta flota, el 80% son automóviles de uso particular, predominando en un 70% vehículos con más de 10 años de antigüedad. Los resultados del inventario de emisiones de contaminantes a la atmósfera del AMM de 2018 muestran que los vehículos automotores contribuyen con la emisión del 95% del CO, 75% de NO_x y el 42% de los COV.</p> <p>Por otra parte, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) en el 2008 realizó un estudio de emisiones vehiculares en el AMM a través del uso de la técnica de detección remota; como parte del análisis de los resultados se realizó una comparación de emisiones entre una ciudad que cuenta con un programa de inspección y mantenimiento vehicular, como es el caso de la Ciudad de México, versus las emisiones del AMM donde no se cuenta con ningún tipo de programa de esta naturaleza. Los resultados muestran que, en promedio, las emisiones vehiculares son mayores en el AMM en comparación con las de la flota vehicular que circula en la Ciudad de México (INECC, 2010).</p>

LÍNEA ESTRATÉGICA: MOVILIDAD EFICIENTE Y BAJA EN EMISIONES																																																													
MEDIDA 4FM	Inspección y mantenimiento estrictos del parque vehicular																																																												
	<p>Asimismo, en 2023 se realizaron mediciones a vehículos, en los cuales se recopilaron, al 3 de abril, los registros de 1,406,281 automóviles. Se obtuvo en los resultados que 822,646 vehículos (58%) son validados conforme a protocolos EPA; de esos, 618,525 (75%) cumplen con la norma NOM- 041-SEMARNAT-2006.</p> <p>Es así que la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Nuevo León, en una fase temprana de implementación del PIGECA, ha definido como prioritario para esta administración el diseño y puesta en marcha del Programa de Inspección y Mantenimiento Vehicular (PIMV) para el transporte no privado regulado por el Estado, como parte de una serie de acciones integrales planteadas en el PIGECA dirigidas a lograr una movilidad eficiente y baja en emisiones en el AMM.</p>																																																												
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. Elaborar el diseño del Programa que involucre la definición, esquema de inspección y mantenimiento vehicular que incluya las características correspondientes de los centros de inspección vehicular, equipamiento requerido y una la propuesta del seguimiento institucional. 2. Establecer una campaña comunicacional dirigida a tomadores de decisión, actores clave y el público en general. 3. Seguimiento a la calibración de equipos de medición. 																																																												
Impacto de la medida	Esta medida tiene un impacto directo en la reducción de contaminación al mejorar el control y seguimiento a las fuentes móviles. Sin embargo, su estimación no se puede realizar debido a que las mediciones realizadas no tienen una relación directa en emisiones.																																																												
Indicadores	<p>Indicadores de medida: Medida: reporte semestral de estadísticas de mediciones realizadas por parte del Programa de inspección, como mediciones realizadas, porcentaje de vehículos por tipología que cumplen e incumplen la normativa vigente, puntos de centros de medición, entre otra información que se considere relevante.</p> <p>Indicadores de acciones: Acción 1: cantidad de documentos con el diseño del Programa que involucre la definición, esquema de inspección y mantenimiento vehicular. Acción 2: cantidad de estrategias de comunicación pública del Programa. Acción 3: cantidad de reportes consolidado de calibración de equipos de medición.</p>																																																												
Calendario	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>2023</th> <th>2024</th> <th>2025</th> <th>2026</th> <th>2027</th> <th>2028</th> <th>2029</th> <th>2030</th> <th>2031</th> <th>2032</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Medida</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acción 1</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acción 2</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acción 3</td> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	Medida												Acción 1		1										Acción 2		1										Acción 3			1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033																																																		
Medida																																																													
Acción 1		1																																																											
Acción 2		1																																																											
Acción 3			1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																		
Supuestos:	Disposición presupuestal para el diseño e implementación del programa de inspección vehicular.																																																												

7.3.1.2. Línea estratégica: Industria competitiva y baja en emisiones

LÍNEA ESTRATÉGICA: INDUSTRIA COMPETITIVA Y BAJA EN EMISIONES

MEDIDA 5FF		Programas de reducción de emisiones sectores prioritarios de PM ₁₀ y PM _{2.5}																															
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Industrias del AMM con mayores emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5}.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León, Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, Procuraduría Estatal de Medio al Ambiente de Nuevo León, CAINTRA, entre otros.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Ciudadanía y academia.</p>																																
Objetivo	Incorporar a la industria de jurisdicción estatal y federal a programas de reducción de emisiones, con el propósito de lograr una disminución en el inventario de emisiones fugitivas y conducidas totales de PM ₁₀ y PM _{2.5} .																																
Meta	<p>Incorporación de empresas al PIGECA Incorporación al PIGECA de las 20 empresas top en emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5} a través de programas específicos de reducción de emisiones en el año 2024.</p> <p>Metas en reducción de emisiones específicas para el total de empresas del top de emisiones Se propone como meta la reducción progresiva de emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5} de las empresas top 20 con respecto al escenario tendencial de la siguiente forma:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Reducción de emisiones</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Ítem</th> <th colspan="3">Año</th> </tr> <tr> <th>2026</th> <th>2029</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porcentaje reducido</td> <td>25%</td> <td>40%</td> <td>52%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Además, se propone la reducción progresiva de emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5}, con respecto al escenario tendencial, en el resto de las empresas:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Reducción de emisiones</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Ítem</th> <th colspan="3">Año</th> </tr> <tr> <th>2026</th> <th>2029</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porcentaje reducido</td> <td>9%</td> <td>18%</td> <td>30%</td> </tr> </tbody> </table>			Reducción de emisiones				Ítem	Año			2026	2029	2033	Porcentaje reducido	25%	40%	52%	Reducción de emisiones				Ítem	Año			2026	2029	2033	Porcentaje reducido	9%	18%	30%
Reducción de emisiones																																	
Ítem	Año																																
	2026	2029	2033																														
Porcentaje reducido	25%	40%	52%																														
Reducción de emisiones																																	
Ítem	Año																																
	2026	2029	2033																														
Porcentaje reducido	9%	18%	30%																														
Justificación	<p>Según el inventario de emisiones del año 2018, la industria en el AMM aporta cerca del 59% de las emisiones primarias de PM₁₀ y el 57% de las emisiones primarias de PM_{2.5}. Lo anterior, sin considerar las partículas secundarias formadas por emisiones de otros gases contaminantes como SO₂ y NO_x, de los cuales la industria aporta cerca del 99% y 21%, respectivamente. Los sectores industriales de mayor aporte de emisiones de partículas en el AMM corresponden a: generación de energía eléctrica, metalurgia, petróleo y petroquímica, minerales no metálicos y extracción/beneficio de minerales no metálicos.</p> <p>En cuanto a calidad del aire, a pesar de la tendencia histórica que ha mostrado mejoras en los valores para partículas, en el AMM se siguen excediendo las normas nacionales (NOM-025-SSA1-2021) y los criterios recomendados por la OMS para estos contaminantes, tanto en promedios diarios (24 horas) como los promedios anuales, en casi todas las estaciones evaluadas para el año 2022, con la excepción de dos estaciones que están justo por debajo del límite nacional del PM_{2.5} en 24 h. Durante el mismo año, con respecto a PM₁₀ y tomando en cuenta la NOM, 203 días se pudieron catalogar con “mala” calidad del aire, 158 días “regular” y solo cuatro días como “buena”. En el caso de PM_{2.5}, 72 días se relacionaron con “mala” calidad del aire, 199 días como “regular” y 94 días como “buena”. Por ello, resulta fundamental reducir las emisiones generadas por el sector industrial para disminuir las concentraciones ambientales de partículas en beneficio de la salud de los habitantes.</p> <p>En ese sentido, esta medida busca fomentar la formulación de programas voluntarios de reducción de emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5} en la industria, con la excepción de la refinería abordada en la medida 9FF PIGECA. Estos programas se proponen que contengan metas específicas e indicadores de seguimiento, en los cuales se evidencie cómo el sector se encuentra comprometido con una mejor calidad del aire en la región.</p>																																
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. Continuar realizando las mesas de concertación con la industria con el fin de incorporarlas al PIGECA a través de programas voluntarios y específicos de reducción de emisiones, así como establecer metas y mecanismos de seguimiento. 2. Hacer seguimiento de las metas establecidas de forma anual con la información reportada por las empresas. 3. A continuación, se presentan acciones sugeridas a la industria para la formulación de los programas específicos de reducción de emisiones para PM₁₀ y PM_{2.5}: <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Elaboración de diagnóstico para la identificación de oportunidades de reducción de emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5} en cada establecimiento. 3.2. Entre las medidas de prevención y control de emisiones de partículas se pueden considerar la sustitución de operaciones y procesos, encapsulamiento y/o canalización de emisiones fugitivas, rehabilitación o sustitución del equipo de control de emisiones. De estos últimos se destacan: colectores ciclónicos, colectores de bolsas (sacudimiento mecánico, de aire reverso y neumático), precipitadores electrostáticos (húmedos y secos), lavadores (tipo Venturi y torres de aspersión). 																																

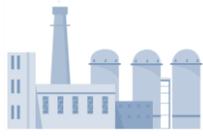
LÍNEA ESTRATÉGICA: INDUSTRIA COMPETITIVA Y BAJA EN EMISIONES												
MEDIDA 5FF Programas de reducción de emisiones sectores prioritarios de PM ₁₀ y PM _{2.5}												
	<p>3.3. Desarrollo de nuevos proyectos para el uso de sistemas de control que involucren el diseño conceptual o de ingeniería básica y la estimación de costos.</p> <p>3.4. Establecer un cronograma de implementación de las medidas y proyectos de control de emisiones de material particulado.</p> <p>3.5. Informes periódicos de avances de la implementación de los proyectos, conforme a las metas establecidas en el programa de reducción de emisiones voluntario.</p>											
Impacto de la medida	A continuación, se presenta la reducción de emisiones de PM ₁₀ y PM _{2.5} en términos de porcentaje con respecto al escenario tendencial de emisiones fuentes fijas en el AMM a partir de la implementación de esta medida.											
	Contaminante	Porcentaje de reducción de emisiones										
		2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
		PM ₁₀	0.0%	5.6%	11.1%	16.8%	20.8%	24.9%	28.9%	32.0%	35.0%	38.1%
PM _{2.5}	0.0%	5.8%	11.5%	17.3%	21.3%	25.4%	29.4%	32.4%	35.4%	38.4%	41.4%	
CN	0.0%	1.9%	3.9%	5.8%	7.0%	8.1%	9.3%	10.0%	10.7%	11.3%	12.0%	
Indicadores	Indicadores de medida:											
	Medida 1: cantidad total de empresas vinculadas al PIGECA.											
	Medida 2: porcentaje de toneladas totales reducidas de PM ₁₀ por las empresas vinculadas al PIGECA.											
	Medida 3: porcentaje de toneladas totales reducidas de PM _{2.5} por las empresas vinculadas al PIGECA.											
Indicadores de acciones:												
Acción 1: cantidad de mesas de trabajo y reuniones realizadas con la industria para concertación o acuerdos.												
Acción 2: porcentaje de programas de reducción de emisiones presentados al Gobierno por parte de las empresas en relación con la cantidad de empresas TOP de emisiones.												
Acción 3: porcentaje de informes de seguimiento presentados por las empresas vinculadas.												
Calendario	Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
	Medida											
	Acción 1	5	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Acción 2		33.3%	66.6%	100%							
	Acción 3		20%	20%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Supuestos:	Existe disposición y voluntad de las industrias en contribuir en la reducción de emisiones en el AMM. Además, los actores involucrados en la gobernanza del PIGECA contribuyen con las industrias, desde su área de acción, para lograr la disminución de las emisiones. Finalmente, se cuentan con los recursos necesarios para la implementación de esta medida; en su defecto, se buscarán y concertarán las opciones para conseguirlos.											
	En función de los resultados del diagnóstico propuesto como parte de esta medida, podrán realizarse ajustes a las acciones formuladas.											

LÍNEA ESTRATÉGICA: INDUSTRIA COMPETITIVA Y BAJA EN EMISIONES	
MEDIDA 6FF Programas de reducción de emisiones sectores prioritarios de NO _x	
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Industrias del AMM con mayores emisiones de NO_x.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León, Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, Procuraduría Estatal de Medio Ambiente de Nuevo León, CAINTRA, entre otros.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Ciudadanía y academia.</p>
Objetivo	Incorporar a la industria de jurisdicción estatal y federal a programas de reducción de emisiones, con el propósito de lograr una disminución en el inventario total de emisiones de combustión y proceso de los óxidos de nitrógeno (NO _x).



LÍNEA ESTRATÉGICA: INDUSTRIA COMPETITIVA Y BAJA EN EMISIONES																																					
MEDIDA 6FF Programas de reducción de emisiones sectores prioritarios de NO _x																																					
Meta	<p>Incorporación de empresas al PIGECA Incorporación al PIGECA de las 20 empresas top en emisiones de NO_x a través de programas específicos de reducción de emisiones en el año 2024.</p> <p>Metas en reducción de emisiones específicas para el total de empresas del top de emisiones Se propone como meta la reducción progresiva de emisiones de NO_x, con respecto al escenario tendencial, de las empresas top de la siguiente forma:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Reducción de emisiones de NO_x</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Ítem</th> <th colspan="3">Año</th> </tr> <tr> <th>2026</th> <th>2029</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porcentaje reducido</td> <td>22%</td> <td>30%</td> <td>40%</td> </tr> </tbody> </table>	Reducción de emisiones de NO _x				Ítem	Año			2026	2029	2033	Porcentaje reducido	22%	30%	40%																					
Reducción de emisiones de NO _x																																					
Ítem	Año																																				
	2026	2029	2033																																		
Porcentaje reducido	22%	30%	40%																																		
Justificación	<p>Según el inventario de emisiones del año 2018, la industria en el AMM aporta cerca del 21% de las emisiones de NO_x, siendo este un precursor de otros contaminantes como partículas secundarias en el aire. Los sectores industriales de mayor aporte a este contaminante en el AMM corresponden a: generación de energía eléctrica, petróleo y petroquímica, vidrio y metalúrgica. En cuanto a calidad del aire, en el AMM se siguen excediendo las normas nacionales (NOM-023-SSA1-2021) y los criterios recomendados por la OMS para el NO₂, tanto en promedios diarios (24 horas) como los promedios anuales, en casi todas las estaciones evaluadas para el año 2022, con la excepción de dos estaciones que están justo por debajo del límite nacional anual. Es por ello que resulta fundamental reducir las emisiones generadas por el sector industrial para disminuir las concentraciones ambientales de este contaminante en beneficio de la salud de los habitantes del AMM.</p> <p>En ese sentido, esta medida busca fomentar la formulación de programas voluntarios de reducción de emisiones de NO_x en la industria, con la excepción de la refinería abordada en la medida 9FF PIGECA. Estos programas se proponen que contengan metas específicas e indicadores de seguimiento, en los cuales se evidencie cómo el sector se encuentra comprometido con una mejor calidad del aire en la región.</p>																																				
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. Continuar realizando las mesas de concertación con la industria con el fin de incorporarlas al PIGECA a través de programas voluntarios y específicos de reducción de emisiones, así como establecer metas y mecanismos de seguimiento. 2. Hacer seguimiento de las metas establecidas de forma anual con la información reportada por las empresas. 3. A continuación, se presentan acciones sugeridas a la industria para la formulación de los programas específicos de reducción de emisiones para NO_x. <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Elaboración del diagnóstico para la identificación de oportunidades de reducción de emisiones de NO_x en cada establecimiento. 3.2. Entre las medidas de prevención y control de emisiones de NO_x se pueden considerar: la instalación de quemadores de bajo NO_x, sustitución de combustibles que contienen nitrógeno en su estructura, inyección de vapor de agua, recirculación de gases, reducción catalítica no selectiva (NSCR), reducción catalítica selectiva (SCR) y lavadores de gases. 3.3. Desarrollo de nuevos proyectos para el uso de sistemas de control que involucren el diseño conceptual o de ingeniería básica y la estimación de costos. 3.4. Establecer un cronograma de implementación de las medidas y proyectos de control de emisiones de NO_x. 3.5. Informes periódicos de avances de la implementación de los proyectos, conforme a las metas establecidas en el programa de reducción de emisiones voluntario. 																																				
Impacto de la medida	<p>A continuación, se encuentra el porcentaje de reducción de emisiones de NO_x con respecto al escenario tendencial de emisiones fuentes fijas en el AMM a partir de la implementación de esta medida.</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Contaminante</th> <th colspan="12">Porcentaje de reducción de emisiones</th> </tr> <tr> <th>2023</th> <th>2024</th> <th>2025</th> <th>2026</th> <th>2027</th> <th>2028</th> <th>2029</th> <th>2030</th> <th>2031</th> <th>2032</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NO_x</td> <td>0.0%</td> <td>4.7%</td> <td>9.7%</td> <td>14.6%</td> <td>16.4%</td> <td>18.2%</td> <td>20.0%</td> <td>21.6%</td> <td>23.3%</td> <td>25.0%</td> <td>26.6%</td> </tr> </tbody> </table>	Contaminante	Porcentaje de reducción de emisiones												2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	NO _x	0.0%	4.7%	9.7%	14.6%	16.4%	18.2%	20.0%	21.6%	23.3%	25.0%	26.6%
Contaminante	Porcentaje de reducción de emisiones																																				
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033																										
NO _x	0.0%	4.7%	9.7%	14.6%	16.4%	18.2%	20.0%	21.6%	23.3%	25.0%	26.6%																										
Indicadores	<p>Indicadores de medida: Medida 1: cantidad total de empresas vinculadas al PIGECA. Medida 2: porcentaje de toneladas totales reducidas de NO_x por las empresas vinculadas al PIGECA.</p> <p>Indicadores de acciones: Acción 1: cantidad de mesas de trabajo y reuniones realizadas con la industria para concertación o acuerdos.</p>																																				

LÍNEA ESTRATÉGICA: INDUSTRIA COMPETITIVA Y BAJA EN EMISIONES												
MEDIDA 6FF Programas de reducción de emisiones sectores prioritarios de NO _x												
	<p>Acción 2: porcentaje de programas de reducción de emisiones presentados al Gobierno por parte de las empresas en relación con la cantidad de empresas TOP de emisiones.</p> <p>Acción 3: porcentaje de informes de seguimiento presentados por las empresas vinculadas.</p>											
Calendario	Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
	Medida											
	Acción 1	5	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Acción 2		33.3%	66.6%	100%							
	Acción 3		20%	20%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Supuestos:	<p>Existe disposición y voluntad de las industrias en contribuir en la reducción de emisiones en el AMM. Además, los actores involucrados en la gobernanza del PIGECA contribuyen con las industrias, desde su área de acción, para lograr la disminución de las emisiones. Finalmente, se cuentan con los recursos necesarios para la implementación de esta medida; en su defecto, se buscarán y concertarán las opciones para conseguirlos.</p> <p>En función de los resultados del diagnóstico propuesto como parte de esta medida, podrán realizarse ajustes a las acciones formuladas.</p>											

LÍNEA ESTRATÉGICA: INDUSTRIA COMPETITIVA Y BAJA EN EMISIONES															
MEDIDA 7FF Programas de reducción de emisiones sectores prioritarios de SO ₂															
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Industrias del AMM con mayores emisiones de SO₂.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León, Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, Procuraduría Estatal de Medio Ambiente de Nuevo León, CAINTRA, entre otros.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Ciudadanía y academia.</p> 														
Objetivo	Incorporar a la industria de jurisdicción estatal y federal a programas de reducción de emisiones, con el propósito de lograr una disminución en el inventario total de emisiones de combustión y proceso de dióxido de azufre (SO ₂).														
Meta	<p>Incorporación de empresas al PIGECA</p> <p>Incorporación al PIGECA de las 10 empresas top en emisiones de SO₂ a través de programas específicos de reducción de emisiones a partir de los años 2023 y 2024. Dentro de estas empresas no se contempla la refinería ya que se cuenta con la medida 9FF específica.</p> <p>Metas en reducción de emisiones específicas para el total de empresas del top de emisiones</p> <p>Se propone como meta la reducción progresiva de emisiones de SO₂ de las empresas top con respecto al escenario tendencial de la siguiente forma:</p> <table border="1" data-bbox="592 1354 1169 1470"> <thead> <tr> <th rowspan="3">Ítem</th> <th colspan="3">Reducción de emisiones de SO₂</th> </tr> <tr> <th colspan="3">Año</th> </tr> <tr> <th>2026</th> <th>2029</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porcentaje reducido</td> <td>12%</td> <td>25%</td> <td>40%</td> </tr> </tbody> </table>	Ítem	Reducción de emisiones de SO ₂			Año			2026	2029	2033	Porcentaje reducido	12%	25%	40%
Ítem	Reducción de emisiones de SO ₂														
	Año														
	2026	2029	2033												
Porcentaje reducido	12%	25%	40%												
Justificación	<p>Según el inventario de emisiones del año 2018, la industria en el AMM aporta cerca del 99% de las emisiones de SO₂, del cual el 96% de estas emisiones provienen de la refinería y el restante de sectores industriales como el vidrio, cemento y cal, alimentos y química. En cuanto a calidad del aire, para el año 2022 solo cinco estaciones del AMM tienen la suficiencia de datos que permitieron su evaluación, dando como resultado que todas ellas cumplen con el criterio de 1 h y 24 para SO₂ establecido en la NOM-022-SSA1-2019. Una estación pasa el límite de 24 h recomendado por la OMS. Durante el mismo año y tomando en cuenta la NOM, 38 días se pudieron catalogar con “mala” la calidad del aire, 80 días “regular” y 247 días como “buena”. Cuatro de las nueve estaciones a las cuales se les pudo evaluar su tendencia histórica muestran incrementos significativos en las concentraciones en los últimos años, una refleja disminución significativa y las otras no muestran variaciones estadísticamente importantes.</p> <p>El dióxido de azufre es un gas precursor de otros contaminantes como las partículas secundarias. Anteriormente se ha hecho mención de que el material particulado grueso y fino sigue siendo un problema importante en el AMM. Es por ello que resulta relevante disminuir las emisiones generadas por el sector industrial para revertir las tendencias de aumento de las concentraciones ambientales de SO₂, contribuir con la mitigación de las concentraciones de material particulado y proteger la salud de los habitantes del AMM.</p> <p>Por tal motivo, esta medida busca incentivar la formulación de programas voluntarios de reducción de emisiones de SO₂ en la industria, con la excepción de la refinería abordada en la medida 9FF PIGECA. Estos programas se proponen que contengan metas específicas e</p>														

LÍNEA ESTRATÉGICA: INDUSTRIA COMPETITIVA Y BAJA EN EMISIONES

MEDIDA
7FF

Programas de reducción de emisiones sectores prioritarios de SO₂

indicadores de seguimiento, en los cuales se evidencie cómo el sector se encuentra comprometido con una mejor calidad del aire en la región.

Acciones

1. Continuar realizando las mesas de concertación con la industria con el fin de incorporarlas al PIGECA con programas voluntarios y específicos de reducción de emisiones, así como establecer metas y mecanismos de seguimiento.
2. Hacer seguimiento de las metas establecidas de forma anual con la información reportada por las empresas.
3. A continuación, se presentan acciones sugeridas a la industria para la formulación de los programas específicos de reducción de emisiones para el SO₂.
 - 3.1. Elaboración de diagnóstico para la identificación de oportunidades de reducción de emisiones de SO₂ en cada establecimiento.
 - 3.2. Entre las medidas de prevención y control de emisiones de SO₂ se pueden considerar:
 - a. Sustitución de combustibles de alto contenido de azufre (ejemplo: coque de petróleo y combustóleo) por combustibles gaseosos (gas natural o GLP).
 - b. Para corrientes ricas en SO₂ procesos de conversión a ácido sulfúrico o azufre elemental.
 - c. Sistemas de absorción con soluciones alcalinas (las más empleadas son NaOH y CaO, Ca(OH)₂).
 - 3.3. Desarrollo de nuevos proyectos para el uso de sistemas de control que involucren el diseño conceptual o de ingeniería básica y estimación de costos.
 - 3.4. Establecer un cronograma de implementación de las medidas y proyectos de control de emisiones de SO₂.
 - 3.5. Informes periódicos de avances de la implementación de los proyectos, conforme a las metas establecidas en el programa de reducción de emisiones voluntario.

Impacto de la medida

A continuación, se presenta el porcentaje de reducción de emisiones esperado para el contaminante SO₂ con respecto al escenario tendencial de las emisiones de las **fuentes fija** en el AMM a partir de la implementación de esta medida. Se resalta que estas reducciones no contemplan medidas directas para la refinería.

Contaminante	Porcentaje de reducción de emisiones										
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
SO ₂	0.00%	0.22%	0.44%	0.66%	0.90%	1.14%	1.38%	1.59%	1.79%	2.00%	2.21%

Indicadores

Indicadores de medida:

Medida 1: cantidad total de empresas vinculadas al PIGECA.

Medida 2: porcentaje de toneladas totales reducidas de SO₂ por las empresas vinculadas al PIGECA.

Indicadores de acciones:

Acción 1: cantidad de mesas de trabajo y reuniones realizadas con la industria para concertación o acuerdos.

Acción 2: porcentaje de programas de reducción de emisiones presentados al Gobierno por parte de las empresas en relación con la cantidad de empresas TOP de emisiones.

Acción 3: porcentaje de informes de seguimiento presentados por las empresas vinculadas.

Calendario

Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Medida											
Acción 1	5	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Acción 2		33.3%	66.6%	100%							
Acción 3		20%	20%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Supuestos:

Existe disposición y voluntad de las industrias en contribuir en la reducción de emisiones en el AMM. Además, los actores involucrados en la gobernanza del PIGECA contribuyen con las industrias, desde su área de acción, para lograr la disminución de las emisiones. Finalmente, se cuentan con los recursos necesarios para la implementación de esta medida; en su defecto, se buscarán y concertarán las opciones para conseguirlos.

En función de los resultados del diagnóstico propuesto como parte de esta medida, podrán realizarse ajustes a las acciones formuladas.

LÍNEA ESTRATÉGICA: INDUSTRIA COMPETITIVA Y BAJA EN EMISIONES																
MEDIDA 8FF	Programas de reducción de emisiones de industrias de alta emisión de compuestos orgánicos totales (COV)															
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Industrias del AMM con mayores emisiones de COV.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León, Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, Procuraduría Estatal de Medio al Ambiente de Nuevo León, CAINTRA, entre otros.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Ciudadanía y academia.</p> 															
Objetivo	Incorporar a la industria de jurisdicción estatal y federal a programas de reducción de emisiones, con el propósito de lograr una disminución en el inventario total de emisiones de fugitivas y conducidas de compuestos orgánicos volátiles (COV).															
Meta	<p>Incorporación de empresas al PIGECA Incorporación al PIGECA de las 10 empresas top en emisiones de COV a través de programas específicos de reducción de emisiones en 2024.</p> <p>Metas en reducción de emisiones específicas para el total de empresas del top de emisiones Se propone como meta la reducción progresiva de emisiones de COV de las empresas top con respecto al escenario tendencial de la siguiente forma:</p> <table border="1" data-bbox="662 863 1175 976"> <thead> <tr> <th colspan="4">Reducción de emisiones de COV</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Ítem</th> <th colspan="3">Año</th> </tr> <tr> <th>2026</th> <th>2029</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porcentaje reducido</td> <td>24%</td> <td>52%</td> <td>77%</td> </tr> </tbody> </table>	Reducción de emisiones de COV				Ítem	Año			2026	2029	2033	Porcentaje reducido	24%	52%	77%
Reducción de emisiones de COV																
Ítem	Año															
	2026	2029	2033													
Porcentaje reducido	24%	52%	77%													
Justificación	<p>Los COV son compuestos que han presentado en diversas investigaciones en el AMM una especialmente sensibilidad para la formación del O₃ (Carrillo-Torres et al., 2017; Fujita et al., 2003; Wolff et al. 2013). Según el inventario de emisiones del año 2018, la industria en el AMM aporta cerca del 9% de las emisiones de COV, de las cuales los sectores con mayor aporte son: la industria química, automotriz, petróleo y petroquímica, entre otros.</p> <p>En cuanto a calidad del aire, en el AMM se exceden las normas nacionales (NOM-020-SSA1-2021) y los criterios recomendados por la OMS para ozono, tanto en promedios horarios como los promedios octohorarios en todas las estaciones durante el 2022. En el mismo año y tomando en cuenta la NOM, 82 días se pudieron catalogar con “mala” calidad del aire, 247 días “regular” y solo 36 días como “buena”, con respecto al criterio de 8 h. Además, la evaluación histórica de la tendencia de las seis estaciones del AMM con datos suficientes mostró que cuatro estaciones presentan tendencia creciente significativa de la concentración de ozono en los últimos años y las otras dos tienen tendencia creciente no significativa. Por ello, resulta importante reducir las emisiones de COV generadas por el sector industrial para disminuir las concentraciones ambientales de ozono, revertir las tendencias en la calidad del aire y mejorar la salud de los habitantes del AMM.</p> <p>En ese sentido, esta medida busca fomentar la formulación de programas voluntarios de reducción de emisiones de COV en la industria, con la excepción de la refinería abordada en la medida 9FF PIGECA. Estos programas se proponen que contengan metas específicas e indicadores de seguimiento, en los cuales se evidencie cómo el sector se encuentra comprometido con una mejor calidad del aire en la región.</p>															
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. Continuar realizando las mesas de concertación con la industria con el fin de incorporarlas al PIGECA a través de programas voluntarios y específicos de reducción de emisiones, así como establecer metas y mecanismos de seguimiento. 2. Hacer seguimiento de las metas establecidas de forma anual con la información reportada por las empresas. 3. A continuación, se presentan acciones sugeridas a la industria para la formulación de los programas específicos de reducción de emisiones de COV. <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Elaboración del diagnóstico para la identificación de oportunidades de reducción de emisiones de COV en cada establecimiento. 3.2. Entre las medidas de prevención y control de emisiones de SO₂ se pueden considerar: <ol style="list-style-type: none"> a. Sustitución de pinturas tradicionales por pinturas, tintas y pegamentos a base de agua. b. Sustitución de pinturas base solvente por pintura electrostática. c. Sistemas de adsorción de carbón activado. d. Sistemas de condensación. e. Destrucción térmica (flama directa, catalíticos, regenerativos, flare). 															

LÍNEA ESTRATÉGICA: INDUSTRIA COMPETITIVA Y BAJA EN EMISIONES																																																																								
MEDIDA 8FF Programas de reducción de emisiones de industrias de alta emisión de compuestos orgánicos totales (COV)																																																																								
	f. Sistemas de absorción. 3.3. Desarrollo de nuevos proyectos para el uso de sistemas de control que involucren el diseño conceptual o de ingeniería básica y la estimación de costos. 3.4. Establecer un cronograma de implementación de las medidas y proyectos de control de emisiones de COV. 3.5. Informes periódicos de avances de la implementación de los proyectos, conforme a las metas establecidas en el programa de reducción de emisiones voluntario.																																																																							
Impacto de la medida	A continuación, se presenta el porcentaje de reducción de emisiones esperada de COV con respecto a las emisiones de fuentes fijas del AMM a partir de la implementación de esta medida. <table border="1" data-bbox="441 680 1399 819"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Contaminante</th> <th colspan="11">Reducción de emisiones (t/año)</th> </tr> <tr> <th>2023</th> <th>2024</th> <th>2025</th> <th>2026</th> <th>2027</th> <th>2028</th> <th>2029</th> <th>2030</th> <th>2031</th> <th>2032</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>COV</td> <td>0</td> <td>1,329</td> <td>2,426</td> <td>3,750</td> <td>5,379</td> <td>7,103</td> <td>8,923</td> <td>10,292</td> <td>11,726</td> <td>13,223</td> <td>14,783</td> </tr> </tbody> </table>												Contaminante	Reducción de emisiones (t/año)											2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	COV	0	1,329	2,426	3,750	5,379	7,103	8,923	10,292	11,726	13,223	14,783																									
Contaminante	Reducción de emisiones (t/año)																																																																							
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033																																																													
COV	0	1,329	2,426	3,750	5,379	7,103	8,923	10,292	11,726	13,223	14,783																																																													
Indicadores	Indicadores de medida: Medida 1: cantidad total de empresas vinculadas al PIGECA. Medida 2: porcentaje de toneladas totales reducidas de COV por las empresas vinculadas al PIGECA. Indicadores de acciones: Acción 1: cantidad de mesas de trabajo y reuniones realizadas con la industria para concertación o acuerdos. Acción 2: porcentaje de programas de reducción de emisiones presentados al Gobierno por parte de las empresas en relación con la cantidad de empresas TOP de emisiones. Acción 3: porcentaje de informes de seguimiento presentados por las empresas vinculadas.																																																																							
Calendario	<table border="1" data-bbox="342 1056 1502 1249"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>2023</th> <th>2024</th> <th>2025</th> <th>2026</th> <th>2027</th> <th>2028</th> <th>2029</th> <th>2030</th> <th>2031</th> <th>2032</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Medida</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acción 1</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Acción 2</td> <td></td> <td>33.3%</td> <td>66.6%</td> <td>100%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acción 3</td> <td></td> <td>20%</td> <td>20%</td> <td>90%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> </tr> </tbody> </table>	Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	Medida												Acción 1	5	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Acción 2		33.3%	66.6%	100%								Acción 3		20%	20%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%											
Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033																																																													
Medida																																																																								
Acción 1	5	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2																																																													
Acción 2		33.3%	66.6%	100%																																																																				
Acción 3		20%	20%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%																																																													
Supuestos	Existe disposición y voluntad de las industrias en contribuir en la reducción de emisiones en el AMM. Además, los actores involucrados en la gobernanza del PIGECA contribuyen con las industrias, desde su área de acción, para lograr la disminución de las emisiones. Finalmente, se cuentan con los recursos necesarios para la implementación de esta medida; en su defecto, se buscarán y concertarán las opciones para conseguirlos. En función de los resultados del diagnóstico propuesto como parte de esta medida, podrán realizarse ajustes a las acciones formuladas.																																																																							

LÍNEA ESTRATÉGICA: INDUSTRIA COMPETITIVA Y BAJA EN EMISIONES												
MEDIDA 9FF Prevención y control de emisiones a la atmósfera provenientes de la refinería												
Actores	Actores de la esfera de control: Petróleos mexicanos PEMEX Transformación Industrial. Actores de la esfera de influencia: Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA); Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); Secretaría de Medio Ambiente (SMA) del Gobierno de Nuevo León; Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León. Actores de la esfera de interés: Ciudadanía y academia. 											
Objetivo	Implementar un programa de reducción de emisiones en la refinería de Cadereyta orientado a lograr disminuciones de contaminantes criterio en calidad del aire respecto al año base de referencia 2018.											

LÍNEA ESTRATÉGICA: INDUSTRIA COMPETITIVA Y BAJA EN EMISIONES						
MEDIDA 9FF Prevención y control de emisiones a la atmósfera provenientes de la refinería						
Meta	Lograr reducciones de las emisiones de contaminantes criterio generadas en los sistemas de combustión, áreas de procesos, venteos, desfuegos, entre otros, respecto a las emisiones del año de línea base 2018. A continuación, se presentan las metas de reducción de emisiones propuestas para el año 2033.					
	Contaminante	PM₁₀	PM_{2.5}	SO₂	NO_x	COV
	Reducción de emisiones (t/mbd)	3,27	2,08	191,48	4,38	3,85
	Porcentaje de reducción de emisiones	50%	50%	80%	35%	75%
Justificación	<p>De acuerdo con las estimaciones del inventario de emisiones del AMM en el 2018, las emisiones de la refinería contribuyen a las emisiones totales de las fuentes fijas con: el 13.5% de las emisiones de PM₁₀, 11.1% de las PM_{2.5}, 13.2% de los NO_x, 8.7% de los COV y 94% de SO₂. Cabe mencionar que esa contribución corresponde a un procesamiento de crudo de 118 mbd durante el año 2018. Dado que se pretende llegar a un nivel de producción de 270 mbd, las emisiones podrían duplicarse en el caso de no tomar acciones. Tomando en cuenta solo los porcentajes de aportación de contaminantes criterio asociados a las descargas atmosféricas de la refinería, lograr su disminución traería repercusiones cuantitativas importantes en el inventario de emisiones del AMM.</p> <p>Diversos estudios recientes de caracterización de las partículas PM_{2.5} realizados en el AMM, indican que gran parte de los contaminantes emitidos por la refinería se transforman en sulfatos, nitratos y aerosoles orgánicos secundarios que afectan la salud de los habitantes de este territorio. Se encontró que las partículas finas contienen una gran cantidad de sulfato de calcio (CaSO₄), el cual está relacionado con altas concentraciones de SO₂ en la atmósfera asociado, a su vez, a emisiones de procesos de la refinería (Acuña-Askar et al., 2022; Centro Mario Molina, 2019; Mancilla et al., 2019;).</p> <p>Otra problemática identificada es la calidad de los combustibles que son producidas en la refinería. Actualmente, las especificaciones de tipo de volatilidad de gasolina (NOM-016-CRE-2016) en el AMM corresponden a B-2 en los meses más calurosos y C-3 en los meses más fríos. Esto aumenta las emisiones COV evaporativas en los vehículos, los cuales son un contaminante precursor de ozono troposférico. Este último es un contaminante priorizado, por cuanto sus concentraciones en 2022 han superaron los límites de 1 h y 8 h establecidos en la NOM-020-SSA1-2021 en las 14 estaciones del AMM.</p> <p>En cuanto al contenido de azufre de gasolinas y diésel, la NOM-016-CRE-2016 establece un contenido de azufre de gasolinas de 30 ppm en promedio y 15 ppm para diésel. Es indispensable garantizar en todos los municipios del AMM el suministro de gasolinas y diésel de ultra baja emisiones (UBA) para la introducción de vehículos con estándar EURO VI/6 con sistemas avanzados de control de emisiones. La disponibilidad permanente de diésel UBA en el AMM permitiría la adquisición de equipos y maquinarias de construcción (fuera de carretera) con tecnologías de control de punta para reducir sustancialmente las emisiones actuales de partículas y NO_x provenientes de este tipo de vehículos.</p> <p>Por lo anterior, esta medida busca implementar un programa estricto de reducción de emisiones en la refinería que pueda minimizar la exposición de la ciudadanía a los contaminantes atmosféricos generados por su funcionamiento, buscando eficiencia en los procesos y mejorando su competitividad. Esto de la mano con acciones que permitan direccionar un esquema de mejoramiento de la calidad de combustibles obtenidos como productos.</p>					
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diseñar y poner en operación un Programa para la Prevención y el Control Integral de las Emisiones de Partículas (PM₁₀ y PM_{2.5}) y SO₂. Esta acción se sugiere tenga las siguientes actividades: <ol style="list-style-type: none"> 1.1. <u>Actividades de diagnóstico:</u> <ol style="list-style-type: none"> 1.1.1. Elaboración detallada (y auditada) de la actualización del inventario de emisiones que se encuentre desagregado para el año 2022, en el cual se incluyan las estimaciones de las emisiones generadas por los sistemas de combustión, venteos desfuegos, quemadores elevados y de fosa, así como las emisiones de proceso tales como las plantas de recuperación de azufre y las plantas catalíticas. Datos que es la base del diagnóstico, este inventario se propone esté concluido en el año 2024. 1.1.2. Identificación de acciones que actualmente se realizan para la reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos, así como aquellas que se proponen realizar a futuro, en cada punto donde se generen emisiones por combustión y por proceso en la refinería. Algunas de estas acciones se han identificado como parte del proceso de formulación del PIGECA, que van direccionadas a incrementar al máximo la recuperación de azufre y la reducción de partículas. Entre estas acciones se identifican: (a) optimizar la operación de las plantas catalíticas para controlar las emisiones de partículas y SO₂, (b) optimización de los procesos para minimizar eventos de desfogue y quema de quemadores elevados y de piso con alta contaminación, (c) reducción del consumo de combustible en plantas de energía. 1.2. <u>Actividades de planeación:</u> 					

LÍNEA ESTRATÉGICA: INDUSTRIA COMPETITIVA Y BAJA EN EMISIONES																																																																								
MEDIDA 9FF																																																																								
Prevención y control de emisiones a la atmósfera provenientes de la refinería																																																																								
	<p>1.2.1. Elaboración del Programa para la Prevención y el Control Integral de las Emisiones de partículas (PM₁₀ y PM_{2.5}) y SO₂, el cual dé cuenta de cada actividad a realizar con un cronograma definido, así como la identificación de indicadores para seguimiento al desarrollo de dichas actividades y de la reducción de emisiones propuesta.</p> <p>1.2.2. Se propone establecer un programa adicional de compensación de las emisiones, como proyectos de recuperación de áreas verdes, pavimentación, entre otros, con el fin de garantizar su calidad, adicionalidad e impacto para las comunidades.</p> <p>1.3. <u>Actividades de ejecución:</u></p> <p>1.3.1. Elaboración periódica de la actualización del inventario de emisiones con el fin de dar seguimiento a las emisiones generadas por la refinería y las metas propuestas de reducción.</p> <p>1.3.2. Hacer seguimiento, a partir de la matriz de indicadores planteados, a las actividades para prevención y control de emisiones de contaminantes criterio.</p> <p>1.3.3. Presentar un informe de seguimiento de forma anual que incluya los dos ítems anteriores.</p> <p>2. Rehabilitación de las plantas de recuperación de azufre (SRU) y las plantas de tratamiento de colas (TGU) para lograr eficiencias de recuperación de azufre iguales o mayores al 95%.</p> <p>3. Garantizar el suministro de gasolinas de calidad clase AA con presión 7.8 psi en los 18 municipios que conforman el AMM durante los 12 meses del año de forma homóloga a los casos de la ZMVM y la ZMG, lo cual debe quedar estipulado en la actualización de la NOM-016-CRE-2016. Asimismo, es indispensable que en la división del AMM se incluyan los 18 municipios que la conforman y no ocho como se establece en la definición de esta zona en la mencionada norma.</p> <p>4. Garantizar el suministro de gasolinas y diésel Azufre UBA (< 30 ppm y < 15 ppm, respectivamente), en los 18 municipios que conforman el AMM durante todo el año en el corto plazo.</p>																																																																							
Indicadores	<p>Indicadores de medida: Se recomienda que se utilicen como indicadores las emisiones de cada contaminante por 1,000 barriles diarios procesados. Asimismo, se recomienda realizar registros frecuentes de los porcentajes de sulfatos en los aerosoles del AMM. Medida 1: porcentaje de toneladas de PM₁₀/mbd reducidas. Medida 2: porcentaje de toneladas de PM_{2.5}/mbd reducidas. Medida 3: porcentaje de toneladas de SO₂/mbd reducidas. Medida 4: porcentaje de toneladas de NO_x/mbd reducidas. Medida 5: porcentaje de toneladas de COV/mbd reducidas.</p> <p>Indicadores de acciones: Acción 1.1: porcentaje de cumplimiento de las actividades de diagnóstico para el diseño del Programa para la Prevención y el Control Integral de las Emisiones. Acción 1.2: porcentaje de cumplimiento de las actividades de planeación para el diseño y operación del Programa para la Prevención y el Control Integral de las Emisiones. Acción 1.3: porcentaje de cumplimiento de las actividades de ejecución para poner en operación un Programa para la Prevención y el Control Integral de las Emisiones. Acción 2: eficiencias de recuperación de azufre. Acción 3: porcentaje de suministro de gasolinas clase AA con respecto al suministro total de gasolinas. Acción 4.1: cantidad de azufre en gasolina suministrada en el AMM. Acción 4.2: cantidad de azufre en diésel suministrado en el AMM.</p>																																																																							
Impactos de la medida	<p>A continuación, se presenta la reducción de emisiones (t/año) en el inventario total de la industria en el AMM esperada con la implementación de esta medida.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Contaminante</th> <th colspan="11">Reducción de emisiones (t/año)</th> </tr> <tr> <th>2023</th> <th>2024</th> <th>2025</th> <th>2026</th> <th>2027</th> <th>2028</th> <th>2029</th> <th>2030</th> <th>2031</th> <th>2032</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PM₁₀</td> <td>0</td> <td>55.4</td> <td>114.7</td> <td>177.8</td> <td>244.9</td> <td>315.9</td> <td>390.8</td> <td>469.5</td> <td>552.2</td> <td>638.7</td> <td>729.1</td> </tr> <tr> <td>PM_{2.5}</td> <td>0</td> <td>30.0</td> <td>62.2</td> <td>96.4</td> <td>132.7</td> <td>171.1</td> <td>211.5</td> <td>254.0</td> <td>298.6</td> <td>345.3</td> <td>394.1</td> </tr> <tr> <td>NO_x</td> <td>0</td> <td>154.6</td> <td>297.0</td> <td>448.0</td> <td>607.4</td> <td>775.4</td> <td>951.8</td> <td>1,136.8</td> <td>1,330.3</td> <td>1,532.2</td> <td>1,742.7</td> </tr> <tr> <td>SO₂</td> <td>0</td> <td>4,132.3</td> <td>8,562.0</td> <td>13,291.0</td> <td>18,316</td> <td>23,640</td> <td>29,260</td> <td>35,178</td> <td>41,392</td> <td>47,903</td> <td>54,710</td> </tr> </tbody> </table>	Contaminante	Reducción de emisiones (t/año)											2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	PM ₁₀	0	55.4	114.7	177.8	244.9	315.9	390.8	469.5	552.2	638.7	729.1	PM _{2.5}	0	30.0	62.2	96.4	132.7	171.1	211.5	254.0	298.6	345.3	394.1	NO _x	0	154.6	297.0	448.0	607.4	775.4	951.8	1,136.8	1,330.3	1,532.2	1,742.7	SO ₂	0	4,132.3	8,562.0	13,291.0	18,316	23,640	29,260	35,178	41,392	47,903	54,710
Contaminante	Reducción de emisiones (t/año)																																																																							
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033																																																													
PM ₁₀	0	55.4	114.7	177.8	244.9	315.9	390.8	469.5	552.2	638.7	729.1																																																													
PM _{2.5}	0	30.0	62.2	96.4	132.7	171.1	211.5	254.0	298.6	345.3	394.1																																																													
NO _x	0	154.6	297.0	448.0	607.4	775.4	951.8	1,136.8	1,330.3	1,532.2	1,742.7																																																													
SO ₂	0	4,132.3	8,562.0	13,291.0	18,316	23,640	29,260	35,178	41,392	47,903	54,710																																																													

LÍNEA ESTRATÉGICA: INDUSTRIA COMPETITIVA Y BAJA EN EMISIONES												
MEDIDA 9FF Prevención y control de emisiones a la atmósfera provenientes de la refinería												
	COV	0	40.0	82.8	128.4	176.8	228.0	282.0	338.8	398.4	460.8	525.9
	CN	0	2.3	4.8	7.4	10.1	13.0	16.1	19.2	22.6	26.1	9.7
Calendario	El siguiente es un calendario propuesto para la ejecución, el cual durante el desarrollo del PIGECA puede ser concertado con los actores responsables de su implementación.											
	Acción	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
	Medida											
	Acción 1.1.		100%									
	Acción 1.2.		100%									
	Acción 1.3.					100%						
	Acción 2			95% o mayor								
	Acción 3			95%	95%	95%	95%	95%	100%	100%	100%	100%
	Acción 4.1.			30 ppm o menor								
Acción 4.2.			15 ppm o menor									
Supuestos	Las proyecciones de las emisiones se basan en los valores estimados en el inventario 2018, siendo importante aclarar que las emisiones reales pueden ser de mayor magnitud, por cuanto no se estiman ciertas actividades y operaciones tales como desfuegos, venteos y quemas en quemadores de piso, elevados y de fosa. Para las proyecciones se consideró que se duplicará el procesamiento de crudo durante los próximos cuatro años y luego permanecerá constante la producción en 240 mbd. La presente ficha técnica fue elaborada por el Clean Air Institute en colaboración con la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Nuevo León, con base en la información disponible.											

LÍNEA ESTRATÉGICA: INDUSTRIA COMPETITIVA Y BAJA EN EMISIONES																
MEDIDA 10FF	Planes de reducción de emisiones en empresas dedicadas a extracción de caliza															
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Empresas del sector de las pedreras de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León, Procuraduría Estatal de Medio Ambiente de Nuevo León, ASEC.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Ciudadanía, instituciones de educación superior.</p> 															
Objetivo	Implementar programas de reducción de emisiones de partículas PM ₁₀ y PM _{2.5} en la industria de extracción de material pétreo y sus derivados a lo largo de la cadena productiva (desde las voladuras hasta la descarga de materiales a su destino final).															
Meta	<p>Incorporación de empresas al PIGECA Incorporar, como mínimo, 10 de las empresas de la industria de extracción de minerales no metálicos de mayor aporte en emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5} en el inventario de este sector.</p> <p>Metas en reducción de emisiones específicas para el total de empresas del top de emisiones Se propone como meta la reducción progresiva de emisiones PM₁₀ y PM_{2.5} de las empresas top con respecto al escenario tendencial de la siguiente forma:</p> <table border="1" data-bbox="519 1575 1234 1701"> <thead> <tr> <th colspan="4">Reducción de emisiones de COV</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Ítem</th> <th colspan="3">Año</th> </tr> <tr> <th>2026</th> <th>2029</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Porcentaje reducido</td> <td>15%</td> <td>30%</td> <td>50%</td> </tr> </tbody> </table>	Reducción de emisiones de COV				Ítem	Año			2026	2029	2033	Porcentaje reducido	15%	30%	50%
Reducción de emisiones de COV																
Ítem	Año															
	2026	2029	2033													
Porcentaje reducido	15%	30%	50%													
Justificación	Según estimaciones realizadas por el CAI teniendo en cuenta la producción de las empresas (ANEXO 1), para el año 2020 el sector de extracción de minerales no metálicos dentro del AMM, o también llamadas pedreras, emitían 854 toneladas de PM ₁₀ y 356 toneladas de PM _{2.5} , lo cual corresponde a un aporte del 7.2% y 4.4% de las emisiones totales generadas de estos contaminantes en el AMM. Siendo el evidente aporte de este sector a las emisiones de partículas, esta medida busca fomentar la formulación de programas voluntarios de reducción de emisiones en este sector, el cual abone a los esfuerzos ya realizados por estas empresas en los últimos años.															

LÍNEA ESTRATÉGICA: INDUSTRIA COMPETITIVA Y BAJA EN EMISIONES

MEDIDA
10FF

Planes de reducción de emisiones en empresas dedicadas a extracción de caliza

Estos programas se proponen tener metas específicas con indicadores de seguimiento, en donde se evidencie como el sector se encuentra comprometido por una mejor calidad del aire en la región.
Así mismo, se busca mejorar la información que hoy en día se tiene de las emisiones de este sector, en donde se tenga en cuenta las estrategias de reducción de emisiones que hoy implementan estas empresas y que actualmente no son reportados de las COAs como es la pavimentación de vías o el usos de supresores de polvo.

Acciones

1. Continuar realizando las mesas de concertación con el sector de las pedreras con el fin de incorporarlas al PIGECA a través de programas voluntarios y específicos de reducción de emisiones, así como para establecer metas y mecanismos de seguimiento.
2. Formular los programas específicos de reducción de emisiones para PM₁₀ y PM_{2.5} en las pedreras y su cadena de valor. Para ello, se sugieren las siguientes acciones:
 - 2.1. Elaboración de un plan de reducción de emisiones de partículas PM₁₀ y PM_{2.5} por cada empresa del sector.
 - 2.2. Formular un programa de implementación de las medidas de prevención y control de emisiones en las operaciones y/o equipos de mayor aportación.
 - 2.3. Formular un programa de implementación de las medidas de prevención y control en las operaciones y/o equipos con las emisiones remanentes.
3. Hacer seguimiento de las metas establecidas de forma anual con la información reportada por las empresas.

Impacto de
la medida

A continuación, se presenta el porcentaje de reducción de emisiones con respecto al escenario tendencial de las emisiones de las **fuentes fijas** en el AMM que se espera con la implementación de esta medida.

Contaminante	Porcentaje de reducción de emisiones										
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
PM _{2.5}	0.0%	0.6%	1.3%	1.9%	2.6%	3.2%	3.9%	4.6%	5.3%	5.9%	6.6%
PM ₁₀	0.0%	0.4%	0.8%	1.1%	1.5%	1.9%	2.3%	2.6%	3.0%	3.4%	3.8%

Indicadores

Indicadores de medida:

Cantidad de empresas vinculadas al PIGECA.

Indicadores de acciones:

Acción 1: cantidad de mesas de trabajo y reuniones realizadas con la industria para concertación o acuerdos.

Acción 2: porcentaje de programas de reducción de emisiones presentados al Gobierno por parte de las empresas en relación con la cantidad de empresas TOP de emisiones.

Acción 3: porcentaje de informes de seguimiento presentados por las empresas vinculadas.

Calendario

Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Medida											
Acción 1		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Acción 2		20%	60%	100%							
Acción 3			20%	40%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Supuestos:

Existe disposición y voluntad de las empresas del sector en contribuir en la reducción de emisiones en el AMM. Además, los actores involucrados en la gobernanza del PIGECA contribuyen con las empresas del sector, desde su área de acción, para lograr la reducción de sus emisiones. Relacionado con lo anterior, se cuentan con los recursos necesarios para la implementación de esta medida; en su defecto, se buscarán y concertarán las opciones para conseguirlos.

LÍNEA ESTRATÉGICA: INDUSTRIA COMPETITIVA Y BAJA EN EMISIONES													
MEDIDA 11FF Seguimiento y control a principales agentes contaminantes (control a Fuentes Fijas)													
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: SEMARNAT, Industria de Nuevo León, Procuraduría Estatal de Medio Ambiente de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Ciudadanía, CAINTRA.</p>												
Objetivo	Integrar nuevas herramientas para fortalecer seguimiento y control a las metas propuestas en el PIGECA de los principales agentes contaminantes. Esta medida busca fortalecer las actividades realizadas para autorizaciones y/o licencias, COA, revisión de planes de reducción de las industrias, recopilación de información para inventarios, entre otras.												
Meta	Puesta en marcha de la plataforma incorporando publicaciones periódicas y actualizadas del avance de nuevas empresas que se adhieran al PIGECA e información general del avance en el cumplimiento de reducción de emisiones en el sector industrial.												
Justificación	<p>Según el inventario de emisiones del año 2018, la industria en el AMM aporta la mayor cantidad de emisiones de partículas y gases contaminantes. Es así que el PIGECA tiene integradas medidas direccionadas a la formulación de programas de reducción de emisiones voluntarios, las cuales tienen como objetivo incorporar aquellas empresas de mayor emisión de los diferentes contaminantes.</p> <p>Como parte del seguimiento a la implementación de estos programas y al desarrollo del PIGECA en relación con las fuentes industriales, se propone crear herramientas que permitan facilitar esta tarea. Es así que se propone el desarrollo de una plataforma (de lo posible web) en donde pueda realizarse, por parte de las empresas, un reporte sencillo y ágil del avance de los indicadores y metas propuestos en sus programas de reducción de emisiones, así como la subida de información que sustente sus reportes. Adicionalmente, esta plataforma se propone esté conformada por una sección disponible al público que permita visualizar de forma general (no por empresa) el avance de la reducción de emisiones y demás metas propuestas para la industria en el PIGECA.</p> <p>Por el momento, esta herramienta está enfocada a las fuentes industriales; sin embargo, con el tiempo puede extenderse a otros sectores contaminantes como las fuentes móviles.</p>												
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> Desarrollo de una plataforma informática para la captura de datos e interfase que permita la incorporación de las empresas con programas de reducción de emisiones al PIGECA, dar seguimiento a la implementación de estos programas y generar información pública total (no por empresa) del avance en reducción de emisiones del sector industrial en el AMM. Tener en cuenta que los reportes solicitados a las empresas deben ser concretos y en lo posible no generar doble trabajo adicional al reporte de la COA. Socialización y capacitación en la usabilidad del sistema y piloto de funcionamiento de la plataforma web, generación de vistas y datos para el manejo público de la información. Puesta en marcha de la plataforma web, incorporando publicaciones periódicas y actualizadas del avance de nuevas empresas que se adhieran al PIGECA e información general del avance en el cumplimiento de reducción de emisiones en el sector industrial. Evaluación de la expansión de la plataforma a otros sectores contaminantes como el transporte y al seguimiento general de las metas del PIGECA. 												
Impacto de la medida	Esta medida no tiene un impacto directo en reducción de emisiones, pero permite generar confianza en la comunidad del AMM, al realizar reportes públicos que aseguren transparencia en el avance del cumplimiento del PIGECA en sus medidas enfocadas al sector industria. Adicionalmente, permite apoyar al Gobierno en el seguimiento a las metas propuestas en el PIGECA.												
Indicadores	<p>Indicadores de medida: Cantidad de publicaciones en la página web semestrales del avance en las metas.</p> <p>Indicadores de acciones: Acción 1: un documento del diseño de plataforma web. Acción 2: cantidad de socializaciones y capacitación de la plataforma. Acción 3: un documento evaluación de incorporación de otros sectores contaminantes.</p>												
Calendario	Acción	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
	Medida												
	Acción 1		0.3	0.7									
	Acción 2					Mínimo 3		Mínimo 3		Mínimo 3		Mínimo 3	
	Acción 3				1								

LÍNEA ESTRATÉGICA: INDUSTRIA COMPETITIVA Y BAJA EN EMISIONES	
MEDIDA 11FF Seguimiento y control a principales agentes contaminantes (control a Fuentes Fijas)	
Supuestos:	<ul style="list-style-type: none">- Disposición presupuestal para el diseño y puesta en marcha de la plataforma.- Incorporación esperada de las empresas vinculadas al PIGECA.- Disposición- de las empresas vinculadas para generar reportes de avances de sus programas voluntarios de reducción de emisiones.

7.3.1.3. Línea estratégica: Prevención y reducción de emisiones en fuentes de área

LÍNEA ESTRATÉGICA: PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE FUENTES DE ÁREA																																																																																				
MEDIDA 12FA	Compromisos específicos de reducción de emisiones en actividades comerciales y de servicios a través de sus cámaras y asociaciones																																																																																			
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Propietarios de establecimientos comerciales y de servicios.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León, Procuraduría Estatal de Medio Ambiente de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Ciudadanía, instituciones de educación superior.</p> 																																																																																			
Objetivo	Fomentar la implementación de acciones para la reducción de emisiones y la mejora de la eficiencia energética en el sector comercial y de servicio, logrando, además, establecer metas de reducción.																																																																																			
Meta	Identificación e incorporación de establecimientos comerciales en programas de reducción de emisiones de contaminantes atmosféricas.																																																																																			
Justificación	<p>Según el inventario de emisiones del año 2018, los establecimientos comerciales que utilizan asado al carbón aportan el 3.2% de las emisiones de partículas PM_{2.5}. Además, se estima que los sectores comerciales que utilizan operaciones de aplicación de pinturas y tintas base solventes también tienen un impacto significativo en las emisiones de COV. La cuantificación del aporte de las emisiones de estos sectores puede ser mejorada con información más detallada para la formulación de estrategias contundentes de mitigación de contaminantes atmosféricos.</p> <p>Es así que parte de las acciones de esta medida consisten en mejorar la cuantificación de las emisiones de estos sectores distribuidos en toda el AMM, la cual se puede realizar en apoyo con instituciones académicas quienes poseen avances en este proceso.</p> <p>De forma paralela, siendo relevante el aporte de estos sectores en emisiones de partículas, COV y otros contaminantes, esta medida busca fomentar la formulación de programas voluntarios de reducción de emisiones, los cuales permitan tener un apoyo y guía del Gobierno de Nuevo León, generando así mesas de trabajo que logren informar y aunar esfuerzos para la mejora de calidad del aire del AMM.</p>																																																																																			
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> Iniciar mesas de concertación con los sectores comerciales y de servicios con el fin de incorporarlas al PIGECA con programas voluntarios de reducción de emisiones. Ejecutar un estudio detallado de identificación de los establecimientos comerciales y de servicios en el AMM, así como la estimación de emisiones de contaminantes atmosféricos. A continuación, se presentan acciones específicas para algunos sectores que pueden ser incorporadas como parte de esta medida. <ol style="list-style-type: none"> Formular programas de reducción de emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5} en establecimientos de preparación de alimentos que usan leña y carbón. Formular programas de reducción de emisiones de COV en operaciones de aplicación de pinturas y tintas base solventes en establecimientos comerciales. Formular programas de reducción de emisiones de partículas, NO_x, SO₂, CO e COV en equipos de combustión en hospitales, centros deportivos, tiendas de autoservicio, panaderías, entre otros. 																																																																																			
Impacto de la medida	<p>A continuación, se presenta el porcentaje de reducción de emisiones con respecto al escenario tendencial de emisiones de las fuentes de área que se espera con la implementación de la medida.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Contaminante</th> <th colspan="11">Reducción de emisiones (t/año)</th> </tr> <tr> <th>2023</th> <th>2024</th> <th>2025</th> <th>2026</th> <th>2027</th> <th>2028</th> <th>2029</th> <th>2030</th> <th>2031</th> <th>2032</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PM_{2.5}</td> <td>0.0%</td> <td>1.2%</td> <td>2.4%</td> <td>3.5%</td> <td>4.6%</td> <td>5.6%</td> <td>6.7%</td> <td>7.7%</td> <td>8.7%</td> <td>9.7%</td> <td>10.6%</td> </tr> <tr> <td>PM₁₀</td> <td>0.0%</td> <td>2.2%</td> <td>2.3%</td> <td>2.3%</td> <td>2.4%</td> <td>2.4%</td> <td>2.4%</td> <td>2.5%</td> <td>2.5%</td> <td>2.6%</td> <td>2.6%</td> </tr> <tr> <td>NO_x</td> <td>0.0%</td> <td>1.6%</td> <td>3.1%</td> <td>4.5%</td> <td>5.9%</td> <td>7.3%</td> <td>8.6%</td> <td>9.8%</td> <td>11.0%</td> <td>12.1%</td> <td>13.2%</td> </tr> <tr> <td>SO₂</td> <td>0.0%</td> <td>0.8%</td> <td>1.6%</td> <td>2.4%</td> <td>3.2%</td> <td>3.9%</td> <td>4.6%</td> <td>5.3%</td> <td>6.0%</td> <td>6.6%</td> <td>7.3%</td> </tr> <tr> <td>COV</td> <td>0.0%</td> <td>0.1%</td> <td>0.2%</td> <td>0.3%</td> <td>0.3%</td> <td>0.4%</td> <td>0.5%</td> <td>0.6%</td> <td>0.6%</td> <td>0.7%</td> <td>0.8%</td> </tr> </tbody> </table> <p>De forma adicional se esperan tener los siguientes impactos con la implementación de esta medida:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mejora en la salud de los habitantes del AMM debido a la reducción de emisiones atmosféricas por parte de estos sectores empresariales. - Uso eficaz y eficiente de recursos de manera sinérgica con el trabajo colaborativo de los diversos establecimientos que forman parte de cada sector para formular e implementar los programas de reducción de emisiones. - Fortalecimiento de la responsabilidad social y ambiental empresarial en el AMM. 	Contaminante	Reducción de emisiones (t/año)											2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	PM _{2.5}	0.0%	1.2%	2.4%	3.5%	4.6%	5.6%	6.7%	7.7%	8.7%	9.7%	10.6%	PM ₁₀	0.0%	2.2%	2.3%	2.3%	2.4%	2.4%	2.4%	2.5%	2.5%	2.6%	2.6%	NO _x	0.0%	1.6%	3.1%	4.5%	5.9%	7.3%	8.6%	9.8%	11.0%	12.1%	13.2%	SO ₂	0.0%	0.8%	1.6%	2.4%	3.2%	3.9%	4.6%	5.3%	6.0%	6.6%	7.3%	COV	0.0%	0.1%	0.2%	0.3%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.6%	0.7%	0.8%
Contaminante	Reducción de emisiones (t/año)																																																																																			
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033																																																																									
PM _{2.5}	0.0%	1.2%	2.4%	3.5%	4.6%	5.6%	6.7%	7.7%	8.7%	9.7%	10.6%																																																																									
PM ₁₀	0.0%	2.2%	2.3%	2.3%	2.4%	2.4%	2.4%	2.5%	2.5%	2.6%	2.6%																																																																									
NO _x	0.0%	1.6%	3.1%	4.5%	5.9%	7.3%	8.6%	9.8%	11.0%	12.1%	13.2%																																																																									
SO ₂	0.0%	0.8%	1.6%	2.4%	3.2%	3.9%	4.6%	5.3%	6.0%	6.6%	7.3%																																																																									
COV	0.0%	0.1%	0.2%	0.3%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.6%	0.7%	0.8%																																																																									

LÍNEA ESTRATÉGICA: PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE FUENTES DE ÁREA												
MEDIDA 12FA Compromisos específicos de reducción de emisiones en actividades comerciales y de servicios a través de sus cámaras y asociaciones												
	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora en la gestión ambiental empresarial y cumplimiento de la legislación ambiental por parte del sector privado, con lo cual se evitan sanciones administrativas y penales. - Aprovechar todas estas acciones para el mejoramiento de la imagen pública de las empresas. 											
Indicadores	<p>Indicadores de medida: Porcentaje de establecimientos vinculados al PIGECA del total del AMM.</p> <p>Indicadores de acciones: Acción 1: mesas de trabajo y reuniones realizadas con establecimientos comerciales. Acción 2: cantidad de informes de identificación y cuantificación de emisiones de establecimientos comerciales. Acción 3: porcentaje de programas de reducción de emisiones presentados al Gobierno por parte de los establecimientos identificados.</p>											
Calendario	Acción	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
	Medida											
	Acción 1		Mínimo 3	Mínimo 3								
	Acción 2			0.3	0.7							
	Acción 3					Mínimo 10%						
Supuestos:	Existe disposición y voluntad de las empresas de los distintos sectores involucrados en contribuir en la reducción de emisiones en el AMM. Además, los actores que forman parte en la gobernanza del PIGECA contribuyen con las empresas de estos sectores, desde su área de acción, para lograr la reducción de sus emisiones. Relacionado con lo anterior, se cuentan con los recursos necesarios para la implementación de esta medida; en su defecto, se buscarán y concertarán las opciones para conseguirlos.											

LÍNEA ESTRATÉGICA: PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE FUENTES DE ÁREA												
MEDIDA 13FA Programa de reducción de emisiones de gasolinas evaporativas en estaciones de servicios, transporte de combustibles y terminales de distribución (COV)												
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Petróleos Mexicanos PEMEX Transformación Industrial, Organización de Expendedores de Petróleo de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA); Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); Secretaría de Medio Ambiente (SMA) del Gobierno de Nuevo León; Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Ciudadanía en general.</p>											
Objetivo	Controlar las emisiones de vapores de gasolina en las fases 0, 1, 2 de la cadena de mercadeo en el AMM. En el caso de las estaciones de servicio, deben cumplir con la NOM-ASEA-004-2016.											
Meta	Lograr una eficiencia del 90% de control en las emisiones evaporativas de COV para el año 2033, tanto en las terminales de almacenamiento (Etapa 0), como en las operaciones de descarga de pipas a tanques subterráneos (Etapa 1) y carga de gasolinas a vehículos (Etapa 2).											
Justificación	En el AMM existen aproximadamente 700 estaciones de servicio en operación. El consumo actual de gasolina es del orden 160,000 m ³ mensuales para satisfacer requerimientos de aproximadamente 1,200,000 vehículos en circulación. Los COV son los principales precursores tanto de ozono troposférico como de aerosoles orgánicos secundarios. Según el inventario 2018 del AMM, las emisiones evaporativas de gasolina fueron del orden de 6819 t de COV/año, estimándose que para el año 2033 las emisiones anuales serán del de 8048 t/año. Según el análisis efectuado de calidad del aire para el año 2022, en el AMM se exceden las normas para ozono troposférico para promedio 1 h y 8 h de la NOM-020-SSA1-2021 en las 14 estaciones existentes. Siendo los COV precursores de este contaminante, resulta clave que el PIGECA contemple el control integral de vapores de gasolina a lo largo de su cadena de mercadeo, incluyendo las etapas 0, 1 y 2. Además, se contempla la instalación y/o rehabilitación de sistemas de recuperación de vapores en las TAR de Cadereyta y Santa Catarina, donde se controlen las emisiones propias de la carga de auto-tanques (Etapa 0), así como las provenientes del retorno de vapores de las estaciones de servicio durante las descargas de gasolina en los tanques subterráneos (Etapa 1). Asimismo, las estaciones de servicio deberán cumplir con la NOM-004-ASEA-2017, la cual regula la Etapa 2, consistente con las operaciones de despacho de gasolina a los vehículos a partir del retorno de vapores a los tanques subterráneos y, en su caso, el control de los vapores por sobrepresión.											

LÍNEA ESTRATÉGICA: PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE FUENTES DE ÁREA																																																																																			
MEDIDA 13FA Programa de reducción de emisiones de gasolinas evaporativas en estaciones de servicios, transporte de combustibles y terminales de distribución (COV)																																																																																			
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. Establecer mesas de trabajo con los actores para concertar la implementación de la medida y calendario de ejecución. 2. Instalación y rehabilitación de sistemas de recuperación de vapores en terminales de almacenamiento (Etapa 0). 3. Adaptación de auto-tanques para el retorno de vapores durante operaciones de carga de tanques subterráneos en estaciones de servicio (Etapa 1). 4. Equipamiento y acondicionamiento de estaciones de servicio para el retorno de vapores de gasolina durante las operaciones de carga de vehículos a tanques subterráneos para el cumplimiento de la norma 004-ASEA-2021 (Etapa 2). 																																																																																		
Impacto de la medida	<p>A continuación, se presenta el porcentaje de reducción de emisiones de COV con respecto al escenario tendencial de emisiones de fuentes de área en el AMM que se espera con la implementación de la medida.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Contaminante</th> <th colspan="10">Porcentaje de reducción de emisiones</th> </tr> <tr> <th>2024</th> <th>2025</th> <th>2026</th> <th>2027</th> <th>2028</th> <th>2029</th> <th>2030</th> <th>2031</th> <th>2032</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>COV</td> <td>0.0%</td> <td>0.9%</td> <td>1.9%</td> <td>2.8%</td> <td>3.7%</td> <td>4.6%</td> <td>5.5%</td> <td>6.4%</td> <td>7.3%</td> <td>8.2%</td> </tr> </tbody> </table>											Contaminante	Porcentaje de reducción de emisiones										2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	COV	0.0%	0.9%	1.9%	2.8%	3.7%	4.6%	5.5%	6.4%	7.3%	8.2%																																								
Contaminante	Porcentaje de reducción de emisiones																																																																																		
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033																																																																									
COV	0.0%	0.9%	1.9%	2.8%	3.7%	4.6%	5.5%	6.4%	7.3%	8.2%																																																																									
Indicadores	<p>Indicadores de medida: Eficiencia de control en las emisiones evaporativas en estaciones de servicio.</p> <p>Indicadores de acciones: Acción 1: cantidad de mesas de concertación. Acción 2: porcentaje de estaciones de servicio con Etapa 0 implementada. Acción 3: porcentaje de estaciones de servicio con Etapa 1 implementada. Acción 4: porcentaje de estaciones de servicio con Etapa 2 implementada.</p>																																																																																		
Calendario	<p>A continuación, se presenta la reducción de emisiones en el inventario total de la industria en el AMM esperada con la implementación de esta medida.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Acción</th> <th>2023</th> <th>2024</th> <th>2025</th> <th>2026</th> <th>2027</th> <th>2028</th> <th>2029</th> <th>2030</th> <th>2031</th> <th>2032</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Medida</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> <td>Mínimo 2</td> <td>Mínimo 3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> </tr> </tbody> </table>											Acción	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	Medida												1		Mínimo 2	Mínimo 3									2					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	3							100%	100%	100%	100%	100%	4							100%	100%	100%	100%	100%
Acción	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033																																																																								
Medida																																																																																			
1		Mínimo 2	Mínimo 3																																																																																
2					100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%																																																																								
3							100%	100%	100%	100%	100%																																																																								
4							100%	100%	100%	100%	100%																																																																								
Supuestos:	<p>Disposición y voluntad de las empresas del sector, incluyendo a PEMEX, en contribuir en la reducción de emisiones en el AMM. Además, los actores involucrados en la gobernanza del PIGECA contribuyen con las empresas del sector, desde su área de acción, para lograr la reducción de sus emisiones. Se cuentan con los recursos necesarios para la implementación de esta medida.</p>																																																																																		

LÍNEA ESTRATÉGICA: PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE FUENTES DE ÁREA											
MEDIDA 14FA Programa de limpieza, pavimentación y estabilización de vialidades para reducir emisiones y resuspensión de partículas											
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Secretaría de Movilidad y Planeación Urbana del Gobierno del Estado de Nuevo León, Gobiernos de los Municipios que conforman el AMM.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Nuevo León, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Usuarios de las vías públicas y ciudadanía en general, grupos de la sociedad civil, organizaciones ambientales</p>										
Objetivo	<p>Reducir la resuspensión de material particulado proveniente de vialidades en el AMM por medio de su mantenimiento oportuno y aumento de la frecuencia de barrido en vías pavimentadas.</p>										
Meta	<p>Aumento de las vialidades en buen estado y kilómetros barridos en el AMM.</p>										
Justificación	<p>El material particulado producido por erosión eólica, desgaste de la superficie de las vías o la emisión generada por el paso de vehículos (emisiones diferentes a las del exosto), es conocido como material particulado resuspendido. Este se presenta en tamaños que varía entre 1 y 1.000 µm; su composición química varía en función de las características del material del cual se</p>										



LÍNEA ESTRATÉGICA: PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE FUENTES DE ÁREA

MEDIDA 14FA Programa de limpieza, pavimentación y estabilización de vialidades para reducir emisiones y resuspensión de partículas

desprende o proviene, y debido a su peso se deposita en la superficie de las vías de la ciudad y sobre la vegetación por acción de la gravedad (Grupo Plan Estratégico para la Gestión Integral de Calidad del Aire de Bogotá 2030– Plan Aire, 2020).

El flujo continuo vehicular sobre las vías mal mantenidas o vías pavimentadas con depósitos de polvo, genera partículas que se suspenden en el aire y que pueden ser respiradas por la población. Según el inventario de emisiones del año 2018, las partículas generadas por estos mecanismos aportan el 5.3% de las emisiones totales de PM₁₀ y el 1.2% de PM_{2.5}.

Esta problemática se ve reflejada en la percepción de la población, en donde encuestas realizadas en el Municipio Monterrey muestran que se distingue como segundo problema del territorio el “mal estado de calles y avenidas”. La Encuesta Nacional de Seguridad Pública Urbana (ENSU) del INEGI del tercer trimestre de 2021 refleja que el principal problema existente en Monterrey, a juicio de la ciudadanía, son los “problemas en el estado de calles y avenidas (baches)”, teniendo un 81.6% de selección por los encuestados. En el caso del municipio San Pedro Garza García, también el principal problema está referido a los baches, pero con solo un 40.6% de elección (Gobierno de Monterrey, 2021). Adicionalmente, durante la consulta pública para la realización del Plan Municipal de Desarrollo de Monterrey 2021-2024, dentro de las preocupaciones de los ciudadanos, expertos y miembros del Ayuntamiento de Monterrey estuvo el “bacheo y calles accesibles” y “falta de regulación para el transporte de carga” (Gobierno de Monterrey, 2021).

También se ha evidenciado que el mal estado de las vías en algunos casos se debe al flujo de vehículos pesados de carga, debido a que estos vehículos desgastan la carpeta asfáltica.

Es así que las calles en mal estado, con suciedad, calzada deteriorada, la presencia de baches, grietas y hundimientos, son factores importantes a controlar, por cuanto se estima que el 68% de las carreteras tienen un estado regular o malo en Nuevo León (Sistema de Caminos de Nuevo León, 2021; citado en Gobierno de Nuevo León, 2022a). Ante ello, el Estado de Nuevo León y las municipalidades que forman parte del AMM tienen previsto dentro de sus principales instrumentos de planificación un conjunto de estrategias y proyectos para velar por el mantenimiento y buen estado de las vías.

El Plan Estatal de Desarrollo Nuevo León 2022-2027 contempla la “generación de riqueza sostenible” como uno de sus ejes. Uno de sus objetivos es “ampliar y mejorar la oferta y operación de los sistemas de movilidad en el estado, articulando cadenas de viaje sostenibles, asequibles e incluyentes” (Gobierno de Nuevo León, 2022a), para lo cual se tienen previstos diversos resultados específicos, pero se destacan:

- Mejorar la interconexión carretera y las vialidades entre y dentro de las regiones del estado para potenciar un desarrollo regional y urbano más equilibrado.
- Incrementar la cooperación con las autoridades municipales para brindar mantenimiento a las calles y avenidas que se encuentran en malas condiciones.
- Impulsar la coordinación metropolitana para la reconstrucción de caminos en el sur.

En 2022 el Gobierno de Nuevo León dio arranque al proyecto de Conservación de Carreteras 2022, el cual consiste en la conservación de caminos. Entre las actividades de trabajo que se realizaron se encuentra el riego de liga, tendido, compactado de la carpeta asfáltica, bacheo, cortes en disco, demolición y pintura en los caminos, entre otros” en el territorio estatal (Gobierno de Nuevo León, 2022c).

Por estos motivos, esta medida busca respaldar el mantenimiento de las vialidades y el aumento de barrido como una herramienta para minimizar el impacto de las partículas resuspendidas sobre la calidad del aire, al mismo tiempo que buscar articularse con las metas y acciones ya propuestas en otros instrumentos de planeación y gestión mencionados en este ítem.

Acciones

1. Incrementar la cooperación entre el Estado de Nuevo León y municipios integrantes del AMM para brindar mantenimiento preventivo y correctivo a las calles y avenidas, lo cual puede hacerse a través de acuerdos, convenios o mesas de trabajo periódicas.
2. Elaborar un estudio de diagnóstico detallado del estado de las vialidades y su aporte a las emisiones de material particulado en el AMM.
3. Selección de zonas y vialidades prioritarias en donde se identifiquen malas condiciones de calidad del aire a las cuales pueda aplicarse acciones específicas de reducción de material particulado resuspendido. Estas zonas pueden estar traslapadas con zonas de bajas emisiones, proyecto que se especifica en la medida 17P del PIGECA.
4. Revisión y ajuste de los esquemas de barrido en las zonas de las municipalidades prioritarias.
5. Generar programas de pavimentación y mantenimiento de vialidades en zonas prioritarias de emisión y concentración particular.

Impacto de la medida

A continuación, se presenta el porcentaje de reducción de emisiones de partículas con respecto al escenario tendencial de emisiones **de fuentes de área**, que se espera con la implementación de esta medida. Cabe resaltar que estas estimaciones se realizan basadas en una reducción conservadora, ya que se considera prioritario para tener una estimación de proyección de

LÍNEA ESTRATÉGICA: PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE FUENTES DE ÁREA																																																													
MEDIDA 14FA	Programa de limpieza, pavimentación y estabilización de vialidades para reducir emisiones y resuspensión de partículas																																																												
	emisiones acertada la elaboración de un estudio detallado de diagnóstico sobre el estado de las vías y su impacto en emisiones, como se menciona en la acción 2 de esta medida.																																																												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Contaminante</th> <th colspan="11">Porcentaje de reducción de emisiones</th> </tr> <tr> <th>2023</th> <th>2024</th> <th>2025</th> <th>2026</th> <th>2027</th> <th>2028</th> <th>2029</th> <th>2030</th> <th>2031</th> <th>2032</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PM₁₀</td> <td>0.0%</td> <td>0.2%</td> </tr> <tr> <td>PM_{2.5}</td> <td>0.0%</td> <td>0.2%</td> </tr> </tbody> </table>												Contaminante	Porcentaje de reducción de emisiones											2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	PM ₁₀	0.0%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	PM _{2.5}	0.0%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%
Contaminante	Porcentaje de reducción de emisiones																																																												
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033																																																		
PM ₁₀	0.0%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%																																																	
PM _{2.5}	0.0%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%																																																	
	<p>Otros impactos que pueden generarse gracias a la implementación de la medida:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia en la gestión pública al unir esfuerzos estatales y municipales para garantizar el mantenimiento de las vialidades. - Mejor percepción de la gestión pública por parte de la ciudadanía al atender oportunamente problemas en las vialidades, desarrollar mantenimiento preventivo y reducir/evitar transporte de carga pesada en vías en zonas concurridas. - Conducción más cómoda y segura por parte de los usuarios de las vialidades al existir menores cantidad de baches o daños en la calzada. 																																																												
Indicadores	<p>Indicadores de medida: Medida 1: porcentaje vialidades en mal estado. Medida 2: kilómetros de barrido totales en el AMM.</p> <p>Indicadores de acciones: Acción 1: cantidad de acuerdos, convenios o mesas de trabajo realizadas para articular acciones municipales de mantenimiento preventivo y correctivo de las carreteras y aumento de barrido. Acción 2: cantidad de estudios de diagnóstico del estado de las vialidades en el AMM. Acción 3: cantidad de documentos de selección área de zonas priorizadas para pavimentación y barrido de vialidades. Acción 4: cantidad de esquemas de barrido ajustados. Acción 5: cantidad de programas de priorización de pavimentación y mantenimiento en zonas prioritarias de los municipios del AMM.</p>																																																												
Calendario		Acción	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033																																																
		Medida																																																											
		1		Mínimo 3	Mínimo 3																																																								
		2				0.5	0.5																																																						
		3				0.5	0.5																																																						
		4					1			1			1																																																
		5					1	1	1	1	1	1	1																																																
Supuestos:	<p>Existe disposición y voluntad de los actores involucrados en contribuir en la implementación de esta medida. Además, se cuenta con los recursos humanos, materiales, económicos e instrumentos que puedan desarrollar las actividades de mantenimiento y reparación oportuna de las calzadas que lo ameriten; en su defecto, se buscarán y concertarán las opciones para conseguirlos. En caso de ser necesario, la medida se ajustará según el estudio de diagnóstico de emisiones propuesto en las mismas.</p>																																																												

LÍNEA ESTRATÉGICA: PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE FUENTES DE ÁREA												
MEDIDA 15FA	Desarrollo de infraestructura verde, incluyendo recuperación, restauración, conservación y ampliación de áreas verdes urbanas y suburbanas y en el área de influencia del AMM											
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Nuevo León, Gobiernos de los Municipios que conforman el AMM.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: Secretaría de Movilidad y Planeación Urbana del Gobierno del Estado de Nuevo León, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León, comunidades, organizaciones no gubernamentales, entes privados con espacios abiertos y áreas verdes.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Ciudadanía, instituciones de educación superior.</p>											
Objetivo	Mitigar la resuspensión de partículas provenientes de suelos expuestos y/o degradados a través de la recuperación, restauración, conservación y ampliación de áreas verdes urbanas.											
Meta	Lograr la presencia de 5% de áreas verdes en el territorio del AMM (previsto en el Plan Estratégico para el Estado de Nuevo León 2015-2030).											

LÍNEA ESTRATÉGICA: PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE FUENTES DE ÁREA

MEDIDA 15FA

Desarrollo de infraestructura verde, incluyendo recuperación, restauración, conservación y ampliación de áreas verdes urbanas y suburbanas y en el área de influencia del AMM

Justificación

La Organización Mundial de la Salud considera a los espacios verdes imprescindibles para el bienestar físico y emocional, pues contribuyen a mitigar el deterioro urbanístico de la ciudad, haciéndola más saludable para las personas (Gobierno de Apodaca, 2021).

En 2017, más del 70% de los suelos del estado de Nuevo León presentaron diferentes grados de deterioro, requiriendo medidas urgentes de restauración ecológica. Esto se debe, entre otras razones, al: uso del suelo que, a su vez, provoca desequilibrio ecológico y pérdida de la vegetación natural, erosión hídrica y eólica; también contribuyen a la degradación del suelo diversas acciones como el movimiento, despeje y desbroce de tierras, la tala de árboles ilegal, el desarrollo urbano inadecuado, incendios forestales, entre otros. En 2021, los incendios afectaron de manera importante a Nuevo León, afectando cerca de 32,794 ha, lo cual es un valor muy alto comparado con años anteriores (Gobierno de Nuevo León, 2022a).

Es importante reafirmar que la degradación del suelo y las actividades que lo ocasionan tienen incidencia en el detrimento de la calidad del aire del estado y municipios de Nuevo León, debido, entre otros, a la resuspensión de material particulado. Al respecto, varias investigaciones han encontrado que una parte del material particulado, de algunas zonas del AMM, está compuesto por material geológico resuspendido de este territorio (Centro Mario Molina, 2019; González et al., 2018; Mancilla et al., 2019; Mancilla y Mendoza, 2012).

Por lo anterior, el Plan Estratégico para el Estado de Nuevo León 2015-2030 contempla el eje Desarrollo Sustentable, el objetivo 1 que busca “asegurar una planeación y gestión urbana que posibilite comunidades compactas, articuladas y diversas”. Este objetivo tiene varias líneas estratégicas para su cumplimiento, destacándose la 1.3 “integrar un sistema de parques y espacios públicos que garantice el acceso a toda la población, su contribución a la gestión medioambiental y facilite su movilidad sustentable”.

En el mismo sentido, el Plan Estatal de Desarrollo Nuevo León 2022-2027 tiene dentro de sus objetivos “conservar, proteger y restaurar el patrimonio natural, la biodiversidad y los seres sintientes”, para lo cual busca como un resultado concreto el fomento del “mejoramiento del entorno urbano mediante la arborización para aumentar la resiliencia de la ciudad y su capacidad de adaptación y mitigación ante el cambio climático”.

Además, “en septiembre de 2022 se publicó la Norma Ambiental Estatal de Arbolado Urbano (NAE-SMA-007-2022) que establece los requisitos y especificaciones técnicas mediante las que se realiza la gestión integral del patrimonio forestal urbano de Nuevo León”.

A nivel local, el Plan Municipal de Desarrollo de Monterrey 2021-2024 presenta como una misión de sus secciones promover nuevas centralidades urbanas y un sistema de parques y calles completas diseñado para las persona. Dentro de los objetivos que buscan hacer realidad esta misión, varios toman en cuenta el mantenimiento y mejoramiento de áreas verdes.

Del mismo modo, el Plan Municipal de Desarrollo de Apodaca previsto entre 2021 y 2024 contempla como segundo eje programático el “urbanismo social”, dentro del cual está previsto el Distrito Verde (punto 2.7) que prevé los proyectos como “adopta un árbol” y “distrito verde”. Los resultados específicos que se esperan son: establecer 8.5 metros cuadrados de áreas verdes urbanas por habitante, mantener las áreas verdes con las que ya se cuentan y plantar un aproximado de 500 árboles por año. Adicionalmente, el punto 2.3 sobre imagen urbana y la sección 2.3.1 concerniente a “ornato”, rehabilitará y acondicionará el vivero municipal, así como “reforestación y jardinería a plazas, camellones y parques públicos, construcción de paisajismo, ornato y jardinería y creación de corredores verdes” (Gobierno de Apodaca, 2021).

Adicionalmente, se creó un plan de corredores verdes a través del Sistema de Parques y Corredores Verdes que cuenta con 19 proyectos de parques, los cuales suman un total de 94 hectáreas de parques rehabilitados y con más de 73 kilómetros de calles completas con arborización extrema. Un proyecto que se inició en 2022 es el de Parque Lago, donde habrá ocho hectáreas de espacios públicos verdes (Forbes Staff, 2022).

Por estos motivos, esta medida busca respaldar la recuperación de zonas verdes como una de las herramientas para minimizar el impacto de las partículas resuspendidas sobre la calidad del aire, al mismo tiempo que buscar articularse con las metas y acciones ya propuestas en otros instrumentos de planeación y gestión mencionados en este ítem.

Acciones

1. Pactar el 100% de convenios entre el Estado de Nuevo León y los municipios integrantes del AMM para la atención, ampliación y creación de áreas verdes urbanas (meta establecida en el Plan Estatal de Desarrollo Nuevo León 2022-2027). Procurar que los convenios también incluyan otros entes públicos y privados con competencias o fortalezas en la temática. Asimismo, pactar convenios para la implementación de programas como “Bosques ciudadanos”.
2. Desarrollar estudios de investigación que permitan conocer a detalle el impacto de la reforestación sobre la calidad del aire.
3. A continuación, se describen algunas acciones puntuales que se prevén desarrollar como parte de otros instrumentos o se proponen como sugerencia para la implementación de esta medida:

Mejoramiento y conservación de áreas verdes:

LÍNEA ESTRATÉGICA: PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE FUENTES DE ÁREA

MEDIDA 15FA

Desarrollo de infraestructura verde, incluyendo recuperación, restauración, conservación y ampliación de áreas verdes urbanas y suburbanas y en el área de influencia del AMM

- Implementación de programas como “Bosques ciudadanos”, que busca la siembra de 1 millón de árboles.
- Habilitación de nuevas zonas protegidas como el parque Fundidora y el parque La Huasteca.
- Identificación de los entes públicos y privados que tengan competencias o potencialidades pertinentes para el fortalecimiento de la gestión de áreas verdes urbanas.
- Inventario de las áreas verdes urbanas existentes (plazas, parques, en vialidades, entre otros) y diagnóstico de su estado, para lo cual puede ser útil el levantamiento de datos en campo y la revisión de la información disponible en los entes públicos estatales y municipales competentes.
- Fortalecimiento de los viveros de propiedad pública (por ejemplo, viveros municipales), con la finalidad de contar con suficiente disponibilidad de especies vegetales para el desarrollo de estas acciones.
- Priorización y planificación de las acciones en las áreas verdes que deban ser intervenidas. Para la priorización pueden definirse criterios específicos y/o los proyectos actualmente en curso para el mantenimiento y mejoras de áreas verdes urbanas. En el caso de la planificación, es necesario precisar y obtener todos los recursos para el logro de esta medida.

Ampliación de áreas verdes:

- Reforestación en escuelas con énfasis en las de turno completo y jornada ampliada.
- Identificación y selección de zonas en las cuales se puedan crear o ampliar áreas verdes y/o arbolado urbano, especialmente en aquellos sitios donde haya procesos de degradación de suelos o eventos que destruyeron la vegetación existente (por ejemplo, incendios).
- Planificación de las acciones y procura de los recursos necesarios tendientes a la ampliación y creación de áreas verdes urbanas, privilegiando aquellas zonas que ya cuenten con proyectos al respecto a nivel estatal y municipal (por ejemplo, proyectos de áreas verdes que forman parte del Acuerdo Verde Monterrey).
- Intervención de las zonas urbanas seleccionadas para la ampliación y creación de las áreas verdes, las cuales pueden ser parques, corredores verdes, jardines, entre otros.

La cuantificación de reducción de emisiones de esta medida no se realiza ya que se requiere de un fortalecimiento de información y de las metodologías para su estimación. Sin embargo, existen otros impactos que pueden generarse gracias a la implementación de la medida, como son:

- Beneficios en salud de las personas al estar expuestos a menores niveles de PM asociado a la resuspensión de polvo.
- Eficiencia en la gestión pública al unir esfuerzos estatales y municipales para garantizar las mejoras, mantenimiento y ampliación de las áreas verdes urbanas.
- Mejor percepción de la gestión pública por parte de la ciudadanía
- Embellecimiento de las zonas urbanas y mejora visual al contar con áreas verdes cuidadas y en buen estado.
- Mitigación del cambio climático en entornos urbanos al aumentar la cobertura vegetal que captura carbono.
- Disminución de la temperatura en microambientes urbanos debido al arbolado.
- Desarrollo de microecosistemas en espacios urbanos que benefician a la biodiversidad de la zona.

Indicadores

Indicadores de medida:
Porcentaje anual de superficie de áreas verdes con respecto a la superficie del AMM (previsto en el Plan Estratégico para el Estado de Nuevo León 2015-2030).

Indicadores de acciones:
Acción 1: porcentaje de convenios firmados entre el Estado de Nuevo León y los municipios integrantes del AMM para la atención, ampliación y creación de áreas verdes urbanas (previsto en el Plan Estatal de Desarrollo Nuevo León 2022-2027).
Acción 2: porcentaje de avance en desarrollo de estudios de investigación que permitan conocer a detalle el impacto de la reforestación sobre la calidad del aire.
Acción 3: 1 millón de árboles sembrados en Nuevo León

Calendario

Acción	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Medida											
Acción 1		20%	70%	100%							
Acción 2				33.3%	66.6%	100%					
Acción 3						100%					

LÍNEA ESTRATÉGICA: PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE FUENTES DE ÁREA

MEDIDA 15FA	Desarrollo de infraestructura verde, incluyendo recuperación, restauración, conservación y ampliación de áreas verdes urbanas y suburbanas y en el área de influencia del AMM
Supuestos:	Disposición y voluntad de los actores involucrados en la implementación y seguimiento de la medida. Además, los actores que forman parte de la gobernanza del PIGECA contribuyen, desde su área de acción, para el logro de las acciones previstas. Relacionado con lo anterior, se cuentan con los recursos necesarios para la implementación de esta medida; en su defecto, se buscarán y concertarán las opciones para conseguirlos. Existe la posibilidad de realizar ajustes a la medida en función de los resultados de los diagnósticos y planificación prevista en las acciones formuladas.

LÍNEA ESTRATÉGICA: PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE FUENTES DE ÁREA

MEDIDA 16FA	Monitoreo y control integral de incendios	
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Nuevo León (NL), Gobiernos de los Municipios que conforman el AMM, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León, Instituto de Administración de Riesgos.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: Organizaciones no gubernamentales, entes privados con espacios abiertos y áreas verdes, organizaciones civiles, Secretaría de Desarrollo Rural y Agropecuario de NL, Parques y Vida Silvestre de NL, Fondo Ambiental Metropolitano de Monterrey, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, academia, entre otras que se consideren.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Ciudadanía en general.</p>	
Objetivo	Fortalecimiento de las herramientas de prevención y control de incendios forestales y otros tipos de incendios.	
Meta	Implementación de un plan integral de prevención y control de incendios.	
Justificación	<p>Los incendios forestales, en construcciones o a cielo abierto, representan una problemática de relevancia que tiene diferentes afectaciones relacionadas con la calidad del aire, salud pública, cambio climático, conservación de la biodiversidad, entre otras. La temporada en la cual se presentan mayores incendios en México se corresponde a los meses entre mayo y julio, en donde la temperatura incrementa tras el inicio del verano.</p> <p>Durante el año 2022 se reportaron 49 incendios forestales en el estado de Nuevo León afectando cerca de 11,987 hectáreas de bosques. Las áreas afectadas se han ido incrementando, esto considerando que en 2019 se reportaron como áreas afectadas solo 946 hectáreas.</p> <p>Las afectaciones en calidad del aire debido a incendios forestales no se deben únicamente a las emisiones generadas durante la quema, también el suelo expuesto que dejan los incendios y el que se encuentra en procesos de degradación facilitan la resuspensión de material particulado del suelo al aire.</p> <p>Por esta razón, la Secretaría de Medio Ambiente de NL desarrolló un Programa Estatal de Prevención de Incendios Forestales que se inició en 15 de diciembre de 2022, en el cual participan la CONAFOR, la Secretaría de Desarrollo Rural y Agropecuario de NL, Parques y Vida Silvestre de NL, Protección Civil de los diferentes municipios, academia, organizaciones civiles, entre otros. Hasta el momento se han realizado campañas de difusión para la prevención de incendios forestales, se elaboraron fichas técnicas para los municipios sobre la prevención de incendios y se han realizado talleres prácticos para capacitar el talento humano y enseñar a disminuir el uso de combustibles en las áreas forestales.</p> <p>Por su parte, la quema de basuras que se generan por incendios que se salen de control en zonas como descampados y terrenos baldíos que suelen ser utilizados como tiraderos clandestinos, también representa una gran afectación en salubridad y problemática social en algunos casos difícil de controlar.</p> <p>Esta medida busca dar respaldo a la ejecución de planes ya adoptados por el Gobierno dirigidos a la prevención de los incendios forestales desde el punto de vista de la calidad del aire, así como su integración con otros componentes como la prevención de quema de basuras o incendios en construcciones.</p>	
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conformar un equipo de profesionales dentro de la Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León. 2. Evaluar el fortalecimiento del Programa Estatal de Prevención de Incendios Forestales con componentes como: prevención de quema de basuras o incendios en construcciones, el cual contenga acciones, protocolos y responsables para evitar la ocurrencia de incendios y avanzar de manera coordinada en situaciones de emergencia; generar enlaces con la SMA o la Agencia de Calidad del Aire que permita apoyar el monitoreo de incendios y posibles impactos en calidad del aire. 3. Reforzamiento de campañas de comunicación para prevención de incendios como "Evita Fuegos". 	

LÍNEA ESTRATÉGICA: PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE FUENTES DE ÁREA

MEDIDA 16FA Monitoreo y control integral de incendios

<p>Impacto de la medida</p>	<p>La cuantificación de reducción de emisiones de esta medida no se realiza, ya que se requiere el fortalecimiento de información y de las metodologías para su estimación. Sin embargo, existen otros impactos que pueden generarse gracias a la implementación de la medida, como son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beneficios en salud de las personas al estar expuestos a menores niveles de PM asociado a incendios. - Eficiencia en la gestión pública al unir esfuerzos para la prevención y gestión de incendios. - Mejor percepción de la gestión pública por parte de la ciudadanía en torno a este tema. - Apoyo a la recuperación de zonas verdes y áreas protegidas en el AMM. 																																																												
<p>Indicadores</p>	<p>Indicadores de medida: Porcentaje de ejecución del plan prevención y control de incendios.</p> <p>Indicadores de acciones: Acción 1: porcentaje de avance en la conformación de un equipo de trabajo para la gestión de incendios en la Agencia de Calidad del Aire. Acción 2: porcentaje de avance en la evaluación de ajuste del plan prevención y control de incendios. Acción 3: número de campañas de comunicación para la prevención de incendios.</p>																																																												
<p>Calendario</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Acción</th> <th>2023</th> <th>2024</th> <th>2025</th> <th>2026</th> <th>2027</th> <th>2028</th> <th>2029</th> <th>2030</th> <th>2031</th> <th>2032</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Medida</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acción 1</td> <td></td> <td>50%</td> <td>100%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acción 2</td> <td></td> <td></td> <td>50%</td> <td>100%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acción 3</td> <td></td> <td></td> <td>Mínimo 1</td> </tr> </tbody> </table>	Acción	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	Medida												Acción 1		50%	100%									Acción 2			50%	100%								Acción 3			Mínimo 1								
Acción	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033																																																		
Medida																																																													
Acción 1		50%	100%																																																										
Acción 2			50%	100%																																																									
Acción 3			Mínimo 1																																																										
<p>Supuestos:</p>	<p>Esta medida considera la implementación del Programa Estatal de Prevención de Incendios Forestales, así como la disposición presupuesta para recursos humanos que permitan la evaluación del programa y su integración con otros elementos ya expuestos.</p>																																																												

7.3.1.4. Línea estratégica: Planeación urbana eficiente y baja en emisiones

LÍNEA ESTRATÉGICA: PLANEACIÓN URBANA EFICIENTE Y BAJAS EMISIONES

MEDIDA 17P Zonas y corredores de bajas emisiones	
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León y Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: Secretaría de Movilidad y Planeación Urbana de Nuevo León, operarios de transporte público, empresas de transporte de carga y fleteo, empresas con fuentes industriales zonas urbanas, grupos de la sociedad civil.</p> <p>Actores de la esfera de interés: otros gobiernos estatales de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT)</p> 
Objetivo	Delimitar áreas del AMM donde, debido a su alta concentración de contaminantes criterio y densidad poblacional, las exigencias de factores máximos de emisión de fuentes móviles y fijas sean más altas que las normas aplicables.
Meta	Cumplir las concentraciones de material particulado y ozono troposférico equivalentes a las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en estaciones de monitoreo de las zonas definidas como zonas de bajas emisiones.
Justificación	<p>Contexto: En 2008 se creó la primera zona de bajas emisiones (LEZ por sus siglas en inglés) en Londres como una medida para mitigar los problemas de calidad del aire que sufre la capital británica. La zona cubre toda el Área Metropolitana de Londres (Greater London) y es la zona de bajas emisiones más grande del mundo. En aquel entonces, se restringió el acceso a algunos vehículos pesados con altos niveles de emisión de material particulado, con condiciones que se hacían más estrictas de manera escalonada hasta 2012. Más adelante, se anunciaría una zona aún más estricta en el centro de la ciudad conocida como zona de ultra bajas emisiones (ULEZ por sus siglas en inglés). Si bien originalmente se planteó iniciar esta zona en 2019, debido a los cambios en las prioridades durante los tiempos de la pandemia por la COVID-19, su implementación se pospuso hasta inicios de 2021. El liderazgo en esta materia de las ciudades inglesas se ha venido afianzando con Oxford declarando la primera zona de cero emisiones en 2021 en el centro de la ciudad. Las zonas de bajas emisiones dan la opción a los territorios locales a implementar estándares de emisión más estrictos que los definidos por gobiernos nacionales, bien sea en toda un área metropolitana o en zonas específicas, tradicionalmente justificado en una calidad del aire más baja que en otros lugares del territorio nacional, combinado con una alta densidad poblacional. Esta implementación de estándares por zonas permite, por un lado, proteger la salud de un buen número de personas que viven expuestos a niveles insalubres de calidad del aire, además de facilitar algunas transiciones tecnológicas importantes como la electrificación de la movilidad.</p> <p>En América Latina ya se han venido adelantando procesos para la definición de zonas equivalentes a las zonas de bajas emisiones. Quizá, dos de los ejemplos más importantes son Bogotá y Medellín en Colombia. En el Área Metropolitana del Valle de Aburrá las Zonas Urbanas de Aire Protegido (ZUAP) se declararon en 2018 y se definieron dos polígonos, uno de ellos en el centro de Medellín, donde solo puede transitar el transporte público y vehículos de bajas emisiones. Por su lado, Bogotá definió en 2021 las Zonas Urbanas por un Mejor Aire (ZUMA) como parte de los instrumentos en el próximo plan de ordenamiento territorial (POT) para mejorar la calidad del aire.</p> <p>Actualmente, el Municipio de San Pedro en Nuevo León en colaboración con el Observatorio del Aire (OCCAMM) se encuentra en el diseño de zonas de bajas emisiones donde se priorice la movilidad activa y se desincentive el uso del vehículo particular.</p> <p>Fuentes móviles: en el caso de las fuentes móviles, las zonas de bajas emisiones ayudan a exigir unos estándares de emisión más altos en zonas específicas que se consideren estratégicas, bien sea por ser de alto flujo, de concentraciones de contaminantes locales particularmente altas, alta densidad poblacional o por ser zonas simbólicas con algún valor patrimonial o cultural especial. La idea de las zonas es que ayuden a la transición de vehículos viejos a tecnologías más eficientes y limpias, de manera que es común que se definan estándares más altos que los nacionales y después de unos años se revisen para hacerse más exigentes. Al tener estándares más exigentes se espera no solo una mejora en las tecnologías que circulan por la zona, sino un aumento en el uso de modos activos como caminata y bicicleta en estas mismas zonas.</p> <p>Fuentes fijas: en cuanto a las fuentes de fijas, se busca una restricción en las zonas de bajas de emisiones de fuentes industriales que utilicen combustibles más contaminantes o tengan procesos pesados que generen altas emisiones de partículas y gases contaminantes. Asimismo, se busca fomentar la reconversión a combustibles más amigables con el aire, el uso de sistemas de control de emisiones, además de implementar estrategias de eficiencia energética.</p> <p>Fuentes de área: en cuanto a las fuentes de área, se implementan estrategias como aumento de la cobertura vegetal, así como mejorar el estado de las vialidades y aumentar su limpieza. El propósito es disminuir las partículas suspendidas en el aire por los caminos, mejorar el tráfico y generar un ambiente más amigable para las personas en sus espacios al aire libre. De la misma forma, en sectores como los establecimientos comerciales y de servicio se aplican estrategias similares a los de la industria, en donde se</p>

LÍNEA ESTRATÉGICA: PLANEACIÓN URBANA EFICIENTE Y BAJAS EMISIONES

MEDIDA
17P

Zonas y corredores de bajas emisiones

busca minimizar combustibles sólidos y líquidos, así como la implementación de mejores prácticas en las actividades realizadas con el fin de minimizar emisiones de COV y otros gases.

Esta medida busca identificar zonas en el AMM donde se identifique la necesidad de priorizar acciones como las antes mencionadas, todo esto articulado con la actualización del plan de ordenamiento territorial de Nuevo León.

1. Creación de una mesa de trabajo para la delimitación de zonas de bajas emisiones en el AMM. Como parte de las acciones a implementar en las zonas de bajas emisiones, según experiencia internacional y lo evidenciado en mesas de trabajo en la formulación del PIGECA, se sugiere se puedan implementar las siguientes medidas para cada fuente de emisión.

Fuentes móviles:

- Crear zonas en las que los únicos vehículos que puedan transitar sean Euro VI o eléctricos para 2028.
- Dejar definidos los requisitos para que en estas mismas zonas solo se permita el paso a vehículos eléctricos en 2033.
- Alcanzar que el 15% de los vehículos privados en el AMM sean Euro 6 y que el 5% sean eléctricos en 2033 (adicionales a otras medidas de fomento de renovación de la flota).
- Alcanzar que el 30% de los vehículos de transporte público del AMM sean Euro VI y que el 10% sean eléctricos en 2033 (adicionales a otras medidas de fomento de renovación de la flota).
- Promoción de movilidad activa.

Fuentes fijas:

- No permitir la instalación nuevas empresas con emisiones mayores a 10 t al año, otro ejemplo de empresas que no tienen chimeneas o con procesos de combustión.
- En el caso de empresas ya existentes, deben cumplir con los límites de emisiones de la norma vigente y deben vincularse a los programas de reducción de emisiones.
- Prohibición del empleo de combustibles residuales y sólidos en las industrias de zonas de bajas emisiones.

Fuentes de área:

- Todas las estaciones de servicio deben contar con sistemas eficientes para recuperación o control de las emisiones evaporativas de gasolina.
- Se debe evitar la operación de restaurantes que utilicen carbón o leña.
- No permitir la operación de talleres de hojalatería y pintado.
- Barrido húmedo en las calles.
- Habilitar espacios públicos libres de autos.
- Priorización de recuperación de áreas verdes como parques públicos o escuelas.

Acciones

2. Adopción de las zonas de bajas emisiones que incluya la definición del límite máximo de emisión permitido en zonas de bajas emisiones y las tecnologías disponibles para cada categoría vehicular e industria y metas de concentración. Asimismo, que tenga definido el esquema de fiscalización de cumplimiento de los límites máximos de emisión.
3. Delimitación a través de la instalación de la señalética que visibilice a las zonas de baja emisión.
4. Diseño e implementación de red de monitoreo de concentraciones (puede estar asociada a la red de sensores de bajo costo) y exposición de material particulado y ozono troposférico en las zonas de bajas emisiones.

Por el momento, las estimaciones realizadas se presentan como porcentaje de reducción de emisiones debido a la implementación de estrategias únicamente dirigidas a las **fuentes móviles**. A medida que se definan acciones concretas en las mesas de trabajo estas deberán ir acompañadas de impactos sobre las emisiones de las demás fuentes. Los resultados se presentan en la siguiente tabla como emisiones en toneladas.

Impacto de
la medida

Porcentaje de reducción de emisiones											
Contaminante	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
PM ₁₀	1.1%	2.2%	3.2%	4.3%	5.4%	6.5%	7.3%	8.2%	9.1%	10.8%	12.4%
PM _{2.5}	0.8%	1.5%	2.3%	3.1%	3.8%	4.6%	5.1%	5.8%	6.4%	7.6%	8.8%
NO _x	0.7%	1.3%	2.0%	2.6%	3.3%	4.0%	4.5%	5.1%	5.7%	6.6%	7.5%
SO ₂	0.7%	1.5%	2.2%	2.9%	3.6%	4.4%	4.9%	5.6%	6.2%	6.8%	7.4%
COV	0.4%	0.8%	1.2%	1.6%	2.0%	2.4%	2.8%	3.2%	3.6%	4.0%	4.5%
CN	0.8%	1.5%	2.3%	3.1%	3.8%	4.6%	5.1%	5.8%	6.4%	7.6%	8.8%

Indicadores

Indicadores medida

Concentraciones promedio de PM_{2.5} y O₃ en las estaciones dentro de las zonas de bajas emisiones.

Indicadores acciones

Acción 1: porcentaje de desarrollo de mesas de trabajo.

LÍNEA ESTRATÉGICA: PLANEACIÓN URBANA EFICIENTE Y BAJAS EMISIONES													
MEDIDA 17P	Zonas y corredores de bajas emisiones												
	Acción 2: porcentaje de avance en la adopción de instrumentos de zonas de bajas emisiones declaradas. Acción 3: porcentaje de avance de instalación de delimitación de las zonas. Acción 4: porcentaje de avance en el diseño e implementación de la red monitoreo dentro de las zonas.												
Calendario	Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
	Medida												
	Acción 1		50%	100%									
	Acción 2			1									
	Acción 3			30%	100%								
	Acción 4			33.3%	66.6%	100%							
Supuestos:	Esta medida depende de una estrecha colaboración entre todas las secretarías de la Gobernación de Nuevo León y alcaldías locales. Además, depende de esquemas robustos de participación ciudadana que aseguren una implementación democrática.												

LÍNEA ESTRATÉGICA: PLANEACIÓN URBANA EFICIENTE Y BAJAS EMISIONES																																
MEDIDA 18P	Desarrollo urbano sostenible integrando transporte y calidad del Aire																															
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Gobierno del Estado de Nuevo León y dependencias relevantes (movilidad y planeación urbana, salud, medio ambiente, participación ciudadana, igualdad e inclusión, economía, mujeres y la Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León).</p> <p>Actores de la esfera de influencia: Dependencias municipales del AMM, Gobierno Federal, grupos de la sociedad civil en el AMM, asociaciones de empresarios.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Grupos de la sociedad civil, otras Secretarías Estatales en México, academia local, nacional e internacional.</p>																															
Objetivo	Enmarcar los determinantes ambientales de calidad del aire dentro de una visión integral de movilidad sostenible de manera que el PIGECA se articule con otros programas encaminados a cumplir los objetivos de desarrollo sostenible (ODS)																															
Meta	Reducir 5% a 2028 y 10% a 2033 los kilómetros recorridos por todos los modos motorizados de transporte de pasajeros con respecto a las proyecciones de crecimiento de viajes, mediante intervenciones de diseño urbano. De acuerdo con las proyecciones estimadas, esta meta corresponde a una reducción en 2033 con respecto a un escenario tendencial de:																															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">Tipología vehicular</th> <th colspan="2">Reducción de millones de km recorridos/año</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Año</th> </tr> <tr> <th>2028</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Motocicleta</td> <td>195</td> <td>390</td> </tr> <tr> <td>Vehículos privados y taxis</td> <td>1600</td> <td>3200</td> </tr> <tr> <td>Camionetas y pickups</td> <td>6</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>Autobuses de transporte público</td> <td>74</td> <td>148</td> </tr> </tbody> </table>													Tipología vehicular	Reducción de millones de km recorridos/año		Año		2028	2033	Motocicleta	195	390	Vehículos privados y taxis	1600	3200	Camionetas y pickups	6	12	Autobuses de transporte público	74	148
Tipología vehicular	Reducción de millones de km recorridos/año																															
	Año																															
	2028	2033																														
Motocicleta	195	390																														
Vehículos privados y taxis	1600	3200																														
Camionetas y pickups	6	12																														
Autobuses de transporte público	74	148																														
Justificación	<p>En 2015, los líderes mundiales de países miembro de las Naciones Unidas adoptaron un conjunto de Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para ser alcanzados en 15 años. Estos objetivos, si bien se encuentran agrupado en 17 objetivos globales, parte del reconocimiento de que alcanzar un desarrollo sostenible depende no solo de acciones específicas por objetivo, sino de la capacidad de tomar acciones que integren distintos sistemas ambientales y sociales. Esta agenda de ODS es del más alto nivel de cooperación internacional y ha sido reconocida por gobiernos alrededor del mundo, incluido el Gobierno Federal Mexicano.</p> <p>En el contexto del PIGECA, los ODS más relevantes son los asociados a salud y bienestar (ODS 3), ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11) y acción por el clima (ODS 13). Sin embargo, las acciones tomadas para mejorar la calidad del aire en el AMM deben también afectar positivamente indicadores asociados a otros objetivos tales como la igualdad de género (ODS 5) y reducción de desigualdades (ODS 10). Debido al rol que juega la movilidad en términos de acceso a bienes y servicios que ofrece la ciudad, las intervenciones en fuentes móviles son particularmente relevantes para integrar el PIGECA con la agenda de ODS en general.</p>																															

LÍNEA ESTRATÉGICA: PLANEACIÓN URBANA EFICIENTE Y BAJAS EMISIONES

MEDIDA 18P

Desarrollo urbano sostenible integrando transporte y calidad del Aire

La segunda meta del ODS de ciudades sostenibles está definida como “proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos”. Si bien el rol del transporte público es fundamental en este proceso, alrededor del mundo se ha documentado cómo el transporte activo y la implementación de medidas para calmar el tráfico tienen un potencial importante para alcanzar estas metas. Una ciudad con una mayor proporción de bicicletas, peatones y otros modos activos, es una ciudad más equitativa, segura, y sostenible, además de ser una ciudad más saludable al fomentar la actividad física y reducir la exposición a contaminantes del aire. Sin embargo, el diseño urbano tiene que adaptarse para que estos beneficios de equidad, acceso, salud y seguridad sí se cumplan, en lugar de que los sistemas de movilidad activa repliquen los esquemas inequitativos del pasado.

En el AMM, la participación de modos activos de transporte es relativamente baja, con tan solo el 0.7% de viajes realizados en bicicleta y 18.3% de los viajes realizados caminando (Secretaría de Medio Ambiente - Gobierno del Estado de Nuevo León, 2020). Si bien la construcción de ciclo-infraestructura ayudará en este proceso, es importante concretar acciones que no solo apoyen otros modos como el peatón, sino que promuevan un diseño urbano más equitativo y seguro. Con esto en mente, se propone incluir acciones de reducción de tráfico motorizado mediante la creación de espacios urbanos seguros para personas que caminan, van en bicicleta y usan otros modos activos como sillas de ruedas y monopatines. Algunos ejemplos internacionales han mostrado la eficacia de filtros de tráfico (conocidos también como *traffic filters*, *low-traffic neighborhoods*, o *supermanzanas*).

Uno de los conceptos más importantes para alcanzar una movilidad enfocada en la equidad de género es la movilidad del cuidado. Este término, acuñado por primera vez por la española Inés Sánchez de Madariaga y utilizado ampliamente en la literatura de la movilidad feminista, se refiere a prestar atención especial a los viajes que se realizan con el objetivo de realizar labores de cuidado, bien sea cuidar de familiares o amigos, comprar víveres y alimentos para el hogar, o ir a una cita médica. Este tipo de viajes son típicamente más cortos, menos rutinarios que ir al trabajo y suceden muchas veces por fuera de horarios de mayor congestión. Sin embargo, son viajes esenciales para el desarrollo de una sociedad próspera, son muy comunes y desproporcionalmente realizados por mujeres.

Por otra parte, la movilidad sostenible se ha ido moviendo en la dirección de entender la movilidad como un servicio y no como un bien privado. Esto se conoce como “movilidad como servicio” o *Mobility as a Service* (MaaS). Lo anterior quiere decir que las ciudades deben tomar acciones para que las personas se puedan mover en sistemas intermodales e interconectados, los cuales le permitan a la ciudadanía moverse por la ciudad sin necesidad de poseer un bien privado como un vehículo particular o una motocicleta. Entender la movilidad como un servicio que presta la ciudad tiene implicaciones de reducción de desigualdades sociales y puede reducir los factores de actividad de vehículos privados.

Es importante resaltar que, si bien las metas de la presente medida se han definido en términos de reducción de actividad de modos motorizados, esta medida busca articular el PIGECA con estas acciones que tienen resultados importantes en equidad de género, reducción de incidentes viales y reducción de enfermedades no transmisibles asociadas al sedentarismo. Sin embargo, la definición de estas metas escapa al alcance del PIGECA y debe ser parte de un proceso independiente. De igual manera, se ha definido una meta para la reducción de actividades de transporte público proyectadas, por cuanto es de esperar que algunos viajes en transporte público sean reemplazados por modos activos. Sin embargo, esto no se debe interpretar como un desincentivo del transporte público de pasajeros, sino como un resultado orgánico del rediseño urbano.

Acciones

1. Diseño y puesta en marcha de un programa de filtros de tráfico motorizado y supermanzanas en zonas estratégicas del AMM, el cual considere indicadores de seguimiento como los kilómetros lineales de vías dentro de zonas de filtros de tráfico, supermanzanas, o equivalentes.
2. Diseño de rutas calmadas de tráfico mixto con preferencia para movilidad activa, en las cuales se considere como indicadores de seguimiento kilómetros lineales de ciclovías calmadas señalizadas.
3. Puesta en marcha de programas piloto de *movilidad como servicios basados* en vehículos compartidos, patinetas y bicicletas públicas sin anclajes, que considere como indicador de seguimiento el número de vehículos compartidos separado por modo (automóvil, patineta, bicicleta, etc.) e información socioeconómica y de género de personas usuarias de vehículos compartidos.
4. Mejoras en banquetas y ciclovías que cumplan con estándares internacionales de iluminación, seguridad y accesibilidad para personas con movilidad reducida por discapacidades físicas.
5. Generación de Programas Empresariales de Movilidad Sostenible, los cuales consideren como indicador de seguimiento el número de empresas con programas empresariales de movilidad sostenible.
6. Diseño y puesta en marcha de un Plan de Movilidad de bajas emisiones en función de la movilidad del cuidado.

Impacto de la medida

Se presenta la reducción de emisiones esperada por la implementación de la medida en comparación con el escenario tendencial.

LÍNEA ESTRATÉGICA: PLANEACIÓN URBANA EFICIENTE Y BAJAS EMISIONES																																																																																																												
MEDIDA 18P	Desarrollo urbano sostenible integrando transporte y calidad del Aire																																																																																																											
	Emisiones reducidas (t/año)																																																																																																											
	Contaminante	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033																																																																																																
	PM ₁₀	0.5%	1.0%	1.4%	1.9%	2.4%	2.9%	3.4%	3.8%	4.3%	4.8%	5.3%																																																																																																
	PM _{2.5}	0.5%	1.0%	1.4%	1.9%	2.4%	2.9%	3.3%	3.8%	4.3%	4.8%	5.2%																																																																																																
	NO _x	0.6%	1.2%	1.8%	2.4%	3.0%	3.7%	4.3%	4.9%	5.5%	6.1%	6.7%																																																																																																
	SO ₂	0.6%	1.2%	1.8%	2.4%	3.0%	3.6%	4.1%	4.7%	5.3%	5.9%	6.5%																																																																																																
	COV	0.3%	0.7%	1.0%	1.4%	1.7%	2.0%	2.4%	2.7%	3.1%	3.4%	3.7%																																																																																																
	CN	0.5%	1.0%	1.4%	1.9%	2.4%	2.9%	3.3%	3.8%	4.3%	4.8%	5.2%																																																																																																
Indicadores	<p>Indicadores de medida: Estimación de millones de kilómetros al año evitados por cada modo de transporte atribuibles a medidas de desarrollo urbano sostenible.</p> <p>Indicadores de acciones: Acción 1: porcentaje de desarrollo de un programa de filtros de tráfico motorizado y supermanzanas en zonas estratégicas del AMM. Acción 2: porcentaje de avance en el desarrollo de rutas calmadas de tráfico mixto con preferencia para movilidad activa. Acción 3: porcentaje de desarrollo de un programa piloto de movilidad como servicios basados en vehículos compartidos. Acción 4: porcentaje de avance en mejoras en banquetas y ciclovías. Acción 5: porcentaje de avance en la generación de Programas Empresariales de Movilidad Sostenible. Acción 6: porcentaje de desarrollo de un plan de movilidad de bajas emisiones para la movilidad del cuidado.</p>																																																																																																											
Calendario	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ítem</th> <th>2023</th> <th>2024</th> <th>2025</th> <th>2026</th> <th>2027</th> <th>2028</th> <th>2029</th> <th>2030</th> <th>2031</th> <th>2032</th> <th>2033</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Medida</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acción 1</td> <td></td> <td>10%</td> <td>30%</td> <td>75%</td> <td>100%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acción 2</td> <td></td> <td></td> <td>25%</td> <td>50%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>75%</td> <td>100%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acción 3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>25%</td> <td>50%</td> <td>75%</td> <td>100%</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acción 4</td> <td></td> <td>10%</td> <td>20%</td> <td>30%</td> <td>40%</td> <td>50%</td> <td>60%</td> <td>70%</td> <td>80%</td> <td>90%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Acción 5</td> <td></td> <td>10%</td> <td>20%</td> <td>30%</td> <td>40%</td> <td>50%</td> <td>60%</td> <td>70%</td> <td>80%</td> <td>90%</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Acción 6</td> <td></td> <td></td> <td>50%</td> <td>100%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>												Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	Medida												Acción 1		10%	30%	75%	100%							Acción 2			25%	50%					75%	100%		Acción 3					25%	50%	75%	100%				Acción 4		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	Acción 5		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	Acción 6			50%	100%							
Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033																																																																																																	
Medida																																																																																																												
Acción 1		10%	30%	75%	100%																																																																																																							
Acción 2			25%	50%					75%	100%																																																																																																		
Acción 3					25%	50%	75%	100%																																																																																																				
Acción 4		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%																																																																																																	
Acción 5		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%																																																																																																	
Acción 6			50%	100%																																																																																																								
Supuestos:	<ul style="list-style-type: none"> - Voluntad y capacidad de la Secretaría de Movilidad y Planeación Urbana de Nuevo León para implementar las acciones recomendadas. - Apoyo de la sociedad civil para la creación de espacios de movilidad sostenible como los aquí descritos. - Voluntad política para adelantar y continuar las acciones aquí descritas. - Procesos democráticos de participación ciudadana en la definición de filtros de tráfico, supermanzanas y demás intervenciones de diseño urbano. - Voluntad del sector empresarial para implementar programas de movilidad sostenible. 																																																																																																											

LÍNEA ESTRATÉGICA: PLANEACIÓN URBANA EFICIENTE Y BAJAS EMISIONES	
MEDIDA 19P	Articulación de Planes /Programas con criterios de calidad del aire
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: Gobiernos de Municipios del AMM, Secretaría de Movilidad y Planeación Urbana de Nuevo León, entre otras secretarías estatales.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Grupos de la sociedad civil.</p> 
Objetivo	Enmarcar las necesidades de calidad del aire dentro de una visión integral de movilidad sostenible de manera que el PIGECA se articule con otros programas encaminados a cumplir los objetivos de desarrollo sostenible (ODS)

LÍNEA ESTRATÉGICA: PLANEACIÓN URBANA EFICIENTE Y BAJAS EMISIONES	
MEDIDA 19P Articulación de Planes /Programas con criterios de calidad del aire	
Meta	Reportes de articulación con planes y programas en desarrollo o a desarrollar en el AMM que puedan incorporar medidas o acciones del PIGECA.
Justificación	<p>La articulación entre programas, planes o iniciativas de una reunión que pueden incorporar acciones similares con propósitos o metas distintas, es fundamental para tener una alineación del cumplimiento de las acciones y apoya a la justificación del desarrollo de estos programas a través de la presentación de sus cobeneficios.</p> <p>Durante la formulación del PIGECA se identificaron diferentes programas de relevancia, de los cuales en su mayoría se mantuvieron reuniones de trabajo con las entidades responsables de dichos instrumentos para incorporar medidas o acciones en el PIGECA. Los programas de mayor relevancia articulados junto con las actividades realizadas hasta el momento para su articulación con el PIGECA, se presenta a continuación:</p> <p>Programa Estatal de Cambio Climático de Nuevo León y Zona Metropolitana de Monterrey: liderado por la Iniciativa Climática de México, es un programa en proceso de actualización y desarrollado en el marco de la Ley de Cambio Climático de México. Se encuentra integrado por estrategias de mitigación de GEI y adaptación al cambio climático. En relación con las acciones de mitigación, estas se encuentran enfocadas a sectores prioritarios como transporte, industria y AFOLU, así como un proceso participativo para su formulación. En este sentido, se vio prioritaria la articulación entre el PIGECA y este programa, identificando medidas en común y en especial las enfocadas a transporte para tener coherencia entre los dos planes.</p> <p>Programa Estatal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano de Nuevo León: identificando como problemática que el modelo de ocupación territorial de Nuevo León se caracteriza por una alta concentración de actividades económicas y de población en la zona metropolitana que resulta insostenible para el presente y futuro de la entidad, este programa busca dotar al estado con un Modelo de Ordenamiento Territorial que sea sostenible y contenga las bases de organización espacial para promover el desarrollo regional y la consolidación del estado como nodo económico estratégico, así como mejorar la calidad de vida de sus habitantes en entornos urbanos y rurales resilientes que faciliten la localización y desarrollo económicos con pleno respeto de la naturaleza. Con el fin de articular el PIGECA, se aportaron ideas para ser incluidas en la actualización de este programa que tomaron en cuenta la incorporación en el eje estratégico de “Territorio sostenible, resiliente y saludable”, un ítem relacionado con articulación con los programas de calidad del aire en el estado e incorporación de las zonas bajas emisiones como parte de las acciones a evaluar por los diferentes municipios.</p> <p>Programa Integral de Movilidad Urbana Sustentable (PIMUS): el objetivo principal es contar con un instrumento que vincule el desarrollo urbano con la movilidad, definiendo acciones y proyectos que integren aspectos económicos, ambientales y urbanos de infraestructura, que esté enfocado en el desarrollo sostenible marcado por la ONU. Este se detalla en la sección 5.6 de este documento. Como parte de la articulación con el PIGECA se incorporaron metas de ciclovías y bicicletas a las medidas de las líneas estratégica de movilidad eficiente y bajas emisiones. Asimismo, se mantuvieron varias reuniones de trabajo con la Secretaría de Movilidad y Planeación con el fin de entender las metas y acciones de este programa.</p> <p>Esta medida busca continuar las actividades de integración con estos instrumentos y otros que se identifiquen para la implementación integral del PIGECA, vinculación de otros frentes de trabajo por la gestión de la calidad del aire y búsqueda de financiamiento considerando cobeneficios de las medidas del Plan, como es el caso de la mitigación del cambio climático.</p>
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar potenciales instrumentos, planes o programas que puedan articularse con el PIGECA. 2. Continuar con talleres o mesas de trabajo con las entidades líderes de la instrumentos, planes o programas para aunar esfuerzos en la ejecución de medidas y logro metas en común.
Impacto de la medida	La presente medida no tiene un impacto en reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos. Sin embargo, fortalece la implementación del PIGECA al apoyarse en la ejecución de otros instrumentos que se desarrollan o se desarrollarán en el AMM.
Indicadores	<p>Indicadores de medida: Cantidad de reportes de la articulación con otros instrumentos, planes o programas.</p> <p>Indicadores de acciones: Acción 1: cantidad de documentos de identificación de potenciales de articulación. Acción 2: porcentaje de reuniones o taller de trabajo de articulación desarrolladas que se planean en el año.</p>

LÍNEA ESTRATÉGICA: PLANEACIÓN URBANA EFICIENTE Y BAJAS EMISIONES													
MEDIDA 19P Articulación de Planes /Programas con criterios de calidad del aire													
Calendario	Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
	Medida												
	Acción 1		1			1			1				
	Acción 2		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
Supuestos:	Voluntad política para adelantar y continuar las acciones descritas de los instrumentos.												

7.3.2. Medidas de las líneas estratégicas transversales

Las líneas estratégicas transversales se encuentran integradas por un total de nueve medidas, divididas en cuatro líneas de acción (Figura 70). Las fichas de formulación de cada medida por línea estratégica se presentan en las siguientes secciones.

	Línea estratégica: Fortalecimiento de las herramientas de gestión de la calidad aire
	1T. Fortalecimiento del Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA)
	2T. Actualización periódica de inventario de emisiones
	3T. Estructuración de la Red Colaborativa de Sensores de Bajo Costo
	4T. Fortalecimiento de las capacidades de pronóstico y modelación
5T. Desarrollo de proyectos de investigación y educación en materia de calidad del aire	
	Línea estratégica: Sistema para la protección de la vida y salud
	6T. Fortalecimiento de los instrumentos para la gestión del riesgo por contingencias atmosféricas
7T. Programa de Vigilancia Epidemiológica del Estado en materia de calidad del aire	
	Línea estratégica: Gobernanza para el mejoramiento de la calidad del aire
	8T. Implementación de la estrategia de gobernanza
	Línea estratégica: Comunicación pública
	9T. Programa integral de comunicación y pedagogía enfocada a la calidad del aire

Figura 70. Medidas de las líneas estratégicas transversales

7.3.2.1. Línea estratégica: Fortalecimiento de las herramientas de gestión de la calidad del aire

LÍNEA ESTRATÉGICA: FORTALECIMIENTO DE LAS HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE	
MEDIDA 1T Fortalecimiento del sistema integral de monitoreo ambiental	
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Secretaría de Medio Ambiente y Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Federación, dependencias municipales del AMM y responsables de los sitios de monitoreo, instituciones académicas y centros de investigación, Secretaría de Salud.</p> <p>Actores de la esfera de interés: equipos de comunicación del gobierno estatal y de los gobiernos municipales, grupos de la sociedad civil.</p> 
Objetivo	Garantizar la generación de información confiable, representativa, oportuna y verificable para el estudio de la contaminación atmosférica, la evaluación de los estándares de calidad del aire, el estudio de los impactos en la salud humana y en el medio ambiente y para la atención de los requerimientos de la gestión ambiental del AMM.
Meta	Mantener un sistema de monitoreo que permita la generación de datos que cumplan con los requerimientos de calidad necesarios para asegurar la protección de la salud pública durante los episodios de contaminación, para el diseño de políticas que fomenten la protección de la salud humana frente a los riesgos de la contaminación atmosférica y para la toma de decisiones en donde la incertidumbre tenga el menor efecto posible en los resultados.
Justificación	<p>El Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA) de Nuevo León inició sus operaciones en 1992 cuando se instalaron cinco estaciones con equipos automáticos. Gradualmente se han renovado equipos y se ha ido incrementando el número de estaciones automáticas. Actualmente, cuenta con una red conformada por 15 estaciones de monitoreo automático de cobertura para la población de la zona urbana del AMM. Las estaciones miden todos los contaminantes criterio y los parámetros meteorológicos, con excepción de la estación de Pesquería que no mide PM_{2.5} y que es operada por una empresa privada.</p> <p>El SIMA está generando información de gran utilidad para conocer el estado de la calidad del aire y construir la historia de calidad del aire del AMM. A partir de la evaluación de la información disponible, se identificó que la región no cumple con los límites máximos permisibles establecidos en las NOM de salud ambiental para los contaminantes ozono, PM₁₀, PM_{2.5} y dióxido de azufre. Asimismo, para varios contaminantes en varias de las estaciones existe una tendencia creciente de sus concentraciones. Todo esto está teniendo un impacto importante en la salud de la población.</p> <p>Sin embargo, no se logró realizar un diagnóstico completo, por lo que se requieren reforzar varios elementos del SIMA. No existe suficiencia de datos válidos en algunos años para ciertos contaminantes-estaciones, lo que además de impedir la evaluación confiable de la calidad del aire, tiene un impacto en la difusión de la información a la población, por cuanto impide comunicar de forma continua y confiable la calidad del aire y los riesgos a la salud. Por otro lado, se han realizado algunas evaluaciones de la red por parte del Centro Mario Molina (2021) en colaboración con el INECC y, como parte del PIGECA, se realizó una evaluación general a partir de una visita a las estaciones de monitoreo. Ambas consideran que la red cuenta con una buena cobertura; sin embargo, se identificaron algunas áreas de oportunidad, como por ejemplo, definir claramente los objetivos del SIMA y asegurar su cumplimiento, mejorar la operación y el mantenimiento de las estaciones mediante la estandarización de procedimientos y el desarrollo de un programa de aseguramiento y control de calidad, incrementar el personal técnico, ya que actualmente es insuficiente para atender todas las actividades del Sistema en tiempo y forma, asignar un presupuesto fijo para contar con los consumibles y refacciones requeridos, considerar la reubicación de algunas de las estaciones, entre otras acciones. Varias de ellas son acordes a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012 sobre el Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire, donde además se resalta que es obligatorio producir y manejar información de calidad que permita la toma de decisiones en materia de gestión ambiental.</p> <p>Adicionalmente, se han identificado aspectos de importancia para la gestión de la calidad del aire en la región que es necesario estudiar con mayor profundidad, como la formación de aerosoles secundarios, la actividad intensa de la química atmosférica y la rápida formación de ozono, la influencia de la topografía de la ciudad en la generación de flujos locales de viento y en la concentración heterogénea de los contaminantes en la ciudad, entre otros.</p> <p>En este sentido, es importante fortalecer el SIMA para poder vigilar la calidad del aire, y evaluar y entender con mayor profundidad el comportamiento de la contaminación atmosférica y sus impactos en salud en el AMM, los cuales son fundamentales para la toma de decisiones, el diseño y evaluación de política pública dirigida al control y reducción de emisiones y la protección de la salud de la población, así como para comunicar mejor los riesgos a la población. Para lograrlo, se propone, entre otras cosas, asegurar un presupuesto suficiente para la adecuada operación y mantenimiento</p>

LÍNEA ESTRATÉGICA: FORTALECIMIENTO DE LAS HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE	
MEDIDA 1T	Fortalecimiento del sistema integral de monitoreo ambiental
	de las estaciones, ampliar el equipo técnico, dar seguimiento al programa de control y aseguramiento de calidad, y definir y llevar a cabo los estudios de investigación que son prioritarios para la región.
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diagnóstico. Esta acción tiene el propósito de revisar y documentar la situación actual del Sistema Integral de Monitoreo Atmosférico del AMM en cada una de las etapas del proceso de generación de datos y de cada uno de sus componentes. Incluye, entre otros, la identificación de las necesidades de gestión, la revisión del programa de monitoreo y sus objetivos, el estado de la red de monitoreo y su infraestructura (incluye la instrumentación para el monitoreo de contaminantes criterio y sensores meteorológicos), las características y desempeño del sistema de gestión de la calidad en uso, el programa de operación y mantenimiento, las capacidades del personal operativo, el grado de cumplimiento de los objetivos de calidad, la información generada en los últimos cinco años (incluye datos, procedimientos de operación, validación de datos, registros de campo y laboratorio), sostenibilidad de la red, presupuesto y esquemas de adquisición de bienes. 2. Mejora de la red de monitoreo. A partir del diagnóstico se elaborará un plan de acción para la implementación de las observaciones derivadas del diagnóstico de la red. Las acciones se calendarizarán en función de su prioridad e impactos en la disponibilidad y calidad de los datos, los plazos de tiempo se definirán en conformidad con el equipo técnico de la red a partir de la priorización y disponibilidad presupuestal. 3. Desarrollo de un plan de aseguramiento de la calidad. Elaboración e implementación de un plan para el aseguramiento y control de calidad en cada una de las diferentes etapas del monitoreo, desde la adquisición de bienes hasta la publicación de los datos. El plan incluirá la elaboración de los procedimientos necesarios para todas las actividades críticas del monitoreo. Su desarrollo tendrá como insumo los objetivos del programa de monitoreo, las necesidades de gestión, la documentación existente y los resultados del diagnóstico (Acción 1). El plan estará basado en los requerimientos de la NOM-156-SEMARNAT-2012, las recomendaciones de la US EPA y las mejores prácticas en el monitoreo. Los productos esperados incluirán el plan de calidad, los procedimientos de operación, la documentación de registro, un programa de auditorías internas y externas, las métricas e indicadores de calidad y su evaluación. Esta acción considera también la adquisición de equipos y materiales de referencia para la evaluación de la calidad, el equipamiento de las estaciones con equipos de calibración, así como la instalación de un laboratorio para la transferencia de estándares. 4. Mantenimiento a la infraestructura de la red. La mayoría de las estaciones de monitoreo adquiridas antes de 2020 presentan algún grado de deterioro en las casetas o <i>shelter</i> por la falta de mantenimiento o por daños físicos. Las casetas proporcionan protección y las condiciones ambientales para que los instrumentos de medición operen en las mejores condiciones. En este programa se realizará un levantamiento de los problemas en la infraestructura física y eléctrica de cada una de ellas y se calendarizará su atención inmediata, en función de las prioridades de reparación. Incluirá el diseño de un plan calendarizado para el mantenimiento preventivo de la infraestructura física y eléctrica. 5. Plan de mantenimiento preventivo de la instrumentación de la red. El mantenimiento preventivo de los equipos de monitoreo es crítico para garantizar la calidad de los datos, la operación apropiada de la instrumentación, reducir la pérdida de datos por falla y prolongar la vida útil de los equipos. Es necesario un plan de mantenimiento preventivo para cada uno de los componentes de la red que incluya procedimientos, capacitación y un calendario para las diferentes actividades. Considera también la elaboración de una lista detallada con los accesorios, refacciones y consumibles necesarios para la operación de la red, así como la recomendación de un presupuesto mínimo para la operación anual. Esta actividad complementa el plan de aseguramiento de la calidad (Acción 3). 6. Reforzamiento de recursos humanos. Actualmente, la red cuenta con personal insuficiente para garantizar la operación de la red y la obtención de datos válidos. Para operar la red en las condiciones actuales se recomienda incrementar el personal de la siguiente manera: cuatro técnicos de campo, dos analistas de datos, un meteorólogo instrumentista y dos técnicos para el laboratorio de mantenimiento, un responsable de calidad, un coordinador de actividades de campo, un responsable de la validación de datos, un experto en comunicación para el manejo de redes sociales y la estrategia de difusión. Esta acción incluye el desarrollo de los perfiles para la contratación, descripción de las funciones y responsabilidades de cada posición, así como las necesidades de capacitación. Las necesidades podrían modificarse en función de los resultados del diagnóstico. 7. Rediseño del sistema de monitoreo. La evolución del paisaje urbano, los cambios en la actividad económica y la expansión continua de la zona metropolitana tienen impactos directos en la cobertura y representatividad espacial de las estaciones de monitoreo. Es necesario garantizar que las estaciones de monitoreo mantienen su capacidad de generar datos espacial y temporalmente representativos en el entorno urbano cambiante. Esta acción considera una evaluación detallada de la representatividad actual de los sitios que integran la red, las recomendaciones para retirar o instalar estaciones de monitoreo, la identificación de zonas fuera de la cobertura de la red y que podrían requerir

LÍNEA ESTRATÉGICA: FORTALECIMIENTO DE LAS HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE	
MEDIDA 1T	Fortalecimiento del sistema integral de monitoreo ambiental
	<p>de la instalación de nuevas estaciones, la pertinencia de incrementar la densidad de algún parámetro empleando tecnologías innovadoras (por ejemplo, los sensores de bajo costo), la necesidad de incluir la medición de nuevos parámetros en función de los objetivos del programa de monitoreo (por ejemplo: precipitación húmeda/seca, tamaño y número de partícula, radiación ultravioleta, polen, hidrocarburos poliaromáticos en fases gas/partícula, propiedades ópticas de los aerosoles y recolección de muestras de diferentes fracciones de partículas para propósitos de especiación), la identificación de sitios para evaluar las concentraciones de fondo y el transporte de los contaminantes. Los insumos incluyen los objetivos del monitoreo, los resultados del diagnóstico, los requerimientos de la NOM-156-SEMARNAT-2012 y las recomendaciones de la US EPA. El principal resultado de esta acción será el reforzamiento de la red a través de la creación de una red más eficaz y eficiente, la mejora de la infraestructura actual, el incremento de la cobertura espacial y la ampliación de las capacidades del monitoreo, todo ello enmarcado en las necesidades de la gestión.</p> <p>8. Adquisición de equipos de monitoreo para la caracterización de COV y la composición de los aerosoles. El AMM experimenta un deterioro de la calidad del aire resultado de la contribución de contaminantes primarios y secundarios. Si bien los inventarios de emisiones permiten identificar las principales fuentes de contaminantes primarios y sus aportes, poco se sabe sobre el origen y los aportes del material secundario. Para entender las causas que provocan los elevados niveles de ozono y partículas es necesario avanzar en el estudio de sus precursores, esto permitirá generar nuevo conocimiento útil para la formulación de mejores políticas de gestión basadas en evidencia objetiva.</p> <p>9. Generación de alianzas con la SEMARNAT y las áreas correspondientes de otras ciudades del país con una trayectoria importante en la gestión de la calidad del aire, para el apoyo con asesoría técnica, capacitación, recursos y realización de evaluaciones externas.</p>
Impacto de la medida	<p>Esta medida no genera en un impacto directo en la reducción de emisiones; sin embargo, gracias al fortalecimiento del SIMA que derivará en datos suficientes y de calidad, se podrá caracterizar mejor la calidad del aire y determinar qué contaminantes predominan; en qué zonas de la ciudad y en qué momento del día, de la semana o del año se presentan las mayores concentraciones; identificar los patrones de comportamiento de los diferentes contaminantes y su relación con los parámetros meteorológicos, e identificar los compuestos que contribuyen a la formación del ozono y las PM_{2.5} secundarias. Asimismo, permitirá evaluar la tendencia de los contaminantes a través de los años y el impacto de los programas de gestión de la calidad del aire. Por otro lado, permitirá evaluar el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en salud ambiental y los impactos de la contaminación del aire en la salud de la población, y es un insumo para el desarrollo de un Sistema de Vigilancia en Salud Ambiental. La información generada permite calcular el Índice Aire y Salud y poder comunicar la calidad del aire, los riesgos y las recomendaciones a la población de forma continua y oportuna, llevar a cabo la declaratoria de acuerdo al Programa de Respuesta a Contingencias Atmosféricas y realizar el pronóstico de calidad del aire del AMM. Finalmente, la información del SIMA es uno de los pilares sobre los que se diseñan las estrategias y medidas de control y reducción de la contaminación en una ciudad y permitirá evaluar el cumplimiento de la Meta del PIGECA.</p>
Indicadores	<p>Indicador de la medida: Cumplimiento de las métricas de calidad en función de los objetivos del monitoreo. Las métricas deberán incluir, por lo menos, indicadores de suficiencia de datos, precisión y error para cada parámetro.</p> <p>Indicadores de acciones: Acción 1: cantidad de documentos de diagnósticos que serán la guía para el establecimiento de una estrategia de mejora integral del programa de monitoreo. Acción 2: avance porcentual en el cumplimiento de las acciones. Acción 3: porcentaje de desarrollo del plan de aseguramiento de la calidad; cumplimiento de las métricas de calidad. Acción 4: porcentaje de casetas reparadas adquiridas antes de 2020. Acción 5: porcentaje de desarrollo del plan de mantenimiento preventivo; cumplimiento de las actividades calendarizadas y necesidades de personal para operación y necesidades de personal para operar. Acción 6: porcentaje de contratación de personal que garantice la adecuada operación de la red. Acción 7: porcentaje de avance de un plan de rediseño, reubicación o instalación de nuevas estaciones. Acción 8: porcentaje de avance en la compra de equipos de monitoreo para la caracterización de COV y la composición de los aerosoles. Acción 9: porcentaje de convenios firmados.</p>

LÍNEA ESTRATÉGICA: FORTALECIMIENTO DE LAS HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE													
MEDIDA 1T Fortalecimiento del sistema integral de monitoreo ambiental													
Calendario	Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	
	MEDIDA												
	Acción 1		1										
	Acción 2		33%	66%	100%								
	Acción 3			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Acción 4		50%	100%									
	Acción 5			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Acción 6			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Acción 7		50%	100%									
	Acción 8			50%	100%								
Acción 9		50%	100%										
Supuestos:	El SIMA contará con un presupuesto fijo anual suficiente para llevar a cabo las acciones de operación, mantenimiento, compra de consumibles y refacciones, viáticos, entre otros.												

LÍNEA ESTRATÉGICA: FORTALECIMIENTO DE LAS HERRAMIENTAS DE SEGUIMIENTO Y DIAGNÓSTICO DE CALIDAD AIRE	
MEDIDA 2T Actualización periódica de inventario de emisiones	
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: Academia, SEMARNAT.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Grupos de la sociedad civil.</p> 
Objetivo	Actualizar de forma periódica los inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos para las fuentes de emisión dentro del AMM.
Meta	Un informe, como mínimo por periodicidad bienal, que presente los resultados de la actualización del inventario de emisiones para el AMM.
Justificación	<p>El AMM cuenta con una última actualización del inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos para el año 2018, el cual sirve como línea base para la formulación del PIGECA 2023-2033.</p> <p>Los inventarios de emisiones tienen diferentes propósitos, incluyendo la identificación de fuentes de emisión, la estimación del aporte en emisiones de dichas fuentes, incluso para modelación de calidad del aire y como herramienta de seguimiento a la gestión de la calidad del aire y a programas de descontaminación. Por tal motivo, mantener actualizada esta herramienta es fundamental para hacer seguimiento a la implementación de programas de reducción de emisiones en diferentes sectores y hacer seguimiento a la implementación del PIGECA.</p> <p>Esta actualización se propone sea realizada en apoyo con instituciones académicas, buscando que el conocimiento que ha sido adquirido por estas instituciones se pueda articular con la información disponible por parte de actores gubernamentales y facilitar el proceso de estimación de los inventarios. De esta forma, la academia puede aportar nuevas fuentes de información, resultados de estudios específicos, uso de herramientas tecnológicas, así como adaptación para el AMM de metodologías ya existentes para la actualización de diferentes fuentes de contaminación.</p> <p>Se busca con este proyecto contar con inventarios de emisiones que estén actualizados y que permitan ser detallados en cada proceso de estimación. Este proceso se puede realizar con apoyo de la academia considerando que han desarrollado estimación de fuentes y emisiones en Nuevo León y/o el AMM. Algunos de ellos son: inventario de fuentes móviles del 2003, 2004 y 2005 haciendo uso del modelo Mobile en distintas versiones (Bautista-Ramírez et al., 2008; Mejía, 2005; Obregón-Álvarez, 2004), inventario de emisiones de las quemas agrícolas y los incendios forestales del 2000 (Mendoza et al., 2005), estimación de emisiones de algunas fuentes naturales en 1995 (Navar y Treviño, 1998).</p> <p>De igual forma, la actualización de los inventarios del AMM y del Estado de Nuevo León se debe realizar en articulación con entidades Nacionales como SEMARNAT, lo anterior para certificación, concordancia con las metodologías y contar con información disponible a nivel Federal.</p>
Acciones	1. Establecer mecanismos de colaboración entre los actores como convenios o mesas de trabajo que permitan una construcción conjunta y continua de los inventarios de emisiones.

LÍNEA ESTRATÉGICA: FORTALECIMIENTO DE LAS HERRAMIENTAS DE SEGUIMIENTO Y DIAGNÓSTICO DE CALIDAD AIRE													
MEDIDA 2T Actualización periódica de inventario de emisiones													
	<p>2. Elaboración de un protocolo de estimación de inventarios de emisiones propio para el AMM que dé cuenta como mínimo de los actores, fuentes de información requeridas, insumos requeridos y metodologías a implementar, que involucre a futuro la estimación de emisiones desagregadas espacial y temporalmente adecuados como insumos para modelación de la calidad del aire.</p> <p>3. Actualización de los inventarios de emisiones, considerando prioritarios los sectores de alta contaminación como industria, transporte público, transporte de carga, entre otros que se vayan identificando durante cada ejercicio de estimación, tomando como referencia la línea base 2018. Esto involucra la validación por parte de SEMARNAT, publicación y divulgación del inventario de emisiones actualizado de fácil acceso a la ciudadanía, academia y otros actores de interés.</p>												
Impacto de la medida	Esta medida no tiene un impacto directo en reducción de emisiones generadas en el AMM. Sin embargo, permite ser un respaldo en toma de decisiones en cuando a la formulación de las medidas enfocadas a los sectores identificados como mayores aportantes a la contaminación y hace parte de las herramientas de seguimiento y ajuste de las metas de las medidas que integran al PIGECA.												
Indicadores	<p>Indicadores de medida: Cantidad de documentos de actualización del inventario de emisiones para el AMM generado como mínimo de forma bienal.</p> <p>Indicadores de acciones: Acción 1: porcentaje de mecanismos de colaboración entre los actores implementados. Acción 2: cantidad de documentos con el protocolo de elaboración de inventarios de emisiones. Acción 3: publicaciones del inventario de emisiones más actualizado.</p>												
Calendario		Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
		Medida											
		Acción 1		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
		Acción 2			1								
		Acción 3			1		1		1		1		1
Supuestos:	Disposición presupuestal para elaborar la actualización periódica de los inventarios de emisiones con articulación de instituciones académicas.												

LÍNEA ESTRATÉGICA: FORTALECIMIENTO DE LAS HERRAMIENTAS DE SEGUIMIENTO Y DIAGNÓSTICO DE CALIDAD AIRE													
MEDIDA 3T Estructuración de la Red Colaborativa de Sensores de Bajo Costo													
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: Academia, Grupos de la sociedad civil.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Ciudadanía en general.</p>												
Objetivo	Constituir una red de dispositivos de bajo costos para medición indicativa de concentraciones de contaminantes en el aire en el AMM.												
Meta	Complementar la red de monitoreo de calidad del aire con mínimo 20 dispositivos de bajo costo para algunos parámetros seleccionados, con el propósito de generar datos que permitan la identificación de <i>hot-spots</i> de contaminantes del aire, la evaluación de la variabilidad espacial de la contaminación, justicia ambiental, exposición a escala comunitaria, educación y participación ciudadana.												
Justificación	<p>El Gobierno de Nuevo León cuenta con el Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA) compuesto por 15 estaciones de monitoreo continuo de grado regulatorio que ofrecen cobertura representativa para la población de la zona urbana del AMM. De igual forma, el Observatorio de Calidad del Aire de Monterrey cuenta con una red de dispositivos de bajo costo instalados y operados a través de una iniciativa ciudadana para brindar información de la contaminación del aire en el AMM.</p> <p>Esta estrategia busca instalar una red de dispositivos de bajo costo para generar datos indicativos de algunos parámetros representativos (por ejemplo, PM_{2.5} y otros contaminantes de interés), aprovechando las ventajas que ofrecen estos equipos, las cuales incluyen: un bajo costo de adquisición, facilidad de despliegue en una gran variedad de microambientes, tamaño compacto, ligeros y un bajo consumo de energía. Reconociendo los problemas</p>												

LÍNEA ESTRATÉGICA: FORTALECIMIENTO DE LAS HERRAMIENTAS DE SEGUIMIENTO Y DIAGNÓSTICO DE CALIDAD AIRE												
MEDIDA 3T Estructuración de la Red Colaborativa de Sensores de Bajo Costo												
	<p>asociados con la calidad de los datos generados por estos equipos, el proyecto considera implementar un conjunto de actividades de aseguramiento y control de calidad para identificar la incertidumbre de las mediciones, así como la instrumentación de un programa para su reemplazo periódico.</p> <p>Previo al despliegue se identificarán los objetivos del monitoreo para el mejor diseño de la red. Los objetivos se establecerán en coordinación con diferentes sectores interesados en el uso de estas tecnologías. Se busca que la red se construya de forma colaborativa integrando los dispositivos adquiridos por las autoridades y permitiendo la incorporación de dispositivos adquiridos y operados por la ciudadanía y sectores interesados.</p> <p>Con esta medida se busca estructurar y poner en marcha una red de dispositivos de bajo costo que complementen otros proyectos similares que se realizan hoy en día en la región, involucrando a la ciudadanía, investigadores y cualquier actor interesado, fomentando en todo momento la participación pública en el proceso de Gobernanza del PIGECA.</p>											
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> Diseño de una red de bajo costos para el AMM que involucre: 1) la definición de los objetivos de una red basada en dispositivos de bajo costo; 2) identificación, selección y evaluación de las tecnologías disponibles en el mercado en función de los objetivos que perseguirá la red; 3) identificación de la infraestructura y sitios de monitoreo para el despliegue de la red; 4) diseño una estrategia de mantenimiento, control y aseguramiento de la calidad de los datos de la red. Adquisición de los recursos informáticos necesarios y el desarrollo o adquisición de las aplicaciones para almacenamiento, análisis, visualización y difusión de los datos generados por la red. Elaboración de manuales y procedimientos para el despliegue y operación de la red. Elaboración de un programa de educación y sensibilización de los problemas ambientales para la ciudadanía. 											
Impacto de la medida	Educación ambiental y participación ciudadana. Este proyecto tendrá un enfoque de justicia ambiental dando prioridad a regiones marginadas o fuera de la cobertura del SIMA.											
Indicadores	<p>Indicador de la medida Cantidad de dispositivos de bajo costo instalados que se planteen en el diseño inicial y puestos en marcha que hagan parte de la red.</p> <p>Indicadores acciones Acción 1: porcentaje de avance en el diseño de una red de bajo costos para el AMM. Acción 2: porcentaje de adquisición y desarrollo de los recursos informáticos necesarios. Acción 3: cantidad de manuales y procedimientos para el despliegue y operación de la red. Acción 4: cantidad de programa de educación y sensibilización de los problemas ambientales para la ciudadanía.</p>											
Calendario	Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
	Medida											
	Acción 1			50%	100%							
	Acción 2			50%	100%							
	Acción 3				1							
	Acción 4					1		1		1		1
Supuestos:	<ul style="list-style-type: none"> - Disposición de recursos económicos requeridos. - Articulación con otras redes de monitoreo ya existentes o en etapa de planeación en el AMM. 											

LÍNEA ESTRATÉGICA: FORTALECIMIENTO DE LAS HERRAMIENTAS DE CALIDAD AIRE	
MEDIDA 4T Fortalecimiento de las capacidades de pronóstico y modelación	
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: Academia, SEMARNAT.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Grupos de la sociedad civil.</p> 
Objetivo	Fortalecer las herramientas de modelación que tengan como propósito generar información de relevancia para el diagnóstico de calidad del aire, que involucre: pronósticos de calidad del aire, evaluación de escenarios de reducción de emisiones y ajustes de inventarios de emisiones.
Meta	Consolidar un sistema de modelación integrado de calidad de aire que esté constituido por los modelos utilizados en la actualidad y modelos de calidad del aire complementarios que permitan la evaluación de escenarios de implementación de medida, ajuste de inventarios de emisiones y complementar los pronósticos.
Justificación	<p>La Secretaría de Ambiente de Nuevo León cuenta con herramientas de modelación de calidad del aire que permiten obtener un diagnóstico de calidad del aire a 24 horas. Estas herramientas pueden ser fortalecidas a partir de uso de varios tipos modelos de calidad del aire, así como ampliar su gama de usos.</p> <p>Es así que esta medida busca una reestructuración del sistema de modelación en donde se puedan integrar herramientas de modelos fotoquímicos (ejemplo: CMAQ, WRF Chem, entre otros), articulados con modelos de pronóstico meteorológico (ejemplo: WRF), así como modelos de respuesta rápida (ejemplo: Calpuff). Lo anterior no solo ayudaría a tener otra perspectiva del pronóstico de calidad del aire en el AMM, sino también permitirá ampliar el portafolio de usos de la modelación a los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Evaluación de escenarios de implementación de medidas:</i> evaluar escenarios con diferentes posibilidades de ejecución de medidas del PIGECA o el Plan Maestro, permitiendo optimizar y seleccionar la más adecuada. - <i>Evaluación de efectividad de medidas en episodios de calidad del aire:</i> permite evaluar el impacto de las medidas hoy en día utilizadas en contingencias por contaminación del aire y evaluar su efectividad, así como dar respaldo a su implementación. - <i>Ajuste de los inventarios de emisiones:</i> utilizando modelación inversa se puede hacer ajustes a los inventarios de emisiones y mejorar el conocimiento de aporte de contaminación de las fuentes de emisión. <p>Esto se propone desarrollarlo con el apoyo de la academia, dada su ardua experiencia en modelación en calidad del aire. Actualmente, el Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la Universidad Nacional Autónoma de México presentó una propuesta de proyecto a la SMA que tiene como objetivo el desarrollo e implementación del pronóstico numérico de calidad del aire para la región del norte de México, que incluye a la Ciudad de Monterrey, mediante la implementación del modelo WRF-Chem, el cual permitiría iniciar actividades para el desarrollo de la medida de esta ficha. Entre las investigaciones relacionados con modelación ya desarrollados por la academia para el AMM se destacan: modelos de redes neuronales artificiales para predecir concentraciones de material particulado (Carmona-García et al., 2019; Carmona, 2018; Magaña-Villegas et al., 2016), modelos matemáticos para CO y su correlación con otros parámetros (Guarnaccia et al., 2018; Guarnaccia et al., 2014), modelos matemáticos para el O₃ (Iglesias-Gonzalez et al., 2019), diseño y comparaciones de modelos de redes neuronales y modelos matemáticos para predecir concentraciones de O₃ (García-Sánchez, 2003) y material particulado (Carmona et al., 2017).</p>
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. Generación de un documento de diagnóstico y oportunidades en modelación para pronóstico. 2. Articulación con la academia para selección de los modelos que, según las necesidades e información disponible en el AMM, puedan ser implementados. 3. Generar pronósticos de calidad del aire con nuevas herramientas y demás acciones de utilidad, como evaluación de escenarios de reducción de emisiones o ajuste con modelación inversa de inventarios de emisiones que involucre la publicación de informe de modelación y pronósticos de calidad del aire para que estén disponibles para la ciudadanía.
Impacto de la medida	Esta medida no tiene un impacto directo en reducción de emisiones en el AMM, pero permite dar respaldo técnico a la toma de decisiones con relación a contingencias en calidad del aire. Asimismo, permitirá evaluar periódicamente el impacto de la implementación de las medidas del PIGECA.
Indicadores	<p>Indicadores de medida: Porcentaje de consolidación de un sistema de modelación integral de calidad del aire</p> <p>Indicadores de acciones: Acción 1: porcentaje de avance en el desarrollo de un documento de diagnóstico y oportunidades de mejora en modelación para pronóstico.</p>

LÍNEA ESTRATÉGICA: FORTALECIMIENTO DE LAS HERRAMIENTAS DE CALIDAD AIRE												
MEDIDA 4T Fortalecimiento de las capacidades de pronóstico y modelación												
	<p>Acción 2: cantidad de mesas de trabajo o convenios suscritos con la academia, centros de investigación o consultoras para el fortalecimiento de las herramientas de modelación en calidad del aire.</p> <p>Acción 3: cantidad de publicaciones realizadas de reporte de modelación pronóstico en calidad del aire.</p>											
Calendario	Acción	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
	Medida											
	Acción 1		50%	100%								
	Acción 2			Mínimo1								
	Acción 3			1	1	1	1	1	1	1	1	1
Supuestos:	Contar con la disposición de recursos para la consolidación de un sistema más robusto.											

LÍNEA ESTRATÉGICA: FORTALECIMIENTO DE LAS HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE	
MEDIDA 5T Desarrollo de proyectos de investigación en materia de calidad del aire	
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: instituciones académicas y centros de investigación a nivel nacional e internacional, SEMARNAT.</p> <p>Actores de la esfera de interés: grupos de la sociedad civil y sector privado.</p>
Objetivo	Definir e implementar una agenda de investigación dirigida al mejor entendimiento del comportamiento de la contaminación del aire y sus impactos en la salud y el ambiente, al fortalecimiento de las herramientas de gestión de calidad del aire y al diseño y evaluación de medidas de control y reducción de emisiones en el AMM, construida e implementada en colaboración con las instituciones académicas y centros de investigación de la región.
Meta	Implementar al menos siete proyectos de investigación en los siguientes 10 años.
Justificación	<p>La academia y los centros de investigación han jugado un papel importante en la generación de evidencia científica dirigida a entender la problemática de calidad del aire en la región. Se han identificado al menos 90 estudios en la materia desarrollados por universidades e instituciones públicas o privadas con reconocimiento nacional y/o internacional, incluyendo al Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), el Instituto Tecnológico de Nuevo León (ITNL), el Tecnológico de Monterrey, la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y la Universidad de Monterrey (UEM). Los estudios corresponden a distintas líneas temáticas que incluyen la caracterización química de partículas y de contaminantes en fase gaseosa, química atmosférica, inventarios de emisiones, salud ambiental, movilidad eficiente y baja en emisiones, industria eficiente y baja en carbono, planeación y desarrollo urbano, e instrumentos económicos.</p> <p>Las instituciones mencionadas cuentan con capacidades, infraestructura y alianzas con instituciones académicas nacionales e internacionales, lo cual las habilita para desarrollar proyectos dirigidos a evaluar y entender el comportamiento de los contaminantes atmosféricos y sus impactos en la salud y económicos, a identificar y estimar las emisiones de fuentes contaminantes, a evaluar y proponer medidas para mejorar la calidad del aire a nivel de una fuente específica como una industria o transporte, y/o a diseñar políticas públicas integrales a implementar por los gobiernos.</p> <p>En prospectiva, es clave fortalecer el papel de la academia en la gestión de la calidad del aire en el AMM, a través de la generación de alianzas del sector académico con el gobierno y con el sector privado, y de potenciar las capacidades y aportes desde las universidades para el desarrollo de estudios de utilidad que busquen la mejora de los procesos en la industria y el diseño y evaluación de políticas públicas integrales basadas en evidencia, los cuales contribuyan a la mejora de la calidad del aire y a la protección de la salud de la población.</p> <p>Asimismo, será muy importante consolidar la conformación de la Mesa Permanente de Asesoría Científica del PIGECA para definir los objetivos y la agenda de investigación a diez años (con su consecuente ejecución), con base en los estudios ya realizados y las prioridades de la región que apoyen la implementación del PIGECA.</p>
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollar y firmar convenios de colaboración entre el Gobierno del Estado de Nuevo León y al menos tres instituciones académicas y centros de investigación de la región. 2. Desarrollar y formalizar los lineamientos de operación de la Mesa Permanente de Asesoría Científica del PIGECA que defina la estructura del grupo de trabajo, los integrantes, la periodicidad de las reuniones, entre otros.



LÍNEA ESTRATÉGICA: FORTALECIMIENTO DE LAS HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE												
MEDIDA 5T Desarrollo de proyectos de investigación en materia de calidad del aire												
	<p>3. Desarrollar el plan de trabajo de la Mesa Permanente de Asesoría Científica del PIGECA que incluya, de forma inicial, la propuesta y definición de una agenda de investigación en materia de calidad del aire y salud y su cronograma para los siguientes 10 años.*</p> <p>4. Asignar un presupuesto específico anual suficiente para la implementación de al menos 10 proyectos de investigación que son parte de la agenda de investigación en calidad del aire y salud.</p> <p>*Dentro de los estudios mencionados en las distintas mesas de trabajo como prioritarios, así como aquellos identificados durante la revisión de la literatura científica y el análisis del estado de la calidad del aire del AMM, se propone considerar en la definición de la agenda de investigación los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Actualización de la evaluación de las cuencas atmosféricas en el AMM. - Programa permanente de caracterización de partículas y evaluación de la química atmosférica y los contaminantes secundarios en el AMM. - Definición de la concentración de fondo de los contaminantes criterio en la región. - Evaluación de contaminantes tóxicos como el benceno en el AMM. - Estudios para incrementar la certidumbre del inventario de emisiones de contaminantes criterio, GEI y contaminantes climáticos de vida corta del AMM, incluyendo la definición de factores de emisión a nivel local. - Estudios que apoyen el desarrollo de un modelo de calidad del aire operado por la Secretaría de Medio Ambiente en colaboración con una o más instituciones académicas para mejorar el pronóstico de la calidad del aire actual y para evaluar escenarios de reducción de emisiones en el AMM que apoye la toma de decisiones. - Modelación de las emisiones de la refinería de Cadereyta. - Evaluación integral de las medidas para mejorar la calidad del aire en el sector transporte, industria y fuentes de área. - Estudios de efectos en salud por contaminación del aire en el AMM, incluyendo efectos diferenciados por nivel socioeconómico, edad, género, lugar de residencia, entre otros. - Valoración económica de los impactos de la contaminación del aire en la salud y el ambiente. 											
Impacto de la medida	Esta medida no genera en un impacto directo en la reducción de emisiones; sin embargo, contribuirá al fortalecimiento de la gestión de la calidad del aire a través del desarrollo de estudios que dan mayor claridad y detalle respecto a la problemática de calidad del aire y aportan sustento científico a la toma de decisiones y al diseño y evaluación de política pública, así como a una colaboración más cercana entre la academia, el gobierno y el sector privado.											
Indicadores	<p>Indicador de la Medida: Número de proyectos de investigación en temas de calidad del aire implementados.</p> <p>Indicadores de Acciones: Acción 1: cantidad de convenios de colaboración firmados y publicados. Acción 2: porcentaje de avance en la elaboración y publicación de la Mesa Permanente de Asesoría Científica del PIGECA. Acción 3: consolidación y publicación de un documento periódico con plan de trabajo y agenda de investigación validada por la Secretaría y las instituciones académicas de la región. Acción 4: porcentaje de presupuesto anual específico asignado a la medida.</p>											
Calendario	Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
	Medida											
	Acción 1				Mínimo 2			Mínimo 2			Mínimo 2	
	Acción 2		50%	100%								
	Acción 3			1		1		1		1		1
	Acción 4			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Supuestos:	El Gobierno del Estado de Nuevo León y las instituciones académicas tendrán la voluntad, interés y compromiso de firmar acuerdos y colaborar en el diseño y desarrollo de la agenda de investigación en materia de salud y calidad del aire, así como en la implementación de los proyectos. El Gobierno del Estado de Nuevo León asignará un presupuesto suficiente para la implementación de la agenda científica que puede provenir de recursos internos u obtenidos de otras instituciones.											

3.3.2.2. Línea estratégica: Sistema para la protección de la vida y la salud

LÍNEA ESTRATÉGICA: SISTEMA PARA LA PROTECCIÓN DE LA VIDA Y SALUD	
MEDIDA 6T Fortalecimiento de los instrumentos para la gestión del riesgo por contingencias atmosféricas	
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: Secretarías de Movilidad y Planeación Urbana, de Economía, de Salud de Nuevo León, dependencias municipales del AMM, SEMARNAT.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Ciudadanía en general.</p> 
Objetivo	<p>El objetivo estratégico es establecer los lineamientos que permitan mantener actualizado, vigente y operativo el programa de respuesta a contingencias atmosféricas en el AMM. Este objetivo se alcanzará a través de los siguientes objetivos principales:</p> <ol style="list-style-type: none"> Proteger la salud de la población ante eventos de alta contaminación atmosférica asociados a condiciones meteorológicas desfavorables y circunstancias extraordinarias de emisión de contaminantes. Asegurar la efectividad en la implementación de acciones emergentes que permitan reducir la intensidad de las emisiones. Utilizar el programa como instrumento de concientización y fortalecimiento de cultura ciudadana a favor de la mejora de la calidad del aire. Impulsar acciones de transformación estructural que disminuyan emisiones y reduzcan la probabilidad de contingencias atmosféricas en el mediano y largo plazo. <p>Estos objetivos permitirán mantener el programa de respuesta a contingencias atmosféricas actualizado y operativo, para proteger la salud de la población ante eventos de alta contaminación atmosférica, implementar acciones emergentes que reduzcan la intensidad de las emisiones, crear conciencia ciudadana sobre la importancia de mejorar la calidad del aire y promover la transformación estructural para disminuir emisiones y reducir la probabilidad de contingencias atmosféricas en el futuro.</p>
Meta	<p>Implementar las disposiciones del programa de respuesta a contingencias atmosféricas en el AMM y otras disposiciones relacionadas, con el fin de mejorar la capacidad de respuesta institucional ante contingencias atmosféricas, de manera oportuna y eficaz.</p>
Justificación	<p>El AMM cuenta con una red de monitoreo atmosférico que inició sus operaciones en 1970 y actualmente cuenta con 15 estaciones automáticas distribuidas en toda el territorio. En el año analizado para el PIGECA, un porcentaje importante de los días del año presentaron datos insuficientes para todos los contaminantes, lo que repercute al momento de evaluar la calidad del aire en el AMM y de comunicar dicha información, así como los riesgos a la salud a la población. Recientemente y con base en la evidencia científica internacional y nacional de los efectos a la salud por la contaminación del aire que se ha ido acumulando, se actualizaron las NOM de salud ambiental y las Guías de Calidad del Aire de la OMS para los contaminantes criterio haciéndose más estrictas. Esto impone un reto aún mayor para las ciudades del país al momento de diseñar e implementar acciones para asegurar un aire limpio y proteger la salud de sus ciudadanos. En el 2022 se superaron las NOM de partículas, ozono, SO₂ y NO₂ en el AMM. En el caso de las partículas, las mayores concentraciones se presentaron entre noviembre y febrero, a diferencia del ozono, en el que las concentraciones más altas se identificaron entre marzo y agosto. Esto refleja una influencia importante de las condiciones meteorológicas que prevalecen en ciertas épocas del año y que, en el caso de partículas, dificultan la dispersión y, en el caso de ozono, favorecen su formación.</p> <p>Esto impacta de forma importante a la salud y calidad de vida de la población, por lo que se requiere reforzar las medidas de reducción de emisiones y la estrategia de comunicación de riesgos para reducir la exposición de las personas a la contaminación del aire. Asimismo, se requiere fortalecer el sistema de monitoreo atmosférico para asegurar una adecuada evaluación de la calidad del aire y poder comunicar de forma continua y oportuna dicha información a la población.</p> <p>Actualmente, la Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León cuenta con un programa de respuestas a contingencias atmosféricas para el AMM; sin embargo, es fundamental evaluar y actualizar el programa de contingencias existente y fortalecerlo de acuerdo a los límites máximos actuales de concentraciones de contaminantes definidos en la normatividad vigente, así como evaluar las acciones que se pueden tomar como respuesta, fortalecer las estrategias de cumplimiento de las medidas establecidas, las herramientas de monitoreo que permitan la confiabilidad y oportunidad de los datos, y la comunicación, educación y participación de los actores en la activación del programa de respuestas.</p>
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> Conformar un comité técnico para actualizar el Programa de Contingencias Atmosféricas que permita desarrollar un proceso participativo para la actualización del programa. Desarrollar la actualización del programa de contingencias atmosféricas que involucre:

LÍNEA ESTRATÉGICA: SISTEMA PARA LA PROTECCIÓN DE LA VIDA Y SALUD

MEDIDA 6T

Fortalecimiento de los instrumentos para la gestión del riesgo por contingencias atmosféricas

2.1. Fortalecimiento del programa de respuestas a contingencias atmosféricas:

- Actualmente, la Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León cuenta con un programa de contingencias atmosféricas. Se propone fortalecer el programa a través de un proceso de actualización del documento, que incluya un proceso participativo, en el marco de la gobernanza y su modelo, con los diferentes actores: ciudadanía, academia, industria, transporte, etc. Asimismo, en el marco del programa se deben identificar actores claves en la implementación del programa, como: Secretarías Estatales que intervienen durante el periodo, Municipalidades y sus Secretarías, actores regulados, como la industria y el transporte, las dependencias de comunicaciones de los diferentes entes públicos y las Secretarías de Salud.
- Se recomienda que el documento establecido para la atención de contingencias atmosféricas cuente con un respaldo jurídico sólido y que, además, este sea reglamentado a través de una resolución estatal. El mecanismo de reglamentación es fundamental para garantizar el cumplimiento del programa.
- Para contar con una gestión de contingencias atmosféricas que genere una información confiable, oportuna y veraz, es necesario garantizar que todas las estaciones de monitoreo de calidad de aire sean automáticas y entreguen la información en tiempo real para los contaminantes críticos, como los son el PM_{2.5}, el PM₁₀ y el ozono. Es fundamental contar con un sistema de monitoreo fortalecido, que además cuente con análisis y herramientas de apoyo, como pronósticos meteorológicos, identificación de puntos calientes, análisis de aportes de fuentes de contaminación externa y caracterización de dichas fuentes a partir de instrumentos como los etalómetros.
- Para la toma de decisiones en la gestión de contingencias de calidad de aire, las mediciones de contaminantes se deberán realizar en estaciones de monitoreo calificadas como de **representatividad poblacional**. Esta calificación se debe analizar en el marco del programa de respuesta a contingencias atmosféricas, adjuntando para ello todos los antecedentes técnicos que permitan verificar y asegurar que las condiciones de emplazamiento y características técnicas de los equipos cumplen ciertas condiciones y aseguren que las mediciones registradas representan una condición general de la zona que se desea representar y no son reflejo de eventos particulares y aislados (como una industria que impacta directamente sobre la estación y no tiene impacto en toda la población de una ciudad).
- Definir desde el mismo programa los periodos o épocas del año en los cuales se presentan mayor probabilidad de contingencia y por cuál contaminante, de esta manera se pueden generar periodos de prevención que eviten alcanzar altas concentraciones de contaminantes.
- Se recomienda realizar una actualización del programa cada tres años.

2.2. Fortalecer el trabajo del comité operativo del programa de respuestas a contingencias atmosféricas: acordar con todas las instituciones que hacen parte del comité operativo del programa de respuestas a contingencias atmosféricas, su funcionamiento de manera permanente y se fortalezcan sus capacidades y herramientas para preparar y desplegar acciones dirigidas a mitigar los impactos asociados a los eventos de contaminación en la región, así como para anticiparlos. Para ello se recomienda acotar el comité solamente a las Entidades del nivel público, de toma de decisiones y del nivel técnico, y que se establezca en el programa claramente el mecanismo y reglamento de funcionamiento, con las responsabilidades de cada institución, el mecanismo de comunicación y publicación de la información. No se recomienda la participación de actores privados como las cámaras o actores industriales, para evitar conflicto de competencia en la toma de decisiones como la restricción de actividades productivas.

2.3. Fortalecimiento de las capacidades y herramientas para la implementación del programa de respuestas a contingencias atmosféricas: desarrollar, en articulación con la mesa científica, estudios y análisis del comportamiento histórico de los contaminantes, así como los posibles aportes de eventos externos como incendios, arenas del Sahara, etc., con el objetivo de contar con información previa a estos acontecimientos para generar respuestas oportunas.

2.4. Elaboración anual del Plan de Acción para la implementación del Programa:

- Solicitar a cada uno de los municipios que hacen parte del AMM la elaboración de un Plan de Acción para la Implementación Anual del programa, con el acompañamiento y asesoría de la Secretaría de Medio Ambiente. Los municipios enviarán dicho Plan de Acción a la Secretaría de Medio Ambiente entre los meses de enero y febrero de cada año. A partir de esta información, la Secretaría de Medio Ambiente elaborará un Plan de Acción para toda el AMM, el cual publicará anualmente en su página web, antes del inicio del periodo regular de la contingencia atmosférica. Estos planes municipales son muy importantes, en la medida que mucha de

LÍNEA ESTRATÉGICA: SISTEMA PARA LA PROTECCIÓN DE LA VIDA Y SALUD												
MEDIDA 6T Fortalecimiento de los instrumentos para la gestión del riesgo por contingencias atmosféricas												
	<p>las competencias para el establecimiento de las medidas del programa están en cabeza de los municipios, específicamente en sus secretarías de transporte y tránsito, salud, educación medio ambiente, etc.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Al final de cada periodo regular de gestión de contingencias atmosféricas, los municipios deberán enviar un reporte a la Secretaría de Medio Ambiente, en el cual se resume los resultados obtenidos en la implementación del Plan de Acción. Asimismo, la Secretaría de Medio Ambiente deberá elaborar los reportes técnicos para informar a la comunidad sobre los resultados de la gestión de la contingencia y el cumplimiento del Plan de Acción. <p>3. Desarrollo de una norma que acoja el programa de contingencias atmosféricas.</p> <p>4. Establecimiento del Plan de Comunicaciones como instrumento de concientización y fortalecimiento de cultura ciudadana y comunicación pública a favor de la mejora de la calidad del aire: uno de los principales componentes del programa debe ser el Plan de Comunicaciones, mediante el cual se informa a la población sobre la ocurrencia de una contingencia (inicio, evolución y finalización), se brindan recomendaciones orientadas a disminuir la exposición de la población a los contaminantes y a minimizar las emisiones de contaminantes atmosféricos, además de la respectiva difusión de las medidas a implementar en cada uno de los niveles de contingencia atmosférica. La implementación del programa de respuestas a contingencias atmosféricas constituye una oportunidad para sensibilizar a la comunidad sobre la promoción de conductas tendientes a reducir o evitar la emisión de contaminantes, como el uso del transporte público, el uso de la bicicleta, la conducción ecoeficiente y segura, y el buen mantenimiento del vehículo. La Secretaría de Medio Ambiente y los municipios deberán disponer de los recursos necesarios para la implementación del Plan de Comunicaciones durante los periodos de contingencia atmosféricas.</p> <p>5. Compromiso en la implementación de las acciones del Programa: En los meses en los que la Secretaría de Medio Ambiente declare la contingencia ambiental, en concordancia con cada uno de los municipios, deberán reforzar las actividades de control y vigilancia de las principales fuentes de contaminación y se deberá lograr el apoyo de entidades públicas y privadas con medidas que contribuyan a la reducción de emisiones contaminantes. Para ello es necesario generar reglamentación del programa y, por tanto, de las medidas allí establecidas. Adicionalmente, se deberán incorporar acciones alternativas que acompañen y refuercen las medidas establecidas en el programa, tales como teletrabajo, horarios flexibles y reuniones virtuales que disminuyan las necesidades de movilidad.</p> <p>6. Actualización periódica del Programa de Contingencias Atmosféricas.</p>											
Impacto de la medida	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución de días sobre la norma en partículas y ozono. - Protección a la población de los altos niveles de contaminación. 											
Indicadores	<p>Indicadores de la media: Porcentaje de implementación del Programa actualizado de Contingencias Atmosféricas.</p> <p>Indicadores de acciones: Acción 1: porcentaje de avance en la conformación del comité técnico para actualizar el Programa de Contingencias Atmosféricas. Acción 2: porcentaje de avance en el desarrollo de un documento que registre la actualización del Programa de Contingencias Atmosféricas. Acción 3: porcentaje de avance en la adopción de una de norma de adopción del Programa de Contingencias Atmosféricas. Acción 4: porcentaje de avance en el desarrollo de estrategia comunicacional del Programa de Contingencias Atmosféricas. Acción 5: cantidad de documentos de seguimiento del Programa de Contingencias Atmosféricas. Acción 6: cantidad de documentos de actualización del Programa de Contingencias Atmosféricas.</p>											
Calendario	Acción	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
	Medida											
	Acción 1		100%									
	Acción 2		50%	100%								
	Acción 3		50%	100%								
	Acción 4		50%	100%								
	Acción 5		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

LÍNEA ESTRATÉGICA: SISTEMA PARA LA PROTECCIÓN DE LA VIDA Y SALUD											
MEDIDA 6T Fortalecimiento de los instrumentos para la gestión del riesgo por contingencias atmosféricas											
	Acción6					1				1	
Supuestos:	<ul style="list-style-type: none"> - Cumplimiento en la implementación de las medidas establecidas en el programa de contingencias atmosféricas, independientemente de los impactos económicos que pueden ocurrir. - Fortalecimiento de la red de monitoreo de calidad del aire del AMM. 										

LÍNEA ESTRATÉGICA: SISTEMA PARA LA PROTECCIÓN DE LA VIDA Y SALUD	
MEDIDA 7T Programa de Vigilancia Epidemiológica del Estado en materia de calidad del aire	
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Secretaría de Salud, Secretaría de Medio Ambiente, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: Secretaría de Salud Federal, instituciones académicas, centros de investigación e instancias médicas de la región.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Grupos de la sociedad civil.</p> 
Objetivo	Establecer y operar un sistema de vigilancia que permita contar con información confiable, comunicar de forma oportuna, fortalecer la capacidad de respuesta del gobierno y la población del AMM frente a los eventos en salud asociados con la contaminación atmosférica en la región, así como evaluar los impactos en salud a largo plazo y dar seguimiento a la meta del PIGECA, como parte del proceso de gestión integral de la calidad del aire para la protección a la salud.
Meta	Sistema de vigilancia de efectos en salud por contaminación del aire de Nuevo León en operación que apoya la toma de decisiones, la comunicación de riesgos, y el diseño y evaluación de política pública.
Justificación	<p>La contaminación atmosférica es el riesgo ambiental que más impacta a la salud de la población en el mundo. En el AMM se estiman alrededor de 2,500 muertes prematuras anuales atribuibles a la exposición crónica a PM_{2.5}. Esto corresponde al 11% de las muertes por causas naturales que se dan en mayores de 25 años y equivale a 5,500 millones de dólares americanos.</p> <p>Además de las muertes prematuras, la exposición aguda y crónica a la contaminación del aire se asocia a múltiples efectos en salud, en las cuales se incluyen afecciones respiratorias, cardiovasculares, reproductivas, neurológicas, metabólicas, cáncer, entre otras. Dichos efectos impactan la calidad de vida de las personas, reducen los años de vida saludable y pueden dar lugar a un incremento en el uso de medicamentos y en el número de consultas médicas, visitas a urgencias y admisiones hospitalarias. Esto se traduce no solo en gastos en salud, sino también en ausentismo escolar y laboral, lo que genera un costo importante para las familias, la sociedad y el gobierno.</p> <p>Para dar seguimiento y vigilar de forma sistemática y continua los múltiples impactos en salud asociados a la exposición aguda y crónica a la contaminación del aire, así como sus costos, se propone el diseño y puesta en marcha del Sistema de Vigilancia de Efectos en Salud por Contaminación del Aire de Nuevo León. Este Sistema apoyará la toma de decisiones, la comunicación de riesgos, y el diseño y evaluación de política pública en materia de calidad del aire y salud, en los cuales se incluyen medidas de prevención y control de riesgos a la salud inmediatas y de largo plazo. En este sentido, los usuarios principales de la información generada son las Secretarías de Salud y de Medio Ambiente; sin embargo, es importante compartir y difundir los resultados con la academia, la sociedad civil y la población en general.</p> <p>El Sistema de vigilancia tendrá dos componentes principales. El primero es el sistema de vigilancia epidemiológico de efectos agudos. Para determinar el exceso de casos atribuibles a la contaminación del aire, que es especialmente importante durante los episodios de alta contaminación, se requiere recolectar y analizar de forma diaria la información de los eventos en salud y la concentración de contaminantes.</p> <p>El segundo componente consiste en la evaluación periódica de los riesgos a la salud por exposición crónica, para el cual se requiere obtener y analizar información de periodicidad anual con la finalidad de estimar la carga de mortalidad y morbilidad a largo plazo en el AMM, además de evaluar y dar seguimiento a la meta del PIGECA. Esta última consiste en alcanzar el valor de la Norma de Salud Ambiental NOM-025-SSA1-2021 de 10 µg/m³ de PM_{2.5}, el cual permitirá reducir en dos terceras partes la mortalidad prematura asociada a la exposición crónica a PM_{2.5} al 2033; es decir, evitar alrededor de 1,700 muertes para el AMM.</p>

LÍNEA ESTRATÉGICA: SISTEMA PARA LA PROTECCIÓN DE LA VIDA Y SALUD	
MEDIDA 7T	Programa de Vigilancia Epidemiológica del Estado en materia de calidad del aire
	<p>El componente de evaluación de riesgos del Sistema de Vigilancia también permitirá dar seguimiento a los indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 que hacen referencia a la contaminación del aire ambiente y que están bajo el resguardo de la OMS: el Objetivo 3 Salud y bienestar, en el cual se busca reducir de forma sustancial el número de muertes y enfermedades causadas por la contaminación del aire ambiente; y el Objetivo 11 Ciudades y comunidades sostenibles, donde se espera reducir los niveles de partículas finas (PM_{2.5}) en las ciudades.</p> <p>Asimismo, los datos de calidad del aire y salud recolectados por el Sistema se pueden emplear para llevar a cabo estudios de investigación, incluyendo estudios epidemiológicos como series de tiempo, en colaboración con las universidades e institutos regionales y nacionales, los cuales complementen el diagnóstico de los impactos en el AMM.</p> <p>Finalmente, conforme se fortalezca el sistema se podrá contar con mayor resolución de la información que permita identificar cuáles poblaciones están siendo más afectadas por la contaminación del aire en el AMM, por edad o condición de salud, pero también por lugar de residencia y nivel socioeconómico, lo que permitirá dirigir mejor las políticas hacia lograr la equidad en salud y justicia ambiental.</p>
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. Formalizar la colaboración y poner en marcha una mesa de trabajo, en el marco del modelo de gobernanza, para el diseño del Sistema de Vigilancia, la cual esté integrada por las Secretarías de Salud y de Medio Ambiente de Nuevo León, la Secretaría de Salud Federal y el Instituto Nacional de Salud Pública. 2. Definir el esquema del sistema de vigilancia de efectos agudos más adecuado a implementar en el AMM, considerando como una opción la conformación de unidades centinela integradas por una estación y una o más clínicas u hospitales que se encuentren dentro de su área de cobertura. 3. Definir los padecimientos objeto de la vigilancia con base en la evidencia científica de su asociación con la exposición aguda y crónica a la contaminación del aire. 4. Definir la metodología de análisis de los datos de salud y calidad del aire para determinar el exceso de casos diarios asociados a la contaminación atmosférica. 5. Describir los procedimientos y el flujo de la notificación, registro, verificación, validación, análisis, interpretación, generación y reporte de indicadores, y difusión de la información a los distintos usuarios, así como los mecanismos para verificar la correcta operación. Asimismo, definir el procedimiento para la realización de evaluaciones de riesgo en salud y la comunicación de resultados. 6. Diseñar una plataforma virtual para el Sistema de Vigilancia de Efectos en Salud por Contaminación del Aire donde se capture, integre, sistematice, analice e interprete la información de salud y calidad del aire. 7. Conformar el equipo de trabajo de las Secretarías de Salud y de Medio Ambiente que operará el Sistema de vigilancia, definiendo claramente el rol y las responsabilidades de cada uno. 8. Diseñar e implementar un programa de capacitación continua para el personal que participará en toda la cadena del Sistema de vigilancia, desde el registro hasta la difusión de la información. El programa también incluirá el fortalecimiento de capacidades en el uso de herramientas de evaluación de riesgo en salud y valoración económica, como AirQ+ y BenMAP-CE. Asimismo, se dará un taller a la Mesa Permanente de Salud y Calidad del Aire del PIGECA sobre el Sistema de Vigilancia. 9. Actualizar el Reglamento Interior de la Secretaría de Salud y de la Secretaría del Medio Ambiente para que incorporen al Sistema de Vigilancia de Efectos en Salud por Contaminación del Aire como una de las responsabilidades de ambas instituciones. 10. Estimar de forma periódica la carga de mortalidad y morbilidad anual en el AMM atribuible a la contaminación atmosférica y los costos asociados. 11. Definir e implementar estudios de investigación enfocados en los efectos de la contaminación del aire sobre la salud en el AMM que son prioritarios para la región y que permitan complementar los resultados obtenidos con el Sistema de Vigilancia. 12. Llevar a cabo un estudio para determinar el costo económico de los impactos en salud por contaminación del aire en el AMM, que incluya la determinación del valor de una vida estadística, los costos de medicamentos, consultas médicas, hospitalización y visitas a urgencias de eventos en salud asociados con la contaminación del aire, así como de los costos por ausentismo escolar y laboral.
Impacto de la medida	<p>Gracias a la implementación de la medida, se tendrá un diagnóstico más integral y actualizado del impacto que está teniendo la contaminación del aire en la salud de la población, lo cual apoyará la toma de decisiones; por ejemplo, durante episodios críticos de alta contaminación, la implementación del propio PIGECA, y el diseño y aplicación de las medidas de prevención y control correspondientes dirigidas a reducir dichos impactos.</p>
Indicadores	<p>Indicador de la Medida:</p>

LÍNEA ESTRATÉGICA: SISTEMA PARA LA PROTECCIÓN DE LA VIDA Y SALUD

MEDIDA 7T Programa de Vigilancia Epidemiológica del Estado en materia de calidad del aire

Cantidad de sistemas de vigilancia en operación.

Indicadores de Acciones:

Acción 1: porcentaje de convenios firmados; número de reuniones de la mesa de trabajo previstos a desarrollar.

Acción 2: porcentaje de avance en el documento con el esquema del sistema de vigilancia definido.

Acción 3: porcentaje de consolidación de lista de padecimiento a integrar en el sistema de vigilancia.

Acción 4: porcentaje de avance en el documento con la metodología de análisis definida.

Acción 5: porcentaje de avance en el reporte de metodologías y manuales de procedimientos del Sistema de Vigilancia.

Acción 6: porcentaje de avance en la consolidación de una plataforma del sistema de vigilancia operando.

Acción 7: porcentaje de avance en la consolidación de un documento con el detalle del personal responsable del Sistema de vigilancia.

Acción 8: porcentaje de avance en la consolidación de un documento con el programa de capacitación continua y reportes de las capacitaciones.

Acción 9: porcentaje de avance en la consolidación y actualización del Reglamento Interior de la Secretaría de Salud y de la Secretaría del Medio Ambiente.

Acción 10: actualizados de avance en la consolidación de la estimación anual del impacto en salud por contaminación del aire en el AMM.

Acción 11: cantidad de estudios científicos desarrollados en la materia durante los siguientes 10 años.

Acción 12: cantidad de reportes del estudio de costo económico de los impactos en salud por contaminación del aire en el AMM.

Calendario

Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Medida											
Acción 1		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Acción 2		50%	100%								
Acción 3		100%									
Acción 4		50%	100%								
Acción 5		50%	100%								
Acción 6		50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Acción 7				100%							
Acción 8		50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Acción 9			100%								
Acción 10		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Acción 11				1			1		1		1
Acción 12				1							

Supuestos:

- Los sectores de salud y ambiente, así como las instancias federales y los institutos de investigación, colaborarán en el diseño y puesta en marcha del Sistema de Vigilancia.
- Las instancias médicas que formen parte del Sistema de Vigilancia contribuirán a la notificación continua, oportuna y confiable de los eventos en salud motivo de vigilancia.
- Se contará con el personal y el presupuesto para diseñar y operar el Sistema de Vigilancia.

3.3.2.3. Línea estratégica: Gobernanza para el mejoramiento de la calidad del aire

LÍNEA ESTRATÉGICA: GOBERNANZA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE

MEDIDA 8T	
Implementación de la estrategia de gobernanza	
Actores	<p>Actores de la esfera de control: Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León.</p> <p>Actores de la esfera de influencia: Secretarías de Movilidad y Planeación Urbana, Secretaría de Economía, Secretaría de Salud de Nuevo León, dependencias municipales del AMM, SEMARNAT.</p> <p>Actores de la esfera de interés: Grupos de la sociedad civil, academia, sectores productivos.</p> 
Objetivo	Desarrollar el esquema de gobernanza, de manera que permita integrar a los diferentes actores en el proceso de implementación y seguimiento del PIGECA y definir las reglas básicas de funcionamiento de las instancias.
Meta	Un informe anual que contengan los avances en la implementación del esquema de gobernanza del PIGECA. El informe debe incluir los planes de acción de cada una de las instancias, cronogramas, actividades desarrolladas, entre otros elementos que den cuenta de la implementación de la estrategia.
Justificación	<p>Actualmente, la calidad del aire es una de las principales problemáticas de las grandes ciudades y áreas metropolitanas. Se presenta en diferentes agendas globales como un derecho universal, que implica el desarrollo de los gobiernos y de la sociedad hacia la innovación administrativa, tecnológica, de manera que una buena calidad del aire sea un derecho de todos.</p> <p>La calidad del aire en cualquier territorio es el resultado de la interacción entre diversos factores asociados a las emisiones de contaminantes atmosféricos y las condiciones meteorológicas que determinan la concentración de los contaminantes en el aire que respiran las personas. Aún más, la contaminación atmosférica es un problema de múltiples escalas, en el sentido de que la calidad del aire en cualquier territorio no depende solamente de las emisiones y la meteorología en el mismo territorio, sino que puede estar fuertemente influenciada por factores exógenos (como cuando una región recibe partículas provenientes de incendios forestales remotos). Modelos de gobernanza que reconozcan esta complejidad son fundamentales para la gestión integral de la calidad del aire.</p> <p>Los modelos de gobernanza son fundamentales en los procesos de formulación e implementación de los planes de gestión de la calidad del aire por lo cual son el mecanismo que, al definir una hoja de ruta en el corto, mediano y largo plazo, moviliza a los diferentes actores de un territorio a hacer acciones sinérgicas (de acuerdo con su competencia) en torno al objetivo común de mejorar la calidad del recurso, teniendo como marco de referencia una línea base y unas metas cumplirles y verificables en el tiempo.</p> <p>Las normas federales y estatales establecen la necesidad de generar mecanismos de articulación y concurrencia, como lo establece la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), la cual dispone para la SEMARNAT la facultad de celebrar acuerdos de coordinación con los gobiernos estatales y municipales con la finalidad de prevenir y controlar la contaminación atmosférica provenientes de fuentes federales, en aras de mitigar sus efectos adversos.</p> <p>Este proceso requiere, como punto de partida, la evolución del proceso que se ha gestado en el territorio hasta la fecha, sus aprendizajes y retos. El territorio tiene grandes avances en el desarrollo técnico y científico, pero enfrenta desafíos en la articulación de actores, en el fortalecimiento del monitoreo en tiempo real, en la comunicación pública, y en la materialización de compromisos y acuerdos que se cumplan en el tiempo. Una de las actuales líneas de acción para superar los desafíos y mejorar la calidad del aire es la implementación y puesta en marcha de un modelo de gobernanza único en el país que permita generar agendas de trabajo por sector, desde sus competencias, y la implementación del PIGECA mediante la construcción colectiva y concertada entre los diferentes actores.</p> <p>Es así como, a través del desarrollo de esta medida se busca detallar el funcionamiento del modelo de gobernanza propuesto y descrito en el PIGECA, el cual se detalla en mejor medida en el ANEXO 5.</p>
Acciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gestionar la expedición de una norma estatal que reglamente el esquema de gobernanza del PIGECA para el AMM. 2. Firma de un pacto voluntario por la calidad del aire del AMM. 3. Hacer seguimiento a la firma del pacto y a las mesas de la gobernanza. 4. Establecer y ejecutar los planes de acción y cronogramas anuales, los cuales contengan los temas y fechas de reuniones de cada una de las instancias de gobernanza.
Impacto de la medida	En esta medida no se generan impactos directos en términos de reducción de emisiones; sin embargo, es una medida de relacionamiento, gestión y articulación que propicia el cumplimiento de las medidas propuestas en el PIGECA.
Indicadores	<p>Indicador de medida: Cantidad de informes seguimiento de gobernanza del PIGECA.</p> <p>Indicador de acciones: Acción 1: cantidad de normas estatales adoptadas que reglamenten el esquema de Gobernanza del PIGECA para el AMM. Acción 2: cantidad de pactos firmados.</p>

LÍNEA ESTRATÉGICA: GOBERNANZA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE

MEDIDA 8T

Implementación de la estrategia de gobernanza

Acción 3: cantidad de informes de seguimiento al pacto.

Acción 4: reuniones desarrolladas al año con las diferentes instancias establecidas, de la siguiente manera:

Instancia	Número de reuniones al año
Consejo rector	Una reunión al año
Mesa de coordinación técnico - ejecutivo	Tres reuniones al año
Mesa de asesoría científica	Dos reuniones al año
Mesa con la ciudadanía	Dos reuniones al año
Mesa intersectorial	Una reunión al año
Mesa de comunicación pública	Tres reuniones al año
Mesa nacional de calidad de aire	Dos reuniones al año
Mesa de calidad del aire y salud	Tres reuniones al año

Calendario	Ítem	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
		Medida										
Acción 1			1									
Acción 2		1										
Acción 3				1	1	1	1	1	1	1	1	1
Acción 4				16	16	16	16	16	16	16	16	16

Supuestos:

- Disponibilidad y disposición al trabajo articulado con los diferentes actores.
- Participación de los actores involucrados en el esquema de gobernanza.

3.3.2.4. Línea estratégica: Comunicación pública

LÍNEA ESTRATÉGICA: COMUNICACIÓN PÚBLICA	
MEDIDA 9T Programa integral de comunicación y pedagogía enfocada a la calidad del aire	
Actores	<p>Esfera de control: Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León, Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León.</p> <p>Esfera de influencia: Oficina encargada de Comunicaciones de la Secretaría de Medio Ambiente, directores de prensa, oficinas de comunicaciones de los municipios del AMM.</p> <p>Esfera de interés: Medios de comunicación, grupos de la sociedad civil, academia, sectores productivos.</p> 
Objetivo	Propiciar un proceso de comunicación pública y movilización social que favorezca la información, la relación, el diálogo permanente y la generación de acuerdos comunes entre los diferentes actores que intervienen en el desarrollo del AMM, con la finalidad de promover la acción y la transformación de dinámicas que incidan en el mejoramiento de la calidad del aire en el territorio.
Meta	Diseño y ajuste de una estrategia de comunicación pública que articule un plan de medios, la vinculación de redes sociales y acciones comunicativas interinstitucionales que contribuyan a convertir la participación en una forma de gobierno.
Justificación	<p>La comunicación de gobierno, que implica políticas y programas del Estado, no puede limitarse a una comunicación tradicional de envío de información, atención a medios de comunicación, comunicados y boletines de prensa, y publicidad. El público son ciudadanos, academia, organizaciones sociales, medios de comunicación, empresarios, entre muchos otros actores de los cuales depende que una política, un programa o un plan tenga verdaderamente impacto positivo en la sociedad y genere los cambios y transformaciones que se planean.</p> <p>La importancia de la comunicación pública versus la comunicación tradicional está en que conlleva a implementar procesos de participación, escucha activa y comunicación con los diferentes actores de un territorio interesados en una misma temática o en intereses diferentes, pero con fines comunes: el bienestar, la estabilidad social, el ambiente sano, los derechos humanos, entre muchos otros fines que se pueden tener para vivir en sociedad de manera armónica y sana.</p> <p>Se hace necesario, entonces, un modelo que permita la convocatoria de actores para una comunicación en doble vía en la cual, a través de la conversación y el diálogo permanente, se reciban los insumos, la información, la retroalimentación y los resultados de los mensajes que transmitimos a nuestros públicos y a esos mismos actores, en un círculo virtuoso de la comunicación, en la que el mensaje se transforma y se reconstruye todo el tiempo, en función de las conversaciones que enriquecen el debate, que mejoran el discurso y de las cuales surgen nuevas ideas o formas de resolver o enfrentar temas que competen al gobierno, ciudadanos y actores de un territorio.</p> <p>Lo anterior permite que los procesos desatados permanezcan en el territorio en la conciencia colectiva de las personas y empiecen a hacer parte de la vida de los habitantes, de manera que esos esfuerzos gubernamentales permanezcan en el tiempo, independiente del gobernante que se encuentre, ya que al estar arraigado en la sociedad, es ella misma quien demandará las acciones necesarias para que se continúe avanzando en los programas y proyectos que han tenido una apuesta de comunicación pública. Además de buscar transformaciones culturales, la comunicación busca construir confianza entre la ciudadanía, así como fortalecer el rol de la sociedad civil en lo público.</p> <p>El modelo de comunicación pública busca, desde el diálogo y la conversación, articular las voluntades de gobernantes y ciudadanos en torno a la realidad cotidiana de una problemática que, como la calidad del aire, se necesita enfrentar entre toda la sociedad de Nuevo León, para que se garantice la vida, la salud de todos los habitantes del territorio y de quienes lo habitarán mañana, y se disfrute del derecho humano universal a un ambiente sano y un aire limpio para todos.</p> <p>En tal sentido, desde la Gobernación de Nuevo León y la Secretaría de Medio Ambiente, se deben desatar y fortalecer procesos de comunicación con participación de actores sociales estratégicos para conversar sobre lo que concierne a todos, respecto del futuro de quienes comparten el territorio, generar acuerdos y sinergias que viabilicen y concreten las aspiraciones comunes que se logren pactar.</p> <p>Actualmente, se percibe poca articulación de actores e instituciones de acuerdo con la capacidad institucional para garantizar la participación, el encuentro y el consenso frente a temas metropolitanos como la calidad del aire.</p>
Acciones	<p>La propuesta de estrategias de comunicación pública para la formulación e implementación de PIGECA debe contener las estrategias macro que tracen la ruta de trabajo con la finalidad de generar la información necesaria y suficiente, así como para promover los espacios de participación y de encuentro ciudadano con todos los actores.</p> <p>Acciones estratégicas:</p> <ol style="list-style-type: none"> Alineación de sentido de la comunicación y coherencia organizacional. Posicionamiento temático e institucional. <p>Lo que busca esta línea es el posicionamiento temático e institucional, la concertación y la definición, al interior del Gobierno de Nuevo León, de la ruta de comunicación y del sentido que se dará al tema de calidad del aire, para que tengan un hilo conductor y sean coherentes entre el discurso y las acciones, planes y apuestas de gobierno por mejorar la calidad del aire en el territorio.</p>

LÍNEA ESTRATÉGICA: COMUNICACIÓN PÚBLICA

MEDIDA 9T

Programa integral de comunicación y pedagogía enfocada a la calidad del aire

No es otra cosa que fortalecer las comunicaciones institucionales para promover la participación efectiva y la apertura de espacios permanentes de concertación al interior del AMM con los actores del territorio, definiendo además un relato construido y claro para el PIGECA, llevado a través de las acciones de comunicación a todos los públicos, no solamente a través de la producción de información, sino además del diálogo. Busca definir una identidad corporativa, en la medida en que se propone construir y manejar la imagen que proyecta hacia la sociedad basada en la marca, en la imagen, en los criterios de publicidad.

2. Gestión de la información pública

Se refiere al manejo de medios, el free press, la gestión informativa, la práctica periodística, el manejo y aprovechamiento de los medios de comunicación para difundir información importante, relevante, veraz y oportuna, de manera masiva y con mensajes contruidos para el público y los actores del territorio. Generación de diferentes contenidos transmedia, con el apoyo de diferentes canales y aprovechando las herramientas audiovisuales y digitales que se tienen hoy a la mano, además de comunicación segmentada que se refiere a la producción de información y material pedagógico.

Al componente de información se le suma la comunicación digital y la ejecución de estrategias digitales en portales web y redes sociales. El uso de las redes sociales hoy se hace fundamental para los procesos de comunicación pública porque es el escenario hacia donde se están moviendo las comunicaciones institucionales, gubernamentales y en general, ya que permite un contacto directo con el público, genera redes, conecta en un tiempo más inmediato y se vuelve fuente oficial de la información y de consulta ciudadana.

3. Convocatoria de voluntades - participación

Tiene que ver con la promoción de la articulación institucional con otros sectores de la sociedad y con la ciudadanía metropolitana, a partir de la promoción de espacios de reflexión y construcción colectiva, de la interacción con grupos de interés en torno al planteamiento de problemáticas comunes, en este caso la calidad del aire, y en la vía de encontrar soluciones y alternativas de actuación que contribuyan a mejorar esas problemáticas en el territorio. Esta línea debe incluir la formación y pedagogía ciudadana.

Para llevar a cabo lo planteado anteriormente como modelo de comunicación pública y direccionamiento estratégico de la comunicación pública para el PIGECA del AMM, es necesario el establecimiento de las condiciones para que el gobierno de Nuevo León formule una ruta crítica que oriente y ordene las acciones y los contenidos a comunicar, socializar y poner en circulación como producción de sentidos colectivos del PIGECA.

4. Estructuración del sector de las comunicaciones

Es necesario hacer una estructuración de un equipo de trabajo para ejecutar este modelo y realizar un aprestamiento del núcleo de comunicaciones existente en el Gobierno de Nuevo León, en la perspectiva de la comunicación pública:

Actividades propuestas:

- Constitución del Consejo de comunicación pública dentro de la estructura de administrativa del Gobierno de Nuevo León.
- Establecimientos de criterios de actuación para la comunicación pública de y desde el Gobierno de Nuevo León.
- Establecer objetivos y metas (Ruta Crítica) para la movilización social en función de las prioridades de gobierno en materia de calidad del aire.
- Definir criterios editoriales para el manejo de la información e implementar mecanismos de monitoreo y seguimiento que permitan corregir eventuales distorsiones o malas interpretaciones de dichos criterios en ese Consejo Rector.
- Crear instancias desde la unidad editorial para la coordinación de los proyectos de comunicación sectorial de manera que siempre estén enmarcados en una política general de comunicación y respondan a las prioridades de gobierno.
- Realizar reuniones, talleres y seminarios de forma periódica para actualizar a los funcionarios del orden central y municipal en los programas y apuestas prioritarias del PIGECA.
- Diseñar planes de entrenamiento dirigidos a los funcionarios claves de la comunicación en la administración para el manejo y utilización de la información relativa a los propósitos del PIGECA.
- Diseñar e implantar el sistema de información del PIGECA y proponer formatos homogéneos para el manejo de la información. Definir una campaña madre para el manejo de toda la información relativa al tema.

5. Componente Pedagógico

Generar un proceso de pedagogía ciudadana para la apropiación de la temática de calidad del aire y la generación de conciencia frente a hechos que involucran e impactan la vida de los habitantes en el territorio metropolitano; y promover y acompañar, la convocatoria a unos espacios para la deliberación pública entre actores sociales. Aquí es fundamental brindar información clara, siendo de gran relevancia la comunicación del índice de calidad del aire, de las medidas a implementar en caso de contingencias, así como la creación programas de banderines (del índice) en las escuelas y capacitación a médicos para que informen

LÍNEA ESTRATÉGICA: COMUNICACIÓN PÚBLICA												
MEDIDA 9T Programa integral de comunicación y pedagogía enfocada a la calidad del aire												
	<p>especialmente a población vulnerable como menores, mayores edad y pacientes. Se incluyen en este componente la impartición de cursos a la ciudadanía relacionados con:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cursos para docentes y estudiantes para reducir la contaminación. - Cursos para docentes y estudiantes para la interpretación de estaciones de monitoreo. - Cursos de autocuidado en tiempos de contingencia ambiental <p>Como principales resultados de esta medida se plantean un plan de medios y acciones, redes de reedición y estrategias de comunicación directa, ejecutados de acuerdo con objetivos y actividades definidos en este direccionamiento estratégico, elaborados por la unidad editorial bajo la orientación del Consejo de Comunicación Pública establecido en el marco del esquema de gobernanza del PIGECA presentado como ANEXO 8.</p>											
Impacto de medida	<p>En esta medida no se puede calcular el impacto en términos de reducción de emisiones, por cuanto corresponde a una medida de relacionamiento, gestión y articulación, que propicia el cumplimiento de las demás medidas propuestas y puede impulsar el reconocimiento y apropiación de las acciones por parte de la ciudadanía y de los actores del proceso del PIGECA.</p>											
Indicadores	<p>Indicadores de medida Porcentaje de avance en la consolidación de un plan de comunicaciones creado para el PIGECA, el cual incluya un plan de medios, campaña publicitaria y pedagógica, relato o discurso unificado sobre la temática de calidad del aire para el territorio.</p> <p>Indicadores acciones: Acción 1: porcentaje de avance de un documento que presente el diseño de un relato o discurso unificado sobre la temática de calidad del aire para el territorio. Acción 2: cantidad de informes que den cuenta de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Material de contenidos audiovisuales, boletines y comunicados de prensa, contenidos para blogs, programas de radio o podcast creados para el PIGECA del AMM. - Cuantificación de la gestión de free press realizada. - Implementación de una estrategia digital: un micrositio y contenidos de redes sociales. - Una red de reeditores de la información. <p>Acción 3: número de encuentros, diálogos, charlas y espacios de participación con los ciudadanos en el marco del PIGECA. Acción 4.1: porcentaje de avance en la contratación de un líder de comunicaciones del PIGECA y consolidación de un comité editorial. Acción 4.2: porcentaje de avance en consolidación de un sistema de información del PIGECA, con formatos homogéneos para el manejo de la información. Acción 5: cantidad de capacitaciones y comunicación pedagógica sobre calidad del aire y el PIGECA para el Plan de comunicaciones.</p>											
Calendario	Acción	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
	Medida											
	Acción 1		50%	100%								
	Acción 2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Acción 3		Mínimo 2									
	Acción 4		20%	100%								
	Acción 5		Mínimo 2									
Supuestos:	<ul style="list-style-type: none"> - Se fortalece el esquema de comunicación del Estado. - Declarar proyecto estratégico el modelo de comunicación pública. - El Gobierno de Nuevo León apuesta al proceso de comunicación pública para generar una apropiación de las acciones por parte de los actores del territorio. - El sistema de comunicaciones del Gobierno de Nuevo León incluirá a los demás actores de comunicaciones del territorio. La opinión favorable de los actores sobre las acciones a implementar en el PIGECA promoverá el cumplimiento del plan. - Los recursos invertidos en comunicación pública son estratégicos para avanzar en la implementación del PIGECA. 											

Impactos del PIGECA

8. IMPACTO DEL PIGECA

El impacto del PIGECA se describirá como la reducción de emisiones generada por las medidas, su posible impacto en calidad del aire y en salud, y finalmente un análisis del costo beneficio preliminar de las medidas de mayor relevancia.

8.1. Impacto en reducción de emisiones

Las medidas propuestas en el PIGECA persiguen el objetivo de salvaguardar la salud pública y proteger el bienestar de la población a través de un esfuerzo sistemático y de alto impacto para mejorar la calidad del aire en el Área Metropolitana de Monterrey. Los objetivos, metas y líneas estratégicas del PIGECA planteados en el capítulo 7 promueven una transformación estructural en sectores como la movilidad y la industria en la región hacia modelos más sostenibles y eficientes que desembocan en menores emisiones al ambiente, la mejora de la calidad del aire y la protección de la salud de la población, además de otros múltiples beneficios al ambiente, la sociedad y la economía, mediante esfuerzos y resultados de corto, mediano y largo plazo.

En este capítulo se presentan los resultados de la proyección de las emisiones en el AMM al año 2033 considerando una necesidad imperante para mejorar la calidad del aire del territorio ya que sus emisiones conservan una tendencia creciente.

8.1.1. Escenario tendencial o línea base

El AMM enfrenta grandes desafíos que son comunes a los centros urbanos en desarrollo, tales como una tendencia creciente en sus emisiones. Las dinámicas de crecimiento económico y poblacional, el crecimiento de la actividad económica, el incremento las tasas de motorización y de la demanda de movilidad de personas y carga, se traducen en un aumento en la quema de combustibles fósiles y, consecuentemente, en el crecimiento de las emisiones de contaminantes criterio y de gases de efecto invernadero.

Para la estimación de la línea base o escenario tendencial de emisión se realizaron análisis diferenciados de los factores de crecimiento de las emisiones de contaminantes provenientes del transporte, la industria y las fuentes de área para el periodo 2018-2033, partiendo de los resultados del Inventario de Emisiones Atmosféricas del 2018 planteado por SEMARNAT (2023) y complementado por el CAI (2022).

En el caso de las emisiones del sector transporte, el análisis incluyó: a) el estudio de las características del parque automotor del AMM, las tasas de motorización de la región y sus perspectivas de crecimiento; b) la proyección del crecimiento en la demanda de viajes y variación del reparto modal de estos viajes; c) estudios de prospectivas sectoriales para la proyección de ventas de motos, automóviles y transporte de carga en el país y la participación del AMM en estas ventas; y d) las tasas naturales de renovación de vehículos antiguos.

Por su parte, las emisiones provenientes del sector industrial fueron estimadas considerando: 1) el análisis de las características de uso de energía sectorial, incluyendo el uso de combustibles, la intensidad energética y la matriz energética; 2) el grado de penetración de tecnologías de control de emisiones y las perspectivas de modernización tecnológica sectorial; y 3) las perspectivas de crecimiento económico sectorial a partir de la información económica disponible.

En cuanto a la proyección de emisiones de las fuentes de área, se estimaron de acuerdo con: 1) la variación porcentual del PIB manufacturero de Nuevo León para los años 2019 y 2020; 2) la demanda de combustibles del sector industrial, agrícola y comercial para los años 2019 y 2020; y 3) crecimiento poblacional.

Las variables analizadas fueron incorporadas en los modelos usados en el inventario de emisiones para realizar la estimación para el periodo de análisis. La línea base incluye la estimación de las emisiones de $PM_{2.5}$, NO_x , SO_x , COV y carbono negro. El detalle de los supuestos, cálculos y resultados detallados se presentan en el ANEXO 9.

De la Figura 71 a la Figura 76 se muestra el crecimiento proyectado de la línea base de emisiones para los diferentes contaminantes atmosféricos y GEI en Monterrey y su zona metropolitana. Esta línea base o escenario tendencial se considera como el escenario Business-as-usual (BAU), en el cual se proyecta la trayectoria de las emisiones de contaminantes criterio y GEI sin la adopción de medidas de mitigación de emisiones para el periodo 2018-2033.

Se observa que, en el caso de que no se implementarán las medidas del PIGECA para el año 2033, las emisiones de PM_{10} se incrementarán 38%, las de $PM_{2.5}$ se incrementarán en 47%, 55% de aumento para los SO_2 , 45% de incremento en las emisiones de los NO_x , 35% de aumento de emisiones de COV y 45% de aumento en las emisiones de carbono negro.

Ahora bien, como se aprecia a continuación, la mayor parte de las emisiones de los contaminantes considerados provienen de las fuentes fijas, con una participación importante de las fuentes móviles en el caso de los NO_x y carbono negro y de las fuentes de área en las emisiones de COV.

Entre el año 2018 y 2033 la participación de las fuentes fijas en las emisiones de PM_{10} permanecerá casi constante en 60%, en el caso del $PM_{2.5}$ pasará del 57% al 60%, el SO_2 se mantendrá alrededor del 99% y los NO_x se mantendrán en 22%. Cabe aclarar que estos resultados corresponden al escenario promedio de crecimiento.

Por su parte, entre el año 2018 y 2033 la participación de las fuentes móviles en las emisiones de PM_{10} pasarán del 24% al 26%, en el caso del $PM_{2.5}$ permanecerá en el 32%, los COV pasarán del 45% al 48% y los NO_x se mantendrán en 76%.

Las fuentes de área entre 2018 y 2033 disminuirán su participación de PM_{10} y $PM_{2.5}$ pasando de 16% a 15% y de 9% a 7%, respectivamente; esto debido al aumento de la participación de las otras fuentes. En cuanto a los COV, también habrá un decremento de 44% a 40%.

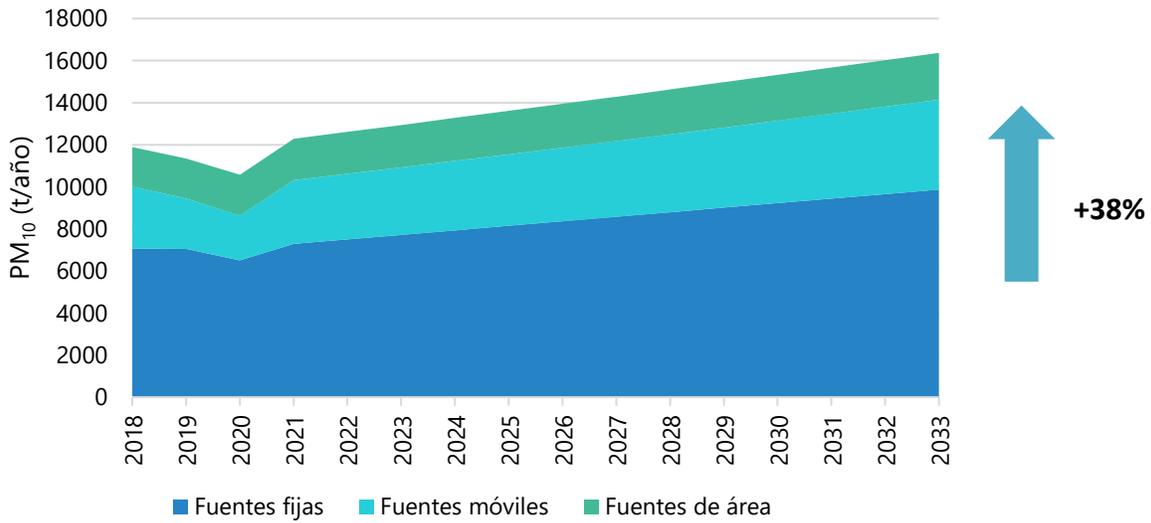


Figura 71. Participación de las emisiones de PM₁₀ por tipo de fuente entre el año 2018 y 2033

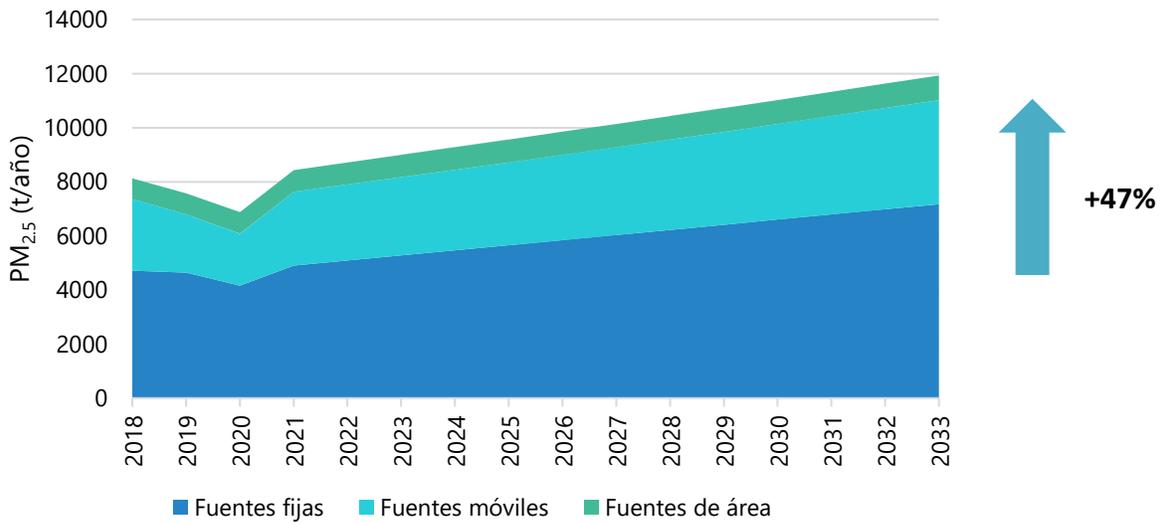


Figura 72. Participación de las emisiones de PM_{2.5} por tipo de fuente entre el año 2018 y 2033

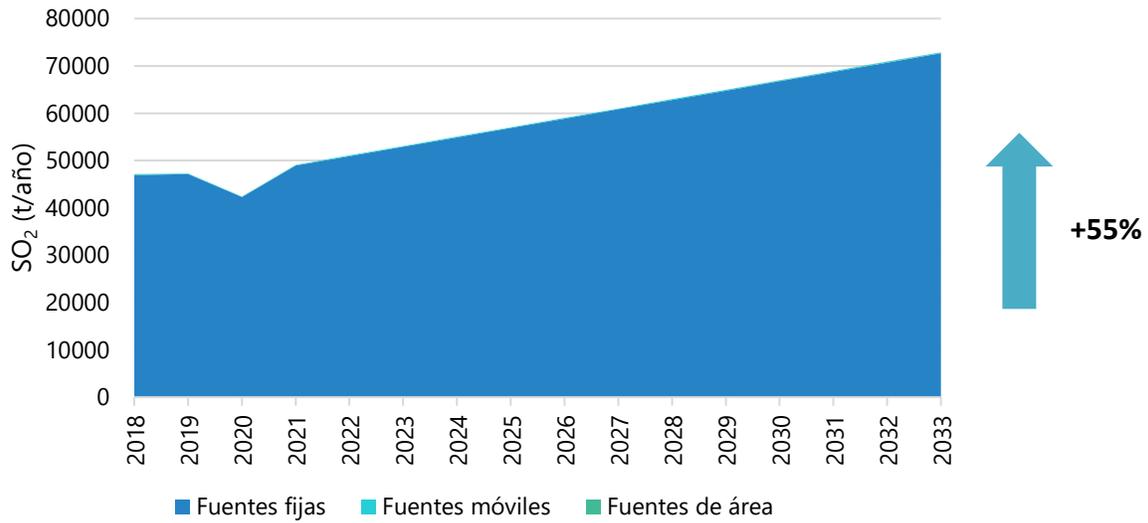


Figura 73. Participación de las emisiones de SO₂ por tipo de fuente entre el año 2018 y 2033

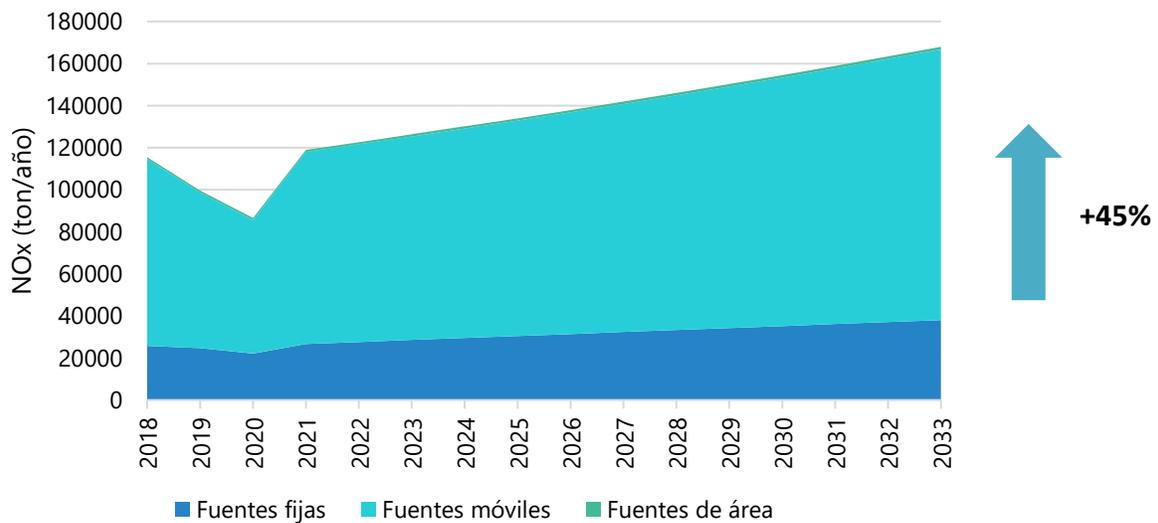


Figura 74. Participación de las emisiones de NO_x por tipo de fuente entre el año 2018 y 2033

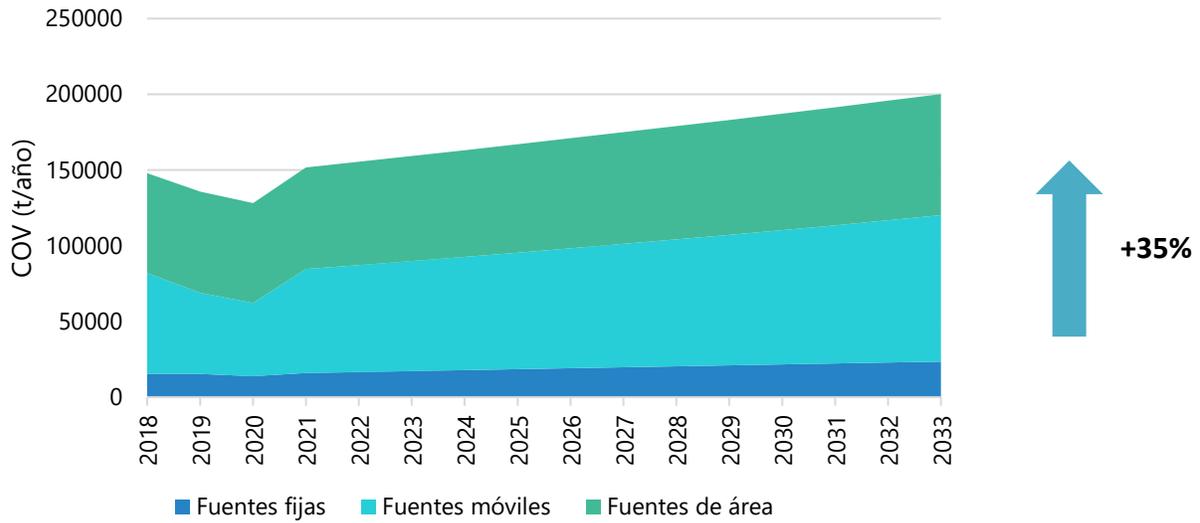


Figura 75. Participación de las emisiones de COV por tipo de fuente entre el año 2018 y 2033

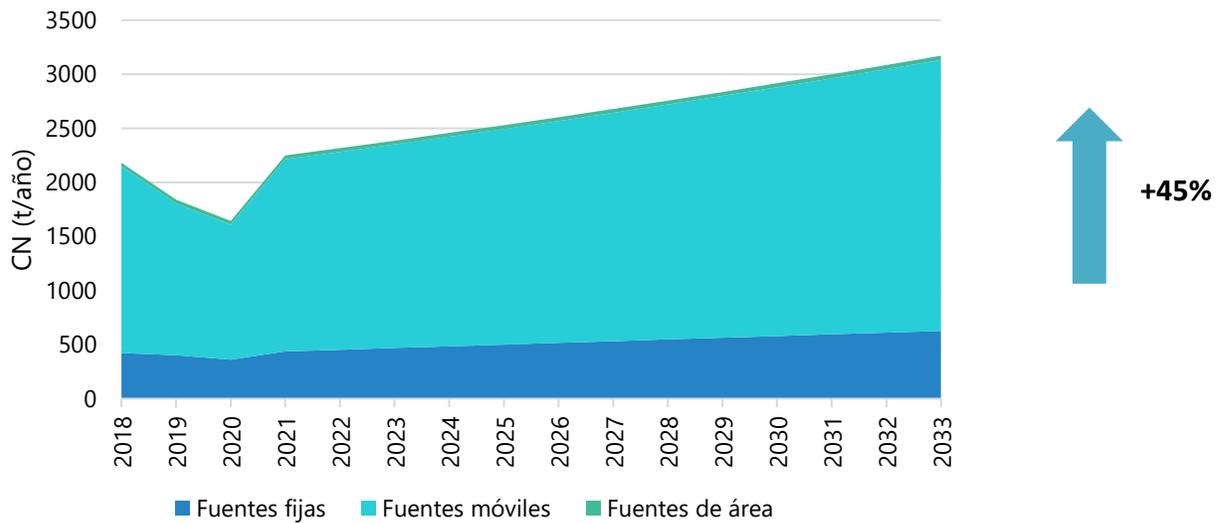


Figura 76. Participación de las emisiones de carbono negro por tipo de fuente entre el año 2018 y 2033

8.1.2. Proyección de emisiones con la implementación del PIGECA

La implementación de las medidas del PIGECA tiene el potencial para transformar los patrones de desarrollo en la región, permitiendo que éste ocurra de forma sostenible, manteniendo la productividad y el desarrollo, al mismo tiempo que va cambiando las tendencias de crecimiento en las emisiones. En esta sección se presenta la estimación de emisiones con la implementación de las medidas de mayor

relevancia del PIGECA. Esta evaluación se realizó a partir del desarrollo de tres herramientas en Microsoft Excel, una por cada tipo de fuente, con las cuales es posible estimar la reducción de la carga contaminante que se alcanzaría año tras año al implementar las distintas acciones. Estas herramientas se adjuntan como parte del ANEXO 9 en el cual también se detallan las metas, supuestos y proyecciones detalladas para cada medida.

Desde la Figura 77 a la Figura 81, se presenta el resultado de proyección de emisiones con la implementación del PIGECA para los diferentes contaminantes con el potencial de reducción de cada medida y en la Tabla 38 se muestra el resumen de los resultados de aporte de cada medida en la reducción de emisiones esperada. Para los contaminantes PM₁₀ y PM_{2.5} se estima una reducción de emisiones del 55.3% y 55.2%, respectivamente, en donde medidas como el ascenso tecnológico vehicular (medida 2FM), los programas de reducción de emisiones en la industria (medida 5FF), prevención y control de emisiones en la refinería (medida 9FF) y planes de reducción de emisiones en empresas dedicadas a extracción de caliza (medida 10FF), generan el mayor aporte en esta reducción.

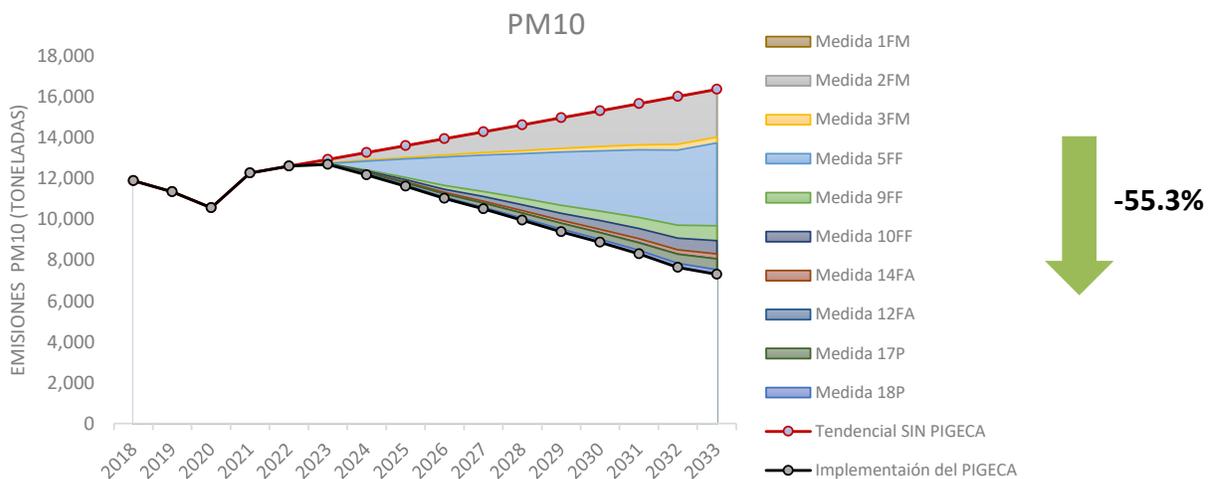


Figura 77. Proyección de emisiones de PM₁₀ por medida con la implementación del PIGECA

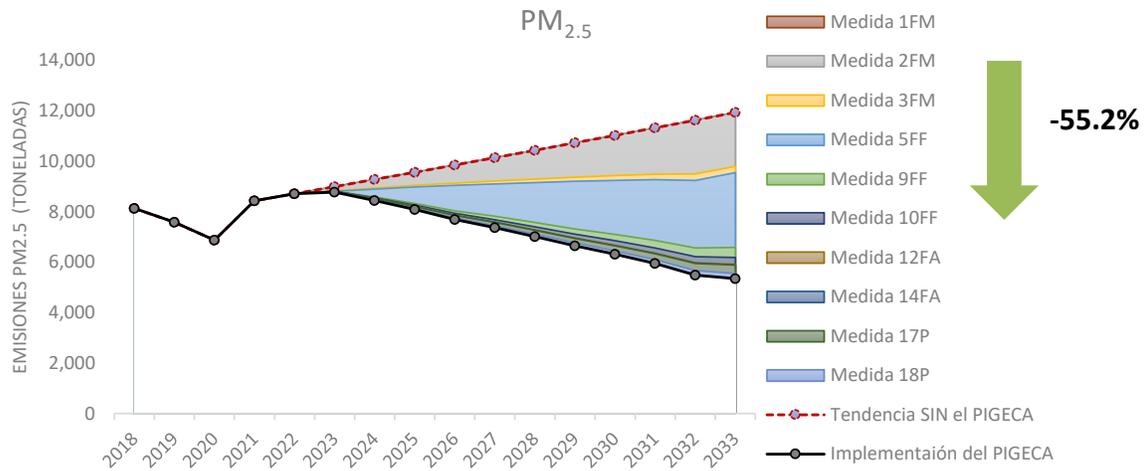


Figura 78. Proyección de emisiones de PM_{2.5} por medida con la implementación del PIGECA

En relación con las emisiones de NO_x, la reducción se estima en 55.3%, especialmente debido a medidas como ascenso tecnológico vehicular (medida 2FM) y los programas de reducción de emisiones en la industria (medida 6FF).

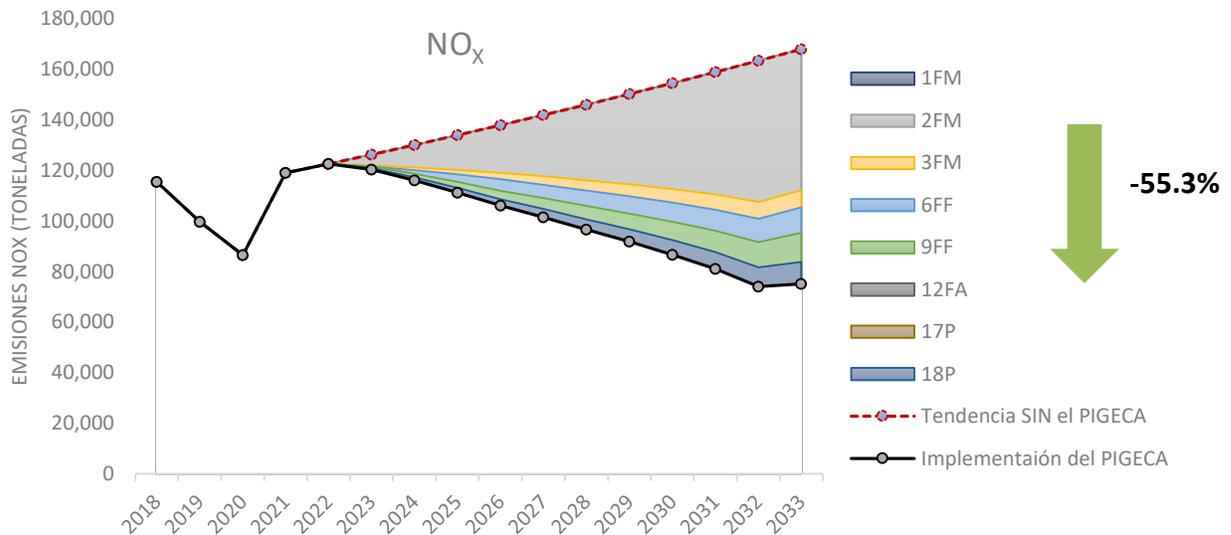


Figura 79. Proyección de emisiones de NO_x por medida con la implementación del PIGECA

En cuanto a SO₂, la reducción estimada corresponde a un 77.4% principalmente por la implementación del programa de prevención y control de emisiones provenientes de la refinería (medida 9FF), especialmente en las plantas de recuperación de azufre.

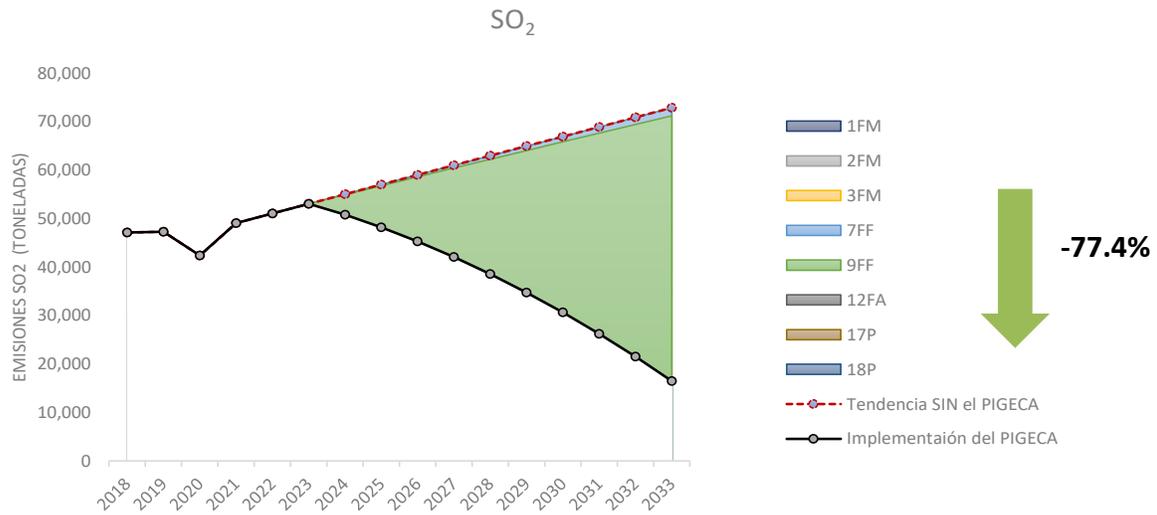


Figura 80. Proyección de emisiones de SO₂ por medida con la implementación del PIGECA

Para las emisiones de COV se estima en un 41.7% la reducción, debido, principalmente, al ascenso tecnológico vehicular (medida 2FM), programas de reducción de emisiones en la industria (medida 8FF) y reducción de emisiones evaporativas en estaciones de servicio (medida 13FA).

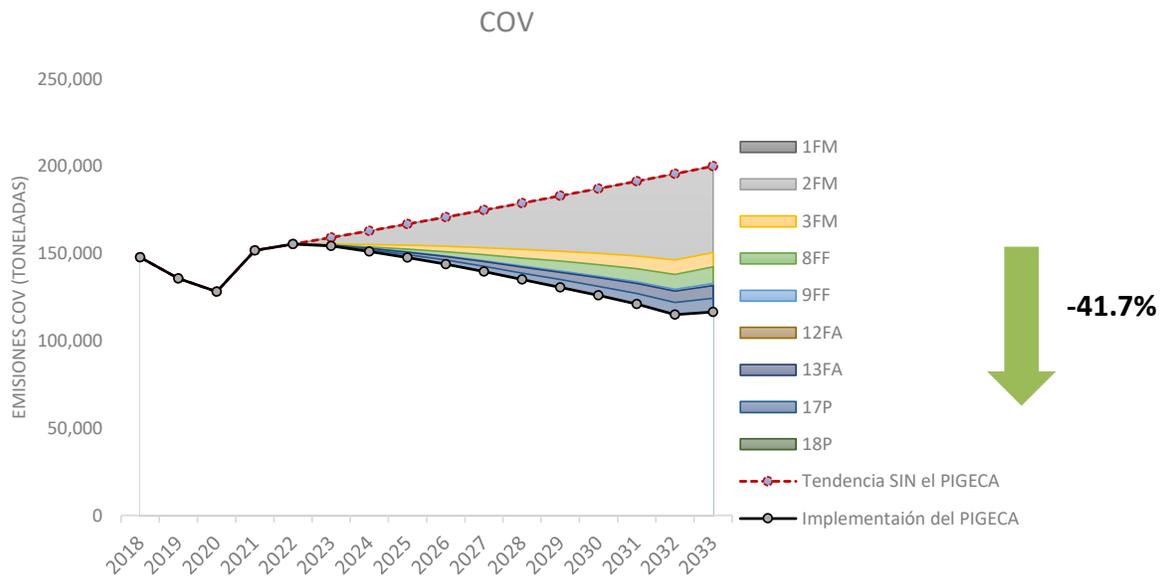


Figura 81. Proyección de emisiones de COV por medida con la implementación del PIGECA

Finalmente, en cuanto a la reducción de emisiones de carbono negro, estas tienen un potencial de reducción del 69%, especialmente por la implementación de medidas como el ascenso tecnológico vehicular (medida 2FM), zonas de bajas emisiones (medida 17P) y expansión e integración de modos de transporte público y mejoramiento de la logística de transporte de carga (medida 3FM).

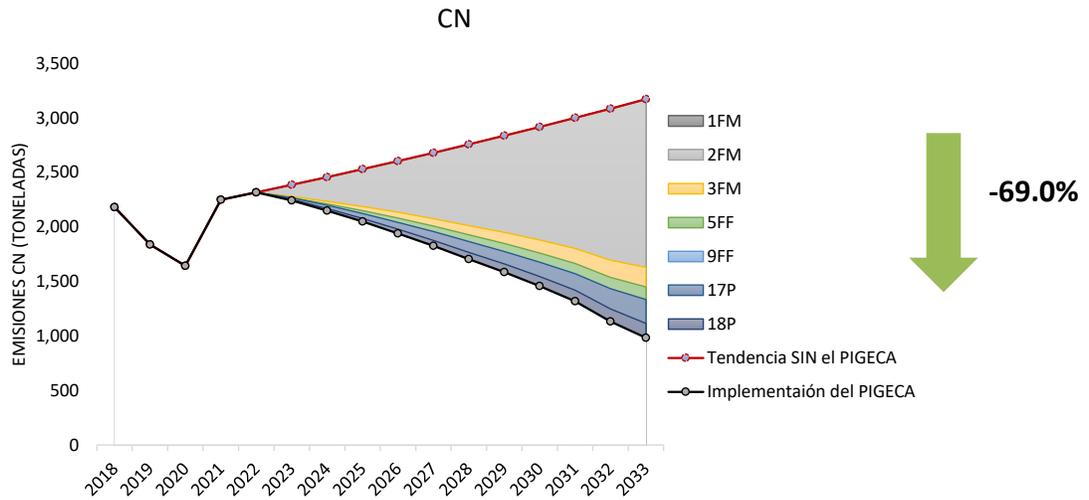


Figura 82. Proyección de emisiones de carbono negro por medida con la implementación del PIGECA

Tabla 38. Aporte en la reducción de emisiones por medida con respecto al escenario tendencial

Medida	Porcentaje de reducción de emisiones al año 2033 con respecto a escenario tendencial sin PIGECA					
	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	COV	CN
Medida 1FM. Desarrollo de infraestructura y promoción peatonal y ciclista	0.02%	0.03%	0.1%	0.0%	0.03%	0.1%
Medida 2FM. Aceleración de la transición hacia vehículos automotores de emisiones cero	14.3%	17.9%	33.2%	0.04%	24.7%	48.6%
Medida 3FM. Expansión e integración de modos de transporte público y mejoramiento de logística del transporte de carga	1.7%	2.1%	4.0%	0.0%	4.1%	5.6%
Medida 5FF. Programas de reducción de emisiones de sectores prioritarios de PM ₁₀ y PM _{2.5}	24.8%	24.9%	0.0%	0.0%	0.0%	2.4%
Medida 6FF. Programas de reducción de emisiones de sectores prioritarios de NO _x	0.0%	0.0%	6.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Medida 7FF. Programas de reducción de emisiones de sectores prioritarios de SO ₂	0.0%	0.0%	0.0%	2.2%	0.0%	0.0%
Medida 8FF. Programas de reducción de emisiones de sectores prioritarios de COV	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.8%	0.0%
Medida 9FF. Prevención y control de emisiones a la atmósfera provenientes de la refinera	4.5%	3.3%	1.0%	75.1%	0.3%	1.2%
Medida 10FF. Planes de reducción de emisiones en empresas dedicadas a extracción de caliza	4.0%	2.3%	0.0%	0.0%	0.0%	NE
Medida 12FA. Compromisos específicos de reducción de emisiones en actividades comerciales y de servicios a través de sus cámaras y asociaciones	1.4%	0.2%	0.1%	0.0%	0.3%	NE
Medida 13FA. Programa de reducción de emisiones de gasolinas evaporativas en estaciones de servicios, transporte de combustibles y terminales de distribución (COVs)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.6%	0.0%
Medida 14FA. Programa de limpieza, pavimentación y estabilización de vialidades para reducir emisiones y resuspensión de partículas	0.03%	0.02%	0.0%	0.0%	0.0%	NE
Medida 17P. Zonas y corredores de bajas emisiones	3.2%	2.8%	5.7%	0.0%	2.2%	7.0%
Medida 18P. Desarrollo Urbano Sostenible Integrando	1.4%	1.7%	5.1%	0.0%	1.8%	4.1%
Reducción total	55.3%	55.2%	55.3%	77.4%	41.7%	69.0%

*NE: No estimado

8.2. Impacto en reducción de concentraciones

La modelización hace posible la “predicción” de las concentraciones de contaminantes de interés y su dispersión en el tiempo y con ello la alerta temprana, ayudando a los tomadores de decisiones a salvaguardar la salud pública.

Los modelos de contaminación atmosférica pueden utilizarse para evaluar el impacto de diferentes estrategias de mitigación de emisiones, como, por ejemplo, la implementación de tecnologías más limpias, el cambio de tipos de combustibles o la adopción de políticas de transporte sostenible. Esto ayuda a tomar decisiones informadas para reducir la contaminación y mejorar la calidad del aire.

Adicionalmente, la modelización es una herramienta clave en la investigación científica y en los procesos de planificación urbana y desarrollo sostenible. En resumen, proporciona información útil que ayuda a proteger la salud pública, evaluar estrategias de mitigación y propender por un medioambiente sano.

Existen diferentes tipos de modelos de contaminación atmosférica; cabe mencionar los siguientes:

- Modelos de caja.
- Modelos gaussianos de dispersión.
- Modelos fotoquímicos.

Cada uno de estos tipos de modelos cuenta con ventajas y desventajas respecto a los otros, los cuales dependerán del objetivo que se desee alcanzar al utilizar la herramienta. Unos son más complejos y robustos y, asimismo, los recursos necesarios para utilizarlos serán mayores. En el presente trabajo se utilizó un modelo de caja en estado estacionario que se basa en la simplificación de la atmósfera como una "caja" tridimensional que contiene y delimita el área de interés (Laborda-Molina, 2008). El modelo de caja considera que la mezcla de contaminantes se encuentra confinada dentro de ese volumen, lo que permite simplificar los cálculos y las estimaciones de concentraciones en comparación con modelos más complejos, como los modelos de circulación atmosférica global o regional.

De esta forma, se ha calculado la concentración de contaminantes en dos escenarios a saber:

- 1) Escenario de línea base o BAU (*business as usual*), en el cual se estima la concentración de contaminantes sin la adopción de medidas de mitigación de emisiones para el periodo 2018-2033.
- 2) Escenario con implementación del Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire, el cual contempla la adopción de medidas de reducción de emisiones durante el periodo 2023-2033.

Las siguientes fueron las consideraciones para utilizar un modelo de caja en la evaluación del impacto de las medidas del PIGECA:

- Existe una concentración inicial o de fondo, la cual no depende de las actividades antropogénicas. Debido a que en el AMM no se cuenta con una estación de medición de estas características, para establecer esta concentración se tomaron los datos de la estación de monitoreo de calidad del aire SUR en el año 2022. Se asumió que el percentil 25 correspondía a una concentración que se puede catalogar como de fondo.
- La emisión total es la sumatoria de las emisiones de $PM_{2.5}$ producidas por las fuentes fijas, fuentes de área y fuentes móviles, según el inventario de emisiones año base 2018 del AMM y su correspondiente proyección al año 2033.
- Utilizando la herramienta Google Earth se midieron las áreas de los diferentes municipios que conforman el AMM, para después proceder a aproximarla a un cuadrado que será la base de la caja del modelo, obteniendo así las dimensiones DX y DY.
- Para hallar la altura de mezcla en la atmósfera se tomaron los datos de 2022 de la *National Oceanic Atmospheric Administration*.
- El modelo de caja en estado estacionario no tiene en cuenta las transformaciones químicas del contaminante en la atmósfera.
- Durante la calibración del modelo se utilizaron factores multiplicativos a las emisiones con el fin de tener en cuenta los aerosoles secundarios, disminuyendo la subestimación que se obtuvo para la concentración y mejorando el ajuste entre lo simulado y lo real. Estos factores tuvieron en

cuenta que aproximadamente el 50% del $PM_{2.5}$ corresponde a aerosoles orgánicos secundarios (Centro Mario Molina, 2020)

- Adicionalmente, se consideraron no sólo las medidas del PIGECA que afectaban directamente al $PM_{2.5}$, sino también aquellas que disminuían los óxidos de azufre y de nitrógeno, suponiendo que en la misma proporción en que se reducían estos precursores, lo haría el $PM_{2.5}$ secundario.
- Con base en el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago de Chile (Ministerio del Medio Ambiente de Chile, 2017), se establecieron equivalencias entre las emisiones de óxidos de azufre y de nitrógeno y el $PM_{2.5}$ secundario. Esto con el fin de estimar sus reducciones y tener en cuenta este tipo de aerosoles que afectan la concentración del contaminante

El detalle del funcionamiento de la herramienta y los resultados obtenidos se puede consultar en el ANEXO 10. A continuación, se presentan los datos de entrada al modelo de caja y el resultado final que permite comparar la línea base de concentración; es decir, el escenario sin medidas del PIGECA y el escenario aplicando las distintas medidas de reducción.

Tabla 39. Concentración de $PM_{2.5}$ antes y después de aplicar las medidas del PIGECA en el Área Metropolitana de Monterrey ($\mu g/m^3$)

Escenario	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
Sin la implementación del PIGECA	21.0	21.8	21.3	20.5	19.4	19.8	20.1	20.5	20.9	21.3	21.6	22.0	22.4	22.8	23.2	23.6
Con la implementación PIGECA	21.0	21.8	21.3	20.5	19.4	19.5	19.2	18.8	18.3	17.9	17.5	17.0	16.6	16.1	15.6	15.1

En la Tabla 39, se muestran los resultados obtenidos con el modelo de caja para la concentración de $PM_{2.5}$ **sin** la implementación del PIGECA y **con** la implementación del PIGECA. Finalmente, en la Figura 83 se visualizan estos datos tendenciales de la calidad del aire en el AMM. Con el uso del modelo de caja se concluye que de no implementar ninguna medida se puede aumentar, desde el año 2022, las concentraciones hasta un 22% de las concentraciones de $PM_{2.5}$ a 2033. Mientras que con la implementación de las medidas se puede alcanzar una concentración de $15.1 (\mu g/m^3)$ que corresponde a una reducción del 36% con respecto al escenario sin la implementación del PIGECA, el cual puede ser un valor subestimando, considerando las limitaciones del modelo de caja que no incluye a detalle las transformaciones químicas en la atmosfera. Por lo anterior, se puede esperar reducciones más altas, cerca de las metas establecida para el PIGECA.

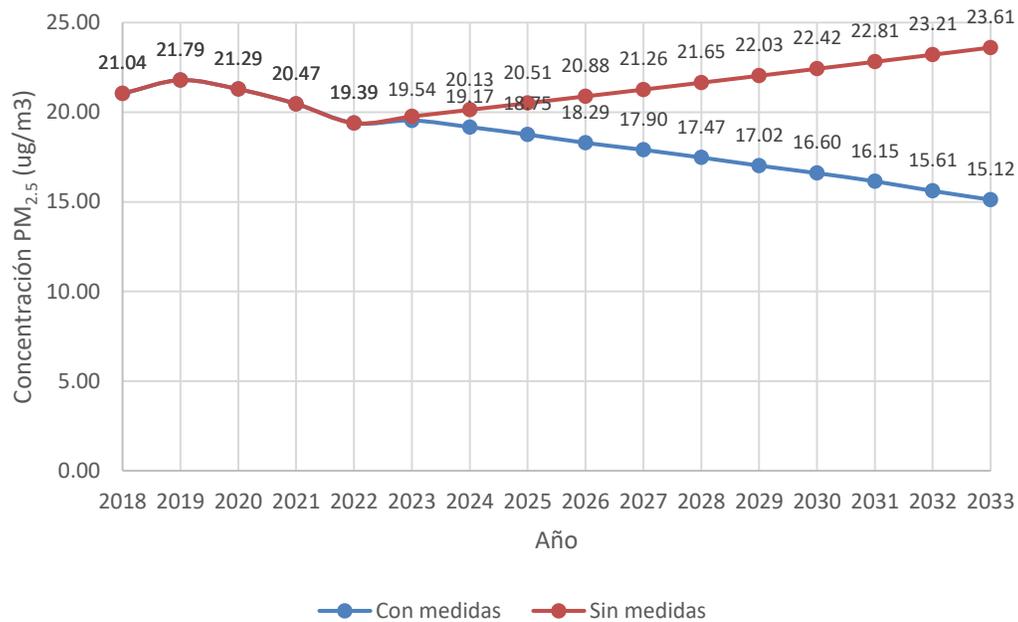


Figura 83. Resultados de calidad del aire para PM_{2.5} sin y con la implementación de medidas del PIGECA

8.3. Impactos en salud

Con el objetivo de que el diseño del PIGECA para el AMM 2023-2033 cuente con un soporte y metas en salud, se estimaron las muertes atribuibles a la exposición crónica a PM_{2.5} para el año 2019 a nivel municipal y para toda el área metropolitana, tomando como escenario control o valor contrafactual el límite máximo permisible de la NOM-025-SSA1-2019 para el promedio anual de PM_{2.5} (10 µg/m³), al ser el nivel establecido por la normatividad mexicana.

Asimismo, se evaluaron distintos escenarios para estimar las muertes que se podrían evitar con la implementación de medidas para mejorar la calidad del aire o las muertes que se podrían incrementar de no atender la problemática. En el primer caso, se evaluaron cuatro escenarios que consistieron en estimar el número de muertes evitables por reducir en un 10% la concentración promedio anual de PM_{2.5} del año 2019 para el AMM, por alcanzar la meta intermedia tres (MI-3) de la GCA OMS 2021 (15 µg/m³), el límite de la NOM-025-SSA1-2019 (10 µg/m³) y la GCA OMS 2021 (5 µg/m³). Este último se refiere al valor más bajo para el cual existe evidencia robusta de efectos a la salud. Adicionalmente, se evaluaron dos escenarios que consistieron en determinar el impacto de un incremento del 10% y 20% en la concentración promedio anual de PM_{2.5} para el AMM.

La herramienta empleada para llevar a cabo la ERS fue BenMAP-CE y los insumos empleados para su estimación se detallan en la Figura 84.

Datos de calidad del aire: promedio anual de $PM_{2.5}$ para el año 2019 calculado para las estaciones de monitoreo atmosférico del AMM que cumplieron con los criterios de suficiencia establecidos en la NOM-025-SSA1-2019; es decir, que al menos tres de cuatro trimestres presentaron una suficiencia de datos diarios válidos de al menos el 75% para el año 2019. Se incluyeron un total de ocho de 13 estaciones.

Datos de población: número de habitantes para el grupo de edad de 25 años y más a nivel municipal y para el año de estudio, obtenido de las proyecciones de población 2015-2030 de CONAPO (s.f.).

Datos de salud (mortalidad basal): número de muertes por causas generales (no externas), así como por causas específicas para el grupo de edad de 25 años o más a nivel municipal ocurridas en el año 2019 (registradas en los años 2019, 2020 y 2021) identificadas con los códigos CIE-10. Las causas específicas y los códigos se mencionan en la Tabla del siguiente punto (INEGI, 2022).

Función concentración-respuesta (FCR): FCR para exposición crónica a $PM_{2.5}$ obtenidas del estudio de Chen y Hoek (2020) por ser de los estudios más recientes y haber sido empleado para actualizar las GCA de la OMS 2021 para material particulado. Las FCR, así como los códigos CIE-10 para cada causa de muerte, se detallan en la siguiente tabla.

Causa de mortalidad	CIE-10 **	Riesgo Relativo*	Grupo de edad
Generales (Mortalidad natural, no accidental)	A00 – R99	1.08 (1.06–1.09)	Adultos de 25 años de edad o más
Enfermedad isquémica del corazón (EIC)	I20 – I25	1.16 (1.10–1.21)	
Evento cerebrovascular	I60 – I69	1.11 (1.04–1.18)	
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)	J40 – J44, J47	1.11 (1.05–1.17)	
Cáncer de pulmón	C30 – C39	1.12 (1.07–1.16)	

*Asociado a un cambio de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de $PM_{2.5}$.

** Décima edición de la Clasificación Internacional de Enfermedades de la OMS.

Valor de una vida estadística: se empleó un valor de una vida estadística de 2.2 millones de dólares a precios de 2019 para México. Este valor se obtuvo por el método de transferencia de beneficios a partir del meta-análisis de la OECD (2012), tal como se aplicó en Rojas y Montero (2021).

Figura 84. Insumos empleados para ERS por contaminación del aire para el AMM en el año 2019

Los resultados de la ERS se presentan en las Tabla 40 , Tabla 41 y en la Figura 85.

En la Tabla 40 se presentan los resultados de la línea base de muertes atribuibles a la exposición crónica a $PM_{2.5}$ por superar el límite de la NOM-025-SSA1-2019 ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a nivel municipal y para toda el AMM para el año 2019.

El promedio anual de $PM_{2.5}$ para toda la región metropolitana fue de $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor al menos dos veces más alto que el límite máximo permisible en México ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y cuatro veces más alto que la GCA OMS 2021 ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). A nivel municipal, el rango de concentración va de 18 a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Los municipios con la mayor concentración fueron García, Apodaca, El Carmen, General Escobedo y Salinas Victoria, los cuales se encuentran al norte del AMM.

El total de muertes prematuras atribuibles a la exposición crónica a $PM_{2.5}$ para toda el AMM fue de 1,700, lo cual equivale al 9% de las muertes que ocurrieron en 2019. Los municipios con la mayor cantidad de muertes atribuibles fueron Monterrey, Guadalupe y San Nicolás de los Garza.

En el caso de la tasa de mortalidad atribuible a la exposición crónica a $PM_{2.5}$ (Tabla 40), el promedio para el AMM fue de 61 muertes por cada 100,000 habitantes de 25 años o más. Los municipios con la mayor tasa fueron San Nicolás de los Garza, Santiago y Salinas Victoria. La tasa de mortalidad, al ser una

proporción entre número de muertes y población, permite realizar una mejor comparación del riesgo en salud que presenta la población, en este caso entre municipios.

Tabla 40. Muertes atribuibles por superar el valor de la NOM-025-SSA1-2019 de exposición crónica a PM_{2.5} a nivel municipal y para toda el AMM en el año 2019

Municipio	Promedio anual de PM _{2.5} (µg/m ³) ⁵	Población de 25 años de edad o más	Mortalidad basal (causas generales no externas)	Mortalidad atribuible a la exposición crónica a PM _{2.5} (IC95%)	Fracción atribuible a la exposición crónica a PM _{2.5} (%)	Tasa de muerte atribuible por cada 100,000 hab de 25 años de edad o más
Zona Metropolitana de Monterrey	21.9 ⁶	2,790,920	22,307	1,710 (1,403-2,001)	9	61
1 Apodaca	23.9	351,327	1,785	181 (149 - 211)	10.1	51
2 Cadereyta Jiménez	21	60,316	527	43 (35 to 50)	8.1	71
3 El Carmen	24.4	23,038	118	12 (10 - 15)	10.5	54
4 García	24.9	144,680	577	63 (52 - 73)	10.8	43
5 San Pedro Garza García	19.8	88,453	675	49 (40 - 58)	7.3	56
6 General Escobedo	24.4	242,640	1,380	144 (119 - 169)	10.4	60
7 Guadalupe	19.1	434,947	3923	266 (218 - 312)	6.8	61
8 Juárez	19.6	194,363	920	66 (54 - 77)	7.1	34
9 Monterrey	18.3	701,461	7,799	483 (395 - 566)	6.2	69
10 Salinas Victoria	23.7	31,184	223	22 (18 - 26)	10.0	72
11 San Nicolás de los Garza	21.7	307,960	2,863	247 (203 - 289)	8.6	80
12 Santa Catarina	22	182,008	1,250	111 (91 - 129)	8.8	61
13 Santiago	21.6	28,543	267	23 (19 - 27)	8.5	80

Al revisar las causas de muerte que más se asocian con la exposición a PM_{2.5}, la enfermedad isquémica del corazón fue la causa principal con el 37% de los casos, la enfermedad cerebrovascular en segundo lugar con el 9% y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) en el tercer lugar con el 3% (Figura 85).

⁵ El promedio anual de PM_{2.5} es calculado por *BenMAP-CE* a partir de los datos de las estaciones de monitoreo atmosférico del AMM y a través del método de interpolación de distancia inversa ponderada.

⁶ El promedio para el AMM fue calculado a partir del promedio aritmético de los valores a nivel municipal.

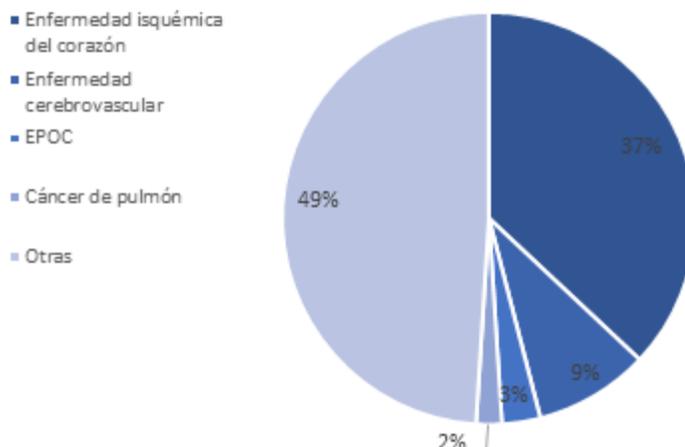


Figura 85. Porcentaje de muertes prematuras por causa específica atribuibles a la exposición crónica por PM_{2.5} en el AMM en 2019

Asimismo, se evaluaron distintos escenarios de reducción o incremento de las concentraciones de PM_{2.5} con el objetivo de estimar su impacto en el número de muertes (decremento o incremento), los cuales se plasman en la Tabla 41. Se observa que con una reducción del 10% en la concentración promedio anual de PM_{2.5}, se podrían evitar alrededor de 250 muertes; de alcanzarse el objetivo intermedio tres (OI-3) de la GCA OMS 2021, 900 muertes; de alcanzarse el límite de la NOM-025-SSA1-2019 (10 µg/m³), 1,700 muertes; finalmente, de alcanzar el valor recomendado por la GCA OMS del 2021 (5 µg/m³), que se considera el escenario ideal al cual todas las ciudades y países deben aspirar, se podrían evitar casi 2,500 muertes. Por otro lado, de no implementar medidas, la concentración se podría mantener igual (no se evitan muertes) o se podría incrementar. En este sentido, se evaluaron dos escenarios: con un aumento del 10% y 20% en la concentración promedio anual de PM_{2.5} en el AMM, el número de muertes atribuibles a la contaminación del aire podría incrementarse a 2,800 a 3,200 muertes.

Tabla 41. Resultados de los escenarios de reducción o incremento de las concentraciones de PM_{2.5} para el AMM

Cambio en la concentración de PM _{2.5}	Concentración de PM _{2.5} (µg/m ³)	Escenario de concentración promedio anual de PM _{2.5}	Muertes evitables	Ahorro económico (millones USD)
-20%	26.4 µg/m ³	↑ 20%	-652 (-3,142)	-6,912
-10%	24.2 µg/m ³	↑ 10%	-325 (-2,815)	-6,193
0%	22 µg/m ³	Línea base	0	0
10%	19.8 µg/m ³	↓ 10%	241	\$530
32%	15 µg/m ³	Meta intermedia 3 de la OMS (MI-3)	901	\$1,982

Cambio en la concentración de PM _{2.5}	Concentración de PM _{2.5} (µg/m ³)	Escenario de concentración promedio anual de PM _{2.5}	Muertes evitables	Ahorro económico (millones USD)
55%	10 µg/m ³	NOM-025-SSA1-2021, OI-4 2021, GCA OMS 2005	1,710	\$3,762
77%	5 µg/m ³	GCA OMS 2021	2,487	\$5,471

Finalmente, al valorar económicamente las muertes, el alcanzar el límite de la normatividad local de exposición crónica a PM_{2.5}, el cual corresponde a la meta del PIGECA, se evitaría 1,710 muertes prematuras en el AMM, lo que podría generar un beneficio económico de más de 3 mil 700 millones de dólares (USD). Considerando una paridad de poder de compra del tipo de cambio del Banco Mundial de 9.66 MXN/USD en 2019, los beneficios económicos serían equivalentes a más de 36 mil millones de pesos (M.N. a precios de 2019), lo que representa 2% del PIB de Nuevo León en 2019. Por otro lado, de alcanzar los valores más estrictos recomendados por la OMS, se evitarían casi 2,500 muertes, generando un ahorro económico de 5.5 mil millones de dólares, equivalente al 2.9% del PIB (Tabla 41).

La estimación es mayor a los resultados de Trejo y colaboradores (2019) pero consistente con los mismos. En el caso de la presente estimación, además de haberse evaluado un año más reciente (2019), se emplearon escenarios control más estrictos, por cuanto, debido a la creciente evidencia de la presencia de efectos a la salud a menores concentraciones, la NOM de salud ambiental y las GCA OMS fueron actualizadas recientemente.

Por último, se presentan los **supuestos y limitantes** de la ERS que se llevó a cabo para el AMM para el año 2019, lo cual es importante mencionar ya que pueden contribuir con un margen de incertidumbre en las estimaciones.

1. De las 13 estaciones con que contaba el AMM para aquel momento, solo se emplearon los datos de ocho de ellas, por ser las que cumplieron con los criterios de suficiencia de información. Entre mayor cantidad de estaciones se incluyan en la estimación, se representa mejor la exposición de la población y brinda una mayor certidumbre en los resultados de impacto en salud.
2. Se asume que la población se mantiene fija en un lugar al considerar su municipio de residencia para asignar la exposición, y no se considera la movilidad de la misma; por ejemplo, al ir a trabajar o estudiar en otro municipio. Aunque esta es una limitante importante, este supuesto también se asume en los estudios epidemiológicos de donde provienen las FCR.
3. La población se expone a múltiples contaminantes de forma simultánea, por lo que evaluar un único contaminante solo muestra una parte de los impactos.
4. Los datos de población se obtuvieron de las proyecciones de población que cuentan con un grado de incertidumbre en sí mismas.
5. El meta-análisis de Chen y Hoek (2020), del cual se obtuvo la FCR, no incluye estudios realizados en América Latina; sin embargo, es el estudio más reciente y considera el rango de concentración del promedio anual de PM_{2.5} que se presenta en el AMM.
6. Las muertes prematuras estimadas son solo una parte de los impactos por contaminación del aire, a esto habrá que sumar los impactos en la morbilidad.

8.4. Análisis beneficio costo

Los análisis de costos para el PIGECA se elaboraron para las medidas de mayor relevancia en cuanto a reducción de emisiones y apoyo de implementación del PIGECA. Dado que algunas de estas medidas requerirán una fase previa de diseño, esta estimación se clasifica como de orden de magnitud o Clase 5. Los resultados son aproximados y se basan en el criterio de expertos y en métodos como la analogía con los costos de proyectos anteriores y similares. Por lo general, una estimación de este tipo presenta un rango de variación en los costos entre -25 % y +75 % del costo definitivo. Su principal propósito, entonces, es contribuir al proceso de toma de decisiones de alto nivel con el fin de detectar proyectos y determinar cuáles son financieramente viables⁷. Para fines de esta estimación, a menos que sea especificado, no se incluyen costos de operación y mantenimiento, únicamente inversión inicial. Adicionalmente, hay estimaciones, como aquellas de los programas de reducción de emisiones en la industria, que solo consideran los costos de los estudios iniciales para el diseño de los programas, más nos los costos totales de inversión por parte de las empresas. Lo anterior debido a que el diseño de este tipo depende del tipo y tamaño de la empresa. El detalle de esta estimación de costos se presenta en el ANEXO 11 de este documento.

Tabla 42. Costo estimado en pesos mexicanos por medidas de interés

Medida	Costo estimado en pesos mexicanos
Línea estratégica: Movilidad eficiente y bajas emisiones	\$17.984.180.000
1FM. Desarrollo de infraestructura y promoción peatonal y ciclista	\$969.780.000
2FM. Aceleración de la transición hacia vehículos automotores de emisiones cero	\$17.003.000.000
3FM. Expansión e integración de modos de transporte público y mejoramiento de logística del transporte de carga – Megaproyectos en curso	\$11.400.000
Línea estratégica: Industria competitiva y baja en emisiones	\$5.705.800.000
5FF. Programas de reducción de emisiones de sectores prioritarios de PM ₁₀ y PM _{2.5} *	\$25.500,000
6FF. Programas de reducción de emisiones de sectores prioritarios de NO _x *	\$25.500,000
7FF. Programas de reducción de emisiones de sectores prioritarios de SO ₂ *	\$25.500,000
8FF. Programas de reducción de emisiones de sectores prioritarios de COV*	\$25.500,000
9FF. Prevención y control de emisiones a la atmósfera provenientes de la refinería	\$5.602.675.000
10FF. Planes empresariales de reducción de emisiones en pedreras*	\$1.125.000
Línea estratégica: Prevención y reducción de emisiones de fuentes de área	\$614.125.000
13FA. Programa de reducción de emisiones de gasolinas evaporativas en estaciones de servicios, transporte de combustibles y terminales de distribución (COV)*	\$2.175.000
15FA. Desarrollo de infraestructura verde	\$611.950.000

⁷ <https://www.cmic.org/clasificacion-de-estimados-de-costos/>
<https://es.smartsheet.com/ultimate-guide-project-cost-estimating>

Medida	Costo estimado en pesos mexicanos
Línea estratégica: Planeación eficiente y bajas emisiones	\$148.800.000
18P. Desarrollo sostenible	\$148.800.000
Líneas estratégicas complementarias	\$189.525.000
1C. Fortalecimiento del Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA)	\$176.775.000
2C. Actualización periódica de inventario de emisiones	\$6.150.000
9C. Programa integral de comunicación	\$6.600.000
Total PIGECA	\$24.642.430.000

*Solo incluye costos iniciales para el desarrollo de estudio de formulación de los programas de reducción de emisiones

De la estimación realizada en relación con los beneficios en salud, se cuenta con el dato y rango sobre los beneficios económicos esperados asociados con las muertes evitadas por exposición a PM_{2.5} por la implementación del PIGECA (3,800 millones de dólares, con un rango de 3,100 – 4,400). Con base en esta información y los costos estimados de las medidas, se puede concluir que:

Con respecto del beneficio neto y la razón beneficio/costo, es relevante notar que en el peor escenario (altos costos y bajos beneficios) el PIGECA resulta socialmente rentable, ya que por cada peso invertido se obtiene un beneficio de 1.28 pesos. Por otro lado, en el escenario más optimista (bajos costos y altos beneficios) el beneficio neto del PIGECA es de 4.23 pesos por cada peso invertido.

Por su parte, el valor esperado de la rentabilidad social del Plan (beneficios netos) en el escenario esperado es de 2.64 pesos por cada peso invertido en la implementación del PIGECA; o bien, un beneficio total de 67,488 millones de pesos, con un costo de 24,642 millones de pesos, lo que genera un beneficio neto de 42,846 millones de pesos de 2023.

Respecto de la relación entre la reducción de emisiones por contaminante y el costo de implementación del PIGECA (Figura 86), se observa que durante el periodo de estudio se genera una reducción para todos los contaminantes considerados. Asimismo, el ejercicio de los recursos correspondientes al costo estimado del Plan comienza elevándose paulatinamente para alcanzar un máximo entre los años 2025 y 2027, para posteriormente ir reduciéndose hacia el final del periodo.

Reducción de emisiones por contaminante vs costo del PIGECA por año

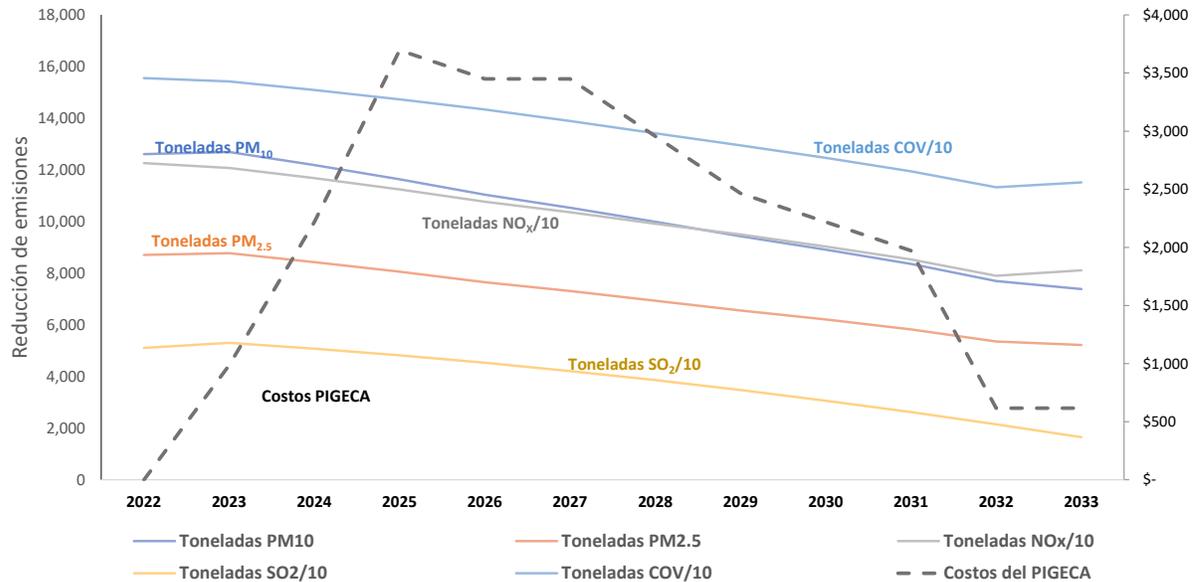


Figura 86. Reducción de emisiones contra los costos por año del PIGECA

Finalmente, se hizo un ejercicio para apreciar el beneficio/costo de la reducción en emisiones de PM_{2.5} derivada de la implementación de las medidas más relevantes del Plan (Figura 87), con respecto al costo de implementación de estas. Las medidas son:

- 1FM. Desarrollo de infraestructura y promoción peatonal y ciclista.
- 2FM. Aceleración de la transición hacia vehículos automotores de emisiones cero.
- 3FM. Expansión e integración de modos de transporte público y mejoramiento de logística del transporte de carga – Megaproyectos en curso.
- 5FF. Programas de reducción de emisiones de sectores prioritarios de PM₁₀ y PM_{2.5}.
- 9FF. Prevención y control de emisiones a la atmósfera provenientes de la refinería.
- 10FF. Planes empresariales de reducción de emisiones en pedreras.

Se han tomado como referencia las emisiones primarias de PM_{2.5} por cuanto, aunque su reducción en cantidad aparece menor que la de otros contaminantes, su relevancia para la estimación de beneficios es mayor. Esto debido a que los impactos negativos en la salud humana asociados con la exposición a este contaminante son mayores que para el resto de ellos.

Este ejercicio permite apreciar el beneficio a obtener con la implementación de cada una de estas medidas estratégicas con respecto al recurso que es necesario invertir para ello. En el agregado total se aprecia nuevamente que el beneficio obtenido por la reducción de emisiones de PM_{2.5} es superior al costo de implementación de estas medidas.

Comparativo del beneficio económico de las emisiones abatidas de PM_{2.5}
vs costo de implementación por medida (millones de pesos)

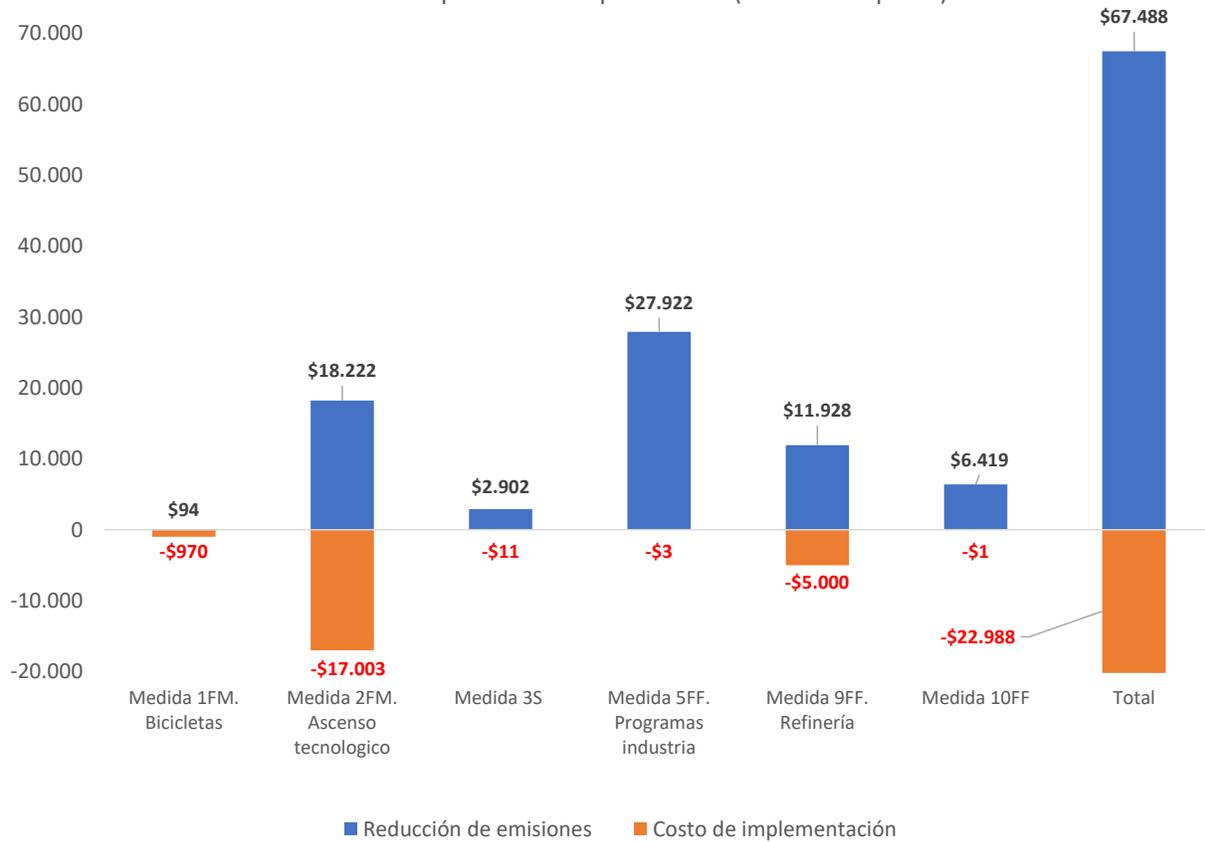


Figura 87. Comparativo del beneficio económico de las emisiones abatidas de PM_{2.5}

Nota: los costos de la medida 5FF y 10 FF solo incluyen costos iniciales para el desarrollo del estudio de formulación de los programas de reducción de emisiones; no incluye la inversión total para el proyecto.

Mecanismos de seguimiento y evaluación

9. MECANISMO DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN

Como parte de la implementación del PIGECA, se planean como mecanismos de seguimiento tres componentes que permitirán de forma complementaria evaluar la ejecución del plan. El primero consiste en la implementación del esquema de gobernanza detallado en el ANEXO 5, pero que se resume en la sección 9.1 en cuanto a su composición y funciones principales de sus partes. El esquema de gobernanza permitirá no solo la ejecución de medidas de forma concertada, sino también mantendrá informados a los actores involucrados del avance del PIGECA y reportará los avances de acciones que les corresponde a cada uno.

El segundo componente, especificado en la sección 9.2., hace referencia al uso de indicadores de cada medida que permitirá hacer seguimiento periódico de la implementación de estas, así como evaluar su avance y posibles barreras que se presenten durante su ejecución.

El tercer componente hace referencia al seguimiento de las metas del PIGECA como son las concentraciones de $PM_{2.5}$ y el ajuste de las proyecciones de emisiones a medida que se realiza la actualización periódica de los inventarios de emisiones.

9.1. Esquema de gobernanza del AMM

Los procesos de gobernanza deben ser contruidos con una lectura de cada territorio; sus características locales, sus avances en tecnología, su contexto social y económico son necesarios para la generación de un modelo a la medida para cada territorio. Estos sistemas pueden ser más o menos complejos, según las problemáticas; por ejemplo, para las ciudades y otros territorios en donde interesa comprender y gestionar la calidad del aire, los sistemas pueden tornarse complejos. Esto significa, entre otras cosas, que la calidad del aire debe comprenderse a partir del análisis de todas las partes. Los factores sociales, económicos y ambientales no son independientes. En los sistemas complejos ocurren fenómenos que se deben a la interacción entre las partes y por lo tanto son “invisibles” si se piensa solamente en dichas partes por separado.

La gobernanza como vehículo para la construcción, implementación y seguimiento de políticas requiere establecerse como un esquema de aplicación continua y activa.

Para la implementación del Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire (PIGECA) 2023-2033, se propone en resumen el esquema de la Figura 88, en el cual se determinan las siguientes instancias:

GERENCIA DEL PIGECA: el gobernador del Estado de Nuevo León en el proceso de fortalecimiento de las capacidades y en el marco de la creación de la Comisión Estatal para la Calidad del Aire, nombrará un gerente o líder del PIGECA, el cual tendrá entre sus funciones principales el velar por el cumplimiento de las estrategias planteadas por el PIGECA, así como la realización del seguimiento y el liderazgo en los procesos de participación y articulación del modelo de Gobernanza del PIGECA. Esta gerencia recaerá

dentro de las funciones de la Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León, la cual es una dependencia del Gobierno de Nuevo León creada en 2023.

Para llevar a cabo esta gerencia se identifica el desarrollo de capacidades y de un grupo de trabajo específico que realice el seguimiento al cumplimiento del PIGECA que se encontrará en la Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León.

Las siguientes son las instancias clasificadas por responsabilidad:

INSTANCIAS DE ASESORÍA, SEGUIMIENTO, ARTICULACIÓN, FORMACIÓN, CORRESPONSABILIDAD Y CONTROL

- Consejo Rector.
- Mesa de Asesoría Científica.
- Mesa con la Ciudadanía.
- Mesa de Salud y Calidad del Aire.

INSTANCIAS OPERATIVAS

- Coordinación técnico-ejecutiva.
- Mesa Intersectorial.
- Mesa de Comunicación Pública.



Figura 88. Esquema de Gobernanza del PIGECA para el Área Metropolitana de Monterrey

9.1.1. Estructura y funciones del consejo, coordinación y mesas de trabajo

CONSEJO RECTOR:

Integrantes

Este consejo está conformado por representantes de las Instituciones públicas, privadas, academia y ciudadanía, quienes tendrán un perfil con amplia y reconocida trayectoria académica, empresarial, social o pública. Se propone como mínimo la participación de los siguientes actores:

- Representantes del Gobierno Federal. Delegado de la SEMARNAT.
- Representante de la Procuraduría Federal.
- Representantes del Gobierno Estatal: Gobernador o su delegado.
- Representantes de cada una de las Municipalidades que hacen parte del AMM.
- Representantes de universidad, o representación de la academia.
- Representantes de grupo de investigación representativo en temas asociados a calidad del aire.
- Representantes de una organización no gubernamental con importante participación en la problemática de calidad del aire de la región.
- Representantes del sector transporte (director de asociaciones).
- Representantes del sector Industrial (director de asociaciones).
- Representantes del sector comercial y/o de la construcción (director de asociaciones).
- Representantes del sector de los combustibles (asociaciones de estaciones de servicio).
- Representantes de medio de comunicación representativo en la región.

Funciones del Consejo Rector

Son funciones del Consejo Rector las siguientes:

1. Actuar como representantes de la población en general, a través de la participación, el diálogo, la articulación interinstitucional e intersectorial, la corresponsabilidad, el apoyo a la gestión y sus avances, la evaluación, el control y seguimiento a la gestión del PIGECA.
2. Recibir del Consejo Ejecutivo informes sobre la ejecución del Plan y adelantar acciones de seguimiento y control al mismo. Para adelantar estas gestiones podrán solicitar la información adicional que se requiera.
3. Promover y acompañar los proyectos de investigación y gestión en temas relacionados con el mejoramiento de la calidad del aire del AMM.
4. Motivar, a partir de los instrumentos jurídicos del PIGECA, la participación amplia y efectiva de los diferentes actores y consejos constituidos en el marco del PIGECA, de manera tal que se garantice la permanencia y continuidad de los actores en el proceso de implementación del plan.
5. Establecimiento de una mesa permanente para el diálogo y la articulación de las diferentes acciones que dependen del Gobierno Federal.
6. Delegar al consejo técnico ejecutivo para convocar y gestionar la creación de una mesa metropolitana, integrada por las diferentes municipalidades.

Secretaría técnica

La secretaría técnica del Consejo estará a cargo de la Secretaría de Medio Ambiente del Gabinete Ambiental del Gobierno de Nuevo León, quien tendrá como función principal el liderazgo de los encuentros ordinarios y/o extraordinarios requeridos.

La secretaría técnica deberá nombrar los enlaces técnicos para cada línea del PIGECA y, asimismo, deberá establecer los mecanismos de comunicación, actas y herramientas tecnológicas para garantizar la comunicación permanente con y desde el Consejo Rector.

Reuniones

El Consejo Rector se reunirá con la periodicidad que sus integrantes y la secretaría técnica del Consejo consideren pertinente y necesaria, de acuerdo con los requerimientos en la implementación del PIGECA. En todo caso, se generará como mínimo una reunión cada trimestre el primer año de ejecución del PIGECA, posterior podrá realizar reuniones de manera anual que permitan realizar la evaluación y seguimiento de la implementación de las medidas del PIGECA y del modelo de gobernanza establecido.

MESA DE ASESORÍA CIENTÍFICA

Integrantes

Los integrantes del Mesa de Asesoría Científica y Académica serán representantes de las instituciones de educación superior y grupos de investigación de la región (locales y nacionales), que cuenten con trabajos e investigaciones asociadas al análisis del conocimiento de la calidad del aire y sus afines; quienes los desarrollen podrán hacer parte de este. También debe acompañar este comité la representación de la institucionalidad pública, a través de representantes de funcionarios que hacen parte de la Secretaría de Medio Ambiente.

Funciones de la Mesa de Asesoría Científica y Académica:

Son funciones del Consejo Asesor Científico y Académico las siguientes:

1. Emitir conceptos técnicos que apoyen las decisiones relacionadas con la calidad del aire y sus efectos en la salud.
2. Cooperación recíproca para el asesoramiento de las actividades relacionadas con la operación de los sistemas de observación e información de variables meteorológicas y de calidad del aire.
3. Compartir información y materiales científicos y tecnológicos relacionados con la calidad del aire, emisiones y meteorología, así como su impacto en salud y clima, con la debida referencia para la protección de los derechos de autor.
4. Realizar la divulgación de los estudios de calidad del aire y meteorológicos, y sus afectaciones a la salud de la comunidad y el ambiente, por medio de talleres, charlas, congresos y/o la edición de publicaciones técnicas especializadas.
5. Promover y acompañar los proyectos de investigación y gestión en temas relacionados con la calidad del aire, emisiones, salud y clima.
6. Promover, apoyar y/o ejecutar actividades académicas para avanzar en el conocimiento de la problemática ambiental y en el desarrollo de la comunidad científica, autoridades ambientales, salud y de movilidad.
7. Analizar la evolución del PIGECA, evaluar las propuestas para la implementación de diferentes estrategias que involucren ciencia y tecnología, así como proponer acciones de mejora continua.
8. Cada institución o entidad permanecerá propietaria de los conocimientos, tecnologías, metodologías, software y herramientas, así como de todos los bienes protegidos por el sistema jurídico de propiedad intelectual que le son propios a disposición del Consejo.
9. Se podrá generar investigación de manera conjunta academia-Estado, de manera tal que den respuesta a soluciones y líneas del PIGECA.

10. Estimular la ciencia local.

11. Proponer y revisar propuestas de modificaciones a las medidas, programas y proyectos para alcanzar los objetivos y metas del PIGECA.

Secretaría técnica

De manera temporal, la Gerencia del PIGECA coordinará este consejo y su secretaría técnica, de manera tal que una vez esté constituido y con reconocimiento de las funciones podrán nombrar libremente la secretaría técnica.

Reuniones

La Mesa de Asesoría Científica y Académica se reunirá de manera ordinaria, según la agenda de trabajo establecida, como mínimo tres veces al año, y de forma extraordinaria cuando sea solicitado por la necesidad de abordar un tema específico.

La secretaría técnica deberá nombrar los enlaces técnicos para cada línea del PIGECA y, asimismo, deberá establecer los mecanismos de comunicación, actas y herramientas tecnológicas para garantizar la comunicación permanente con el Consejo.

MESA CON LA CIUDADANÍA

Integrantes

Los integrantes de la Mesa con la Ciudadanía serán representantes de las organizaciones no gubernamentales con importante representación en temas ambientales y de calidad del aire. También debe acompañar este comité la representación de la institucionalidad pública, a través de representantes de funcionarios que hacen parte de la Secretaría de Medio Ambiente.

Funciones

Son funciones de la Mesa con la Ciudadanía son las siguientes:

1. Ser garante de un sistema de gobernanza abierto, incluyente y participativo, en todos los momentos del proceso, desde la participación, ejecución y control social.
2. Establecer una herramienta de participación ciudadana, mediante la cual los habitantes del territorio generen una apropiación y sentido de pertenencia con la problemática de calidad del aire del territorio, posibilitando que haya más ciudadanos con conocimiento y tomando mejores decisiones en pro de la calidad del aire.
3. Coordinar con el Gabinete Ambiental del Gobierno de Nuevo León el desarrollo de, como mínimo, un espacio anual de capacitación masiva a través de espacios virtuales.
4. Proponer y revisar propuestas de modificaciones a las medidas, programas y proyectos para alcanzar los objetivos y metas del PIGECA.

Secretaría técnica:

La secretaría técnica del Mesa estará a cargo de la Dirección de Cultura y Educación Ambiental del Gabinete Ambiental del Gobierno de Nuevo León, quien tendrá como función principal el liderazgo de los encuentros ordinarios y/o extraordinarios requeridos.

La secretaría técnica deberá nombrar los enlaces técnicos para cada línea del PIGECA y, asimismo, deberá establecer los mecanismos de comunicación, actas y herramientas tecnológicas para garantizar la comunicación permanente con la Mesa.

Reuniones

La Mesa con la Ciudadanía se reunirá de manera ordinaria, según la agenda de trabajo establecida, como mínimo tres veces al año, y de forma extraordinaria cuando sea solicitado por la necesidad de abordar un tema específico.

COORDINACIÓN TÉCNICO-EJECUTIVA

Integrantes

Los integrantes de la Coordinación Técnico-Ejecutiva estarán liderados por el gerente del PIGECA, nombrado por el gobernador y perteneciente a la Agencia de Calidad del Aire del Estado de Nuevo León, y estará conformado por el equipo interno del gobierno y sus enlaces; debe estar incluido el sector salud, quien será clave en la conformación de esta Coordinación. El gerente del PIGECA nombrará los enlaces para cada una de las mesas anteriores y sistematizará los trabajos y tareas de todas las demás mesas. Esta Coordinación está conformada por la Institucionalidad pública de los niveles Federal, Estatal y Municipal, específicamente quienes toman decisiones técnicas y jurídicas, incluyendo la participación del Procurador Estatal.

Funciones de la Coordinación Técnico-Ejecutiva

Son funciones de la Coordinación las siguientes:

1. Coordinación general del seguimiento y gestión del PIGECA y su sistema de gobernanza.
2. Integrar, articular y coordinar el equipo técnico interno y la generación de sus enlaces con las demás instancias de la gobernanza.
3. Gestionar la instalación de la Mesa Metropolitana de Gestión de la Calidad del Aire para la construcción del PIGECA, mediante la cual se delegará los diferentes enlaces en los espacios donde se requieran acciones desde los territorios.
4. Articular los diferentes actores públicos de las diferentes secretarías que aportan a la implementación de medidas.
5. Apoyar la ejecución, control y seguimiento de las diferentes acciones y medidas prioritarias de las estrategias planteadas en el PIGECA, mediante mecanismos, criterios y lineamientos que propicien la vinculación de los diferentes sectores y actores.
6. Acordar y apoyar la realización de programas o necesidades conjuntas de investigación y desarrollo tecnológico, así como de fortalecimiento de capacidades, comunicación e involucramiento de actores públicos y privados, academia y ciudadanía, para los fines del PIGECA y temas relacionados.
7. Proponer y revisar propuestas de modificaciones a las medidas, programas y proyectos para alcanzar los objetivos y metas del PIGECA.
8. Evaluar periódicamente el avance de las medidas del PIGECA y el logro de sus metas, así como el cumplimiento de los acuerdos y determinaciones de esta Coordinación a que haya lugar.
9. Convocar, en caso de ser necesario, a la institucionalidad pública, privada, academia y ciudadanía a espacios de participación, para hacer seguimiento y evaluación de la implementación del PIGECA.

10. Apoyar la gestión ante el Gobierno Federal, estatal y local, para la adopción de políticas, normatividad y la asignación de recursos para la gestión de la calidad del aire en el Estado de Nuevo León y para el AMM, que posibiliten el cumplimiento de las metas del PIGECA y demás acciones correspondientes a la protección de la salud de la ciudadanía.
11. Las demás que acuerde el Consejo Rector y que tengan relación con la gestión del PIGECA.

Secretaría técnica

La secretaría técnica de la Coordinación Técnico-Ejecutivo estará a cargo de la Subsecretaría de Cambio Climático y Calidad del Aire del Gabinete Ambiental del Gobierno de Nuevo León, quien tendrá como función principal el liderazgo de los encuentros ordinarios y/o extraordinarios requeridos.

La secretaría técnica deberá nombrar los enlaces técnicos para cada línea del PIGECA y, asimismo, deberá establecer los mecanismos de comunicación, actas, y herramientas tecnológicas para garantizar la comunicación permanente con la Coordinación Técnico-Ejecutiva.

Reuniones

La Coordinación Técnico-Ejecutiva se reunirá de manera ordinaria, según la agenda de trabajo establecida, como mínimo tres veces al año, y de forma extraordinaria cuando sea solicitado por la necesidad de abordar un tema específico.

Coordinación Técnico-Ejecutiva

Los integrantes de la Coordinación Técnico-Ejecutiva Interna serán los siguientes:

- Un representante técnico de la Dirección de Política de Cambio Climático.
- Un representante técnico de la Dirección de Cultura y Educación Ambiental.
- Un representante técnico de la Dirección del Registro Estatal de emisiones.
- Un representante técnico de la Dirección de Gestión Integral del aire.
- Un representante técnico de la Dirección de Conservación de la Biodiversidad y del Suelo.
- Un representante técnico de la Dirección de Impacto y Riesgo Ambiental.
- Un representante técnico de la Dirección de Inspección y Vigilancia.

MESA INTERSECTORIAL

Integrantes

La Mesa Intersectorial estará integrada por representantes de la institucionalidad pública y privada; por ser un organismo de participación será abierto y, como mínimo, se garantizará la convocatoria de:

- Asociaciones del sector industria, transporte, comercio, construcción y combustibles, entre otros.
- Industrias representativas.
- Representantes de transporte de carga.
- Empresas de transporte público.
- Secretarías de tránsito de las municipalidades.
- Representante de la Dirección de Inspección y Vigilancia.
- Delegado de la SEMARNAT en el territorio.
- Procurador estatal.
- Representantes de salud.

Funciones

Son funciones de la Mesa Intersectorial las siguientes:

1. Identificar y evaluar los avances y dificultades del sector industrial y de transporte en la implementación de las acciones planteadas en el PIGECA para el cumplimiento de las metas de reducción de emisiones atmosféricas en el AMM.
2. Sectorizar, a través de mesas, el establecimiento de compromisos desde la industria y el transporte.
3. Convocar a actores estratégicos para momentos de trabajo puntuales, de tal manera que se fortalezcan las capacidades para identificar buenas prácticas de prevención y control de emisiones contaminantes.
4. Dar a conocer los avances generales en la implementación del PIGECA en los periodos de evaluación intermedia.
5. Proponer medidas para mejorar la efectividad y eficacia de las acciones del PIGECA y el adecuado cumplimiento de sus metas.
6. Socializar y discutir los avances y resultados de la Mesa Intersectorial, así como realizar la convocatoria para las mesas de trabajo puntuales al interior de cada subsector.
7. Gestionar el cumplimiento de las tareas para cada giro que se generen en las reuniones de la Mesa Intersectorial.
8. Dar evidencias (actas, listas de asistencia, fotos, etc.) de las reuniones sostenidas al interior de cada giro con fines de abordar temas a ser trabajados en la Mesa Intersectorial.
9. Promover al interior de su giro, las acciones que permitan dar cumplimiento a las metas planteadas en el PIGECA destinando los recursos necesarios para ello.
10. El representante de cada giro deberá asistir a todas las reuniones programadas en el año, con el fin de garantizar la validez y avance en el tema de interés. De no cumplirse dicha asistencia, los temas o inquietudes que se presenten al año siguiente no serán considerados como prioritarios.

Secretaría técnica

La secretaría técnica de la Mesa Intersectorial estará a cargo de la Subsecretaría de Cambio Climático y Calidad del Aire y de la Procuraduría Estatal de Medio Ambiente del Gabinete Ambiental del Gobierno de

Nuevo León, quienes tendrán como función principal el liderazgo de los encuentros ordinarios y/o extraordinarios requeridos.

La secretaría técnica deberá nombrar los enlaces técnicos para cada línea del PIGECA y, asimismo, deberá establecer los mecanismos de comunicación, actas, y herramientas tecnológicas para garantizar la comunicación permanente con la mesa.

Reuniones

Se realizará, como mínimo, una mesa en pleno, previa convocatoria de la secretaría técnica, y en forma extraordinaria cuando sea solicitado por alguno de sus integrantes. Se convocará un cronograma de trabajo para las diferentes mesas sectoriales de industria y transporte.

MESA DE COMUNICACIÓN PÚBLICA

Integrantes

Los integrantes de la mesa de comunicación pública serán los siguientes:

- Enlace Comunicacional del Estado de Nuevo León.
- Enlace Comunicacional de la Secretaría de Medio Ambiente.
- Enlace Comunicacional de cada una de las municipalidades del AMM.
- Líderes de comunicación.

Funciones

Son funciones de la mesa de comunicación pública las siguientes:

1. Debe ser el espacio donde se capture, procese y transmita la información a los diferentes sectores y actores de la sociedad de forma efectiva y útil.
2. Desarrollar un plan de comunicación pública del proceso de formulación e implementación del PIGECA.
3. Garantizar medios fidedignos, confiables, con información en tiempo real.
4. Generar sistemas de información de control social y seguimiento público.
5. Fortalecer la generación de datos abiertos.
6. Generar una estrategia de comunicación de la información de la calidad del aire que sea coherente, confiable e incluyente. Para ello se deberá contar con sistemas de información de los datos de calidad del aire, confiable y en tiempo real.
7. Articular e integrar de manera permanente con las demás mesas las estrategias comunicacionales y sociales en temas de calidad del aire de interés para la ciudadanía.
8. Apoyar la ejecución y promoción de los eventos masivos del interés de las diferentes mesas.

Secretaría técnica

La secretaría técnica de la Mesa Técnica Comunicacional estará a cargo de la Unidad de Enlace de Comunicación Social del Gabinete Ambiental del Gobierno de Nuevo León, quien tendrá como función principal el liderazgo de los encuentros ordinarios y/o extraordinarios requeridos.

La secretaría técnica deberá nombrar los enlaces técnicos para cada línea del PIGECA y, asimismo, deberá establecer los mecanismos de comunicación, actas y herramientas tecnológicas para garantizar la comunicación permanente con la mesa.

Reuniones

El Consejo Técnico Comunicacional se reunirá de manera ordinaria, según la agenda de trabajo establecida, como mínimo tres veces al año, y de forma extraordinaria cuando sea solicitado por la necesidad de abordar un tema específico.

MESA DE SALUD Y CALIDAD DEL AIRE

Integrantes

Los integrantes de la Mesa de Salud y Calidad del Aire serán los siguientes:

- Secretaría de Salud del Estado de Nuevo León.
- Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Nuevo León.
- Enlace de salud de las municipalidades del AMM.

Funciones

Son funciones de la mesa de salud y calidad del aire:

1. Elaborar un plan de actuación para la funcionalidad de la mesa de salud y calidad del aire
2. Generar un plan de acción que permita hacer seguimiento a la implementación del PIGECA y seguimiento a los indicadores de calidad del aire y salud.
3. Generar reportes de seguimiento.

Secretaría técnica

La secretaría técnica estará a cargo de la Secretaría de Salud del Gobierno de Nuevo León, quien tendrá como función principal el liderazgo de los encuentros ordinarios y/o extraordinarios requeridos.

Reuniones

Se reunirá de manera ordinaria, según la agenda de trabajo establecida, como mínimo tres veces al año, y de forma extraordinaria cuando sea solicitado por la necesidad de abordar un tema específico.

9.1.2. Convocatoria e integración de las diferentes mesas

Una vez el PIGECA entre en vigencia, el Gobierno de Nuevo León solicitará a través de medios masivos y comunicaciones oficiales la participación de los actores que harán parte de las diferentes instancias, para que determinen oficialmente y por escrito el nombre, cargo y datos de contacto de representantes, quienes deberán tener las competencias y facultades para actuar en nombre de la entidad que represente; en caso de que la persona delegada vaya a ser reemplazada, se deberá informar de manera oficial y cada entidad tendrá la responsabilidad de realizar el respectivo empalme para garantizar la continuidad del trabajo.

Para el proceso de integración y/o conformación de las instancias de asesoría, se realizará un acto en el cual cada uno de los integrantes firmará el acta de integración del Consejo o Mesa de la que hará parte.

9.2. Seguimiento de medidas a partir de indicadores

Este componente de seguimiento del PIGECA debe llevarse a cabo de forma continua a través de la evaluación del estado de la implementación de las acciones propuestas para cada medida. Esta evaluación se propone se realice con ayuda de los indicadores formulados para cada medida que se encuentran en las fichas de formulación y se compilan en el ANEXO 7, acompañados de sus correspondientes cronogramas y metas propuestas.

Este ejercicio busca que el PIGECA sea una herramienta flexible y reactiva, en la cual se permitan tomar medidas correctivas a tiempo para su exitosa implementación. Su elaboración se propone se realice para cada medida de forma anual, dejando registro de su desarrollo en un documento de revisión de PIGECA que se propone en la sección 9.3.

La metodología propuesta de seguimiento y evaluación de las medidas se presenta como esquema en la Figura 89Figura y se detalla a continuación:

- **Seguimiento a indicadores:** esta metodología se inicia con el seguimiento a las medidas a partir de la evaluación de avance de los indicadores, lo cual requiere una periódica recopilación de información para su actualización que debe ser mínimo dos veces al año.
- **Evaluación de indicadores y avance de las medidas:** se prosigue con la evaluación de la medida basada en el avance de los indicadores y un análisis del estado de implementación de la medida, la cual incluye materialización de barreras.
- **¿Se requiere ajustes a la medida?:** Según el análisis anterior, si una medida presenta retrasos significativos en la implementación de sus acciones y no se identifican soluciones a corto y mediano plazo que subsanen dicho retraso, se debe tomar la decisión de reformular la medida. Esta reformulación puede incluir cambio en plazos de ejecución, en metas propuestas, en las acciones planteadas o en la estructura de los mismos indicadores. Sin embargo, cada modificación debe tener como respaldo un concepto técnico que justifique de forma clara las modificaciones propuestas.

Si se encuentra un escenario intermedio en donde hay un regular avance en los indicadores, pero se identifican acciones a corto y mediano plazo que permitan dar avance y subsanar el retraso, no se realizarán ajustes a la medida y se esperará al siguiente periodo de evaluación, en donde, si se evidencia nuevamente retrasos significativos, se proseguirá con modificaciones a la medida. Si, por el contrario, la medida presenta un reporte positivo de sus indicadores, se reinicia el ciclo metodológico, continuando con el seguimiento de la medida a partir de los indicadores en el siguiente periodo de evaluación.

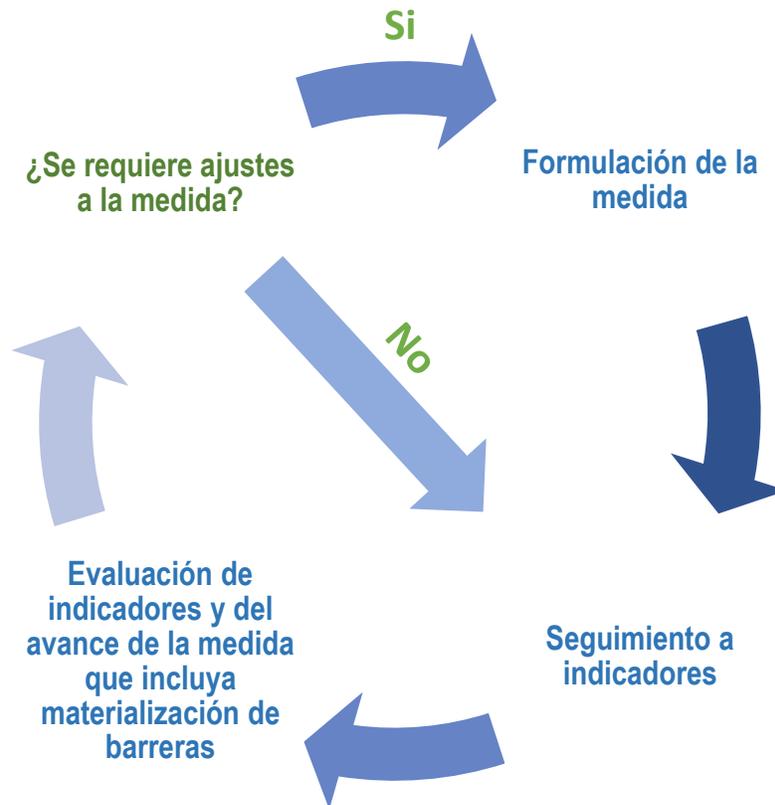


Figura 89. Metodología de seguimiento y evaluación de medidas a partir de indicadores

9.3. Seguimiento a las metas del PIGECA

Como parte del cumplimiento del PIGECA, se debe hacer seguimiento a las mediciones de la red de monitoreo de calidad del aire en cuanto a los valores promedio por estación de las concentraciones de $PM_{2.5}$, teniendo como referencia la meta del PIGECA planteada en la Sección 3 de este documento y las normas vigentes de niveles permisibles a nivel federal. Asimismo, se debe hacer seguimiento a la concentración de los demás contaminantes criterio como NO_x , SO_2 , COV , O_3 , alertando aumentos en el tiempo y teniendo como referencia el cumplimiento de la normativa vigente. Si se da el caso de no avanzar de forma positiva el cumplimiento de estas metas, se realizará un análisis detallado de causalidad en donde se puedan identificar puntos claves y tomar acciones correctivas a corto y mediano plazo.

De igual modo, los inventarios de emisiones permiten ser una herramienta de seguimiento al avance de las medidas y en general al cumplimiento del PIGECA, teniendo como referencia la proyección de emisiones de impacto que se presentan en las fichas por medida. Es así que la periódica actualización del inventario es fundamental para hacer seguimiento al PIGECA y para actualizar las metas de las medidas.

Este análisis de concentraciones y emisiones de contaminantes, así como los resultados de la evaluación de indicadores, se propone se reporten en un informe anual de seguimiento al PIGECA que debe contener como mínimo:

- El análisis realizado por medida con la metodología expuesta en la sección 9.2.

- Presentación de avance de indicadores generales por medidas.
- Análisis de inventarios de emisiones que permita dar cuenta del avance en las proyecciones de emisiones con la implementación del PIGECA.
- Análisis de las concentraciones de contaminantes en el aire utilizando la información de la red de monitoreo que permita comparar los resultados con la meta de concentración de PM_{2.5} del PIGECA.

Los resultados del informe deberán ser publicados y socializados a todos los actores a través del esquema de gobernanza y a la ciudadanía en general mediante los diferentes canales de comunicación. Se pueden explorar mecanismos de difusión interactivos vía web que permitan presentar tablas o graficas dinámicas, facilitando la divulgación transparente de los avances encontrados.

Como parte de este seguimiento se debe garantizar el funcionamiento de herramientas de seguimiento como son: la red de monitoreo de calidad del aire, la actualización periódica de los inventarios de emisiones y el análisis de los beneficios en salud que generen la reducción de la contaminación en el aire.

Mecanismos de financiación

10. MECANISMO DE FINANCIAMIENTO

Las secciones anteriores del PIGECA han mostrado, principalmente, la situación actual del Área Metropolitana de Monterrey que incide en la emisión de contaminantes y el detrimento del recurso aire, así como las medidas que permitirán prevenir y mitigar esta problemática. El diseño de este Plan estaría incompleto si no se acompaña de una propuesta de mecanismo de financiación, implementación y sostenibilidad en el tiempo.

Por lo anterior, se ha incluido esta sección que muestra una estrategia de financiamiento y las alternativas de fuentes de recursos que puede considerar el Gobierno del Estado de Nuevo León y los demás actores involucrados en la gobernanza ambiental del AMM para el logro de las metas propuestas. La ruta propuesta para la estrategia de financiamiento se presenta en la Figura 90.

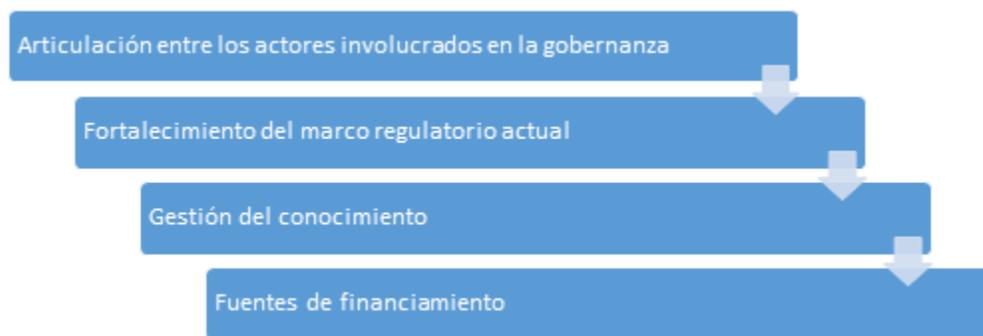


Figura 90. Ruta de la estrategia de financiamiento del PIGECA del AMM

En primer lugar, debe entenderse con profunda convicción que el financiamiento a la gestión de la calidad del aire tiene como resultado grandes beneficios a la población, el medio ambiente (Clean Air Fund, 2021) e incluso políticos.

Adicionalmente, debido a la complejidad de fuerzas motrices y características físico-naturales que contribuyen a la problemática de la calidad del AMM, la estrategia de financiamiento amerita una sólida articulación entre los distintos actores involucrados en la gobernanza de esta temática: gobierno en todos sus niveles, industrias y otros entes privados, sociedad civil, población en general y academia. La gestión sinérgica, articulada y cohesionada optimiza el uso de recursos disponibles y profundiza el logro de objetivos y metas. Además, es importante concebir e implementar proyectos que logren múltiples beneficios y se soporten con diversas agendas y sectores (Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados a la salud, medio ambiente y sostenibilidad, reducción de la desigualdad, mitigación del cambio climático, entre otros), lo cual abre mayores posibilidades de financiamiento (Red Intergubernamental de Contaminación Atmosférica para América Latina y el Caribe, 2022).

Otro aspecto importante es el aprovechamiento del marco regulatorio actual, así como su actualización y mejora, con la finalidad de fortalecer la gobernanza, los instrumentos económicos vigentes y crear otros que sean pertinentes, además de estímulos positivos (bajas tasas de interés, apoyos, exenciones, entre otros) y negativos (como sanciones administrativas relacionadas a multas y ventas de bienes confiscados por ilícitos ambientales), mismos que pueden contribuir a contar con mayores recursos para la implementación oportuna y sostenible de las medidas diseñadas en el PIGECA, con las cuales se mejore la calidad del aire en el AMM. Al respecto, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y la Ley Ambiental del Estado de Nuevo León brindan soporte al contener las facultades del

gobierno federal, estatal y municipal en estas temáticas, incluyendo la posibilidad de establecer e implementar instrumentos e incentivos económicos, sanciones administrativas, autorizaciones, permisos, entre otros, con los cuales se pueden obtener recursos económicos y disponerlos en la gestión de la calidad del aire.

Otro elemento para destacar es la gestión de conocimiento existente y que se seguirá fortalecimiento a medida que se implementen medidas previstas en el PIGECA, lo cual tiene múltiples beneficios, pero, a la luz de la estrategia de financiamiento, generará “la información necesaria para apoyar las solicitudes de apoyo y para justificar las donaciones y recursos ya recibidos ante las instituciones, fondos y grupos aportantes a lo largo” del tiempo (Poder Ejecutivo de Morelos y SEMARNAT, 2018).

Finalmente, la estrategia de financiamiento amerita: a) la realización de un mapeo e identificación de potenciales **fuentes de financiación** de distintos tipos, así como b) explorar y convocar a las fuentes de financiamiento identificadas para examinar oportunidades de recursos para el desarrollo de las medidas aprobadas en el PIGECA. A continuación, se presentan las opciones internacionales (Tabla 43), nacionales y estatales/locales (Tabla 44) de fuentes de recursos identificadas al momento de la formulación de la presente estrategia de financiamiento, las cuales se sugiere actualizar de manera anual debido a que suelen ir cambiando con el transcurrir del tiempo.

Tabla 43. Fuentes de financiamiento internacionales

Nombre	Descripción	Fuente información
Banco Mundial (BM)	El Grupo Banco Mundial se autodefine como “una de las fuentes más importantes de financiamiento y conocimiento para los países en desarrollo”. Está “comprometido a reducir la pobreza, aumentar la prosperidad compartida y promover el desarrollo sostenible”, para lo cual tienen variedad de productos financieros, asistencia técnica y ayuda a los países. Diversos países de Latinoamérica, incluyendo México, han sido adjudicados con distintos tipos de financiamiento a lo largo de los años, incluyendo en el área ambiental y cambio climático, por lo que es una importante opción que puede beneficiar proyectos y medidas para mejorar la calidad del aire.	https://www.worldbank.org/en/wh-at-we-do
Banco Interamericano de Desarrollo (BID)	Es una institución internacional que realiza préstamos, donaciones y asistencia técnica, además de diversas investigaciones, los cuales vayan orientados en mejorar la calidad de vida de los países de América Latina y el Caribe. Buscan colaborar en mejoras de salud, educación e infraestructuras de los países, así como abordar de manera transversal la capacidad institucional, el Estado de derecho, la igualdad de género, la diversidad, el cambio climático y la sostenibilidad ambiental. Conscientes de que muchas de las estrategias del PIGECA abordan de manera directa e indirecta estas temáticas, a través de la reducción de emisiones contaminantes, el BID se constituye en una posible fuente de recursos.	https://www.iadb.org/es/acerca-del-bid/perspectiva-general
Banco de Desarrollo de América Latina (CAF)	Es un banco de desarrollo que ofrece apoyo financiero a los sectores público y privado de los países accionistas de la organización, así como generar conocimiento para el diseño y mejora de las políticas públicas. Se autodefine como una institución “comprometida con mejorar la calidad de vida de todos los latinoamericanos y caribeños”, además de promover el desarrollo sostenible y la integración de la región. En el año 2022, apoyó programas y proyectos relacionados con agua y alcantarillado, mejoras en el entorno del hábitat, infraestructura energética, transporte sostenible, adaptación del cambio climático y financiamiento verde. Diversas medidas establecidas en el PIGECA están relacionadas con estas temáticas que apoya el CAF, lo cual lo convierte en una posible fuente de financiamiento para su implementación.	https://www.caf.com/es/temas/a/ambiente-y-cambio-climatico/proyectos/
Coalición Clima y Aire Limpio (CCAC)	“Es una asociación voluntaria de gobiernos, organizaciones intergubernamentales, empresas, instituciones científicas y organizaciones de la sociedad civil comprometidas con mejorar la calidad del aire y proteger el clima a través de acciones para reducir los contaminantes climáticos de vida corta”. Dentro de su	https://www.ccacoalition.org/

Nombre	Descripción	Fuente información
	<p>estrategia prevista para el 2030 está la movilización de recursos para el apoyo de acciones de los países, así como el fortalecimiento de capacidades para lograr importantes reducciones de emisiones, especialmente de metano, hidrofluorocarbonos y carbono negro. Esta organización es una potencial fuente de financiamiento de acciones que se realicen en el país para la reducción de emisiones, lo cual también puede ser beneficioso para el AMM y el resto del estado de Nuevo León.</p>	
<p>Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)</p>	<p>Como autoridad ambiental líder a nivel mundial, el PNUMA se encarga de establecer la agenda ambiental global. “Su misión es proporcionar liderazgo y alentar el trabajo conjunto en el cuidado del medio ambiente, inspirando, informando y capacitando a las naciones y a los pueblos a mejorar su calidad de vida sin comprometer la de las futuras generaciones”. La Oficina Regional para América Latina y el Caribe (ALC) tiene la secretaría de la Red Intergubernamental de Contaminación Atmosférica y apoya la organización del Foro de Ministros de Medio Ambiente de ALC. Además, brinda asistencia técnica y acompañamiento a los países de la región en diversas temáticas, incluyendo la gestión de la calidad del aire, y cuenta con el “proyecto regional de preparación: avanzando con un enfoque regional hacia la movilidad eléctrica en América Latina” (Red Intergubernamental de Contaminación Atmosférica para América Latina y el Caribe, 2022).</p>	<p>https://www.unep.org/es/sobre-el-programa-de-la-onu-para-el-medio-ambiente/por-que-nuestro-trabajo-es-importante?_ga=2.61581612.124543323.1683577931-926428824.1662031864</p>
<p>Organización Panamericana de la Salud (OPS)</p>	<p>Es la organización internacional especializada en salud pública de las Américas y sirve como Oficina Regional para las Américas de la OMS. Trabaja con los países de la región para mejorar y proteger la salud de su población, además de brindar cooperación técnica en salud, combatir las enfermedades transmisibles y atacar los padecimientos crónicos y sus causas, fortalecer los sistemas de salud y dar respuesta ante situaciones de emergencia y desastres. “Trabaja en forma colaborativa con los ministerios de Salud y otras agencias de gobierno, organizaciones de la sociedad civil, agencias internacionales, universidades, organismos de la seguridad social, grupos comunitarios y otros socios”. La relación e impacto en salud de la contaminación del aire es una de las áreas de trabajo de la OMS y OPS, por lo que sirve como institución de apoyo y cooperación técnica en salud para el AMM.</p>	<p>https://www.paho.org/es/quienes-somos</p>
<p>Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)</p>	<p>“Se fundó para contribuir al desarrollo económico de América Latina, coordinar las acciones encaminadas a su promoción y reforzar las relaciones económicas de los países entre sí y con las demás naciones del mundo. Posteriormente, su labor se amplió a los países del Caribe y se incorporó el objetivo de promover el desarrollo social”. La CEPAL “lidera iniciativas regionales de apoyo al diseño e implementación de medidas de política pública... que contribuyen al cumplimiento de las metas propuestas en las Contribuciones Nacionalmente Determinadas de los países” (Red Intergubernamental de Contaminación Atmosférica para América Latina y el Caribe, 2022).</p>	<p>https://www.cepal.org/es/acerca</p>
<p>Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF)</p>	<p>Es una agencia que se encarga de proteger los derechos de la infancia en todo el mundo, incluyendo el derecho a la salud, además de brindar ayuda humanitaria. Debido a la relación calidad del aire-salud, la UNICEF y otras agencias de Naciones Unidas han unido esfuerzos para brindar orientaciones sobre salud y ambiente, dentro de las cuales hay un compendio específico sobre contaminación del aire. El fortalecimiento del sistema de salud y otras medidas similares, pudieran ser objeto de apoyo por parte de la UNICEF en el marco de la gestión de la calidad del aire en el AMM.</p>	<p>https://www.unicef.org/es/acerca-de-unicef https://www.who.int/tools/compendium-on-health-and-environment/air-pollution-and-health</p>
<p>Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID)</p>	<p>Fue creada “para dirigir los esfuerzos humanitarios y de desarrollo internacional del gobierno de los Estados Unidos”, además de “fortalecer la gobernabilidad democrática y ayudar a las personas a progresar más allá de la asistencia”. Dentro de sus áreas de acción se encuentra “medio ambiente, energía e infraestructura”. Allí se ubica un subtema de acción sobre “contaminación y ciudades verdes” donde se encuentra la reducción de la contaminación del aire; cambio climático y energía son otros subtemas existentes. La USAID es particularmente importante como fuente de financiamiento para el AMM, por cuanto Nuevo León es uno de los</p>	<p>https://www.usaid.gov/environme nt-energy-infrastructure https://www.usaid.gov/mexico/our-work/global-climate-change</p>

Nombre	Descripción	Fuente información
	estados mexicanos que limita con los EE.UU. De hecho, la USAID apoya las prioridades climáticas y de desarrollo del Gobierno de México a través de una serie de programas y asociaciones que promueven soluciones climáticas naturales y eficiencia energética.	
Instituto de Efectos de la Salud (HEI)	Es una corporación sin fines de lucro constituida... como una organización de investigación independiente para proporcionar ciencia relevante, imparcial y de alta calidad sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud". La institución recibe recursos de la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. y la industria mundial de vehículos, además de otras organizaciones públicas y privadas. Es concebida como una fuente de financiamiento para la realización y acompañamiento de proyectos de investigación, lo cual es afín con las medidas previstas en el PIGECA para reforzar el conocimiento científico que se genera en el AMM con respecto a la gestión de la calidad del aire, reducción de emisiones, impactos en salud, entre otros. De hecho, la investigación de Romieu et al. (2012) desarrollada en nueve ciudades latinoamericanas, incluyendo el AMM, sobre mortalidad y contaminación del aire fue desarrollada con fondos del HEI.	https://www.healtheffects.org/about
Fondo de Prosperidad México - Reino Unido	Es un programa bilateral que busca contribuir con el desarrollo económico sostenible de México. Posee varios ejes de los cuales se destaca Ciudades del Futuro, donde se aborda la movilidad incluyente, eficiente y sustentable. Al respecto, el Gobierno de Nuevo León y la Embajada de Reino Unido ya poseen un memorando de entendimiento firmado entre ambas partes "para brindar asistencia técnica para la implementación del Centro de Gestión para la Movilidad en el Área metropolitana de Monterrey". La movilidad eficiente y baja en carbono es una de las áreas que abordan las medidas previstas en el PIGECA, la cual podría recibir financiamiento de este programa bilateral.	https://centrourbano.com/urbanismo/reino-unido-colaborara-con-nl-para-crear-centro-de-gestion-para-la-movilidad/
México - UK PACT	"El PACT México-Reino Unido apoya proyectos que responden a las prioridades emergentes de México, al tiempo que logran reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la pobreza". De esta manera, se constituye en otra alianza bilateral, la cual hasta este momento ya ha podido financiar "proyectos, intercambio de habilidades y adscripciones en cinco sectores prioritarios: finanzas, movilidad, política de bajas emisiones de carbono, energía y naturaleza". Todas estas áreas de financiamiento son de interés para lograr una mejor calidad del aire en el AMM. En noviembre de 2022 el Gobierno de Nuevo León logró renovar el acuerdo de cooperación entre el Gobierno británico y gobiernos subnacionales de México, por lo que es una opción vigente de fuente de recursos en el marco del PIGECA.	https://www.ukpact.co.uk/country-programme/mexico https://www.nl.gob.mx/boletines-comunicados-y-avisos/refrenda-gobierno-britanico-recursos-para-nuevo-leon
Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID)	"La protección del medio ambiente y la lucha contra el cambio climático son ejes centrales de la Cooperación Española" a través del trabajo que la AECID realiza en el mundo. En el caso de la relación con México, existe una preferencia por las Alianzas Público-Privadas para el Desarrollo y la transferencia de conocimiento, y por la I+D+I. Estas preferencias pueden ser tomadas en cuenta por parte de los actores involucrados en la gestión de la calidad del aire del AMM a la hora de analizar opciones para el apoyo internacional en la implementación del PIGECA.	https://www.aecid.es/ES/sectores-de-cooperaci%C3%B3n/medio-ambiente-y-cambio-clim%C3%A1tico
Agencia Francesa para el Desarrollo (AFD)	"La AFD contribuye a poner en práctica la política de Francia en materia de desarrollo y de solidaridad internacional. A través de sus actividades de financiamiento del sector público y de las ONG, de sus trabajos y publicaciones de investigación, de capacitación en materia de desarrollo sostenible y de concientización en Francia, financia, ayuda e impulsa las transiciones hacia un mundo más justo y resiliente". En México han desarrollado varios proyectos, dentro de los cuales conviene destacar la reducción de emisiones en el sector agropecuario, que busca "el financiamiento de prácticas innovadoras, rentables y sostenibles en el sector agrícola permitirá fomentar un desarrollo más sobrio en carbono y orientado a atender a las poblaciones más vulnerables".	https://www.afd.fr/es/grupo-afd https://www.afd.fr/es/carte-des-projets/reducir-las-emisiones-en-el-sector-agropecuario
Sociedad Alemana para	Es una empresa federal alemana sin fines de lucro que provee "servicios para la cooperación internacional para el desarrollo sostenible y el trabajo educativo	https://www.giz.de/de/ueber-die-giz/1689.html

Nombre	Descripción	Fuente información
la Cooperación Internacional (GIZ)	internacional”, cuyo principal cliente es el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo. Colaboran con el gobierno federal alemán, las instituciones de la Unión Europea, las Naciones Unidas, el sector privado y los gobiernos de otros países. “GIZ apoya a los socios mexicanos en proyectos de energía sostenible, protección ambiental y conservación de recursos, particularmente en las áreas de protección ambiental urbana e industrial, conservación de la biodiversidad y cambio climático”.	https://www.giz.de/de/weltweit/306.html
Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA)	“Tiene como fin contribuir a la promoción de la cooperación internacional, así como al firme desarrollo de las economías de Japón y de todo el mundo, dando apoyo al desarrollo socioeconómico, la recuperación o la estabilidad económica de los países en desarrollo”. También es un ente que desarrolla y financia la generación de conocimiento. Al respecto, se han identificado estudios financiados por la JICA en el AMM y relacionados con la calidad del aire (Wakamatsu et al., 2017). El desarrollo de investigación aplicada en el AMM como parte de los proyectos que se desarrollen durante la implementación del PIGECA pueden ser financiados a través de esta fuente.	https://www.jica.go.jp/spanish/about/index.html

Tabla 44. Fuentes de financiamiento nacionales y locales

Nombre	Descripción	Fuente información
Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN)	“El FONADIN apoya proyectos de inversión en infraestructura promovidos por los gobiernos Federal, estatales y municipales, principalmente en los sectores de comunicaciones y transportes, hidráulico, medio ambiente y turístico”; incluyen estudios y proyectos, en otros casos puede ser la inversión para la ejecución. Los proyectos deben contar con la participación del sector privado, incluso privados con persona moral pueden ser objeto de apoyo si permiten asociaciones público-privadas. Los apoyos pueden ser recuperables y no recuperables.	https://www.fonadin.gob.mx/fni2/acerca-del-fonadin/preguntas-frecuentes/
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)	Es el ente público que define “las políticas públicas en materia de humanidades, ciencia, tecnología e innovación en todo el país con el objetivo de fortalecer la soberanía científica e independencia tecnológica de México”. Es responsable de establecer las estrategias y capacidades del país en investigación científica, desarrollo de tecnología e innovación. Asimismo, define las agendas de investigación prioritarias que procuran la comprensión y exploración de los retos importantes mexicanos en distintas materias clave, como lo son agua, medio ambiente, energía, salud, alimentación, vivienda, educación, cultura y otros. Esta resulta una opción para el financiamiento de estudios de investigación en las áreas de interés del PIGECA.	https://conahcyt.mx/
Programa de Mejoramiento Urbano (Pp273)	Corresponde al Programa presupuestario S273 bajo la responsabilidad de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). “Busca atender las condiciones de irregularidad de la tenencia de la tierra, la deficiencia en infraestructura urbana y equipamientos, los problemas de movilidad y limitada conectividad urbana, así como las limitaciones que enfrentan los gobiernos para la elaboración, actualización, implementación y evaluación de instrumentos de planeación territorial y urbana, para contribuir al acceso y ejercicio del derecho a la ciudad de las personas”. Todo ello en coordinación con los niveles de gobierno estatal, municipal y metropolitano, así como “en articulación transversal con políticas públicas federales en materia de infraestructura urbana, espacios públicos, movilidad y conectividad, medio ambiente”, entre otras. La población potencial, actualmente, es aquella “asentada en municipios y las demarcaciones territoriales de la Ciudad de México de las ciudades de 15,000 o más habitantes que forman parte del Sistema Urbano Nacional 2018 (SUN 2018)”.	https://mimexicolate.gob.mx/wp-content/uploads/2022/08/Estrategia-a-de-cobertura-PMU.pdf
Programa Banobras-FAIS	Es un programa del Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (Banobras) que le permite a los municipios adelantar un máximo de 25% de los recursos que se adjudican a través del Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social (FAIS) “y llevar a cabo obras que incidan directamente en el bienestar de la población... Entre los proyectos de infraestructura básica que se pueden financiar, se	https://www.gob.mx/banobras/articulos/financiamiento-para-el-bienestar-banobras-apoya-a-los-

Nombre	Descripción	Fuente información
	encuentran: agua potable, alcantarillado, drenaje, electrificación, urbanización e instalaciones educativas y de salud". Proyectos para la depuración de aguas residuales, electrificación y mejoras urbanísticas bajo enfoques de sostenibilidad y bajos en emisiones pudieran ser aplicables en el programa en el marco de las medidas del PIGECA.	municipios-del-pais-a-traves-del-programa-banobras-fais?idiom=es
Nacional Financiera Banca de Desarrollo (NAFIN)	Es una institución financiera pública que tradicionalmente ha servido como fuente de recursos económicos a entes privados (en la actualidad sobre todo a pequeñas y medianas empresas, así como emprendedores) y entes federales públicos. Su finalidad es contribuir al desarrollo económico del país. En la actualidad, sus líneas de acción consideran el desarrollo del sector energético, la producción de bienes de consumo y bienes intermedios, empresas alineadas con la vocación productiva de cada estado, desarrollo de infraestructura, adopción tecnológica en las empresas, I+D+I, entre otros. De esta manera, constituye una oportunidad de financiamiento para diversos actores que son necesarios para el mejoramiento de la calidad del aire del AMM, sobre todo industriales, empresas y sector público	https://www.nafin.com/portalnf/content/sobre-nafin/estrategia_2020_24.html
Plataforma Mexicana de Carbono – México²	Es una empresa de SIF ICAP, subsidiaria del Grupo Bolsa Mexicana de Valores. Fue creada con el respaldo de entes públicos, agencias de Naciones Unidas y apoyo internacional. La organización "ofrece una variedad de servicios y mecanismos para apoyar la transición hacia una economía más limpia y resiliente al cambio climático". Además, promueven la creación de un mercado con bonos verdes a través de alianzas con organizaciones internacionales, apoyan empresas y colaboran en la estructuración de proyectos verdes elegibles. Conscientes de la sinergia entre la agenda climática y de gestión de la calidad del aire, esta puede ser una opción de financiamiento en el marco del PIGECA	https://www.mexico2.com.mx/finanzas.php?id=29
Asociación Mexicana de Empresas de Gestión Energética, A.C. (AMEXGEN)	Es una asociación civil que congrega a empresas proveedoras y/o desarrolladoras de tecnologías para la eficiencia energética y ambiental, así como a profesionales en el área. Dentro de las organizaciones que acoge la AMEXGEN se encuentran "empresas del ramo financiero interesadas en invertir y/o financiar proyectos de Gestión de Energía y Eficiencia Energética", razón por la cual puede servir de enlace o promotor al momento de presentarse proyectos en esta área, entendiéndose que muchos de ellos pueden tener incidencia en el abatimiento de emisiones atmosféricas y, por ende, estar dentro del marco de las medidas previstas en el PIGECA.	https://www.amexgen.org/quienes-somos
Fondo Ambiental Metropolitano de Monterrey (FAMM)	Es una agrupación de entes privados que buscan "generar soluciones efectivas y eficientes, basadas en ciencia y en la suma de esfuerzos para lograr un medioambiente sano en Nuevo León". Han desarrollado estudios y proyectos orientados "a lograr la seguridad hídrica y una mejor calidad de aire en Monterrey y su área metropolitana". Recientemente, el FAMM financió la actualización del inventario de emisiones contaminantes del AMM realizada para el año base 2018 (CAI, 2022).	https://famm.mx/quienes-somos.php#quienes-somos

REFERENCIAS

Acuña-Askar, K., González, L.T., Mendoza, A., Kharissova, O.V., Rodríguez-Garza, A., Lara, E.M., Campos, A., López-Serna, D., Bautista-Carrillo, L.M., Alfaro-Barbosa, J.M. y Longoria-Rodríguez, F.E. (2022). Chemical Composition, Optical Properties and Sources of PM_{2.5} From a Highly Urbanized Region in Northeastern Mexico. *Front. Environ. Sci.*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.929449>

Ailshire, J. y Brown, L.L. (2021). The Importance of Air Quality Policy for Older Adults and Diverse Communities. *Public Policy Aging Rep*, 31(1), 33-37. <https://doi.org/10.1093/ppar/praa036>

Amador, O. (29 de marzo de 2022). *Parte I: ¿Qué contienen las partículas que respiramos?* Seminario de composición de las partículas y sus efectos en la salud, más allá de su tamaño. Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México.

Banco de México. (2020). La Actividad Económica en Áreas Metropolitanas ante la Pandemia de COVID-19 [Extracto de un reporte]. <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/reportes-sobre-las-economias-regionales/recuadros/%7B95F6137F-8AC6-D5EF-8774-710398B63D23%7D.pdf>

Bautista-Ramírez, M. A., Reyna-Caamaño, R. E., Mendoza-Domínguez, A. y Mejía-Velázquez, G. M. (2008). The 2005 mobile sources emission inventory for the MMA. *Conferencia: 101 Annual Conference of the Air & Waste Management Association*. https://www.researchgate.net/publication/236611550_The_2005_Mobile_Sources_Emission_Inventory_for_the_MMA

Baxter, P.J. (2000). Gases. In: P.J. Baxter, P.H. Adams, T.-C. Aw, A. Cockcroft y J.M. Harrington (Editores), *Hunter's Diseases of Occupations*. Arnold, Londres. <https://www.ivhnh.org/index.php/es/information/informationdifferent-volcanic-gases/carbon-dioxide>

Benítez-García, S.-E., Kanda, I., Wakamatsu, S., Okazaki, Y. y Kawano, M. (2014). Analysis of Criteria Air Pollutant Trends in Three Mexican Metropolitan Areas. *Atmosphere*, 5(4), 806-829. <https://doi.org/10.3390/atmos5040806>

Bishop, S. (2022). A deep dive on the health impacts of air pollution. *Clarity*. <https://www.clarity.io/blog/deep-dive-health-impacts-of-air-pollution>

Brook, R.D., Rajagopalan, S., Pope, C.A. 3rd, Brook, J.R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A.V., Holguin, F., Hong, Y., Luepker, R.V., Mittleman, M.A., Peters, A., Siscovick, D., Smith, S.C. Jr., Whitsel, L. y Kaufman, J.D. (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 121(21), 2331-78. <https://doi.org/10.1161/cir.0b013e3181d8e1>

Caetano, E. e Iniesta, R. (s.f.). *Identificación de cuencas atmosféricas en México* [Presentación digital]. <https://docplayer.es/58286477-Identificacion-de-cuencas-atmosfericas-en-mexico.html>

Calderón-Garcidueñas, L. y Ayala, A. (2022). Air Pollution, Ultrafine Particles, and Your Brain: Are Combustion Nanoparticle Emissions and Engineered Nanoparticles Causing Preventable Fatal

Neurodegenerative Diseases and Common Neuropsychiatric Outcomes? *Environ Sci Technol*, 56(11), 6847-6856. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04706>

Carrillo-Torres, E.R., Hernández-Paniagua, I.Y. y Mendoza, A. (2017). Use of Combined Observational- and Model-Derived Photochemical Indicators to Assess the O₃-NO_x-VOC System Sensitivity in Urban Areas. *Atmosphere*, 8(2), 22. <https://doi.org/10.3390/atmos8020022>

CEPAL. (2022). *El gas natural en México*. México D.F. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47981-gas-natural-mexico-impacto-la-politica-autosuficiencia-seguridad-soberania-la>

Centro Mario Molina. (2019). *Análisis de la contaminación por PM_{2.5} en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, enfocado a la identificación de medidas estratégicas de control*. <http://aire.nl.gob.mx/docs/reportes/Análisis de la Contaminación PM2 5 Monterrey.pdf>

Centro Mario Molina. (2020). *Caracterización Química de partículas Suspendidas PM_{2.5} en el Área Metropolitana de Monterrey, Estado de Nuevo León*. <http://aire.nl.gob.mx/docs/reportes/Informe Caracterización Química de PM25 en el AMM.pdf>

Cerón-Bretón, R.M., Céron-Bretón, J., de la Luz Espinosa Fuentes, M., Kahl, J., Espinosa-Guzmán, A.A., Martínez, R.G., Guarnaccia, C., del Carmen Lara Severino, R., Ramírez-Lara, E. y Francavilla A.B. (2021). Short-Term Associations between Morbidity and Air Pollution in Metropolitan Area of Monterrey, Mexico. *Atmosphere*, 12(10), 1352. <https://doi.org/10.3390/atmos12101352>

Cerón-Bretón, R.M., Cerón-Bretón, J., Kahl, J., Ramírez-Lara, E., Córdova-Quiroz, A., Espinosa-Guzmán, A., Muriel-García, M., Arenas-Hernández, G.G., Solís-Canul, J.A. y Rodríguez-Guzmán, A. (2019). *Atmospheric N and S Deposition Fluxes in the Metropolitan Area of Monterrey, Mexico and Its Relation with Criteria Air Pollutants and Meteorological Conditions*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79484>

Cerón-Bretón, J.G., Cerón-Bretón, R.M., Kahl, J.D.W., Lara-Severino, R.d.C., Ramírez-Lara, E., Espinosa-Fuentes, M.d.I.L., Rangel-Marrón, M. y Uc Chi, M.P. (2017). Atmospheric Levels of Benzene and C1-C2 Carbonyls in San Nicolas de los Garza, Nuevo Leon, Mexico: Source Implications and Health Risk. *Atmosphere*, 8(10), 196. <https://doi.org/10.3390/atmos8100196>

Cerón-Bretón, J.G., Cerón-Bretón, R.M., Kahl, J.D.W., Ramírez-Lara, E., Guarnaccia, C., Aguilar-Ucán, C. A., Montalvo-Romero, C., Anguebes-Franceschi, F. y López-Chuken, U. (2015). Diurnal and seasonal variation of BTEX in the air of Monterrey, Mexico: preliminary study of sources and photochemical ozone pollution. *Air Qual Atmos Health*, 8, 469–482. <https://doi.org/10.1007/s11869-014-0296-1>

Cervantes-Martínez, K., Stern, D., Zamora-Muñoz, J.S., López-Ridaura, R., Texcalac-Sangrador, J.L., Cortés-Valencia, A., Acosta-Montes, J.O., Lajous, M., Riojas-Rodríguez, H. (2022). Air pollution exposure and incidence of type 2 diabetes in women: A prospective analysis from the Mexican Teachers' Cohort. *Sci Total Environ*, 818, 151833. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151833>

Chacón-Anaya, D., Giner, M.E., Vázquez-Valles, M., Roe, S.M., Maldonado, J.A., Lindquist, H., Strode, B., Anderson, R., Quiroz, C. y Schreiber, J. (2010). *Emisiones de gases de efecto invernadero en Nuevo León y proyecciones de casos de referencia 1990-2025*. Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza, Center for

Climate Strategies y Gobierno del Estado de Nuevo León.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164936/2010_nl_inventario.pdf

Clean Air Fund. (2021). *The State of Global Air Quality Funding 2021*.
<https://www.cleanairfund.org/publication/global-funding-2021/>

Clean Air Institute. (CAI). (2022). *Inventario de Actualización del Inventario de Emisiones (Contaminantes Criterio) para el Área Metropolitana de Monterrey – año base 2018* [no publicado]

Clean Air Institute - Centro Mario Molina. (2018). *Caracterización de las dinámicas que afectan las emisiones y la calidad del aire en la Zona Metropolitana de Monterrey*. Monterrey.

Carmona-García, J.M., Lozano-García, D.F., Vanoye-García, A.Y., Yeppez-Rincón, F.D. y Mendoza-Domínguez, A. (2019). Concentration mapping and determination of influential variables in the regional distribution of PM_{2.5} using neural networks and the MERRA-2 reanalysis model. *2019 Colombian Congress and International Conference on Air Quality and Public Health – CASAP 2019*.

Carmona, J., Mendoza, A., Lozano, F., Gupta, P., Ríos, J., Mejía, G. y Hernández, I. (2017). Comparison of Satellite Data with Ground-Based Measurements for Assessing Local Distributions of PM_{2.5} in Northeast Mexico. *Fall Meeting of the American Geophysical Union*.
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2017AGUFM.A53A2192C/abstract>

Carmona, J. M., Gupta, P., Lozano-García, D. F., Vanoye, A. Y., Yépez, F. D. y Mendoza, A. (2020). Spatial and Temporal Distribution of PM_{2.5} Pollution over Northeastern Mexico: Application of MERRA-2 Reanalysis Datasets. *Remote Sensing*, 12(14), 2286. <https://doi.org/10.3390/rs12142286>

Chen, J., y Hoek, G. (2020). Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 143, 105974.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105974>

Coel Abogados. (23 de agosto de 2021). Nuevo Programa de Vigilancia Ambiental de Emisiones de Fuentes Móviles en el Estado de Nuevo León. *COEL Abogados & COEF Contadores*.
<https://coelabogados.mx/noticias/nuevo-programa-de-vigilancia-ambiental-de-emisiones-de-fuentes-moviles-en-el-estado-de-nuevo-leon/>

Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). (31 de diciembre de 2017a). Calor y contaminación: la contaminación ambiental y la dispersión de contaminantes asociados al cambio climático. *Gobierno de México*. <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/calor-y-contaminacion>

Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). (31 de diciembre de 2017b). Clasificación de los contaminantes del aire ambiente. *Gobierno de México*.
<https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/2-clasificacion-de-los-contaminantes-del-aire-ambiente>

Comisión Nacional de Agua y Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA y SMN). (s.f.). *Información, datos e informes meteorológicos* [Datos para Nuevo León y/o el Área Metropolitana de Monterrey, año 2022]. <https://smn.conagua.gob.mx/es/>

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2018). *Diagnóstico fitosanitario del Estado de Nuevo León 2018*. http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/04%20Diagnósticos%20Estatales/Programas%20de%20trabajo%20anuales/Nuevo_Leon.pdf

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2022). *Reporte de incendios* [Información para 2022]. <https://www.gob.mx/conafor/documentos/reportesemanal-de-incendios>

Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2022). *Catálogo de Metadatos Geográficos*. División política estatal 1:250000. Portal de Geoinformación 2022. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

Consejo Nacional de Población (CONAPO). (s.f.). *Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016-2050 y Proyecciones de la población de los Municipios de México, 2016-2030* [Visualizador de datos para municipios del AMM]. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/proyecciones-de-la-poblacion-de-los-municipios-de-mexico-2015-2030?idiom=es>

Consejo Nuevo León. (2020). *Marco demográfico de Nuevo León - Participa CONL*. <https://participa.conl.mx/pub/demografia>

Consejo Nuevo León (s.f.a). *Plan Estratégico para el Estado de Nuevo León 2015-2030*. <https://www.nl.gob.mx/publicaciones/plan-estrategico-para-el-estado-de-nuevo-leon-2015-2030>

Consejo Nuevo León. (s.f.b). *Sistema de indicadores del plan estratégico 2030: 29. Densidad poblacional del área metropolitana de Monterrey*. <https://www.conl.mx/indicadores/detalle/122>

Coordinación de Áreas Naturales Protegidas. (s.f.). *Áreas Naturales Protegidas en el Estado de Nuevo León* [Mapa]. https://www.nl.gob.mx/sites/default/files/mapa_areas_naturales_protegidas.pdf

Corona, T. (2023). Reseña del libro Sequía en Nuevo León 1953. *Reforma Siglo XXI*, 29(113). <https://reforma.uanl.mx/index.php/revista/article/view/46/39>

Data México. (2022). *Monterrey – Zona Metropolitana* [Datos]. Recuperado de: <https://datamexico.org/es/profile/geo/monterrey-991901?foreignMonth=201912&foreignYearSelector1=2019&foreignYearSelector2=2019&populationType=totalPopulation&timeNetTradeSelector=Year#population-and-housing>

De Vizcaya-Ruiz A., Gutiérrez-Castillo M.E., Uribe-Ramírez M., Cebrián M.E., Mugica-Alvarez V., Sepúlveda J., Rosas I., Salinas E., García-Cuéllar C., Martínez F., Alfaro-Moreno E., Torres-Flores V., Osornio-Vargas A., Sioutas C., Fine P.M., Singh M., Geller M.D., Kuhn T., Miguel A.H., Eiguren-Fernández A., Schiestl R.H., Reliene R., Froines J. (2006). Characterization and in vitro biological effects of concentrated particulate

matter from Mexico City. *Atmospheric Environment*, 40(2), 583-592.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.12.073>

Decreto por el que se establecen medidas para evitar el uso de artificios pirotécnicos en el Estado de Nuevo León. Poder Ejecutivo del Estado de Nuevo León. Periódico Oficial del Estado Libre y Soberano de Nuevo León: 12-12-2022.
http://sistec.nl.gob.mx/Transparencia_2015/Archivos/AC_0001_0007_00171112_000001.pdf

Fang, T., Guo, H., Zeng, L., Verma, V., Nenes, A. y Weber, R.J. (2017). Highly acidic ambient particles, soluble metals, and oxidative potential: a link between sulfate and aerosol toxicity. *Environmental Science and Technology*, 51 (5), 2611–2620. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06151>

Félix-Arellano, E.E., Schilman, A., Hurtado-Díaz, M., Texcalac-Sangrador, J.L., Riojas-Rodríguez, H. Revisión rápida: contaminación del aire y morbimortalidad por Covid-19. *Salud Pública de México*, 62(5), 582-589. <https://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/11481>

Finlayson-Pitts, B. J. y Pitts, J. N. (2000). *Chemistry of the upper and lower atmosphere: theory, Experiments, and Applications*. Academic Press, USA.

Forbes Staff. (16 de agosto de 2022). Monterrey inicia plan de corredores verdes con Parque Lago. Forbes México [*Forbes México*]. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/monterrey-inicia-plan-de-corredores-verdes-con-parque-lago/>

Franco, J. (2012). Contaminación atmosférica en centros urbanos. Desafío para lograr su sostenibilidad: caso de estudio Bogotá. *Revista EAN*, (72), 193-204.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-81602012000100013&lng=en&tlng=es

Fujita, E.M., Stockwell, W.R., Campbell, D.E., Keisler, R.E. y Lawson, D.R. (2003). Evolution of the magnitude and spatial extent of the weekend ozone effect in California's South Coast Air Basin. *J. Journal of the Air & Waste Management Association*, 53(7), 802–815.
<https://doi.org/10.1080/10473289.2003.10466225>

Gabinete de Generación de Riqueza Sostenible del Gobierno de Nuevo León. (2022). *Reporte meteorológico y de la calidad del aire. Enero 2022*.
http://aire.nl.gob.mx/docs/reportes/mensuales/2022/01_Reporte_Enero_2022.pdf

Gabinete de Generación de Riqueza Sostenible y Sistema Integral de Monitoreo Ambiental – Gobierno de Nuevo León. (2021). *Programa de Respuesta a Contingencias Atmosféricas: Zona Metropolitana de Monterrey*. http://aire.nl.gob.mx/prog_cont.html

García, L.E. (30 de marzo de 2023). Comunicación personal con los datos de morbilidad del Área Metropolitana de Monterrey en 2019 [correo electrónico del Gobierno de Nuevo León]

García-Sánchez, I. (2003). *Aplicación de modelos semi-empíricos para el análisis y pronóstico de la calidad de aire en el Área Metropolitana de Monterrey*, N. L. Tecnológico de Monterrey. Tesis de maestría. <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/568864>

Gasca-Sánchez, F.M., Santos-Guzmán, J., Elizondo-Dueñez, R., Mejía-Velázquez, G.M., Ruiz-Pacheco, C., Reyes-Rodríguez, D., Vázquez-Camacho, E., Hernández-Hernández, J.A., López-Sánchez, R.D.C., Ortiz-López, R., Olvera-Posada, D. y Rojas-Martínez, A. (2019). Spatial Clusters of Children with Cleft Lip and Palate and Their Association with Polluted Zones in the Monterrey Metropolitan Area. *Int J Environ Res Public Health*, 16(14), 2488. <https://doi.org/10.3390/ijerph16142488>

Gasca-Sánchez, F.M., Santuario-Facio, S.K., Ortiz-López, R., Rojas-Martínez, A., Mejía-Velázquez, G.M., Garza-Pérez, E.M., Hernández-Hernández, J.A., López-Sánchez, R.D.C., Cardona-Huerta, S. y Santos-Guzmán, J. (2021). Spatial interaction between breast cancer and environmental pollution in the Monterrey Metropolitan Area. *Heliyon*, 7(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07915>

Gastelum, S.L., Mejía-Velázquez, G.M. y Lozano-García, D.F. (2016). Remote sensing estimation of isoprene and monoterpene emissions generated by natural vegetation in Monterrey, Mexico. *Environ Monit Assess*, 188(6), 321. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5324-1>

Gallagher, J. (10 de septiembre de 2022). Cancer rules rewritten by air-pollution Discovery. *BBC News*. <https://www.bbc.co.uk/news/health-62797777.amp>

GBD 2019 Diseases and Injuries Collaborators. (2020). Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 396(10258):1204-1222. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30925-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30925-9)

Gobierno de Apodaca. (2021). *Plan Municipal de Desarrollo PMD Apodaca (2021-2024)*. http://www.apodaca.gob.mx/dwfiles/NuevaTransparencia/Articulo_96/I/Plan%20Municipal%20de%20Desarrollo%20Apodaca%20NL%202021-2024.pdf

Gobierno de Monterrey. (2021). *Plan Municipal de Desarrollo 2021-2024 Monterrey*. https://www.monterrey.gob.mx/pdf/portaln/2022/PMD_MTY_2021.pdf

Gobierno de Nuevo León. (2022a). *Plan Estatal de Desarrollo Nuevo León 2022-2027*. <https://www.nl.gob.mx/plan-estatal-de-desarrollo-2022-2027>

Gobierno de Nuevo León. (2022b). *En Marcha Agenda 2030*. <https://agenda2030.conl.mx/>

Gobierno de Nuevo León. (2022c). *Primer informe de gobierno 2021-2022. Samuel García Nuevo Informe: primero lo primero*. <https://www.nl.gob.mx/nuevoinforme-2022>

Gobierno de Nuevo León. (28 de abril de 2023). *Presenta Gobernador Samuel García Agencia de Calidad del Aire del Estado Nuevo León*. <https://www.nl.gob.mx/boletines-comunicados-y-avisos/presenta-gobernador-samuel-garcia-agencia-de-calidad-del-aire-de>

González, S. (3 de abril de 2019). ¿Sabes cómo impacta en tu salud el aire que se respira en Monterrey? *CONECTA - Tecnológico de Monterrey*. <https://conecta.tec.mx/es/noticias/monterrey/salud/sabes-como-impacta-en-tu-salud-el-aire-que-se-respira-en-monterrey>

González, L.T., Longoria-Rodríguez, F.E., Sánchez-Domínguez, M., Leyva-Porras, C., Acuña-Askar, K., Kharissov, B.I., Arizpe-Zapata, A. y Alfaro-Barbosa, J.M. (2018). Seasonal variation and chemical composition of particulate matter: A study by XPS, ICP-AES and sequential microanalysis using Raman with SEM/EDS. *J Environ Sci (China)*, 74, 32-49. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.02.002>

González-Santiago, O., Badillo-Castañeda, C.T., Kahl, J., Ramírez-Lara, E. y Balderas-Rentería, I. (2011). Temporal Analysis of PM₁₀ in Metropolitan Monterrey, México. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 61(5) 573-579. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.61.5.573>

Grupo Plan Estratégico para la Gestión Integral de Calidad del Aire de Bogotá 2030– Plan Aire. (2020). *Plan Aire 2030*. Secretaría Distrital de Ambiente de la Alcaldía Mayor de Bogotá. <https://www.ambientebogota.gov.co/plan-aire-2030#:~:text=El%20Plan%20Aire%20es%20la,puedan%20respirar%20un%20aire%20mejor.>

Guarnaccia C., Cerón-Breton J., Cerón-Breton R., Tepedino C., Quartieri J. y Mastorakis N. (2018). ARIMA models application to air pollution data in Monterrey, Mexico. *AIP Conference Proceedings 1982. Mathematical Methods and Computational Techniques in Science and Engineering II*. https://www.researchgate.net/publication/326710817_ARIMA_models_application_to_air_pollution_data_in_Monterrey_Mexico

Guarnaccia, C., Cerón-Bretón, J. G., Quartieri, J., Tepedino, C., y Cerón-Bretón, R. M. (2014). An Application of Time Series Analysis for Forecasting and Control of Carbon Monoxide Concentrations. *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*. https://www.researchgate.net/publication/288116404_An_application_of_time_series_analysis_for_forecasting_and_control_of_carbon_monoxide_concentrations

Gutiérrez-Ávila, I., Rojas-Bracho, L., Riojas-Rodríguez, H., Kloog, I., Just, A.C., y Rothenberg, S. J. (2018). Cardiovascular and cerebrovascular mortality associated with acute exposure to PM_{2.5} in Mexico City. *Stroke*, 49(7), 1734–1736. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.118.021034>

Hamanaka, R.B. y Mutlu, G.M. (2018). Particulate Matter Air Pollution: Effects on the Cardiovascular System. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 16, 680. <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00680>

Health Effects Institute (HEI). (2020). *State of Global Air 2020: a special report on global exposure to air pollution and its health impacts*. Health Effects Institute, Boston, USA. <https://www.stateofglobalair.org/>

Helsel, D.R. y Hirsch, R.M. (1995). *Statistical Methods in Water Resources*. Elsevier, New York.

Hernández-Paniagua, I.Y., Kevin, C., Clemitshaw, K.C., y Mendoza, A. (2017). Observed trends in ground-level O₃ in Monterrey, Mexico, during 1993–2014: comparison with Mexico City and Guadalajara. *Atmos. Chem. Phys.*, 17(14), 9163–9185. <https://doi.org/10.5194/acp-17-9163-2017>

Hernández-Paniagua, I.Y., López-Farías, R., Piña-Mondragón, J.J., Pichardo-Corpus, J.A., Delgadillo-Ruiz, O., Flores-Torres, A., García-Reynoso, A., Ruiz-Suárez, L.G. y Mendoza, A. (2018). Increasing Weekend Effect in Ground-Level O₃ in Metropolitan Areas of Mexico during 1988–2016. *Sustainability*, 10(9), 3330. <https://doi.org/10.3390/su10093330>

Huangfu, P. y Atkinson, R. (2020). Long-term exposure to NO₂ and O₃ and all-cause and respiratory mortality: a systematic review and meta-analysis. *Environ Int.* 144, 105998. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105998>

Hurtado-Díaz, M., Riojas-Rodríguez, H., Rothenberg, S.J., Schnaas-Arrieta, L., Kloog, I., Just, A., Hernández-Bonilla, D., Wright, R.O. y Téllez-Rojo, M.M. (2021). Prenatal PM_{2.5} exposure and neurodevelopment at 2 years of age in a birth cohort from Mexico city. *Int J Hyg Environ Health*, 233, 113695. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113695>

IARC. (2016). *Outdoor air pollution. Volume 109: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*. <https://publications.iarc.fr/538>

Iglesias-González, S.; Huertas-Bolaños, M.E.; Hernández-Paniagua, I.Y.; Mendoza, A. (2019). Pronóstico estadístico de series de tiempo para predecir máximos de ozono en la Zona Metropolitana de Monterrey. *3ª Reunión de la Red Temática de Contaminación Atmosférica y Mitigación del Cambio Climático*.

Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). (2020). *Mexico* [Perfil de país sobre carga de morbilidad]. <https://www.healthdata.org/mexico>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (s.f.). Datos validados de partículas suspendidas PM_{2.5} año 2019 y 2020 para la Zona Metropolitana de Monterrey [Datos enviados directamente por el INECC en septiembre 2022].

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2010). *Estudio de emisiones y actividad vehicular en el Área Metropolitana de Monterrey, NL*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/112367/2010_CGCSA_RSD_Monterrey.pdf

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2016). *Diagnóstico sobre la calidad del aire en cuencas atmosféricas de México*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/207595/Informe_Final_INECC_A1-007_2016.pdf

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2021). *Informe Nacional de la Calidad del Aire 2020 - México*. Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, Dirección de Investigación de Calidad del Aire y Contaminantes Climáticos. <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/informes/Informe2020.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Compendio de información geográfica municipal 2010: Monterrey, Nuevo León*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/19/19039.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (4 de diciembre de 2019). Cuentas económicas y ecológicas de México 2018. Comunicado de prensa No. 640/19. <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2019/StmaCntaNal/CtasEcmcasEcolgicas2018.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020a). *Información por entidad: Nuevo León. Resumen* [Plataforma con datos por entidad federal mexicana]. https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/nl/territorio/div_municipal.aspx?tema=me&e=19

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020b). *Mapas de uso de suelo y vegetación*. Escala 1:250000. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/mapas-de-uso-del-suelo-y-vegetacion-escala-1-250-000-serie-v-nuevo-leon>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020c). *Temas*. [Consulta por temas de la data estadística existente]. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/temas/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020d). *Aportación al Producto Interno Bruto (PIB) nacional de Nuevo León* [Plataforma con datos por entidad federal mexicana]. <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/nl/default.aspx?tema=me&e=19>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021a). *Panorama sociodemográfico de Nuevo León: Censo de Población y Vivienda 2020*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825197926.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021b). *Presentación de resultados – Nuevo León* [Resultados del Censo de Población y Vivienda 2020]. https://inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/doc/cpv2020_pres_res_nl.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2021c). *Censos Económicos 2019: Zonas metropolitanas*. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463900139>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). *Mortalidad. Conjunto de datos: Defunciones registradas (mortalidad general)* [Visualizador de datos]. https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/continuas/mortalidad/mortalidadgeneral.asp?s=est&c=11144&proy=mortgral_mg

INRIX. (2022). *Global Traffic Scorecard 2022*. <https://inrix.com/scorecard/#form-download-the-full-report>

IPA-CAINTRA. (2021). *Presenta IPA-CRESENTA el Programa voluntario de verificación vehicular*. <https://www.caintra.org.mx/wp-content/uploads/2021/10/210518-Presenta-CAINTRA-PVVV.pdf#:~:text=Con%20el%20objetivo%20de%20contribuir%20a%20una%20mejor,itinerante%20en%20distintas%20instalaciones%20de%20la%20empresa%20contratante>

Jacobson, M. (2012). *Air Pollution and Global Warming: History, Science, and Solutions*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139109444.0020>

Jimenez, J.L., Canagaratna, M.R., Donahue, N.M., Prevot, A.S., Zhang, Q., Kroll, J.H., DeCarlo, P.F., Allan, J.D., Coe, H., Ng, N.L., Aiken, A.C., Docherty, K.S., Ulbrich, I.M., Grieshop, A.P., Robinson, A.L., Duplissy, J., Smith, J.D., Wilson, K.R., Lanz, V.A., Hueglin, C., Sun, Y.L., Tian, J., Laaksonen, A., Raatikainen, T., Rautiainen, J., Vaattovaara, P., Ehn, M., Kulmala, M., Tomlinson, J.M., Collins, D.R., Cubison, M.J., Dunlea, E.J., Huffman, J.A., Onasch, T.B., Alfarra, M.R., Williams, P.I., Bower, K., Kondo, Y., Schneider, J., Drewnick, F., Borrmann, S., Weimer, S., Demerjian, K., Salcedo, D., Cottrell, L., Griffin, R., Takami, A., Miyoshi, T., Hatakeyama, S., Shimono, A., Sun, J.Y., Zhang, Y.M., Dzepina, K., Kimmel, J.R., Sueper, D., Jayne, J.T., Herndon, S.C., Trimborn, A.M., Williams, L.R., Wood, E.C., Middlebrook, A.M., Kolb, C.E., Baltensperger, U. y Worsnop, D.R. (2009). Evolution of organic aerosols in the atmosphere. *Science*, 326(5959): 1525-1529. <https://doi.org/10.1126/science.1180353>

Keswani, A., Akselrod, H., y Anenberg, S. (2022). Health and Clinical Impacts of Air Pollution and Linkages with Climate Change. *NEJM Evid*, 1(7). <https://doi.org/10.1056/EVIDra2200068>

Laborda-Molina, C. (2008). *Detección y cuantificación tridimensional de ozono atmosférico con el LIDAR UV11* [Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Cartagena]. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/167>

Lagunes-Díaz, E., González-Ávila, M.E. y Ortega-Rubio, A. (2015). Transición de leña a gas licuado a presión (GLP) en el sur de México, oportunidad para la mitigación del cambio climático en la región menos desarrollada del país. *Acta universitaria*, 25(6), 30-42. <https://doi.org/10.15174/au.2015.853>

Lee, K.K., Spath, N., Miller, M.R., Mills, N.L. y Shah, A.S.V. (2020). Short-term exposure to carbon monoxide and myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis. *Environ Int.*, 143, 105901. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105901>

Liu, C., Chen, R., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A.M., Guo, Y., Tong, S., et al. (2019). Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 cities. *N Engl J Med.*, 381(8): 705-715. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1817364>

Longoria-Rodríguez, F.E., González, L.T., Mendoza, A., Leyva-Porras, C., Arizpe-Zapata, A., Esneider-Alcalá, M., Acuña-Askar, K., Gaspar-Ramírez, O., López-Ayala, O., Alfaro-Barbosa, J.M. y Kharissova, O.V. (2020). Environmental Levels, Sources, and Cancer Risk Assessment of PAHs Associated with PM_{2.5} and TSP in Monterrey Metropolitan Area. *Arch Environ Contam Toxicol.*, 78(3), 377-391. <https://doi.org/10.1007/s00244-019-00701-1>

López-Ayala, O., González-Hernández, L.T., Alcantar-Rosales, V.M., Elizarragaz-de la Rosa, D., Heras-Ramírez, M.E., Silva-Vidaurre, L.G., Alfaro-Barbosa, J.M. y Gaspar-Ramírez, O. (2019). Levels of polycyclic aromatic hydrocarbons associated with particulate matter in a highly urbanized and industrialized region in northeastern Mexico. *Atmospheric Pollution Research*, 10(5), 1655-1662. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.06.006>

López-Feldman, A., Heres, D. y Márquez-Padilla, F. (2021). Air pollution exposure and COVID-19: A look at mortality in Mexico City using individual-level data. *Sci Total Environ.*, 756, 143929. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143929>

Mahtani, N. (4 de febrero de 2023). Bogotá y Monterrey, entre las ciudades con más tráfico del mundo: más de 115 horas al año perdidas al año en atascos. *El País*. <https://elpais.com/america-futura/2023-02-05/bogota-y-monterrey-entre-las-ciudades-con-mas-trafico-del-mundo-mas-de-115-horas-al-ano-perdidas-al-ano-en-atascos.html>

Magaña-Villegas, E., Carrera-Velueta, J. M., Ramos-Herrera, S., Hernández-Barajas, J. R., González-Figueroa, C., Laines-Canepa, J. R., ... Bautista-Margulis, R. G. (2016). Clustering approach applied on an artificial neural network model to predict PM₁₀ in mega cities of México. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 11(4). <https://rei.iteso.mx/handle/11117/5324>

Mancilla, Y., Araizaga, A.E. y Mendoza, A. (2012). A tunnel study to estimate emission factors from mobile sources in Monterrey, Mexico. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62(12), 1431-1442. <https://doi.org/10.1080/10962247.2012.717902>

Mancilla, Y., Hernández-Paniagua, I.Y. y Mendoza, A. (2019). Spatial differences in ambient coarse and fine particles in the Monterrey metropolitan area, Mexico: Implications for source contribution. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 69(5), 548-564. <https://doi.org/10.1080/10962247.2018.1549121>

Mancilla, Y. y Mendoza, A. (2019). Application of partial least squares as a complementary and preliminary receptor model for source apportionment of ambient aerosol based on molecular organic markers. *Journal of Chemometrics*, 33(6). <https://doi.org/10.1002/cem.3136>

Mancilla, Y. y Mendoza, A. (2012). A tunnel study to characterize PM_{2.5} emissions from gasoline-powered vehicles in Monterrey, Mexico. *Atmospheric Environment*, 59, 449-460. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.05.025>

Martínez-Muñoz, A., Hurtado-Díaz, M., Cruz, J.C. y Riojas-Rodríguez, H. (2020). Mortalidad aguda asociada con partículas suspendidas finas y gruesas en habitantes de la Zona Metropolitana de Monterrey. *Salud Pública de México*, 62(5), 468-476. <https://www.saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/11184>

Mayora, F. (2019). Contaminación del aire en Monterrey, Nuevo León: interpretación del monitoreo ambiental 2005-2018. *Revista de Investigación*, 43(98). <https://www.redalyc.org/journal/3761/376168604013/html/>

Medina-Gaitán, G., Mancilla-Méndez, Y. y Mendoza-Domínguez, A. (2016). *Black Carbon-Organic Carbon and Black Carbon-PM_{2.5} Ratios of the Major Emissions Sources in Monterrey, Mexico*. 2° Congreso Interamericano de Cambio Climático. Ciudad de México. https://www.researchgate.net/publication/298787121_Black_Carbon-Organic_Carbon_and_Black_Carbon-PM25_Ratios_of_the_Major_Emissions_Sources_in_Monterrey_Mexico

Mejía, G.M., Obregón, F., Mendoza, A. y Garza, V. (2005). Estimation of the Mobile Source Emission Inventory for the Monterrey Metropolitan Area using the Mobile 6 Model. *Proceedings of the 98th Annual Conference of the Air & Waste Management Association*.

Menchaca-Torre, H.L., Mercado-Hernández, R., Rodríguez-Rodríguez, J. y Mendoza- Domínguez, A. (2015a). Diurnal and season variations of carbonyls and their effect on ozone concentrations in the atmosphere of Monterrey, Mexico. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 65(4), 500-510. <https://doi.org/10.1080/10962247.2015.1005849>

Menchaca-Torre, H.L., Mercado-Hernández, R., Rodríguez-Rodríguez, J. y Mendoza- Domínguez, A. (2015b). Diurnal and seasonal variation of volatile organic compounds in the atmosphere of Monterrey, Mexico. *Atmospheric Pollution Research*, 6(6), 1073-1081. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2015.06.004>

Mendoza, A., García, M. R., Vela, P., Lozano, D. F. y Allen, D. (2005). Trace gases and particulate matter emissions from wildfires and agricultural burning in Northeastern Mexico during the 2000 fire season. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 55(12), 1797–1808. <https://doi.org/10.1080/10473289.2005.10464778>

Meng, Z. (2003). Oxidative Damage of Sulfur Dioxide on Various Organs of Mice: Sulfur Dioxide Is a Systemic Oxidative Damage Agent. *Inhalation Toxicology*, 15(2), 181–195. <https://doi.org/10.1080/08958370304476>

Ministerio del Ambiente – Perú. (30 de diciembre de 2020). *Contaminación del aire aumenta más de 50 % en algunas zonas de Lima por el uso de pirotécnicos* [Nota de prensa]. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/322617-contaminacion-del-aire-aumenta-mas-de-50-en-algunas-zonas-de-lima-por-el-uso-de-pirotecnicos>

Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (2017). *Decreto 31 de 2017 por el cual se establece el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago*.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - República de Colombia. (2017). *Brújula, bastón y lámpara para trasegar los caminos de la educación ambiental*. <https://www.eird.org/cd/toolkit08/material/insercion-curricular/brujula-baston-lampara/brujula-baston-y-lampara.pdf>

Molina, D. (2014). Gobernanza ambiental en Colombia: la acción estatal y de los movimientos sociales. *Ambiente y Desarrollo*, 18(34), 27-42. <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/4784360.pdf>

Mudway, I.S y Kelly, F.J. (2000). Ozone and the lung: a sensitive issue. *Molecular Aspects of Medicine*, 21(1-2), 1-48. [https://doi.org/10.1016/s0098-2997\(00\)00003-0](https://doi.org/10.1016/s0098-2997(00)00003-0)

NARSTO. (2000). *An Assessment of Tropospheric Ozone Pollution: A North American Perspective*. NARSTO Management Office (Envair), Washington. https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/programs/NARSTO/ozone_assessment.html

Navar, J. y Treviño, E. (1998). Estimación del tonelaje de partículas de suelo que potencialmente contribuyen a la contaminación del aire en el área metropolitana de Monterrey, México. *Terra Latinoamericana*, 16(1), 21-31. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57316103>

Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012. Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire. Diario Oficial de la Federación: 16-07-2012. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5259464&fecha=16/07/2012#gsc.tab=0

Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al ozono (O₃). Valores normados para la concentración de ozono (O₃) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Diario Oficial de la Federación: 28-10-2021. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633956&fecha=28/10/2021#gsc.tab=0

Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al monóxido de carbono (CO). Valores normados para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Diario Oficial de la Federación: 29-10-2021. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5634084&fecha=29/10/2021#gsc.tab=0

Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2019, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO₂). Valores normados para la concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Diario Oficial de la Federación: 20-08-2019. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5568395&fecha=20/08/2019#gsc.tab=0

Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de nitrógeno (NO₂). Valores normados para la concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Diario Oficial de la Federación: 27-10-2021. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633854&fecha=27/10/2021#gsc.tab=0

Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5}. Valores normados para la concentración de partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5} en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Diario Oficial de la Federación: 27-10-2021. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633855&fecha=27/10/2021#gsc.tab=0

Norma Oficial Mexicana NOM-199-SSA1-2000, Salud ambiental. Niveles de plomo en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente. Diario Oficial de la Federación: 18-10-2002. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=751988&fecha=18/10/2002#gsc.tab=0

Obregón-Álvarez, 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*. Tecnológico de Monterrey. Tesis de maestría. <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/570642>

Organización de las Naciones Unidas (2015). *Gobernanza global y desarrollo: nuevos desafíos y prioridades de la cooperación internacional*. Argentina: Siglo XXI Editores.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2022). *Resolución A/76/L.75: el derecho humano a un medio ambiente limpio, saludable y sostenible*. <https://digitallibrary.un.org/record/3982508?ln=es>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2001). *Quantification of the Health Effects of Exposure to Air Pollution Report of a WHO Working Group*. https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0011/112160/E74256.pdf

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2005). *Guías de Calidad del Aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/69478>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2006). *Guías de la calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Resumen de la evaluación de riesgos*. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf

Organización Mundial de la Salud (OMS) - Oficina Regional para Europa (2006). *Air quality guidelines - global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107823>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2007). *Health relevance of particulate matter from various sources. Report on a WHO Workshop*. https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0007/78658/E90672.pdf

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2014). *7 million premature deaths annually linked to air pollution*. <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2016). *Health risk assessment of air pollution. General-principles-en.pdf?ua=1*. https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/298482/Health-risk-assessment-air-pollution-General-principles-en.pdf?ua=1

Organización Mundial de la Salud (OMS) - Oficina Regional para Europa. (2016). *WHO Expert Consultation: Available evidence for the future update of the WHO Global Air Quality Guidelines (AQGs)*. Meeting report. Bonn, Germany, 29 September-1 October 2015. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/341714>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018a). *WHO Global Conference on Air Pollution and Health*. <https://www.who.int/airpollution/events/conference/en/>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018b). *Air pollution and child health: prescribing clean air*. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-CED-PHE-18-01>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020). *Fast facts On climate and health*. https://cdn.who.int/media/docs/default-source/climate-change/fast-facts-on-climate-and-health.pdf?sfvrsn=157ecd81_5&download=true

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021a) *Ambient (outdoor) air pollution. Fact sheet*. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021b). *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021c). *Climate change and health. Key Facts*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>

Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). (s.f.). *Metropolitan areas [Data]*. <https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=CITIES#>

Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). (2012). *Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies*. OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264130807-en>

Orellano, P., Reynoso, J., Quaranta, N., Bardach, A., y Ciapponi, A. (2020). Short-term exposure to particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}), nitrogen dioxide (NO₂), and ozone (O₃) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 142, 105876. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105876>

Orta-García, S.T., Ochoa-Martínez, A.C., Carrizalez-Yáñez, L., Varela-Silva, J.A., Pérez-Vázquez, F.J., Pruneda-Álvarez, L.G., Torres-Dosal, A. Guzmán-Mar, J.L. y Pérez-Maldonado, I.N. (2016). Persistent Organic Pollutants and Heavy Metal Concentrations in Soil from the Metropolitan Area of Monterrey, Nuevo Leon, Mexico. *Arch Environ Contam Toxicol*, 70, 452–463. <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0239-3>

Pang, K.L., Ekeuku, S.O. y Chin, K.Y. (2021). Particulate Air Pollution and Osteoporosis: A Systematic Review. *Risk Manag Healthc Policy*, 14, 2715-2732. <https://doi.org/10.2147/RMHP.S316429>

Poder Ejecutivo de Morelos y Secretaría de Medio Ambiente y Recurso Naturales –SEMARNAT-. (2018). *Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire en Morelos 2018- 2027*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/332575/Proyecto7_ProAire_Morelos_2018_-_2027.pdf

Possanzini, M., Di Paolo, V. y Cecinato., A. (2002). Sources and photodecomposition of formaldehyde and acetaldehyde in Rome ambient air. *Atmos. Environ.*, 36(19), 3195-3201. [http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00192-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00192-9)

Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 1997-2000 (PACADAMM). (2000). <http://legismex.mty.itesm.mx/progs/pca-amm.pdf>

Protección Civil - Gobierno de Nuevo León. (s.f.). *Programa especial de incendios forestales 2023*. <https://www.nl.gob.mx/publicaciones/programa-especial-incendios-forestales-2022>

Red Intergubernamental de Contaminación Atmosférica para América Latina y el Caribe – Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2022). *Estrategia de Movilización de Recursos del Plan de Acción Regional de Calidad del Aire 2022-2025 para América Latina y el Caribe* [Documento no publicado]

Reyes, I. (18 de febrero de 2020). PACMUN establece agenda de Cambio Climático en Santa Catarina. *Eitmedia*. <https://www.eitmedia.mx/index.php/local/item/63048-pacmun-establece-agenda-de-cambio-climatico-en-santa-catarina>

Rojas, I. y Montero, S. (2021). *Nota sobre la estimación del valor de una vida estadística en México*. http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/proaire2021-2030/pdf/VVE_CIDE-SEDEMA.pdf

Romieu, I., Gouveia, N., Cifuentes, L.A., de León, A.P., Junger, W., Vera, J., Strappa, V., Hurtado-Díaz, M., Miranda-Soberanis, V., Rojas-Bracho, L., Carbajal-Arroyo, L., Tzintzun-Cervantes, G. y HEI Health Review Committee. (2012). Multicity study of air pollution and mortality in Latin America (the ESCALA study). *Research report (Health Effects Institute)*, (171), 5–86. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23311234/>

Royal College of Physicians. (2016). *Every breath we take: the lifelong impact of air pollution*. <https://www.rcplondon.ac.uk/projects/outputs/every-breath-we-take-lifelong-impact-air-pollution>

Sáenz, C. (19 de marzo de 2021). Coahuila y Nuevo León en emergencia por incendios forestales. *Gobierno de la Ciudad de México*. <https://www.capital21.cdmx.gob.mx/noticias/?p=15183>

Sala de Prensa del Gobierno de Guadalupe. (24 de junio de 2021). Aprueba en Guadalupe reglamento de prevención de cambio climático. *Gobierno de Guadalupe*. <http://guadalupe.gob.mx/aprueba-en-guadalupe-reglamento-de-prevencion-de-cambio-climatico/>

Santaella, J. [@SantaellaJulio]. (17 de febrero de 2021). #Censomx2020 con las geografías actuales, las 10 zonas metropolitanas más pobladas del país [Tuit]. Twitter. <https://www.eleconomista.com.mx/estados/Zona-Metropolitana-de-Monterrey-es-la-segunda-mas-poblada-de-Mexico-Inegi-20210224-0112.html>

Santos-Guzmán, J., Madrigal-Ávila, C., Hernández- Hernández, J. A., Mejía-Velázquez, G., Eraña-Rojas, I. E., Elizondo-Montemayor, L., y Villela, L. (2014). Una década de monitoreo de plomo en sangre en niños escolares del área metropolitana de Monterrey, NL. *Salud Pública de México*, 56(6), 592-602. <https://www.redalyc.org/pdf/106/10632793003.pdf>

Schraufnagel, D.E. (2020). The health effects of ultrafine particles. *Exp Mol Med*, 52, 311–317. <https://doi.org/10.1038/s12276-020-0403-3>

Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Consejo Nacional de Población e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (SEDATU, CONAPO e INEGI). (2018). *Delimitación de las zonas metropolitanas*

de México 2015. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/delimitacion-de-las-zonas-metropolitanas-de-mexico-2015>

Secretaría de Desarrollo Sustentable - Gobierno del Estado de Nuevo León (2010). *Programa de Acción ante el Cambio Climático Nuevo León 2010-2015*. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CD001039.pdf>

Secretaría de Desarrollo Sustentable - Gobierno del Estado de Nuevo León. (2017). *Estrategia para la calidad del aire de Nuevo León*. http://aire.nl.gob.mx/rep_estrategia.html

Secretaría de Desarrollo Sustentable - Gobierno del Estado de Nuevo León. (2020). *Programa Integral de Movilidad Urbana Sustentable de la Zona Metropolitana de Monterrey (PIMUS)*. <https://www.nl.gob.mx/publicaciones/documento-ejecutivo-pimus>

Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología – Gobierno Municipal de Monterrey. (2018). *Programa Operativo Anual de Ecología de Monterrey 2018*. [https://www.monterrey.gob.mx/pdf/portaln/PPOA/Programa Operativo Anual 2018 de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.pdf](https://www.monterrey.gob.mx/pdf/portaln/PPOA/Programa%20Operativo%20Anual%20de%20la%20Secretaria%20de%20Desarrollo%20Urbano%20y%20Ecologia.pdf)

Secretaría de Desarrollo Urbano Sostenible – Gobierno de Monterrey. (s.f.). *Acuerdo Verde Monterrey*. <https://acuerverde.monterrey.gob.mx/>

Secretaría de Economía – Gobierno de Nuevo León. (2022). *Data Nuevo León*. <http://datos.nl.gob.mx/category/economia/pib/>

Secretaría de Energía. (2016). *Prospectivas de petróleo crudo y petrolíferos 2016-2030*. México D.F. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177673/Prospectiva de Petr leo Crudo y Petroliferos 2016-2030.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177673/Prospectiva%20de%20Petr%20leo%20Crudo%20y%20Petroliferos%202016-2030.pdf)

Secretaría de Energía. (2021). *Balance Nacional de Energía 2020*. México D.F. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/707654/BALANCE NACIONAL ENERGIA 0403.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/707654/BALANCE%20NACIONAL%20ENERGIA%200403.pdf)

Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León [@Secretaría de Medio Ambiente de Nuevo León] (25 de agosto de 2021). *Programa emergente de vigilancia ambiental de emisiones de fuentes móviles de competencia estatal* [Publicación y video]. Facebook. <https://www.facebook.com/watch/?v=546364763352188&paipv=0&eav=AfaULASNOuxZSR2KHLbpgdDGHgMUN361zqKW0u4gsQaV2HkWSAZpgEmLHnQpMfij90>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). *Objetivos principales de los programas de gestión de la calidad del aire*. [https://paot.org.mx/centro/informacion/semarnat/informe02/estadisticas 2000/compendio 2000/03dim ambiental/03_01 Atmosfera/data at mosfera/RecuadroIII.1.1.4.htm](https://paot.org.mx/centro/informacion/semarnat/informe02/estadisticas%202000/compendio%202000/03dim%20ambiental/03_01%20Atmosfera/data%20at%20mosfera/RecuadroIII.1.1.4.htm)

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2022a). *Guía para la Elaboración de los Programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire (ProAire)*.

<https://www.gob.mx/semarnat/documentos/guia-para-la-elaboracion-de-los-programas-de-gestion-para-mejorar-la-calidad-del-aire-proaire?idiom=es>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (22 de diciembre de 2022b). *Evitemos la pirotecnia y cuidemos el aire que respiramos* [Blog de la SEMARNAT]. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/evitemos-la-pirotecnia-y-cuidemos-el-aire-que-respiramos>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2023). *Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos en Nuevo León, año 2018* [no publicado]

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Secretaría de Desarrollo Sustentable del Gobierno de Nuevo León. (2016). *Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Nuevo León 2016 – 2025*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/250974/ProAire_Nuevo_Leon.pdf

SEDEMA. (2021). *Programa de gestión para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2021-2030*. <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/proaire2021-2030/>

Seinfeld, J.H. y Pandis, S.N. (2006). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. Second edition. Wiley, New York.

Sen, P. K. (1968). Estimates of regression coefficient based on Kendall's tau. In: *Journal of the American Statistical Association*, 63(324) (cit. en p. 162).

Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (s.f.). *Datos para Nuevo León*. <https://smn.conagua.gob.mx/es/>

SIATL INEGI. (2021). *Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas*. https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/

Sistema Integral de Monitoreo Ambiental Nuevo León (SIMA). (s.f.). Página web oficial. <http://aire.nl.gob.mx/>

Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA). (2022). *Estaciones de monitoreo atmosférico*. <https://sinaica.inecc.gob.mx/>

Tamayo-Ortiz, M., Téllez-Rojo, M.M., Rothenberg, S.J., Gutiérrez-Ávila, I., Just, A.C., Kloog, I., Texcalac-Sangrador, J.L., Romero-Martínez, M., Bautista-Arredondo, L.F., Schwartz, J., Wright, R.O. y Riojas-Rodríguez, H. (2021). Exposure to PM_{2.5} and Obesity Prevalence in the Greater Mexico City Area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2301. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052301>

Theil, H. (1950). A rank invariant method of linear and polynomial regression analysis, I, II, III. In: *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie Wetenschappen. Series A – Mathematical Sciences* 53, pp. 386–392, 521–525, 1397–1412 (cit. en p. 162).

Tovar, R. y Rodríguez, A. (22 de julio de 2021). Número de vehículos crece en Nuevo León al doble que crece la población. *El Horizonte*. <https://www.elhorizonte.mx/local/numero-vehiculos-crece-nuevo-leon-al-doble-que-crece-poblacion/4022651>

Trejo-González, A., Riojas-Rodríguez, H., Texcalac-Sangrador, J. L., Guerrero-López, C. M., Cervantes-Martínez, K., Magali, H.-D. y Zúñiga-Bello, P. (2019). Quantifying health impacts and economic costs of PM_{2.5} exposure in Mexican cities of the National Urban System. *International Journal of Public Health*, 64, 561–572. <https://doi.org/10.1007/s00038-019-01216-1>

Ugalde-Resano, R., Riojas-Rodríguez, H., Texcalac-Sangrador, J.L., Cruz, J.C., Hurtado-Díaz, M. (2022). Short term exposure to ambient air pollutants and cardiovascular emergency department visits in Mexico city. *Environ Res.*, 207, 112600. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112600>

Unión Europea (UE). (2014). *Air Quality Standards*. <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>

United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). *Pollution Action Note – Data you need to know*. https://www.unep.org/interactive/air-pollution-note/?gclid=CjwKCAjwvNaYBhA3EiwACgndgoKtOY3runLkg6CgJDj5kyvjWyxulEj1o3H_oc49rUOpT69zJHECixoCKpwQAvD_BwE

Urrutia-Goyes, R., Hernandez, N., Carrillo-Gamboa, O., Nigam, K.D.P. y Ornelas-Soto, N. (2018). Street dust from a heavily-populated and industrialized city: Evaluation of spatial distribution, origins, pollution, ecological risks and human health repercussions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 159, 198-204. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.054>

US EPA. (2014). National Ambient Air Quality Standards (NAAQS).

US EPA. (2020). *Integrated Sciences Assessments (ISAs)*. <https://www.epa.gov/isa>

US EPA. (2022a). *How BenMAP-CE Estimates the Health and Economic Effects of Air Pollution*. <https://www.epa.gov/benmap/how-benmap-ce-estimates-health-and-economic-effects-air-pollution#:~:text=The%20BenMAP%2DCE%20tool%20estimates,how%20air%20pollution%20affects%20health>

US EPA. (2022b). *Sulfur Dioxide Basics*. <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics>

US EPA. (2022c). *Ground-level Ozone Basics*. <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/ground-level-ozone-basics#:~:text=Ozone%20occurs%20both%20in%20the,the%20sun's%20harmful%20ultraviolet%20rays>

US EPA. (2022d). *Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM)*. <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>

US EPA. (2022e). *Basic Information about NO₂*. [https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2#:~:text=Nitrogen%20Dioxide%20\(NO2\)%20is,from%20the%20burning%20of%20fuel](https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2#:~:text=Nitrogen%20Dioxide%20(NO2)%20is,from%20the%20burning%20of%20fuel)

US EPA. (2022f). *Basic Information about Carbon Monoxide (CO) Outdoor Air Pollution*. <https://www.epa.gov/co-pollution/basic-information-about-carbon-monoxide-co-outdoor-air-pollution>

US EPA. (2022g). *Research on Health Effects from Air Pollution*. <https://www.epa.gov/air-research/research-health-effects-air-pollution#:~:text=Health%20Effects%20of%20Air%20Pollutants%20on%20Vulnerable%20Populations,-Research%20has%20shown&text=These%20groups%20include%20children%2C%20pregnant,pollution%20because%20of%20many%20factors>

Vicedo-Cabrera, A. M., Sera, F., Liu, C., Armstrong, B., Milojevic, A., Guo, Y., Tong, S., Lavigne, E., Kyselý, J., Urban, A., Orru, H., Indermitte, E., Pascal, M., Huber, V., Schneider, A., Katsouyanni, K., Samoli, E., Stafoggia, M., Scortichini, M., ... Gasparrini, A. (2020). Short term association between ozone and mortality: Global two stage time series study in 406 locations in 20 countries. *BMJ*, 368. <https://doi.org/10.1136/bmj.m108>

Villalba, D., Fajardo, E. y Romero, H. (23 al 27 de julio de 2018). *Relación entre el material particulado PM₁₀ y variables meteorológicas en la ciudad de Bucaramanga - Colombia. Una aplicación del análisis de datos longitudinal*. XXVIII Simposio Internacional de Estadística 2018. Bucaramanga, Colombia. https://www.researchgate.net/publication/329155299_Relacion_entre_el_material_particulado_PM10_y_variables_meteorologicas_en_la_ciudad_de_Bucaramanga_-_Colombia_Una_aplicacion_del_analisis_de_datos_longitudinal

Wakamatsu, S., Kanda, I., Okazaki, Y., Saito, M., Yamamoto, M., Watanabe, T., Maeda, T. y Mizohata, A. (2017). A Comparative Study of Urban Air Quality in Megacities in Mexico and Japan: Based on Japan-Mexico Joint Research Project on Formation Mechanism of Ozone, VOCs and PM_{2.5}, and Proposal of Countermeasure Scenario. *JICA-RI Working Paper*, 145. https://www.jica.go.jp/jica-ri/publication/workingpaper/wp_145.html

Wolff, G., Kahlbaum, D.F. y Heuss, J.M. (2013). The vanishing ozone weekday/weekend effect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 63(3), 292-299. <https://doi.org/10.1080/10962247.2012.749312>

Wu, X., Nethery, R.C., Sabath, B.M., Braun, D. y Dominici, F. (2020). Exposure to Air Pollution and COVID-19 Mortality in the United States: A Nationwide Cross-Sectional Study. *MedRxiv*, 1–36 <https://doi.org/10.1101/2020.04.05.20054502>

Yang, L., Gao, X., Wang, X., Nie, W., Wang, J., Gao, R., ... y Wang, W. (2014). Impacts of fireworks burning on aerosol chemical characteristics and human health risk levels during the Chinese New Year Celebration in Jinan, China. *Science of the Total Environment*, 476, 57-64. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969713016008>

Zheng, X. Y., Orellano, P., Lin, H. L., Jiang, M., y Guan, W. J. (2021). Short-term exposure to ozone, nitrogen dioxide, and sulphur dioxide and emergency department visits and hospital admissions due to asthma: A systematic review and meta-analysis. *Environment international*, 150, 106435. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106435>

