Línea de investigación:

Ciudades Sustentables

PROYECTO: "Propuestas para el desarrollo sustentable de una ciudad mexicana"

Estudio del Área Metropolitana de Monterrey

2019

CENTRO MARIO MOLINA PARA ESTUDIOS ESTRATÉGICOS
SOBRE ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE A.C.

Dr. Mario Molina
Presidente

Mtro. Carlos Mena Brito
Director Ejecutivo

Dr. Antonio Mediavilla Sahagún
Coordinador de Proyectos

INTEGRANTES DEL PROYECTO

Biol. Adolfo Lara Vázquez
Líder de proyecto en Adaptación al Cambio Climático

Lic. Julieta Leo Lozano
Líder de Proyecto en Desarrollo Urbano

Dr. Marco Jano Ito
Líder de proyecto en Energía

Mtra. Saira Vilchis Jiménez
Líder de Proyecto Movilidad

Ing. Salvador Montero Aguilar
Líder de Proyecto en Transporte

Biol. Agustín de la Rosa Segura

Ing. Carmen Neri Villeda

Ing. Jennifer García Escalante

Mtro. Martín Danilo Gómez Sánchez

Lic. Nancy Hernández Valdez

Lic. Thiany Torres Pelenco

M en C. Hugo Alberto Barrera Huertas

CONSULTORES

Sergio Sánchez Martínez

Juan J. Castillo

Juliana Klakamp

Jo Green

Carlos David Gómez

Paulina Schultz

El Centro Mario Molina agradece a los siguientes funcionarios, expertos, personas e instituciones por las facilidades para la consulta de información: Ing. José Manuel Vital Couturier, Secretario de Desarrollo Sustentable del Estado de Nuevo León; Lic. Ramiro Adrián Bravo García, Encargado de Despacho del Instituto de Control Vehicular; al Lic. Adalberto Núñez Ramos, Director Ejecutivo de Fomento Metropolitano de Monterrey; Biol. Jaime Javier Muñoz Salcedo, Director del Centro de Colaboración Geospacial, del Gobierno del Estado de Nuevo León; Dr. Gerardo Esquivel del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Febrero de 2019

Agradecemos la aportación al Consejo Nacional
de Ciencia y Tecnología (CONACYT)
para la realización de este proyecto.



Prolongación Paseo de los Laureles 458 Despacho 406,
Col. Bosques de las Lomas, Cuajimalpa, C.P. 05120, México, Ciudad de México.

CONTENIDO

Introducción **10**

I Objetivos del estudio **12**

II Caracterización del Área Metropolitana de Monterrey **13**

II.1 Configuración del desarrollo urbano ***13***

II.1.1 Dinámica poblacional y urbana 13

II.1.2 Asentamientos irregulares y vivienda deshabitada 15

II.1.3 Concentración de la actividad económica y el empleo 16

II.1.4 Tendencias del desarrollo urbano 16

II.2 La movilidad urbana ***19***

II.2.1 Contexto regional 19

II.2.2 Instrumentos e instituciones para la planeación de la movilidad 19

II.2.3 Caracterización de la movilidad urbana 20

II.2.4 Transporte de carga y su impacto en la movilidad urbana 25

II.3 Presencia industrial y consumo energético ***28***

II.3.1 Situación del sector industrial 28

II.3.2 Estimación de emisiones de GEI 31

II.4 Disponibilidad y gestión del agua ***34***

II.4.1 Limitaciones fisiográficas del medio ambiente 34

II.4.2 El sistema de agua y drenaje 35

II.5 Calidad del aire ***39***

II.5.1 Análisis de datos históricos de calidad del aire 39

II.5.2 Evolución y crecimiento de las emisiones al aire 49

III Estrategias de sustentabilidad **50**

III.1 Desarrollo urbano ***50***

III.1.1 Desarrollo urbano acorde a los corredores prioritarios 50

III.1.2 Estrategias de gestión de suelo vacante 51

III.2 Movilidad ***57***

III.2.1 Fortalecer la gestión de la movilidad urbana 57

III.2.2 Intervención en corredores prioritarios 57

III.2.3 Atenciones prioritarias en distintas zonas de la ciudad 58

III.2.4 Reutilización de la red ferroviaria actual 59

III.2.5 Recomendaciones generales en materia de transporte de carga 60

III.3 Sector industrial ***63***

III.3.1 Estrategias de mitigación para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero 63

III.3.2 Refinación de petróleo 63

III.3.3 Cemento 64

III.3.4 Vidrio 65

III.3.5 Siderurgia 65
III.3.6 Escenarios de mitigación y costos marginales de mitigación 65
III.3.7 Co-beneficios de las medidas en la reducción de contaminantes 66
III.4 Disponibilidad y gestión del agua 67
III.4.1 Captación de agua pluvial y construcción de infraestructura de infiltración 67
III.4.2 Acciones de infiltración del agua de lluvia en la ciudad 68
III.4.3 Disminución del agua no contabilizada por fugas en la red 68
III.5 Calidad del aire 70
III.5.1 Definición de líneas estratégicas para la mejora de la calidad del aire 70
III.5.2 Evaluación de la reducción de emisiones 72

IV Propuesta integral para el desarrollo sustentable de la ciudad 77

V Anexos 84
V.1 Campaña de sensor remoto para caracterizar el perfil del parque vehicular 84
V.2 Proyección de emisiones contaminantes a la atmósfera 89
V.3 Criterios para la evaluación de las medidas propuestas 99

Referencias 101

TABLAS

Tabla II.1. Densidad media urbana de población en el AMM, 2015 14
Tabla II.2. Expansión urbana estimada al 2030 18
Tabla II.3. Límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para vehículos ligeros 23
Tabla II.4. Límites máximos permisibles de emisión de contaminantes en vialidad para vehículos automotores a gasolina 24
Tabla II.5. Emisiones de CO_2e del sector siderúrgico 31
Tabla II.6. Área de influencia y clasificación de las estaciones 40
Tabla II.7. Resultados del análisis de captura de información anual 42
Tabla II.8. Normas Oficiales Mexicanas (NOM) - Salud Ambiental 43
Tabla II.9. Cumplimiento de los límites normativos de Calidad del Aire para 2016 44
Tabla III.1. Densidades de población y vivienda en principales corredores de transporte público 50
Tabla III.2. Clasificación de las estrategias de gestión de suelo 52
Tabla III.3. Distribución de polígonos y superficie por PCU 54
Tabla III.4. Acciones propuestas para el mejoramiento en la planeación y operación de la movilidad 57
Tabla III.5. Acciones para la mejora de la calidad del aire y la reducción de emisiones en el AMM 71
Tabla III.6. Ejes transversales para la mejora de la calidad del aire en el AMM 72
Tabla III.7. Potencial de reducción de emisiones por la implementación de las medidas evaluadas (toneladas). Reducción medidas 2030 vs emisión de línea base 2030) 73
Tabla III.8. Descripción sintética de acciones de las medidas evaluadas – Fuentes fijas 74
Tabla III.9. Descripción sintética de acciones de las medidas evaluadas – Fuentes móviles 75
Tabla III.10. Descripción sintética de acciones de las medidas evaluadas – Fuentes de Área 76
Tabla IV.1. Propuestas de sustentabilidad para el AMM 80
Tabla V.1. Sitios de muestreo con sensor remoto 88
Tabla V.2. Parámetros para la proyección en el tiempo de la producción 89
Tabla V.3. Parámetros para la proyección en el tiempo el parque vehicular 94
Tabla V.4. Ecuaciones para proyección de fuentes de área del inventario de emisiones 96

FIGURAS

Figura II.1. Altos emisores de acuerdo a la NOM-167-SEMARNAT-2017 25
Figura II.2. Valor agregado bruto de los principales sectores manufactureros de Nuevo León 28
Figura II.3. Distribución por sector y por número de unidades económicas en el AMM 30
Figura II.4. Consumo de gas natural y gas LP en el sector industrial de Nuevo León 30
Figura II.5. Escurrimiento del río Santa Catarina en Área Metropolitana de Monterrey, 1960-2010 35
Figura II.6. Aprovechamiento del recurso hídrico por uso en el AMM 37
Figura II.7. Gráfico polar anual por hora para PM_{10}, 2014-2016 45
Figura II.8. Gráfico polar anual por hora para $PM_{2.5}$, 2014 – 2016 47
Figura II.9. Gráfico polar anual por hora para O_3, 2014 – 2016 48
Figura II.10. Proyección de emisiones de línea base para los principales contaminantes 49
Figura III.1. Curva de costos marginales de mitigación para el sector industrial del AMM 66
Figura III.2. Líneas estratégicas para la mejora de la calidad del aire 70
Figura V.1. Medidas de seguridad 85
Figura V.2. Distancia mínima para colocar la planta 86

Figura V.3. Alineación de analizador 87
Figura V.4. Sistema sensor remoto 87
Figura V.5. Valor de la producción para el sector fabricación de equipo de transporte, 2007-2017 90
Figura V.6. Valor de la producción para el sector industria del papel, 2007-2017 90
Figura V.7. Valor de la producción para el sector fabricación de productos a base de minerales no metálicos periodo 2007 – 2017, con proyección al 2030 91
Figura V.8. Valor de la producción para el sector fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación de energía eléctrica, 2007-2018 91
Figura V.9. Valor de la producción para el sector industria alimentaria, 2007-2017 92
Figura V.10. Valor de la producción para el sector industrias metálicas básicas, 2007-2017 92
Figura V.11. Valor de la producción para el sector industria química, 2007-2017 93
Figura V.12. Valor de la producción para el sector industrial periodo 2007 - 2017 93
Figura V.13. Parque vehicular y líneas de tendencia ajustadas 95
Figura V.14. Viviendas habitadas en el periodo 1990-2015 y proyección al 2020 96
Figura V.15. Superficie sembrada periodo 2009 – 2011 con proyección al 2024 97
Figura V.16. Unidades económicas en el sector construcción, 1998, 2003 y 2008 97
Figura V.17. Cabezas ganado, 2007-20177 98

MAPAS

Mapa II.1. Expansión urbana estimada del AMM al 2030 17
Mapa II.2. Industrias del Área Metropolitana de Monterrey, Ramos Arizpe y Saltillo 29
Mapa II.3. Infraestructura hidráulica del AMM, 2014 36
Mapa II.4. Distribución del sistema de monitoreo atmosférico en el AMM 40
Mapa III.1. Corredores de transporte público estructurado y área de influencia 51
Mapa III.2. Propuestas de ocupación para suelo vacante 53
Mapa III.3. Panorama del precio del suelo en entornos industriales del centro de Monterrey 55
Mapa V.1. Sitios de muestreo con sensor remoto 88

ACRÓNIMOS

°C	Grados centígrados
µg/m^3	Microgramos por metro cúbico
AGEB	Área Geoestadística Básica
AMA	Asociación Metropolitana de Alcaldes de Nuevo León
AMM	Área Metropolitana de Monterrey
Android	Sistema operativo basado en el núcleo Linux
ANP	Áreas Naturales Protegidas
API	American Petroleum Institute
APMARN	Agencia de Protección al Medio Ambiente y Recursos Naturales
BTU	Unidad Térmica Británica
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CMM	Centro Mario Molina
CNA	Comisión Nacional del Agua
CO	Monóxido de Carbono
CO_2e	Dióxido de carbono equivalente
COA	Cédula de Operación Anual
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CONAVI	Comisión Nacional de Vivienda
COV / VOC	Compuestos Orgánicos Volátiles
CRE	Comisión Reguladora de Energía
CZC	Comisión de la Zona Conurbada de Monterrey
DENUE	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas
DGGCARETC	Dirección General de Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
DOT	Desarrollo Orientado al Transporte
E	Este
ECRA	European Cement Research Academy
ESR	Empresa Socialmente Responsable
EURO VI/6	Norma europea sobre emisiones
FFC	Craqueo catalítico de lecho fluidizado
FRA	Administración Federal de Ferrocarriles de E.U. (por sus siglas en ingles)
Gas LP	Gas licuado de petróleo
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GloBEIS	Sistema Global de Emisiones e Interacciones de la Biósfera
HDM	Hora de Máxima Demanda
Hg	Mercurio
ICCT	Consejo Internacional de Transporte Limpio (por sus siglas en inglés)
IE	Inventario de Emisiones
IMECA	Índice Metropolitano de la Calidad del Aire
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IOS	Sistema operativo móvil de la multinacional Apple
ITESM	Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey
KCSM	Kansas City Southern de México
Km	Kilómetros
km/h	Kilómetros por hora
LRT	Ligth Rail Transit
m.s.n.m.	Metros sobre nivel del mar
m/s	metros por segundo
m^2	metros cuadrados
mg/año	miligramos por año
mm	milímetros
N	Norte
NE	Noreste

nm	Nanómetro
NO / NW	Noroeste
NO_2	Dióxido de Nitrógeno
NOM	Normas Oficiales Mexicanas
Nox	Óxidos de Nitrógeno
O	Oeste
O_3	Ozono
OMS	Organización Mundial de la Salud
PCU	Polígonos de Contención Urbana
PDFNL	Plan de Desarrollo Ferroviario de Nuevo León
PEF	Presupuesto de Egresos de la Federación
PIB	Producto Interno Bruto
PM_{10}	Partículas sólidas o líquidas menores a los menores a las 10 micras
$PM_{2.5}$	Partículas sólidas o líquidas menores a los menores a las 2.5 micras
PMDU	Programa Municipal de Desarrollo Urbano
PNDU	Plan Nacional de Desarrollo Urbano
ppm	partículas por millón
ProAire	Programas de gestión para mejorar la calidad del aire
PRODESEN	Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional
PST	Tiempo del pacífico
RETCE	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
RUV	Registro Único de Vivienda
S	Sur
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transporte
SE	Sureste
SEDASU	Secretaría de Desarrollo Sustentable de Nuevo León
SEDATU	Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SGM	Sistema Geológico Mexicano
SIMA	Sistema de Monitoreo Atmosférico
SINAICA	Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire
SO / SW	Suroeste
TDPA	Tránsito Promedio Diario Anual
TLCAN	Tratado de Libre Comercio de América del Norte
U.S. EPA	Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (por sus siglas en inglés)
UE	Unidades Económicas
UMMA	Unidad Móvil de Monitoreo Ambiental
USEPA	Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de América
UV-B	Radiación ultravioleta
W/m^2	Radiación solar presentada en vatios por metro cuadrado
ZM	Zona Metropolitana
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México

INTRODUCCIÓN

Al hablar del fenómeno urbano en México, el Área Metropolitana de Monterrey (AMM) ocupa un lugar importante por su numerosa población, estimada en 4.7 millones de habitantes al 2015; también por su dinamismo industrial que la ubican como la segunda ciudad más rica del país después del Valle de México; y por su superficie urbana que la posiciona en el lugar 131[1] de las ciudades más grandes del planeta entre más de mil (Demographia, 2018).

Adicionalmente, de acuerdo a la medición de satisfacción de la población, tres de los 18 municipios que conforman el AMM (San Pedro Garza García, San Nicolás de los Garza y Monterrey) están entre los diez mejores del país por su calidad de vida (GCE, 2018).

En contraste con lo anterior, la ciudad también enfrenta problemas que amenazan los beneficios sociales y económicos alcanzados hasta ahora, particularmente en temas clave relativos a la sustentabilidad urbana, como la excesiva expansión de su superficie acompañada de modelos de desarrollo urbano de baja densidad que propician viajes pendulares. Igualmente, su pujante desarrollo industrial favoreció numerosos asentamientos humanos en su entorno, que ahora se ven afectados por impactos negativos como emisiones contaminantes al aire y al agua, o el ruido. Al igual que muchas ciudades, padece una movilidad altamente impactada tanto por el alto número de viajes en auto privado y el intenso trasporte de carga vía férrea o terrestre, como por un sistema de transporte público con cobertura limitada, deficiente y de mala calidad. Esta triada de desarrollo urbano expansivo, concentración de industrias altamente demandantes de recursos y una creciente flota vehicular, han derivado en una calidad del aire cada vez más crítica. Finalmente, la ciudad está amenazada por un acentuado problema de escasez de agua y situaciones de riesgo ante inundaciones pluviales. Todo lo anterior, en una marco de gestión con experiencias positivas pero aún inconclusas desde el punto de vista metropolitano.

Considerando el papel cardinal que jugarán las ciudades y sus modelos de desarrollo en el futuro cercano, para enfrentar exitosamente los retos de sustentabilidad locales y globales, la presente investigación busca en primer lugar, profundizar en la comprensión sobre las dinámicas urbanas del AMM, y sus correspondientes expresiones en los ámbitos del desarrollo urbano, la movilidad, el consumo energético, la disponibilidad de agua y la calidad del aire, que se abordan en el capítulo de diagnóstico o caracterización.

En el análisis se incluyen escenarios tendenciales que avistan las consecuencias probables de continuar con dinámicas o estrategias como las implementadas hasta ahora. Estos escenarios permiten identificar cuando se requiere continuar impulsando medidas en proceso de implementación, o si bien, si se requiere de cambios parciales o radicales de la política pública.

[1] Con 958 hectáreas estimadas, la ciudad de Guadalajara comparte el puesto número 131 por su superficie urbana entre 1,064 ciudades, junto a Changzhou, JS (China) y Lisboa (Portugal).

Finalmente, se elaboran recomendaciones de política pública que buscan orientar las acciones de gobierno hacia una mejor gestión del entorno urbano y de sus recursos. El estudio presenta propuestas en dos escalas que pretenden abordar, por un lado los retos de sustentabilidad urbana a nivel regional, como por ejemplo las estrategias de largo plazo para ordenar el desarrollo urbano mediante la definición de un cinturón de contención urbana, y por el otro, se identifican se identifican las medidas más costo efectivas de reducción de consumo energético para los principales sectores de la industria regiomontana.

Ambas escalas permiten no sólo establecer objetivos regionales para el AMM, sino además identificar actores y acciones concretas por sector. Por ejemplo, se destaca la necesidad de fortalecer la coordinación metropolitana en la planificación del desarrollo urbano y la movilidad, particularmente para poner en marcha instrumentos de gestión de suelo e infraestructura de transporte público que mantengan congruencia con la visión metropolitana. Por otro lado, se señala la importancia de la participación de la iniciativa privada para reducir los consumos energéticos, o la promoción de estrategias de movilidad laborar que reduzcan los desplazamientos motorizados y su contribución a la generación de contaminantes a la atmósfera.

Si bien en la actualidad el éxito de las urbes es indiscutible dados los millones de personas que las habitan, es importante reconocer las restricciones que la disponibilidad de recursos impone, para el AMM en particular, la escasez hídrica significa una barrera importante para su desarrollo, y se requiere no sólo de medidas para reducir pérdidas en la red, sino además de cambios culturales para reducir el uso y fomentar su reciclaje, así como el aprovechamiento del agua pluvial.

Con este estudio, el CMM busca entrelazar recomendaciones tradicionalmente vertidas desde los ámbitos sectoriales, para resaltar la importancia de su articulación en la escala metropolitana, que en el caso del AMM, ofrece un espacio propicio para la ejecución de la Nueva Agenda Urbana dadas su relevancia nacional y marcada vinculación con la economía global.

I Objetivos del estudio

La presente investigación tiene como objetivo la elaboración de un diagnóstico integral sobre las principales condicionantes de sustentabilidad del Área Metropolitana de Monterrey (AMM), a partir del cual se generen propuestas de estrategias, proyectos y acciones específicas que detengan y reviertan su proceso de deterioro urbano, por lo que se refiere al menos a: la calidad del aire, la movilidad y el transporte de personas y de bienes, el crecimiento territorial y de la vivienda, la producción y el consumo de energía y la ubicación e impacto de la industria.

Entre los objetivos específicos de este estudio se señalan los siguientes:

- Presentar los elementos que caracterizan el desarrollo urbano y sus problemáticas.
- Elaborar un escenario tendencial de la superficie urbana.
- Diagnosticar la movilidad urbana y sus problemáticas.
- Identificar las principales zonas de congestión vial en la ciudad.
- Caracterizar las emisiones contaminantes del sector transporte.
- Cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes criterio en la producción y consumo de energía de las principales industrias.
- Conocer la problemática del abastecimiento de agua en la ciudad.
- Identificar las principales fuentes de emisiones de contaminantes a la atmosfera y su contribución a la mala calidad del aire.
- Desarrollar un escenario tendencial de las emisiones contaminantes al aire.
- Generar recomendaciones para mejorar los aspectos clave de la sustentabilidad urbana vinculados al desarrollo urbano, la movilidad, el uso de la energía en la industria, la calidad del aire y el agua.

Las recomendaciones incluirán los aspectos científicos, tecnológicos, de infraestructura, administrativos, financieros y normativos que resulten relevantes para cada ciudad y se referirán tanto al corto como al mediano y largo plazo.

II Caracterización del Área Metropolitana de Monterrey

II.1 Configuración del desarrollo urbano

La actualización de la delimitación de zonas metropolitanas 2015 de CONAPO-INEGI-SEDATU incluye a los siguientes municipios dentro del AMM: Monterrey, Guadalupe, San Nicolás de los Garza, Santa Catarina, General Escobedo, Juárez, San Pedro Garza García, Apodaca, García, Cadereyta Jiménez, Abasolo, Carmen, Ciénega de Flores, General Zuazua, Pesquería, Salinas Victoria, Hidalgo y Santiago, con lo cual ascienden a 18 los municipios metropolitanos que comprenden una superficie de 7,657 km^2.

De acuerdo a la capa de Usos de Suelo y Vegetación 2016, el área urbana abarca 14% del territorio metropolitano. Adicionalmente, los instrumentos de planificación urbana municipal y metropolitanos indican cerca de 30,200 has de uso industrial, de las cuales sólo 42% se encuentran dentro de la superficie urbana, el resto se localiza en suelos agrícolas (9%), pecuarios (17%), y matorral (31%) principalmente. Por otro lado, destaca que 61% de la superficie que abarca la zona metropolitana corresponde a áreas verdes, de las cuales 26% son Áreas Naturales Protegidas (ANP), 34% son matorrales y el 1% son zonas forestales. Cabe señalar que las 10 ANP decretadas en el entorno metropolitano protegen 43% de los ecosistemas presentes. Finalmente, los usos productivos como la agricultura, la ganadería y la pesca ocupan el 25% del territorio.

II.1.1 Dinámica poblacional y urbana

En 2015, los 18 municipios del AMM registraron una población de 4.7 millones de habitantes, de los cuales el 24% residían en el municipio de Monterrey, cuya superficie representa sólo 4% de la superficie total del área metropolitana. Así, no sólo el AMM es una ciudad-estado, ya que concentra el 91% de la población urbana del Estado de Nuevo León, es además una ciudad monocéntrica, donde la mitad de la población se concentra en sólo tres municipios: Apodaca, Guadalupe y Monterrey, que representan sólo 9% de la superficie metropolitana.

Durante los últimos 15 años la población del AMM ha crecido en 2.3% promedio anual, un ritmo superior a la dinámica observada en el país durante el mismo periodo de 1.4%. Las proyecciones de población indican una reducción en el ritmo de crecimiento que pasará del 1.6% promedio anual entre 2010 y 2020, a 1.2% promedio anual entre 2020 y 2030. Aun así, el AMM es la tercera ciudad más poblada del país, se espera que al 2020 alcance los 4.9 millones de habitantes, y al 2030 que se superen los 5.6 millones.

En términos de ocupación del suelo, la superficie urbana del AMM ha experimentado un crecimiento mayor respecto al incremento del número de habitantes; de 1980 a 2015 la población aumentó en promedio 2.3%, en tanto que la superficie creció 5.0%.

De acuerdo con el análisis de capas de los Polígonos de Contención Urbana (PCU) definidos por la CONAVI y el Inventario de Viviendas 2016, el patrón territorial expansivo continua gestándose; sólo 19% de las viviendas existentes se localizan en zonas urbanas

consolidadas con acceso al empleo, equipamiento y servicios urbanos (U1); 61% en U2 o zonas en proceso de consolidación con infraestructura y servicios urbanos de agua y drenaje mayor al 75% inmediatas a U1; 10% en zonas contiguas al área urbana (en un cinturón periférico al área urbana, definido de acuerdo al tamaño de la ciudad o U3), y 10% de las viviendas se localizan fuera de los PCU (INEGI, 2016).

Así, derivado del modelo de desarrollo urbano expansivo, entre 2000 y 2010 la periferia del AMM aumentó su densidad en 40%, mientras que el centro urbano se despobló en 15% (CN, 2017). Tan sólo entre 2010 y 2015 el municipio central perdió cerca de 27,000 habitantes, el equivalente a 2% de la población del municipio de Monterrey. Lo anterior ha ocasionado que la ciudad presente una baja densidad en su zona central mientras que municipios adyacentes como San Nicolás de los Garza y Juárez presentan densidades más altas de 114 y 137 hab/ha, respectivamente (Tabla II.1).

Tabla II.1. Densidad media urbana de población en el AMM, 2015

Territorio	Población urbana	Porcentaje	Superficie urbana (ha)	DMU(hab/ha)[2]
Nuevo León	4,803,885		85,626	104
Área Metropolitana de Monterrey	4,389,198	100.0%	69,434	116
Abasolo	1,862	0.0%	121	16
Apodaca	567,892	12.9%	7,005	143
Cadereyta Jiménez	74,825	1.7%	2,948	61
Carmen	23,216	0.5%	646	73
Ciénega de Flores	33,952	0.8%	858	78
García	181,346	4.1%	2,908	60
San Pedro Garza García	121,070	2.8%	3,944	31
General Escobedo	404,254	9.2%	4,982	132
General Zuazua	63,279	1.4%	780	130
Guadalupe	679,605	15.5%	6,978	108
Juárez	303,601	6.9%	3,599	137
Monterrey	1,108,562	25.3%	17,308	106
Pesquería	16,267	0.4%	549	60
Salinas Victoria	37,009	0.8%	1,116	60
San Nicolás de los Garza	428,430	9.8%	4,725	114
Hidalgo	13,214	0.3%	1,453	15
Santiago	38,393	0.9%	6,153	19
Santa Catarina	292,421	6.7%	3,361	138

Fuente: CMM con datos de INEGI, 2015.

La baja densidad poblacional obedece no sólo a un proceso de periferización urbana, también a un modelo de diseño urbano que favorece la construcción de vivienda

[2] La densidad media urbana se calculó a partir de la densidad bruta (población por unidad de superficie) de cada una de sus AGEB urbanas ponderadas por el tamaño de su población.

unifamiliar de tipo horizontal. Del parque habitacional en 2015, estimada en 1,270,021 viviendas habitadas, el 96% es vivienda tipo horizontal y sólo 2% es vivienda vertical, por lo que tampoco se observa énfasis en las políticas de densificación de la ciudad[3].

Por ello, a pesar de que algunos municipios autorizan densidades de hasta 150 viv/ha, la densidad de vivienda en el AMM es baja, de sólo 45 viviendas por hectárea (viv/ha), aproximadamente la mitad de la densidad mínima deseable de 80 viv/ha (Nieto, 2013).

Al observar la distribución de la vivienda, alrededor del 70% de la superficie contabilizada por las manzanas registra densidades menores a 10 viv/ha, en tanto que la proporción de superficie con densidades superiores al mínimo deseable abarca sólo 7% de las manzanas, la cual se concentra en los centros urbanos de los municipios.

Otro aspecto del patrón de urbanización disperso del AMM es la existencia de numerosos predios baldíos al interior del área urbana. Hacia 1986 había 3,439 ha de predios baldíos y para 1999 sumaban 5,135 ha. Lo que representa un incremento del 33% en 13 años. Del total de la superficie vacante en 1999, el 63% se encontraban en tres municipios periféricos al centro metropolitano, Apodaca, General Escobedo y Guadalupe. Respecto a la superficie de tierra vacante que había en 1999, al 2018 quedan 2,358 ha, lo que muestra que en 19 años se urbanizaron 2,777 ha que representan 54% de la superficie vacante. De acuerdo a la información del Consejo Estatal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano, en 2017 el Estado de Nuevo León registró 11,459 ha de suelo vacante, mientras que el total de predios vacantes del AMM suman 10,604 ha. Es decir, el 93% de suelo vacante se concentra dentro del área urbana del AMM.

II.1.2 Asentamientos irregulares y vivienda deshabitada

Se estima que en 2016 alrededor del 6% del parque habitacional existente, aproximadamente 73 mil viviendas, tenían algún tipo de rezago (materiales constructivos en deterioro, regulares y/o con precariedad en espacios), (CONAVI, 2018b).

Este escenario contrasta con la numerosa presencia de asentamientos informales. En 2018 la información proporcionada por Fomerrey identifica 375 asentamientos irregulares, de los cuales el 47% se localiza en el municipio de Monterrey, 16% en el municipio conurbado de Guadalupe y el restante 37% en los otros municipios del AMM.

Al mismo tiempo, durante el año 2010 una quinta parte de las viviendas (285,763) estaban deshabitadas (INEGI, 2010). En los municipios de Pesquería, Ciénega de Flores, García, Carmen, General Zuazua y Santiago, al menos cuatro de cada diez viviendas se encuentran en dicha condición, sumando casi 70,000 viviendas deshabitadas. Mientras tanto, los municipios que concentran el mayor número de viviendas habitadas en el AMM

[3] El restante 1% de la vivienda correspondió a vivienda en vecindad y 1% a cuarto en la azotea de un edificio, local no construido para habitación, vivienda móvil y refugio (INEGI, 2015). Lo anterior puede explicarse a partir del costo de los inmuebles, el cual de acuerdo con la inmobiliaria Lamudi, asciende a $3,780,990 pesos en promedio para una casa, en tanto que un departamento se valúa en $5,000,600 pesos (Lamudi, 2017).

son San Nicolás de los Garza, Guadalupe, Monterrey, Hidalgo y General Escobedo, cada uno con ocho viviendas habitadas de cada diez domicilios existentes.

II.1.3 Concentración de la actividad económica y el empleo

Al igual que sucede con la población, las actividades económicas y los equipamientos se concentran en el municipio de Monterrey. De acuerdo a cifras del DENUE, el AMM registró en marzo de 2018 un total de 153,817 establecimientos, de los cuales Monterrey alberga 38%. La concentración se eleva a 63% si se incluyen los municipios conurbados de Guadalupe y San Nicolás de los Garza. Además las proporciones son similares cuando se trata de establecimientos con más de 100 empleados.

De igual forma, el grueso de los centros escolares se localiza el municipio de Monterrey (32%), seguido por Guadalupe (15%) y San Nicolás de los Garza (11%). Esta concentración se acentúa en relación a los establecimientos escolares más grandes, con al menos 51 personas ocupadas, de los cuales 46% se localiza en el municipio de Monterrey. La proporción es aún mayor cuando se trata de los centros de educación superior, donde el municipio central alberga a 66% de la oferta educativa.

En relación con otros equipamientos públicos y privados, en el municipio de Monterrey se localiza 39% de los centros de salud, 63% de los mercados, y 30% de las plazas. Únicamente en el caso de los centros deportivos es el municipio colindante de Guadalupe el que registra una mayor proporción (22%) que el centro urbano (17%).

Un equipamiento relevante por su dinámica de atracción de viajes son los puntos de venta, de los cuales Monterrey concentra 32% de los minisupermercados, 25% de los supermercados y 37% de las tiendas departamentales.

Esta alta agrupación de servicios y equipamientos explica la dinámica de movilidad urbana centro-periferia, que aunada a la baja cobertura de trasporte público, ocasionan una alta congestión vial y contribuye a la mala calidad del aire.

II.1.4 Tendencias del desarrollo urbano

Bajo el modelo de ciudad compacta se esperaría que la oferta de vivienda nueva contribuyera a consolidar los núcleos urbanos del AMM. No obstante, a enero de 2018 sólo 7% de la oferta de vivienda nueva se localizaba en U1, y 26% en U2, en tanto que 45% se desarrolló en U3 y el 22% se localizó fuera de los PCU (CONAVI, 2018a). Lo anterior indica que aún no se ha logrado consolidar las políticas para frenar la tendencia a la expansión urbana del AMM.

De acuerdo a datos del Registro Único de Vivienda (RUV) para 2017, la composición actual de las zonas de reserva presentadas por los diferentes desarrolladores de vivienda, podría acelerar el fenómeno de expansión urbana dado que:

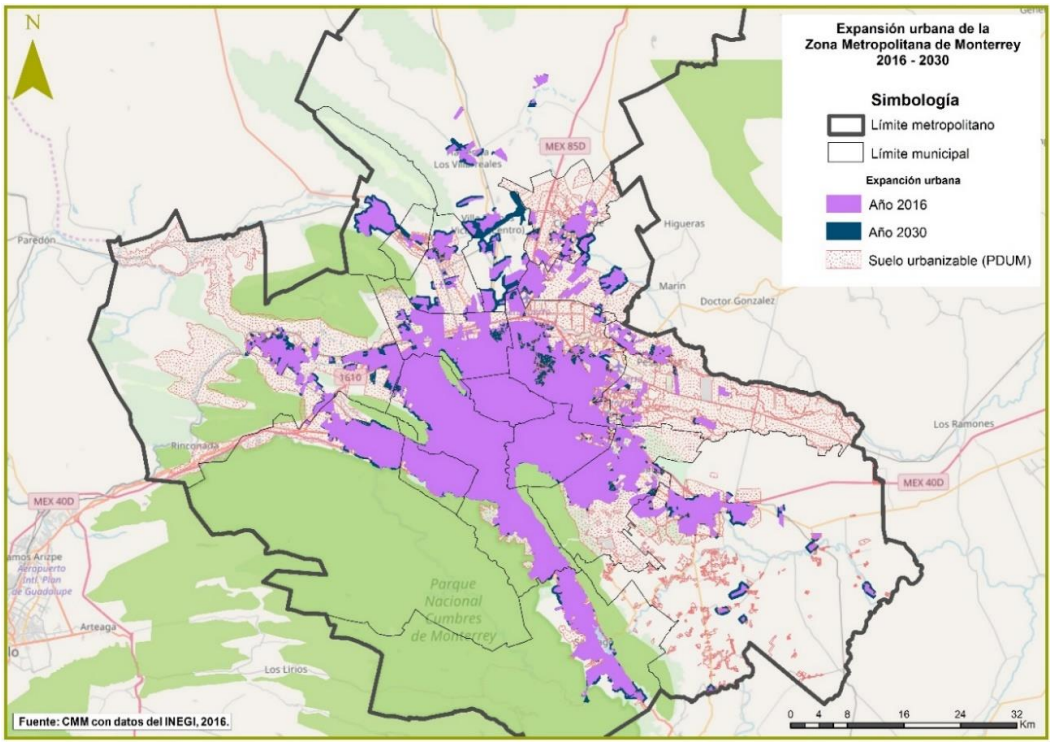
- El estado con mayor área de reserva territorial a nivel nacional es Nuevo León con el 21% (29,387.8) de las hectáreas registradas por los desarrolladores inmobiliarios.

- El 90% del territorio de reserva, equivalente a 26,495 hectáreas, se concentra en los municipios que conforman el AMM. Los municipios de García (26%), Juárez (14%) y Cadereyta (10%) concentran casi la mitad de la reserva territorial del AMM.
- El 50% de las reservas territoriales se encuentran fuera de los Polígonos de Contención Urbana, definidos por CONAVI; sólo 3% se localiza en el polígono U1, 6% en el polígono U2 y 41% en el polígono U3.

Este panorama de continuidad de la expansión urbana, requiere la definición clara de estrategias para la ocupación del suelo reservado, de acuerdo a criterios de desarrollo urbano sustentable que mejoren la calidad de vida de la población, con el menor impacto ambiental posible y al menor costo para los gobiernos locales.

Hasta ahora, si bien el Plan Metropolitano 2000-2021 establece lineamientos para frenar la expansión urbana, los gobiernos locales no los han instrumentado. Bajo este escenario de baja regulación y control sobre el proceso de urbanización, el escenario tendencial de expansión urbana[4], indica que la superficie de la ciudad alcanzará 124,295 ha, es decir, un crecimiento entre el 2016 y el 2030 del 15% (15,759 ha) de la superficie. En el Mapa II.1 se observan las áreas esperadas de crecimiento, localizadas principalmente en los municipios de Salinas Victoria, Apodaca, Cadereyta Jiménez y García.

Mapa II.1. Expansión urbana estimada del AMM al 2030



Los resultados de la proyección indican que el uso urbano sumará 33,478 ha, considerando 17,728 ha de suelo intraurbano, así como 15,759 ha de suelo periférico;

[4] La metodología empleada puede consultarse en el Anexo VI.4.

éste último representa sólo 11% de la reserva territorial decretada en los PMDU (143,767 ha) (Tabla II.2). La proyección también advierte un proceso de consolidación de la ciudad, expresado en las 17,728 ha que se urbanizarán en zonas al interior de la ciudad, y que actualmente están consideradas como zonas urbanizable en los PMDU.

No obstante, al comparar el área de expansión urbana (en la periferia) proyectada al 2030, con las superficies de las zonas urbanizables definidas en los PMDU del AMM (143,767 ha), existe una coincidencia en sólo el 25% (3,978 ha) de la superficie, es decir, escasamente una cuarta parte de la expansión urbana proyectada comprende las zonas decretadas para ello. Por el contrario, el 75% (11,780 ha) de la expansión proyectada podría provocar cambios de uso de suelo no contemplados en los PMDU.

Los resultados previos consideran una restricción fuerte a la urbanización de las áreas verdes, tanto ANP como zonas de conservación. Un segundo modelo sin esta restricción, muestra una pérdida adicional de suelos agrícolas, bosques, cuerpos de agua, matorrales y pastizales que representan 4,188 ha, y que significan una expansión al 2030 de 21% respecto al 2016.

Tabla II.2. Expansión urbana estimada al 2030

Municipio	Superficie urbana		Superficie total urbanizable en PMDU	Superficie urbanizada al 2030					
	2016	2030*		en suelo intraurbano		en suelo periférico urbanizable		en suelo no urbanizable	
	ha	ha	ha	ha	%	ha	%	ha	%
Abasolo	254	461	951	125	1%	26	1%	190	2%
Apodaca	11,949	14,116	11,238	3,452	19%	1,199	30%	861	7%
Cadereyta Jiménez	5,351	7,155	11,675	1,535	9%	264	7%	1,519	13%
Ciénega de Flores	2,008	2,713	8,714	646	4%	218	5%	476	4%
El Carmen	2,020	2,984	4,349	596	3%	277	7%	670	6%
García	5,579	7,173	42,800	1,093	6%	440	11%	1,165	10%
General Escobedo	8,720	9,419	6,732	2,072	12%	385	10%	333	3%
General Zuazua	3,324	4,190	5,563	697	4%	120	3%	746	6%
Guadalupe	9,701	9,875	1,183	864	5%	44	1%	139	1%
Hidalgo	1,671	2,353	-	-	0%	-	0%	677	6%
Juárez	7,294	7,811	14,225	1,994	11%	357	9%	148	1%
Monterrey	21,957	22,261	2,991	1,556	9%	125	3%	270	2%
Pesquería	2,706	3,470	25,718	576	3%	313	8%	440	4%
Salinas Victoria	3,567	6,558	-	-	0%	0	0%	2,955	25%
San Nicolás de los Garza	5,960	5,960	380	380	2%	-	0%	-	0%
San Pedro Garza García	4,933	4,982	321	201	1%	9	0%	56	0%
Santa Catarina	5,126	5,629	4,452	492	3%	151	4%	369	3%
Santiago	6,417	7,185	2,476	1,447	8%	51	1%	767	7%
Total	**108,536**	**124,295**	**143,767**	**17,728**	**100%**	**3,978**	**100%**	**11,780**	**100%**

Nota: *Proyección. Fuente: Elaboración propia.

II.2 La movilidad urbana

II.2.1 Contexto regional

Conocer la relevancia histórica y regional de una ciudad permite entender su dinámica interna. De acuerdo a la Estrategia Territorial Nacional (SEDESOL, 2012) en donde se catalogó a las ciudades por rangos (o niveles), en el rango 1 se posiciona únicamente la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), mientras que en el rango 2 aparecen las zonas metropolitanas de Monterrey y Guadalajara dada su importancia como centros de servicios, influencia macro-regional y concentración de altos volúmenes de población.

Respecto a la generación de viajes persona/mercancías dentro del mismo sistema urbano nacional, el AMM recibe flujos de transporte de primer orden desde 20 ciudades, de segundo orden desde 37 ciudades y de tercer orden desde 15 ciudades, convirtiéndose en el principal nodo en el noreste del país; con ello se ha beneficiado como uno de los principales ganadores de la apertura comercial, y está ubicado en el corredor más dinámico del TLCAN (ahora T-MEC).

II.2.2 Instrumentos e instituciones para la planeación de la movilidad

El estado de Nuevo León ha desarrollado instrumentos normativos a favor de la movilidad sustentable y la modernización del sistema de transporte público; entre los más importantes se encuentra la Ley de Transporte para la Movilidad Sustentable y la Ley de la Agencia para la Racionalización y Modernización del Sistema de Transporte Público para el estado de Nuevo León. También, destaca el Consejo Estatal de Transporte y Vialidad, definido como un órgano de participación ciudadana de carácter técnico, especializado, consultivo, descentralizado del Gobierno del Estado, con autonomía técnica y presupuestal, personalidad y patrimonio propio, pero sin atribuciones de autoridad y conformado por integrantes con cargos honoríficos.

Sin embargo, como lo menciona el Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, en su documento *Lineamientos para una movilidad urbana sustentable* (ITDP, 2012), es necesario establecer un conjunto de instituciones que den soporte a la planeación de la movilidad, desarrollo urbano y la participación ciudadana. Sin una estructura institucional sólida, se corre el riesgo de no dimensionar la importancia de impulsar un ordenamiento del territorio, un aprovechamiento adecuado del suelo, así como una dotación de transporte público e infraestructura para la movilidad. En el caso del gobierno de Nuevo León es necesaria la redefinición de competencias y atribuciones de sus instituciones; mientras que a escala municipal, no se identificaron para ninguno de los 18 municipios que conforman el AMM, una dirección especializada en temas de movilidad, a excepción es el municipio de Monterrey que cuenta con un Instituto de Planeación Urbana y de Convivencia.

II.2.2.1 Marco legal y regulatorio del transporte de carga

Históricamente en los estudios enfocados a mejorar la movilidad de las ciudades se ha dejado de lado el tema del transporte de carga, siendo éste de gran importancia al tener impactos directos en los patrones de movilidad y ocasionando problemas de deterioro y fallas operativas a la red.

El actual marco legal y regulatorio en el Estado de Nuevo León, considera a los vehículos de transporte de carga pesada como aquellos vehículos cuya capacidad de carga excede 3,500 (tres mil quinientos) kilogramos y/o su longitud es mayor de 6.50 (seis punto cincuenta) metros, y están clasificados para prestar el Servicio Particular de Carga, Servicio Público Local y, Servicio Público Federal, sujetándose al siguiente marco:

- Ley de Transporte para la Movilidad Sustentable del Estado de Nuevo León.
- Ley de la Agencia para la Racionalización y Modernización del Sistema de Transporte Público de Nuevo León.
- Reglamento de Tránsito y Vialidad del Municipio de Monterrey.
- Nuevo Reglamento de Tránsito y Vialidad Homologado en la Zona Metropolitana de Monterrey.

El pasado 1 de Junio de 2016 fue publicó en el Periódico Oficial del Estado de Nuevo León el acuerdo mediante el cual se aprobó la expedición del Reglamento de Tránsito y Vialidad del Municipio de Monterrey, el cual desde su entrada en vigor el día 02 de Agosto del año 2016, ha desatado una serie de cuestionamientos e inconformidades debido a su sobrerregulación y el establecimiento de restricciones a los prestadores de servicios de transporte de carga pesada. Lo anterior, particularmente en relación a la reducción de las vialidades en las que se permite transitar a este tipo de vehículos, con base en una caracterización de avenidas por sus limitadas dimensiones, en las cuales solamente se podrá circular en un horario comprendido de las 22:00 a las 6:00 horas del día siguiente.

II.2.3 Caracterización de la movilidad urbana

II.2.3.1 Generación de viajes

Con la finalidad de comprender la movilidad de la ciudad, se estimó el volumen de viajes generados en función a la presencia de equipamientos y unidades económicas. Los resultados indican que las zonas centrales, al concentrar una gran cantidad de comercios, industria, oficinas, vivienda y escuelas, tienen una probabilidad de generar aproximadamente el 70% de los viajes en una hora.

Las industrias son las principales atractoras del mayor volumen de viajes, con aproximadamente el 62% de total de los viajes generados en la hora de máxima demanda matutina, mientras que por la tarde generan el 47% de los viajes. En segundo lugar, se encuentran los equipamientos de salud, generando en la mañana en HMD un aproximado del 14% de los viajes y por la tarde un 17% de los mismos. En tercer lugar, se encuentran

las oficinas, con un volumen matutino del 11% respecto al total, mientras que por la tarde, el porcentaje se eleva a 17%.

II.2.3.2 Patrones de movilidad y reparto modal

De acuerdo con información calculada por Moovit[5], en el AMM el 25% de los usuarios de transporte público invierten un tiempo superior a las 2 horas en sus traslados. En general un viaje promedio se invierten aproximadamente 70 minutos para un estimado de 9.5 km de distancia recorrida y además se identificó que 7 de cada 10 personas realiza un transbordo.

Derivado de los tiempos de transbordo y los elevados niveles de congestión, el aumento de tiempo ha afectado tanto a los viajes en transporte público como en vehículo particular. Entre los municipios más afectados en el incremento de tiempo en transporte público se encuentra General Escobedo con 154% y Apodaca con 80%, en el periodo de 1989 a 2005. En vehículo particular, aparece nuevamente General Escobedo con 100% de incremento, seguido de San Pedro Garza García con 57%, y Monterrey con 53%.

Resulta de suma importancia profundizar en la distribución modal a nivel municipal, ya que existen grandes diferencias al interior del área metropolitana. Por ejemplo, según los resultados de la encuesta de percepción ciudadana *Así Vamos 2016*[6], el municipio de Juárez presenta un considerable uso predominante del transporte público con 48% de los viajes; en contraste, en el municipio de San Pedro Garza García el uso del automóvil particular va a la cabeza con un 82%, mientras que el transporte público únicamente es utilizado en 11% de los viajes realizados.

Estos datos revelan una clara preferencia por el uso del automóvil en la ciudad, donde se tiene una de motorización de 421 vehículos por cada mil habitantes y en algunos municipios esta problemática es mayor, por ejemplo San Pedro Garza García con una tasa de motorización de 919 vehículos por cada mil habitantes.

Las elevadas tasas de motorización derivan en serios problemas de congestión vial, donde las velocidades de circulación de la red vial del área urbana del AMM no superan los 40 km/hora en la mayoría de los casos.

Otro punto importante a considerar es la oferta de estacionamiento público, ya que como en la mayoría de las ciudades, la zona centro es la principal generadora de viajes, de ahí la necesidad por mantener una oferta de estacionamientos, acorde a la demanda. Sin embargo, es de vital importancia mantener regulada, tanto la oferta en establecimientos, como el uso de la vía pública para dicho fin.

En total se contabilizaron 417 estacionamientos, de los cuales la mayoría se localiza en el primer cuadro de la ciudad -225 estacionamientos-. Sin embargo, gran parte de la

[5] Aplicación de transporte público y servicio de mapeo.

[6] Los resultados de la encuesta presentada, únicamente considera 9 de los 18 municipios que integran el AMM.

demanda de estacionamiento se cubre con el espacio en vialidades, ya sea mediante el pago de parquímetros, o de manera libre. En Monterrey, se encontraron poco más de 5 mil espacios ocupados por vehículos en vialidades primarias.

II.2.3.3 Ventas de vehículos nuevos y su impacto en el consumo de combustible

En el 2017 las ventas de las plazas automotrices en los municipios pertenecientes al AMM representaron 6% de las ventas nacionales con la siguiente distribución: 62% de automóviles subcompactos, compactos, de lujo y deportivos; 14% de camionetas de carga; y 24% de camionetas de pasajeros.

En el período de 2008 al 2017, la tasa media de crecimiento anual de las ventas de automóviles fue de 6.8%. En el 2009 se registró una reducción en las ventas, influenciadas por una caída del PIB nacional derivada de la crisis mundial, comparable al desplome de 1995, sin embargo, las ventas en los años siguientes mantienen una tendencia positiva. El acumulado de las ventas en los últimos diez años, del 2008 al 2017, es de 451,713 automóviles, 161,709 camionetas de pasajeros y 115,201 camionetas de carga.

Como parte de las consecuencias relacionadas al volumen de vehículos que circulan todos los días por la ciudad, se tiene una severa dependencia al consumo de combustibles fósiles. Tan sólo en el AMM se ubican 824 estaciones de servicio en operación al año 2017, mientras que en el 2001, existían aproximadamente una tercera parte, 277 estaciones que surtían la creciente demanda de combustibles en la ciudad.

Durante el 2017, en el AMM se vendió el 6% de las gasolinas (magna y premium) comercializadas en todo el país. Además, concentró el 76% de las ventas de gasolinas comercializadas en el Estado de Nuevo León. Las ventas anuales de diesel rondan en un promedio del 4% del nacional y representan el 77% del diesel comercializado en Nuevo León. En el período de 2001 al 2014, la tasa media de crecimiento anual de las ventas de diesel fue de 1.6%.

II.2.3.4 Emisiones del parque vehicular en circulación

El uso intensivo del vehículo particular ha generado importantes efectos negativos, tanto en la dinámica urbana como en el deterioro de la calidad del aire. De acuerdo al Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire (ProAire 2016-2025) del Estado de Nuevo León, las fuentes móviles contribuyen de manera considerable en la emisión de contaminantes atmosféricos, siendo el primer emisor de CO (96%) y NOx (68%), y el segundo emisor de COV (23%).

Para el diagnóstico de emisiones del parque vehicular en circulación se utilizaron los datos de campañas de medición con sensores remotos (Anexo V.1), los cuales, permiten estimar en poco tiempo datos de las concentraciones de los gases de escape de miles de vehículos, además de obtener la fotografía de la placa de cada vehículo, y con ello conocer el estado ambiental y características del parque vehicular en circulación.

Se analizaron las campañas de monitoreo con sensor remoto realizadas por la empresa Opus Inspection y la Secretaría de Desarrollo Sustentable de Nuevo León en 2018, en cinco puntos de muestreo para los municipios pertenecientes al AMM.

Al realizar la distribución por año modelo, se encontró que la flota vehicular tiene una edad promedio de nueve años. Lo anterior es razonable debido a que los vehículos de nueve años de antigüedad o menos representan más del 62%. El servicio particular resaltó significativamente con 65.3%, seguido por el servicio carga con 20% y taxi con 11%. Únicamente el 1.6% correspondió a servicio público de pasajeros, 1.1% a servicio privado de pasajeros, 0.6% a vehículos oficiales, 0.2% a servicio foráneo de pasajeros y el 0.2% a vehículos de discapacitado.

II.2.3.4.1 Análisis de concentraciones de la flota a gasolina (PVVO Megalópolis)

El 5 de septiembre de 2017, la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) publicó en el Diario Oficial de la Federación la NOM-167-SEMARNAT-2017, la cual contempla límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para vehículos en circulación que usan gasolina y cuyo peso bruto vehicular es mayor de 400 kilogramos y hasta a 3857 kilogramos en el método de prueba dinámica. Sin embargo, debido a la falta de límites de emisiones en la normatividad federal para vehículos 2006 y posteriores, se complementó el siguiente análisis con los límites máximos permisibles para la constancia de verificación tipo cero “0” de los programas de verificación vehicular obligatoria (PVVO) de la Megalópolis, mismos que se muestran en la Tabla II.3.

Tomando como referencia dichos límites se analizó si los vehículos que circulan en el Área Metropolitana de Monterrey cumplirían con ellos en caso de contar con un programa de verificación obligatorio aplicando el protocolo de prueba de aceleración simulada.

Tabla II.3. Límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para vehículos ligeros

Año modelo	Hidrocarburos (HC) mol/mol (ppm)	Monóxido de Carbono (CO) cmol/mol (%)	Monóxido de Nitrógeno (NO) µmol/mol (ppm)
1993 y anteriores	350	2.5	2,000
1994 a 2005	100	0.7	700
2006 y posteriores	80	0.4	250

Fuente: NOM-167-SEMARNAT-2017, 2017. Nota: Vehículos en circulación que usan gasolina y cuyo peso bruto vehicular es mayor de 400 kilogramos y hasta a 3,857 kilogramos en el método de prueba dinámica.

En términos generales, 82% de la flota reciente cumpliría con los límites máximos establecidos para CO. Mientras que sólo 56% de la flota anterior al 2006 estaría en cumplimiento. Además, hay una proporción significativa de vehículos que rebasaría desde dos y hasta más de cinco veces los límites.

En relación a los HC, el 72% de la flota más nueva cumpliría con los límites; en tanto que la flota más antigua tendría un porcentaje de cumplimiento de 24%. Además, hay una

significativa proporción de vehículos que rebasaría desde dos y hasta más de cinco veces los límites.

En el caso de NO, la mayoría de la flota más nueva y más antigua cumpliría con los límites, 78% y 81% respectivamente. Sin embargo, la categoría entre 1994 y 2005 sólo cumpliría en un 41%. Igualmente, hay una proporción significativa de vehículos que rebasaría desde dos y hasta más de cinco veces los límites.

II.2.3.4.2 Análisis de concentraciones de la flota a gasolina (NOM167, Megalópolis)

El 5 de septiembre de 2017, la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) publicó en el Diario Oficial de la Federación la NOM-167-SEMARNAT-2017; que contempla límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para la detección de un vehículo automotor ostensiblemente contaminante. Dichos límites se muestran en la Tabla II.4 y fueron considerados en el análisis de los contaminantes que se describen a continuación.

Tabla II.4. Límites máximos permisibles de emisión de contaminantes en vialidad para vehículos automotores a gasolina

Hidrocarburos (HC) mol/mol (ppm)	Monóxido de Nitrógeno (NO) µmol/mol (ppm)	Monóxido de Carbono (CO) cmol/mol (%)
600	2,500	4.5

Fuente: NOM-167-SEMARNAT-2017, 2017.

Al aplicar los criterios de validación, se obtuvieron 14,830 registros válidos de vehículos a gasolina. En el análisis se destaca que el servicio particular; categoría a la que pertenecen los automóviles y las pick ups con placa particular, es el servicio con más altos emisores para CO, HC y NO.

Para conocer las proporciones de cada tipo de vehículo y servicio que exceden los límites establecidos por la NOM-167-SEMARNAT-2017 sin la influencia del número de registros de cada categoría, se calcularon los percentiles de emisiones. Así, el porcentaje de altos emisores de CO para camiones ligeros es cercano a 20%, para pick ups es alrededor de 7%, para vans de carga es 5%, para automóvil es alrededor de 3%, para taxis cerca de 2% y menos de 1% para SUVs. Por otro lado, el porcentaje de altos emisores de CO para servicio de carga es alrededor de 8%, categoría a la que corresponden los camiones ligeros, pick ups con placa de carga y vans de carga. Mientras que servicio particular es alrededor de 3% y taxi cerca 2%.

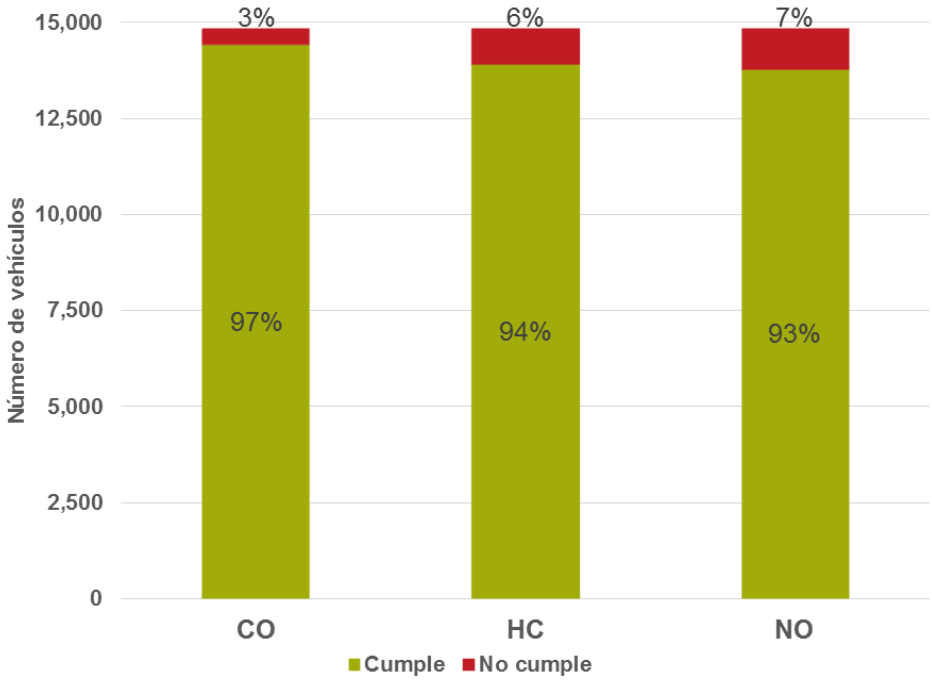
Los altos emisores de HC para camiones ligeros son alrededor de 28%, para pick ups cerca de 13%, para vans de carga aproximadamente 11%, para automóviles 7%, para taxis 6% y 4% de SUVs. El porcentaje de altos emisores por HC para el servicio de carga es casi 15% mientras que para el resto de los servicios es de alrededor de 5%.

Respecto a los percentiles para NO, los altos emisores para cada tipo de vehículo son 20% de taxis, pick ups aproximadamente 8%, 5% de camiones ligeros y automóviles,

SUVs cerca de 4% y 1% de vans de carga. Verificando los percentiles para NO por servicios, se encontró un incumplimiento de la norma en 20% de taxis, casi 8% de carga y 5% de los particulares.

En términos generales y observando la Figura II.1; para CO sólo el 3% de la flota excede el límite de la NOM-167-SEMARNAT-2017, mientras que para HC y NO el 6% y 7% respectivamente de los vehículos resultan altos emisores.

Figura II.1. Altos emisores de acuerdo a la NOM-167-SEMARNAT-2017



II.2.3.5 Alternativas para una movilidad urbana sustentable

La única alternativa para revertir la dependencia al vehículo particular y sus efectos nocivos sobre la calidad del aire, es la existencia de una amplia oferta de modalidades alternativas, como son el transporte público y la infraestructura para la movilidad activa.

Actualmente la oferta de transporte público en la ciudad es atendida por alrededor de 354 rutas con 5,429 unidades, sin embargo se identificaron problemas de cobertura.

Una opción para contrarrestar estos efectos es la consolidación de un Sistema Integrado de Transporte, que en el caso del AMM está conformado por el Metro y la Ecovía. Sin embargo, el transporte estructurado en el AMM tiene una cobertura sumamente limitada ya que únicamente el 18% de la población tiene acceso, a una distancia caminable, a la red del transporte estructurado. Respecto a la infraestructura para una movilidad activa, el panorama no es mejor, ya que la ciudad sólo cuenta con 0.4 kilómetros de ciclovía y tan solo el 63% de sus manzanas tienen banqueta en todos sus frentes.

II.2.4 Transporte de carga y su impacto en la movilidad urbana

Con respecto al transporte de carga y de acuerdo a cifras de la Dirección General del Autotransporte Federal de la SCT, la composición de vehículos destinados exclusivamente al transporte de carga en la entidad es de 41,474 unidades, mientras que existen 11,643 unidades de carga especializada, de las cuales el 87% de ellas operan con motor a diesel.

Respecto al aforo que se registra en las entradas a la zona metropolitana a través de carreteras libres, se puede identificar que la carretera proveniente de Nuevo Laredo es la que presenta mayor aforo, con más de 8 mil unidades diarias promedio al año. La siguiente carretera libre que reporta mayor flujo de vehiculos de carga es la número 40 proveniente de Matehuala en su parte más lejana, misma que cruza por la ciudad de Saltillo. Esta vialidad reporta poco más de 7 mil vehiculos de carga diaria en promedio al año en su entrada a Monterrey.

El AMM se conecta con puntos de importancia como Saltillo, Reynosa y Nuevo Laredo a través de las carreteras de cobro 40D y 85D. Estas dos últimas ciudades mencionadas son particularmente importantes por ser fronterizas y puntos de conexión con las industrias y centros de distribución de empresas en Estados Unidos, tanto en territorio nacional como en territorio del país vecino del norte. De éstas, la más transitada por vehículos de carga es la 85D, proveniente de Nuevo Laredo, misma que antes de llegar a Monterrey, intersecta con la carretera 85 proveniente del mismo Nuevo Laredo. Es decir, dicha vía de cuota hace las veces de una vía más rápida y directa pues evita el paso por la ciudad de Sabinas Hidalgo. Así pues, antes de intersectar con la vía libre, presenta un aforo de poco más de 3 mil vehículos de carga pesada diaria en promedio al año.

Por su parte, la carretera 40D en su tramo proveniente de Reynosa, tiene una afluencia de poco más de 2,300 autos de carga pesada diaria en promedio al año; mientras que la misma carretera pero en su tramo proveniente de Saltillo, reporta cerca de 1,500 vehículos diarios en promedio al año en circulación entrante al AMM.

Respecto al aforo que se registra en las salidas en el área metropolitana a través de carreteras libres, se puede identificar que la carretera con rumbo a Nuevo Laredo es la que mayór aforo presenta, con más de 10 mil unidades diarias promedio al año. Dicho volumen de autos se divide posteriormente entre la misma vía libre y su contraparte de cuota, de manera que de estas 10 mil unidades poco menos de la mitad permanecen su trayectoria sobre la vialidad libre, hasta la ciudad fronteriza de Nuevo Laredo.

El AMM recibe importantes afluentes de vehículos de carga debido a las conexiones que tiene con ciudades importantes como Saltillo, Reynosa y Nuevo Laredo, esto a través de las carreteras de cobro 40D y 85D. Como se mencionó previamente, Reynosa y Nuevo Laredo son ciudades de conexión comercial con Estados Unidos, y particularmente en Nuevo Laredo se encuentra el Puente Internacional de Comercio Mundial, por el cual se realiza el mayor intercambio de productos y mercancias provenientes de cualquier parte del país.

Respecto a las carreteras antes mencionadas, la más transitada por vehículos de carga es la 85D, justamente con dirección a Nuevo Laredo, presentando un aforo de mas de 5 mil vehículos de carga pesada diaria en promedio al año.

Por su parte, la carretera 40D en su tramo con dirección a Reynosa, tiene una afluencia de poco más de 2,200 unidades de carga pesada diaria en promedio al año; mientras que la misma carretera pero en su tramo rumbo a Saltillo, reporta cerca de 1,700 vehículos diarios en promedio al año en circulación provenientes del AMM. Cabe mencionar que cerca de la ciudad de Saltillo, la carretera 40D intersecta con la 57D que tiene como rumbo San Luis Potosí o Querétaro de Arteaga en un punto más lejano.

Como ya se mencionó anteriormente, el transporte de carga es crucial para entender la dinámica de la movilidad en la ciudad, particularmente si se tiene una vocación industrial como el AMM. A pesar de la importancia en términos económicos, la circulación del transporte de carga en las ciudades tiene costos muy elevados dado el entorpecimiento del flujo vehicular reflejado en altos niveles de congestión, hechos de tránsito fatales al ser unidades de difícil control, deterioro de la imagen urbana, ruido, y sobre todo, una elevada emisión de contaminantes que contribuyen notablemente al deterioro en la calidad del aire.

Pero no sólo el transporte de carga por carretera impacta negativamente la ciudad. Gran parte del volumen de carga que llega y sale de la ciudad se mueve en tren, dado sus grandes beneficios, principalmente al movilizar un mayor volumen a menor costo.

De acuerdo al Plan de Desarrollo Ferroviario de Nuevo León (2011-2020), por el entidad diariamente transitan poco más de 600 mil toneladas, de las cuales una tercera parte atraviesa la ciudad por vía férrea. Sin embargo, es importante destacar que no toda la carga tiene como destino final la ciudad de Monterrey, sino que parte de ellos son trenes de paso, que agravan notablemente los problemas de la movilidad, manifestándose en demoras en el flujo del tránsito vehicular, pérdidas horas–hombre, arrollamiento de vehículos y pérdidas humanas, ruido y contaminación; todas ellas problemáticas ya identificadas por las autoridades.

Se calcula que al día transitan por la ciudad aproximadamente 26 trenes, de los cuales 18 son de paso, el resto dan servicio en su gran mayoría a un par de empresas localizadas en el centro de la ciudad.

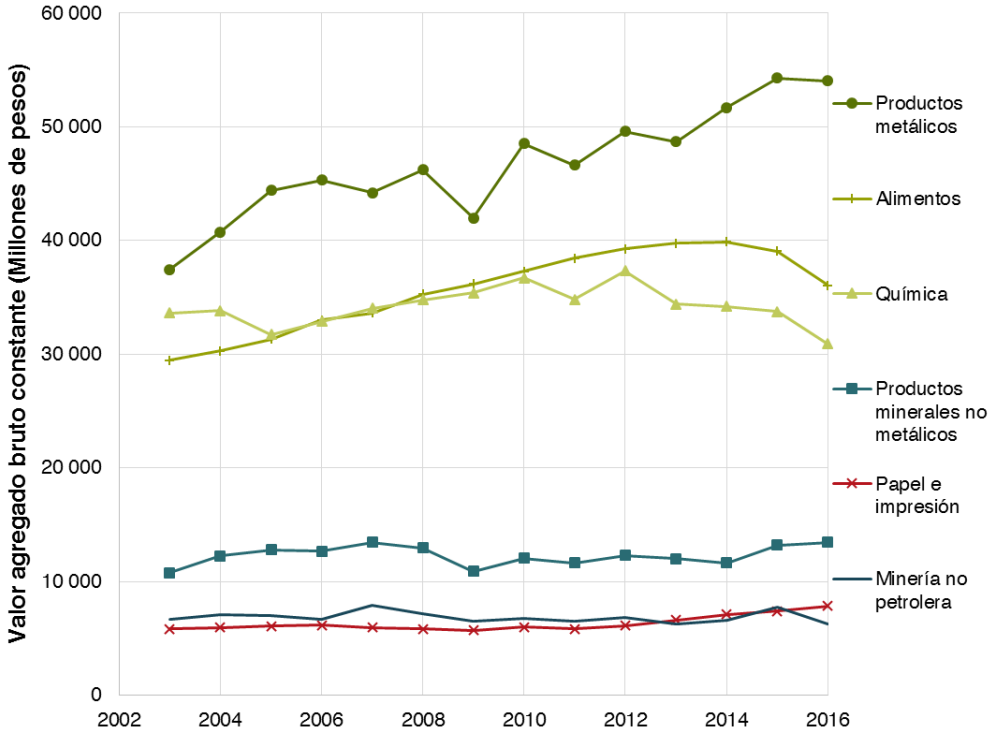
Para contrarrestar entonces los efectos negativos, el gobierno tiene previsto una serie de acciones que buscan evitar el paso de los trenes sin destino en Monterrey, además de reestructurar la red y mejorar su operación. Entre las acciones más importantes está el traslado del patio ferroviario concesionado a la empresa Kansas City Southern, la conclusión del Libramiento Ferroviario de Monterrey, la reestructuración de la red ferroviaria dentro del AMM y la puesta en marcha del Corredor Multimodal Monterrey Norte.

II.3 Presencia industrial y consumo energético

II.3.1 Situación del sector industrial

El estado de Nuevo León, concentra las principales industrias pesadas del país, siendo después de la Ciudad de México y el Estado de México, la entidad con mayor participación en el producto interno bruto (PIB) nacional. En 2016, el PIB estatal fue de 1.2 billones de pesos[7], siendo el 7% del valor agregado bruto nacional. La actividad manufacturera del Nuevo León correspondió en 2016 al 10% de la actividad manufacturera nacional. Las actividades económicas en el estado se concentran en actividades terciarias (64% del PIB estatal), actividades secundarias (35% del PIB estatal) y primarias (1% del PIB estatal). A nivel manufacturero, sobresalen en primer lugar la fabricación de maquinaria (96 mil millones de pesos), la industria metálica (54 mil millones de pesos), de alimentos (36 mil millones de pesos) y la química (30 mil millones de pesos). Con respecto al nivel nacional, destacan las industrias metálicas básicas y la fabricación de productos metálicos que representan casi el 19% del PIB nacional en estos sectores (INEGI, 2018a). La siguiente gráfica presenta la evolución del PIB estatal con respecto al tiempo (Figura II.2).

Figura II.2. Valor agregado bruto de los principales sectores manufactureros de Nuevo León

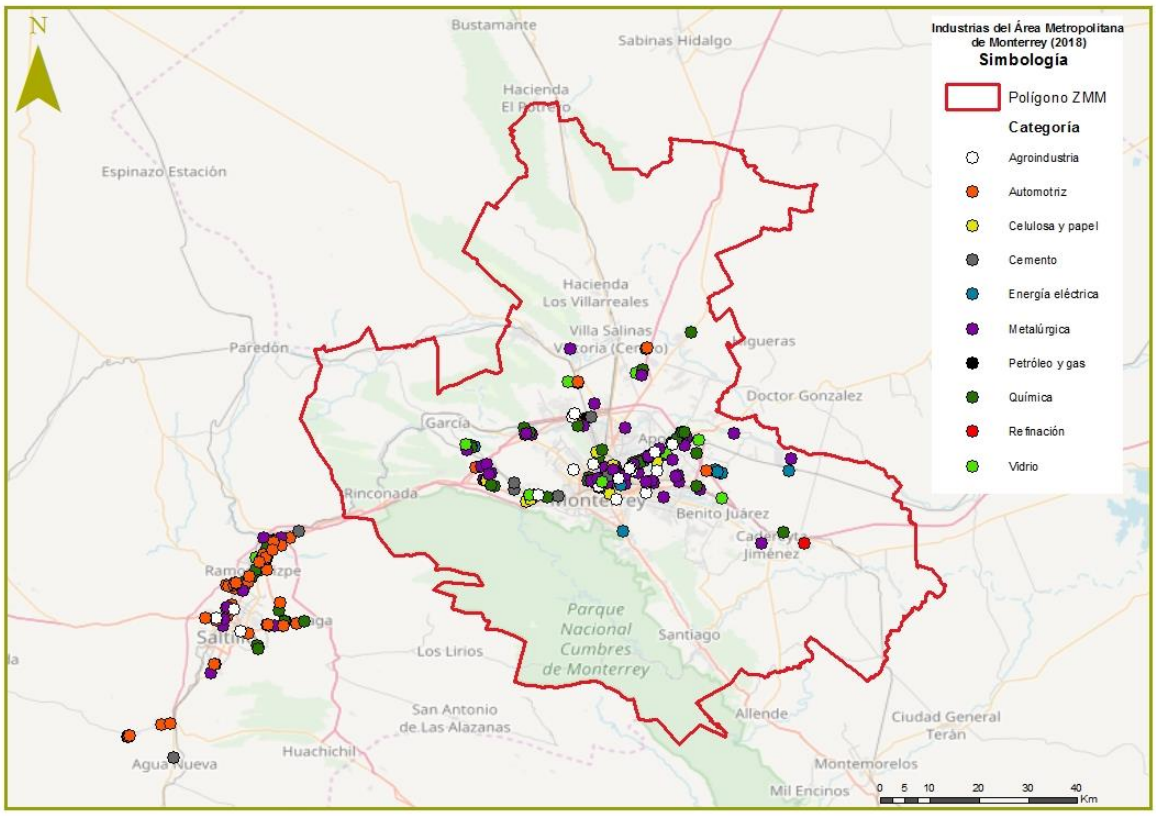


Fuente: con información de INEGI (2018).

[7] Los valores económicos presentados en esta sección están dados en valores de 2013.

Con base en la revisión de la información del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (INEGI, 2018) y del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) (SEMARNAT, 2018), se identificaron en el AMM un total de 218 unidades económicas. El mayor número de empresas se concentran en el área metalúrgica (principalmente para autopartes), automotriz y química (principalmente plásticos), coincidiendo con lo presentado anteriormente respecto al PIB manufacturero del estado de Nuevo León. El Mapa II.2 presenta las industrias identificadas, así como su localización. La Figura II.3 presenta la distribución por sector del número de unidades económicas que forman parte del AMM.

Mapa II.2. Industrias del Área Metropolitana de Monterrey, Ramos Arizpe y Saltillo

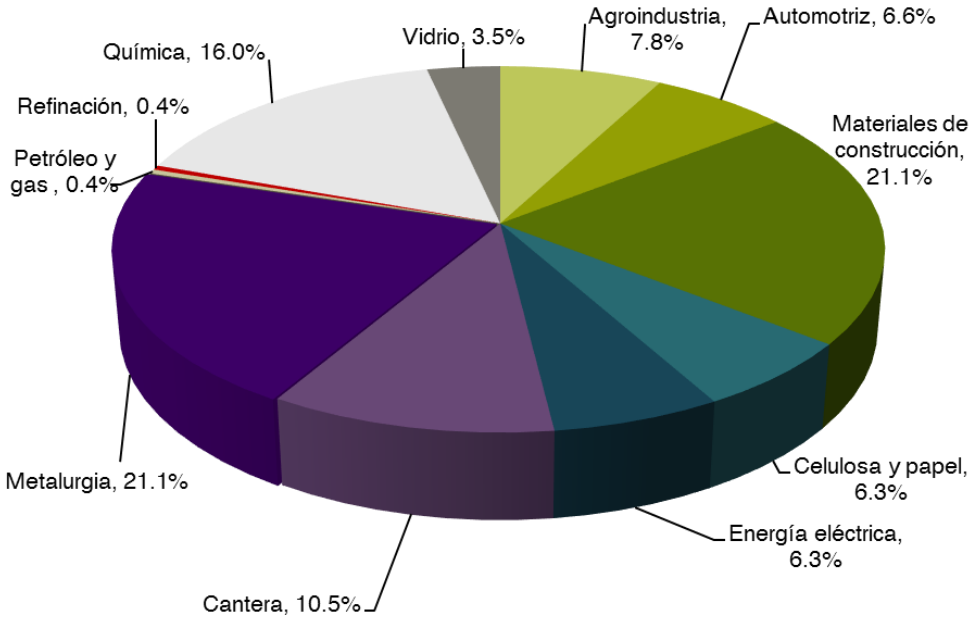


Fuente: con información de INEGI (2018) y SEMARNAT (2018).

En términos de energía, el gas natural y la energía eléctrica juegan un papel significativo en el AMM. Como menciona la Prospectiva de Gas Natural 2017 – 2031, en 2016, Nuevo León fue el cuarto estado con un mayor consumo de gas natural con 780 millones de pies cúbicos diarios (SENER, 2017). En el caso del sector industrial, en 2016, se consumieron 266 millones de pies cúbicos diarios, siendo el estado con el mayor consumo industrial de gas natural; y seguido por Veracruz con 163 millones de pies cúbicos diarios, y Coahuila con 161 millones de pies cúbicos diarios. En comparación con el sector residencial, el consumo industrial de gas natural es casi 8.5 veces. En el caso del gas LP, el consumo industrial en el estado de Nuevo León fue de 1,800 barriles diarios para 2016; colocándolo en el séptimo estado con el mayor consumo de este combustible. Cabe mencionar que el mayor consumidor de gas LP para el sector industrial es el Estado de México con 5,500

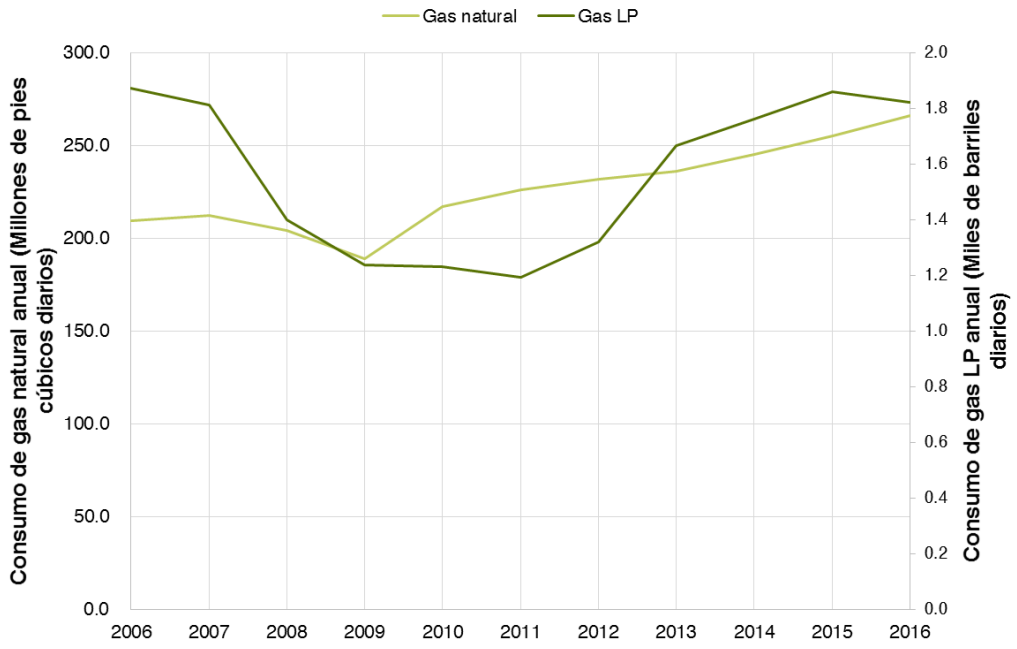
barriles diarios, seguido por Jalisco con 3,700 barriles diarios. Únicamente el consumo de gas LP del sector residencial en el Estado de México es casi 17.5 veces el del sector industrial de Nuevo León (SENER 2018). La Figura II.4 muestra la evolución en la demanda de gas natural y de gas LP para el sector industrial de Nuevo León.

Figura II.3. Distribución por sector y por número de unidades económicas en el AMM



Fuente: con información de INEGI (2018) y SEMARNAT (2018).

Figura II.4. Consumo de gas natural y gas LP en el sector industrial de Nuevo León



Fuente: Con información de SENER (2017; 2018).

La energía eléctrica también es importante en el estado de Nuevo León y en 2016 las ventas internas totales de energía eléctrica fueron de 18,610 TWh, representando el 35% de las ventas en la región Noreste. Nuevo León presentó las mayores ventas de energía eléctrica en el país, con un 8.5% de las ventas totales, junto con el Estado de México. El consumo industrial en el estado fue de 13,268 TWh, lo cual representa el 71% de las ventas totales del estado (SENER, 2017a).

II.3.2 Estimación de emisiones de GEI

La estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se realizó consultando la información disponible sobre las actividades de empresas específicas de los sectores presentados. Asimismo, se utilizó información reportada por SEMARNAT (2018) en caso de que no se contaba con detalles específicos de las industrias. El análisis consideró a las industrias más grandes del AMM.

II.3.2.1 Siderurgia

Las emisiones de CO_2 se realizaron con base en los procesos de producción utilizados en la industria siderúrgica del AMM. Las tecnologías consideradas fueron el horno de arco eléctrico, el proceso de colada continua, y los procesos de laminación en caliente y en frío. Se tomaron en cuenta aspectos de ingeniería de los procesos y los factores de emisión se obtuvieron de EPA (2008), GHG IEA (2000) y IISI (1998). Las emisiones estimadas se presentan en la Tabla II.5.

Tabla II.5. Emisiones de CO_2e del sector siderúrgico.

	Emisiones anuales de CO_2e (Miles de toneladas por año)
Planta 1	443
Planta 2	146
Planta 3	306
Planta 4	160
Planta 5	25
Planta 6	69
Planta 7	21
Planta 8	18
Total	1,187

Fuente: Estimaciones propias.

II.3.2.2 Automotriz y metalurgia

Para el año 2016, las emisiones para tres empresas importantes del sector automotriz y de metalurgia reportadas por el RETC fueron de 366 mil toneladas anuales de CO_2e, de 380 mil toneladas de CO_2e y de 12 mil toneladas de CO_2e, respectivamente (SEMARNAT, 2018). El total para estas tres empresas fue de 758 mil toneladas anuales de CO_2e en 2016.

II.3.2.3 Vidrio

Las emisiones de CO_2e se calcularon a partir de los factores de emisión presentados por CINAM (2014). Las emisiones calculadas en 2013 para cuatro plantas fueron de 206 mil toneladas anuales de CO_2e, 111 mil toneladas anuales de CO_2e, 164 mil toneladas anuales de CO_2e y 33 mil toneladas anuales de CO_2e, respectivamente. Las emisiones totales de este sector fueron de 514 mil toneladas anuales de CO_2e.

II.3.2.4 Celulosa y papel

Existen varias compañías que producen papel en el AMM. En el caso de una de las empresas, las emisiones de CO_2e se calcularon a partir de la información disponible de capacidad de producción y un factor de emisión que se estimó a partir del consumo de combustibles reportado por el sector. Para esta empresa, las emisiones en 2016 fueron de 152 mil toneladas anuales de CO_2e. Para las demás empresas se utilizó la información del RETC y en 2016 fueron de 17 mil toneladas de CO_2e, 34 mil toneladas anuales de CO_2e , 21 mil toneladas de CO_2e, 77 mil toneladas de CO_2e y 115 mil toneladas de CO_2e (SEMARNAT, 2018). Las emisiones totales del sector fueron de 416 toneladas anuales de CO_2e.

II.3.2.5 Cemento

La estimación de las emisiones de CO_2e, se realizó utilizando factores de emisión determinados reportados por la empresa. Se consideraron emisiones de CO2e a partir del uso de combustibles y derivadas del proceso. Las emisiones para 2017 se estimaron en 1.2 millones de toneladas de CO_2e.

II.3.2.6 Química

Las emisiones de CO_2e se obtuvieron del RETC y corresponden a las emisiones de las principales empresas del sector (SEMARNAT, 2018). Las emisiones de CO_2e de cinco empresas distintas fueron de 57 mil toneladas de CO_2e en 2016, 22 mil toneladas de CO_2e, 24 mil toneladas de CO_2e, 16 mil toneladas de CO_2e y 13 mil toneladas de CO_2e, respectivamente.

II.3.2.7 Minería

Otra industria importante en el AMM corresponde a la minería en canteras, el área concentra la mayoría de las actividades de minería de no metales del estado, donde los principales minerales son la barita, caliza, dolomita y yeso. En los casos en los que no se especificó la extracción como actividad única, el cálculo de emisiones de CO_2e incluyó procesos de calcinación (caliza y dolomita) para la producción de cal. Las emisiones de CO_2e calculadas anteriormente se concentran en el procesamiento de los minerales y no incluyen las emisiones que se generan en su extracción debido a la molienda y transporte

de los mismos. Las emisiones calculadas fueron de 928 mil toneladas anuales de CO_2e en 2015.

II.3.2.8 Refinación de petróleo

El sector energético también es relevante y en el AMM se encuentra la Refinería Héctor R. Lara Sosa (Cadereyta) que en 2016 procesó 122 mil barriles diarios de crudo, produciendo 45 mil barriles diarios de gasolina y 44 mil barriles diarios de diésel (PEMEX, 2018). Fue la primera refinería en incorporar una planta desulfuradora de gasolinas catalíticas (ULSG, ultra low sulphur gasoline, gasolina ultra baja en azufre), para reducir el nivel de azufre a 30 partes por millón (PEMEX, 2018a). PEMEX (2017) reportó emisiones de CO_2e para cada una de las plantas que integran la refinería de Cadereyta, las cuales fueron de casi 1.6 millones de toneladas anuales de CO_2e en 2016.

II.3.2.9 Generación de electricidad

El sector de generación de electricidad cuenta con una capacidad instalada de 3.6 GW distribuida en seis plantas de ciclo combinado a base de gas natural y seis plantas de ciclo abierto (SENER, 2018a). Las emisiones totales estimadas para 2017 fueron de 9.1 millones de toneladas de CO_2e.

II.4 Disponibilidad y gestión del agua

II.4.1 Limitaciones fisiográficas del medio ambiente

Parte del problema de escasez de agua radica en el entorno físico, tanto local como regional del AMM, que impone las limitaciones hídricas de un clima seco y extremoso. El AMM tiene un clima denominado como BSh en la clasificación de Köppen modificada por García (García Amaro E. 2004). Esto significa un clima árido (B), estepario (S) con vegetación original de pastizales y otras plantas del desierto. Es también un clima cálido en general (h) pues tiene una temperatura anual promedio superior a los 18°C. Adicionalmente, se localiza en una zona de transición entre el trópico subhúmedo y el desierto, con lluvias mucho más abundantes hacia el oriente y el sur oriente, en tanto que y hacia el occidente el clima es mucho más seco (Aguilar Barajas et al. 2015).

La situación anterior hace vulnerable a esta metrópoli a los fenómenos hidrometeorológicos extremos como las sequias y las inundaciones (Aguilar Barajas et al, 2015). El calentamiento global plantea la hipótesis de un incremento en la aridez para nuestro país, principalmente en la zona norte (IPCC, 2014).

Por otra parte, el registro de las lluvias en el AMM de 1948 a 2013 muestra que el 34% de los años observados tiene un valor más bajo del promedio anual de 622 mm y presentan un valor inferior a 500 mm al año, lo que se manifiesta en una mayor aridez. Aunque ocasionalmente se muestran lluvias acumuladas anuales superiores a 1000 mm, en el 9% de los años observados es notable la presencia de prolongados periodos de lluvias escasas y de sequías severas. Al respecto, las sequías más recientes ocurrieron en 2011 y 2013 (Aguilar Barajas et al. 2015). Aunque en el 2018 se registró una sequía que se manifestó por una escasez de agua en las principales presas de abasto para el AMM, lo que constituye una vulnerabilidad importante para el servicio de agua.

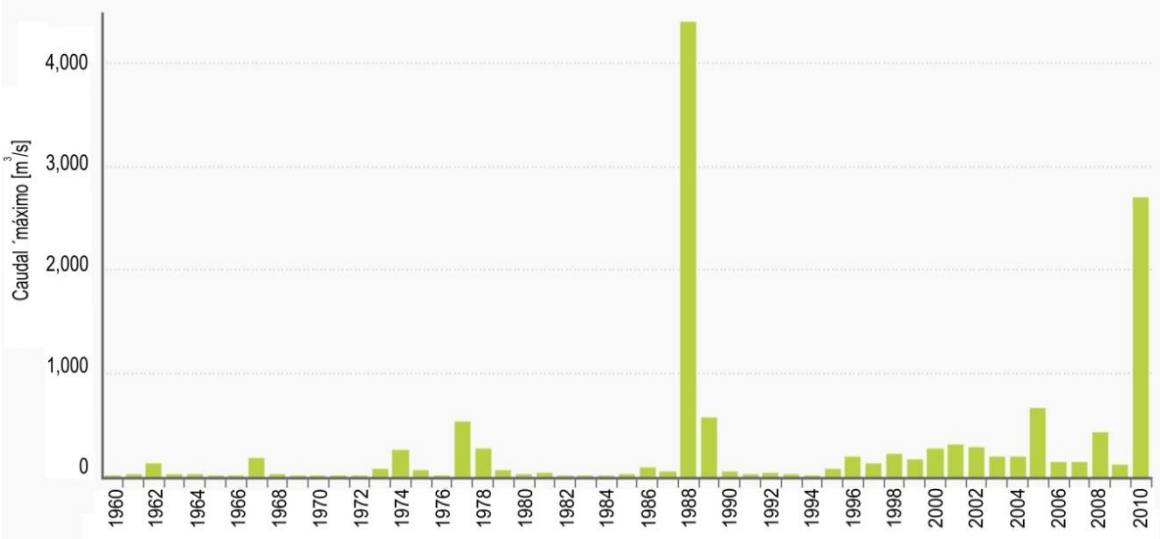
Otro factor limitante para la disponibilidad de agua es que la distribución anual de la lluvia está caracterizada por un periodo de estiaje muy seco de seis meses, que va de noviembre a abril, con lluvias mensuales menores de 30 mm.

En cuanto a la temperatura ambiental, se llegan a presentar días calurosos en todos los meses del año, con temperaturas de 38°C o mayores, así como días muy fríos con temperaturas congelantes entre los meses de noviembre y marzo. Las fuertes variaciones de la lluvia y temperatura en el AMM son factores importantes para el manejo del agua, ya que se reflejan en una mayor demanda en las temporadas calurosas cuando es más escasa, en particular para el uso doméstico (Aguilar Barajas I. et al. 2015).

Para muchas regiones del país las corrientes fluviales son una fuente constante de agua, en el caso del AMM son en general de presencia temporal y poco predecible en cuanto a la magnitud de su caudal. A manera de ejemplo, la Figura II.5 muestra el gasto máximo en metros cúbicos por segundo para el río Santa Catarina, que es la principal corriente que atraviesa la ciudad.

En general, más del 80% del tiempo de 1960 a 2010, el río se ha estado prácticamente seco. Por otra parte, los gastos máximos han sido inferiores a 250 m^3/s. Solo en cinco de los 51 años de este periodo se han registrado gastos superiores a los 400 m^3/s, todos ellos asociados con tormentas tropicales: Anita (1977), Emily (2005), Dolly (2008), así como a eventos catastróficos como Gilbert (1988) y Alex (2010), con gastos máximos de 4,400 m^3/s y 2,700 m^3/s, respectivamente.

Figura II.5. Escurrimiento del río Santa Catarina en Área Metropolitana de Monterrey, 1960-2010



Nota: Caudal máximo registrado por año en metros cúbicos por segundo. Fuente: Aguilar Barajas I. et al. 2015

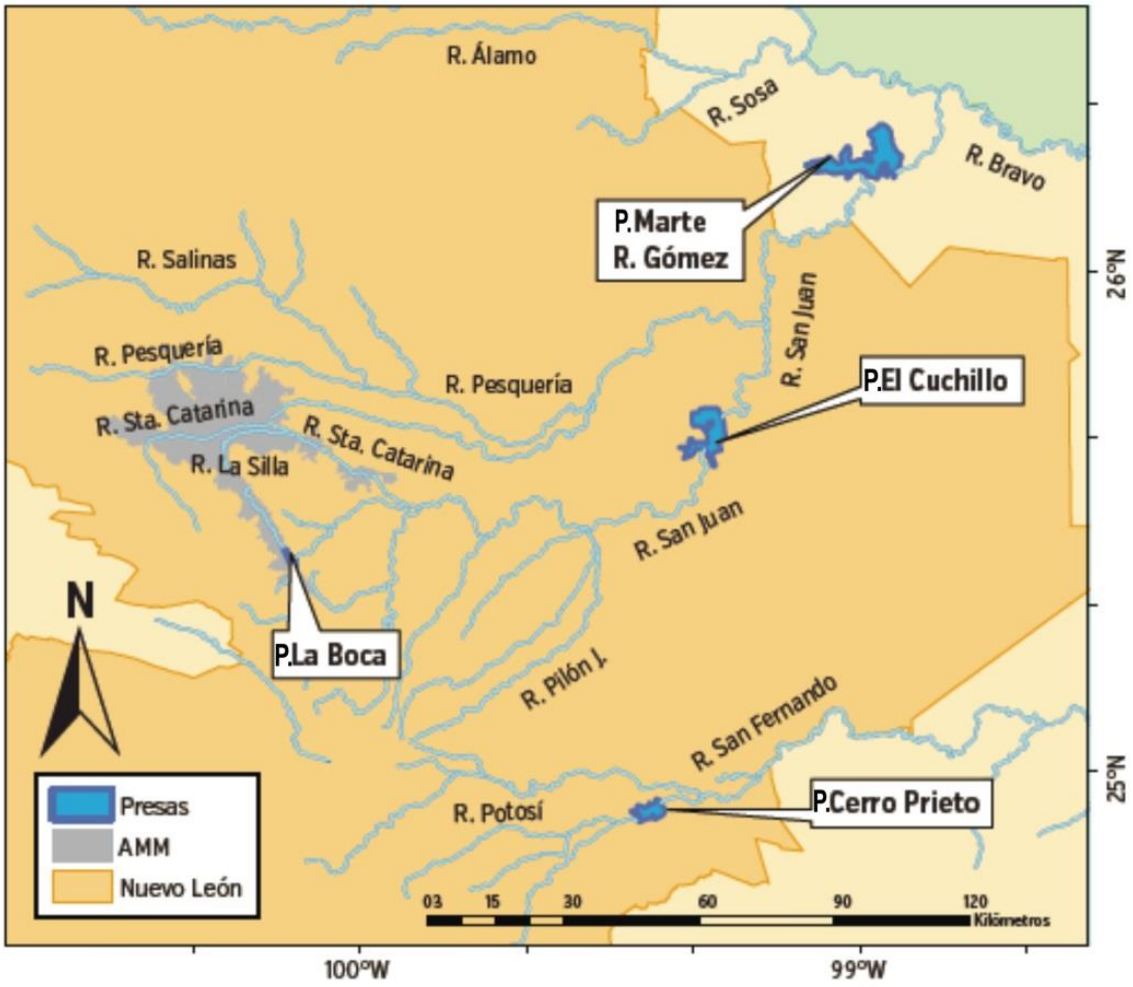
II.4.2 El sistema de agua y drenaje

El Mapa II.3 ilustra los principales elementos de infraestructura del sistema de agua potable del AMM, que en 2014 suministraron 11,000 l/s y de los cuales el 60% proviene de fuentes superficiales, en tanto que el resto proviene de fuentes subterráneas.

Las fuentes superficiales incluyen tres presas: La Boca, Cerro Prieto y el Cuchillo, con una capacidad útil de 39.5 millones de m^3, 300 millones de m^3 y 1,123 millones de m^3, respectivamente. Las fuentes superficiales se complementan con las aportaciones del manantial la Estanzuela y los túneles Cola de Caballo I y II y San Francisco, (también llamados Sistema Santiago I y II).

Las fuentes subterráneas de agua incluyen 44 pozos profundos repartidos en tres sistemas: Mina, Buenos Aires y Monterrey. Las profundidades de dichos pozos varían en un rango de 600 a 2,000 metros, los más profundos es probable que estén explotando aguas fósiles ricas en sales minerales. Adicionalmente se explotan 50 pozos someros, con profundidades menores a 100 metros. Varios acueductos conducen el agua extraída de las fuentes al AMM. Los acueductos principales son el Cuchillo-Monterrey y Cerro Prieto-Monterrey, ambos tienen longitudes superiores a los 100 kilómetros.

Mapa II.3. Infraestructura hidráulica del AMM, 2014



Fuente: Aguilar Barajas I. et al. 2015

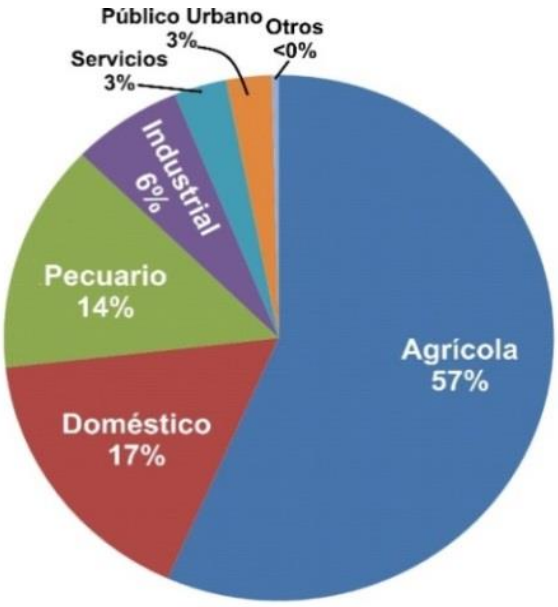
Es necesario notar que en la región donde se asienta el AMM se localiza una gran cantidad de acuíferos que presentan déficit agudo entre la extracción de agua y su recarga. De los 14 acuíferos que subyacen a esta metrópoli, 10 están clasificados con sobreexplotación y de ellos se obtiene 468 millones de metros cúbicos anuales y 4 tienen disponibilidad con 19 millones de metros cúbicos anuales. El agua concesionada en estos acuíferos es 55% subterránea (214 millones de metros cúbicos) y 45% superficial (175.3 millones de metros cúbicos). En el aprovechamiento del recurso hídrico de esta amplia zona destaca la agricultura con el 57% del consumo del agua disponible, seguida del consumo doméstico con 17%, después el consumo pecuario con 14% y el industrial con el 6% (Figura II.6).

El agua que llega a la zona metropolitana ingresa a dos grandes anillos de transferencia. El Anillo Uno, también conocido como Monterrey III, tiene una longitud de 70 kilómetros y una capacidad de $3m^3/s$. El anillo Dos, conocido como Monterrey V, tiene una extensión de 73 kilómetros y una capacidad de $6m^3/s$. Estos dos anillos han jugado un papel fundamental para la sectorización de la red de agua potable del AMM y en 2013 se

contaba con poco más de 2,200 sectores. Con dicha sectorización se ha permitido un control más preciso del suministro y ha permitido la recuperación de 497 l/s que equivalen al 4.1% del volumen total suministrado.

Adicionalmente, la red de agua potable cuenta con 204 tanques de almacenamiento con una capacidad conjunta de 1,287.4 millones de m^3, los cuales ofrecen una significativa reserva de corto plazo y permiten una adecuada regulación de la presión del agua en el sistema. La presión media en la red se ha mantenido desde el año 2,000 en 2.5 kilogramos por cm^2. En 2013, el agua llegaba a los usuarios a través de 1,752 kilómetros de líneas de conducción y una red de distribución de 8,390 kilómetros de tuberías. En la actualidad la cobertura de agua potable en el AMM es prácticamente universal, con más de 99% de la población con acceso al este servicio (Aguilar Barajas I. et al. 2015).

Figura II.6. Aprovechamiento del recurso hídrico por uso en el AMM



Fuente: Diario Oficial de la Federación del 4 de enero de 2018.

Sobre el drenaje y alcantarillado, un total de 8,299 kilómetros de colectores con atajeas reciben las aguas residuales generadas. Al igual que en el caso del agua potable, la cobertura en el servicio de drenaje alcanza al 99% de la población. Así, también, se considera que la totalidad de las aguas residuales recolectadas en el sistema de drenaje son enviadas a las plantas de tratamiento.

En cuanto a la red de alcantarillado (la red de tuberías que desaloja el agua de lluvia) de esta metrópoli, en 2012 existían siete grandes sistemas, entre los que destacan por su capacidad de conducción están el sistema Obispo, Conductores, Torres de Escobedo, La Talaberna y Sabinas. La longitud total de drenes y colectores de agua pluvial construidos, incluidos los ramales secundarios, es de 160 kilómetros, con una capacidad de desalojo de 4,720 m^3/s. Si bien con este sistema se han disminuido notablemente los daños ocasionados por eventos pluviales, la capacidad de desalojo en la zona todavía es

insuficiente, como queda demostrado año con año en diversos puntos de la ciudad que se inundan de forma evidente y peligrosa.

La capacidad instalada para el tratamiento de las aguas residuales generadas en el AMM es de 13.5 m^3/s. Entre las plantas de tratamiento de aguas residuales más importantes están: Dulces Nombres con 7.5 m^3/s de capacidad, Norte con 3 m^3/s de capacidad, Noreste con 2.5 m^3/s, Santa Rosa con 0.2 m^3/s, Zuazua con 0.2 m^3/s, y Salinas Victoria con 0.1 m^3/s. En 2014 estas plantas se encontraban operando en promedio a un 74% de su capacidad conjunta.

Vale la pena mencionar que estas plantas de tratamiento de aguas residuales juegan un papel regional importante, pues las aguas tratadas que se vierten al río Pesquería forman una parte significativa de los escurrimientos que alimentan a la presa Marte R. Gómez en Tamaulipas, la cual recibe agua de cuenca arriba, para cumplir con el acuerdo establecido entre los gobiernos de Tamaulipas, Nuevo León y la CONAGUA con el fin de compensar la retención de agua que se tiene en la presa el Cuchillo por parte de Nuevo León. La retención de agua en esta última presa ha sido motivo de controversia entre ambos estados y se tiene un litigio de muchos años sobre esta situación considerada ilegal por los agricultores de Tamaulipas. Sobre el agua residual, si se incluyen las plantas de tratamiento de Cadereyta, García, Pesquería y Santiago, la capacidad total de tratamiento del agua residual del área metropolitana asciende a 14 m^3/s.

A finales de 2013, en el AMM estaba en funcionamiento una red de 210 kilómetros para conducir y distribuir agua residual tratada, red cuyos inicios datan de 1988. Recientemente, se le agregaron 52 kilómetros como parte de una ampliación programada de 83 kilómetros. Con esta infraestructura, la capacidad de distribución de agua residual tratada, esencialmente para beneficio de usuarios industriales, alcanzaría los 1,719 l/s. A esta fecha se tenía un registro de 98 usuarios, a los cuales se les facturaron en 2013 más de 124 millones de pesos.

II.5 Calidad del aire

II.5.1 Análisis de datos históricos de calidad del aire

En esta sección se presenta la revisión de la información de la calidad del aire en el AMM, la cual incluye: a) Descripción de la red de monitoreo; b) Análisis de la información de calidad del aire en: i) evaluación del cumplimiento de los estándares de calidad del aire e identificación de zonas y contaminantes prioritarios; ii) identificación de las tendencias de contaminantes a partir del análisis de las concentraciones mensuales, semanales y diarias; y iii) análisis de concentración de contaminantes mediante gráficos polares en función de la velocidad y dirección del viento. Dentro de los principales hallazgos se encuentran:

- La red de monitoreo cuenta con una buena cobertura espacial, con 13 estaciones de monitoreo para el AMM.
- Se cuentan con buenas alternativas para el reporte de información a través de internet y redes sociales. Sin embargo, la disponibilidad de información para alcanzar a personas sin acceso a internet es baja. La información de la red de monitoreo no se publica en tiempo real.
- El análisis de calidad de los datos mostró que la tasa de captura de información en la mayor parte de las estaciones en inferior al 75%.
- Los datos de la red de monitoreo hacen evidente que la problemática de la calidad del aire en el AMM se asocia principalmente con PM_{10} y $PM_{2.5}$ así como con incumplimiento a los límites para ozono.
- El análisis de gráficas polares sugiere la potencial influencia de la actividad minera, vialidades y construcción en las excedencias de PM_{10} y de las fuentes de emisión ubicadas al Sur Este del AMM (refinería y planta de generación eléctrica) en las concentraciones de $PM_{2.5}$, así mismo, excedencias de ozono asociadas al tráfico vehicular.

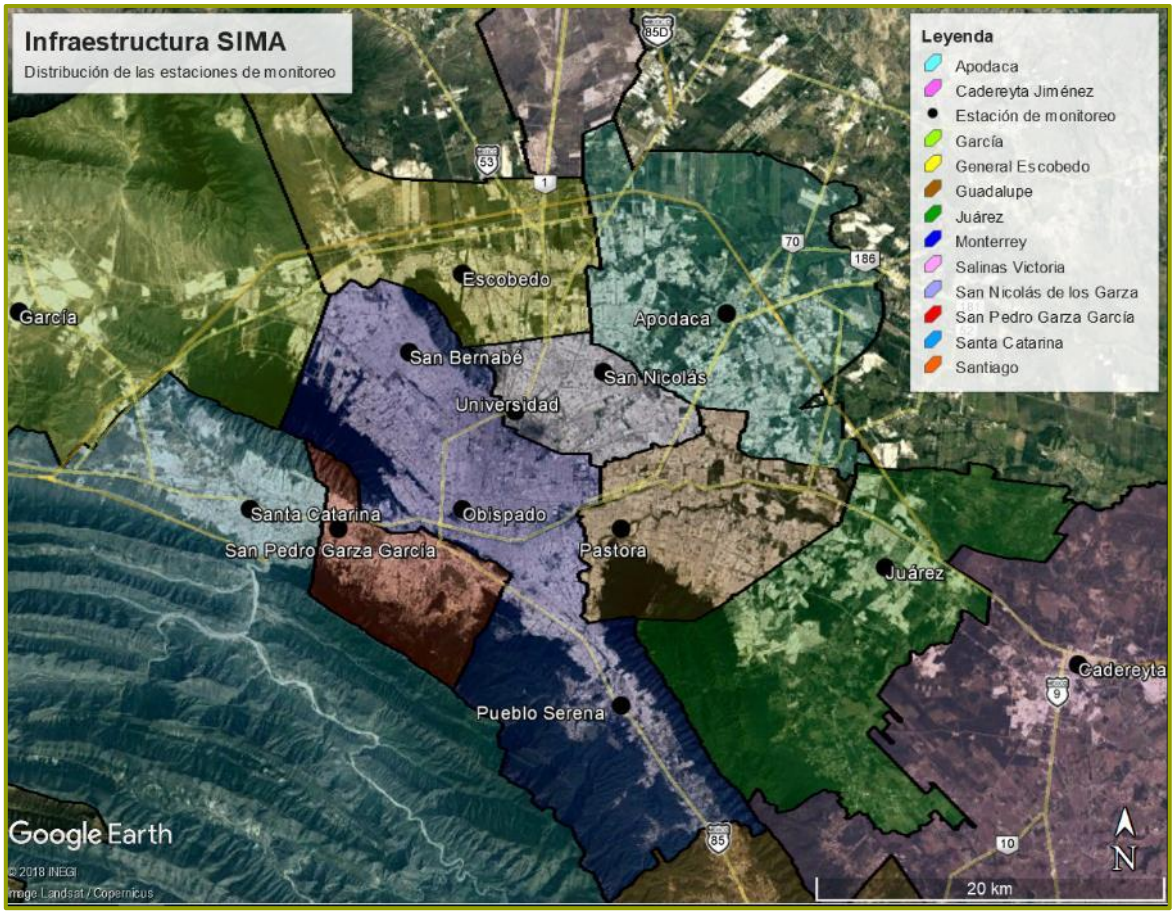
II.5.1.1 Estaciones disponibles y cobertura

Las estaciones del Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA) del AMM están ubicadas en diez municipios mostrados en el Mapa II.4. Todas las estaciones de monitoreo atmosférico registran las concentraciones de seis contaminantes criterio: bióxido de azufre, bióxido de nitrógeno y ozono (en ppb), monóxido de carbono (en ppm), PM_{10} y $PM_{2.5}$ (en $\mu g/m^3$). También registran los parámetros meteorológicos de dirección y velocidad de vientos, humedad relativa, precipitación pluvial, presión atmosférica, radiación solar y temperatura[8] [9].

[8] SIMA. Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA) Nuevo León. Reporte de la calidad del aire en el área metropolitana de Monterrey. [En línea] Secretaría de Desarrollo Sustentable de Nuevo León, 2018. [Citado el: 6 de Septiembre de 2018.] http://aire.nl.gob.mx/map_calidad.html.

[9] SINAICA. Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire. Red de monitoreo: Monterrey (MTY). [En línea] 2018. [Citado el: 6 de Septiembre de 2018.] http://sinaica.inecc.gob.mx/.

Mapa II.4. Distribución del sistema de monitoreo atmosférico en el AMM



Fuente: Elaboración propia con información de SIMA, 2018 y SINAICA, 2018.

Los datos validados reportados por la red de monitoreo fueron analizados para los años 2014 -2016. La información de 2017 no fue incluida debido a que los datos validados aún no se encontraban disponibles en el momento de hacer los análisis.

De acuerdo con lo establecido en el Proaire 2016 – 2025, las estaciones de la red de monitoreo se clasifican con base al entorno de su ubicación siendo una red con una característica principalmente urbana.[10] A partir de lo anterior, se estableció una posible clasificación del tipo de estación, utilizando los criterios del INECC y una herramienta de georreferenciación de los sitios de la Red (Tabla II.6). Esto permitió identificar falta de claridad en el tipo de estación, v.g. no se observan estaciones dedicadas a caracterizar de manera particular el tráfico vehicular. Asimismo, se recomienda revisar los criterios de clasificación en todos los sitios en torno a los objetivos de la red, para garantizar la representatividad de la muestra y establecer con claridad la influencia de las fuentes sobre las concentraciones medidas.

Tabla II.6. Área de influencia y clasificación de las estaciones

[10] Área urbana hace referencia a una ubicación en límites de un área urbana con predominante uso del suelo. Área rural representa a los lugares no urbanizados cuyo uso del suelo pueden variar desde tipo productivo a de conservación (INE).

Estación	Código	Entorno de Ubicación	Clasificación
Obispado	CE	Mide impactos del tráfico y la mezcla de los contaminantes de la mayoría de las fuentes industriales.	Mixto
Escobedo	N	Localizada dentro de un área de concentración poblacional, monitorea la contaminación de fuentes fijas y móviles de la zona norte del AMM.	Mixto
San Nicolás	NE	Localizada en un área altamente poblada, permitiendo determinar los índices de contaminación atmosférica en la parte norte. Industrial.	Industrial
Apodaca	NE2	Localizada en el centro de la ciudad de Apodaca, principalmente una zona habitacional y comercial, rodeada por zona industrial.	Industrial
San Bernabé	NW	Localizada a favor del viento de salida, en un área de alta concentración de población, al oeste de las fuentes industriales y de tráfico.	Habitacional
García	NW2	Localizada a favor del viento de la mayoría de las fuentes industriales del municipio de García, en un área de alta concentración de población.	Industrial
La Pastora	SE	Localizada a favor del viento en un área altamente poblada.	Habitacional
Juárez	SE2	Localizada en el centro de Juárez, predomina zona habitacional.	Habitacional
Santa Catarina	SW	Localizada a favor del viento de la mayoría de las fuentes industriales de Monterrey, San Pedro Garza García y Santa Catarina.	Industrial
San Pedro	SW2	Localizada en área residencial, rodeada por áreas verdes y zonas desprovistas de vegetación.	Habitacional

Fuente: Elaboración propia.

II.5.1.2 Análisis de Información de la calidad del aire

El análisis de captura de la información mostró que la mayoría de los datos recolectados no cumplen el criterio de suficiencia, tanto de parámetros meteorológicos como de contaminantes. Un mínimo de 75% de datos al año deben ser capturados para generar los indicadores anuales estadísticos de estado y tendencias de calidad del aire (Tabla II.7). En el año 2015 y 2016 y parte del año 2014, la tasa de captura de casi todas las estaciones fue inferior al 75%, excepto para el PM_{10}; lo cual no permite llevar a cabo un análisis robusto de los datos. Esto puede deberse en parte a los cambios, incorporación y/o retiro de analizadores a la red que se ha realizado durante los diferentes años. Esto representa un reto importante puesto que la medición es valiosa siempre que sea representativa y con alto grado de confiabilidad.

A pesar de estas deficiencias tanto en la captura como en la validación de la información y verificación de la calidad de los datos, se llevó a cabo la evaluación del cumplimiento de estándares nacionales de calidad del aire. La Tabla II.8 presenta un resumen de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) - Salud Ambiental.

Tabla II.7. Resultados del análisis de captura de información anual

Nombre	Código	2014					2015					2016				
		NO_2	O_3	PM_{10}	PM_{25}	SO_2	NO_2	O_3	PM_{10}	PM_{25}	SO_2	NO_2	O_3	PM_{10}	PM_{25}	SO_2
Obispado	CE	90.6	92.3	95.3	71.9	0	94.7	96.6	94.6	50.6	6.2	86.8	19.3	98.9	0	40.1
Escobedo	N	65.1	98.6	95.8	-	63.8	54.2	69.9	76.7	-	87.6	28.2	24.3	98	-	40.9
San Nicolás	NE	74.2	99.1	98	81.2	37.3	81.1	87.6	93.9	64.6	83.2	0	77.7	98.2	4	73.5
Apodaca	NE2	58.8	10	87.4	34.4	85.7	46	14.8	89.9	77.6	41.9	18.9	0	93.5	70.6	94
San Bernabé	NW	91.1	99.9	95.7	58.5	98.3	68.3	84.7	95.2	86.7	96.2	74	96	98	36.5	84.5
García	NW2	-	98.8	91.8	-	-	-	95.9	83.3	-	-	-	87.1	84.1	-	-
La Pastora	SE	-	98	94.7	63.4	40.1	-	96.6	92.7	47.8	74.7	-	95.6	97.1	46.3	90
Juárez	SE2	56.4	7.6	73.1	-	60.9	89.1	50.3	95.9	-	24.5	96.6	37.9	99	-	51.7
Santa Catarina	SW	78.3	80.8	93.7	74.4	81.6	13.8	30.8	92.2	62.6	31.1	37.1	92.8	96.7	64.5	91.5
San Pedro	SW2	81.6	46.3	83.9	44.1	81.4	59	43.3	88.4	45	51.1	84.7	88.5	96.7	53.1	93.2

Notas: Gris, sin datos disponibles, rojo captura menor al 75% de los datos. Fuente: Elaboración propia.

Tabla II.8. Normas Oficiales Mexicanas (NOM) - Salud Ambiental

Contaminante	Dato base utilizado para la evaluación	Exposición	Frecuencia Tolerada	Valor límite Indicador con el que se evalúa	Criterio de suficiencia anual	Norma Oficial Mexicana
Partículas menores de 10 micrómetros (PM_{10})	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	75 µg/m³ Máximo	Al menos tres trimestres con al menos el 75% de los promedios de 24 horas válidas	NOM-025-SSA1-2014 (DOF, 2014)
		Crónica	---	40 µg/m³ Promedio anual		
Partículas menores de 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$)	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	45 µg/m³ Máximo		
		Crónica	---	12 µg/m³ Promedio anual		
Ozono (O_3)	Dato horario	Aguda	No se permite	0.095 ppm Máximo	Al menos 75% de los datos horarios	NOM-020-SSA1-2014 (DOF, 2014)
	Promedios móviles de 8 horas	Aguda	No se permite	0.070 ppm Máximo	Al menos 75% de los de los promedios móviles de ocho horas	
Dióxido de azufre (SO_2)	Promedio móvil de 8 horas 8 horas	Aguda	1 vez al año	0.200 ppm Segundo máximo	---	NOM-022-SSA1-2010 (DOF, 2010)
	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	0.110 ppm Máximo	---	
	Dato horario	Crónica	---	0.025 ppm Promedio anual	---	
Dióxido de nitrógeno (NO_2)	Dato horario	Aguda	1 vez al año	0.210 ppm Segundo máximo	---	NOM-023-SSA1-1993(DOF, 1994)
Monóxido de carbono (CO)	Promedio móvil de 8 horas	Aguda	1 vez al año	11 ppm Segundo máximo	---	NOM-021-SSA1-1993 (DOF, 1994)
Plomo (Pb)	Muestreo 24 horas	Crónica	No se permite	1.5 µg/m³ Promedio trimestral	---	NOM-026-SSA1-1993 (DOF, 1994)

Fuente: Normas Oficiales Mexicanas (NOM) Salud Ambiental.

La evaluación del cumplimiento de los límites establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas emitidas por la Secretaría de Salud para el año 2016 se resume en la Tabla II.9. Para este propósito, se han retirado los contaminantes cuya captura anual es inferior al 40% (BC – Baja Captura). Como se observa, se presentan excedencias en todas las estaciones para los estándares de PM_{10}, $PM_{2.5}$ and O_3, cabe anotar que las estadísticas de $PM_{2.5}$ utilizadas tienen una captura inferior al 75%. Contaminantes como el SO_2 o NO_2 no presentan excedencia, al igual que en los años anteriores. No obstante, la red no incluye sitios que permitan caracterizar el tráfico vehicular y conocer el impacto de las fuentes vehiculares sobre la calidad del aire, por lo que es posible que se estén pasando por alto las excedencias de estos contaminantes. Según USEPA, si hay propiedades residenciales a lo largo de carreteras de alto flujo de vehículos, se recomienda proporcionar al menos dos sitios de monitoreo en tal ubicación. En particular, vías con volúmenes altos de vehículos diésel.

Tabla II.9. Cumplimiento de los límites normativos de Calidad del Aire para 2016

Nombre	Código	PM_{10}		$PM_{2.5}$		O_3		SO_2		NO_2
		Límite 24 hrs (75 µg/m³)	Límite anual (40 µg/m³)	Límite 24 hrs (45 µg/m³)	Límite anual (12 µg/m³)	Límite 1 hr (0.095 ppm)	Límite Promedio móvil de 8 hrs (0.070 ppm Quinto máximo)	Promedio móvil de 8 horas (0.200 ppm Tercero máximo)	Promedio 24 horas (0.110 ppm Segundo Máximo)	Dato horario (0.210 ppm Segundo máximo)
Obispado	CE	**157.7**	**55.0**	BC	BC	BC	BC	LD	LD	0.058
Escobedo	N	**132.6**	**53.0**	-	-	BC	BC	LD	LD	LD
San Nicolás	NE	**158.7**	**61.9**	BC	BC	**0.108**	**0.072**	0.025	0.017	LD
Apodaca	NE2	**160.1**	**57.4**	**70.4**	**31.0**	BC	BC	0.034	0.016	LD
San Bernabé	NW	**230.9**	**68.5**	BC	BC	**0.116**	**0.079**	0.014	0.011	0.027
García	NW2	**217.0**	**78.6**	-	-	**0.144**	**0.086**	-		-
La Pastora	SE	**99.8**	**42.9**	**54.5**	**20.9**	**0.125**	**0.074**	0.021	0.016	-
Juárez	SE2	**167.3**	**61.9**	-	-	BC	BC	0.032	0.009	0.048
Santa Catarina	SW	**216.6**	**64.9**	**52.6**	**24.7**	**0.148**	**0.094**	0.013	0.008	LD
San Pedro	SW2	**250.9**	**62.4**	**51.3**	**20.0**	**0.106**	**0.064**	0.012	0.012	0.046

Negrilla denota excedencias

Información de captura de datos

Información de captura de datos

BC	<40% captura de datos – Baja Captura
	40-60%
	60-75%

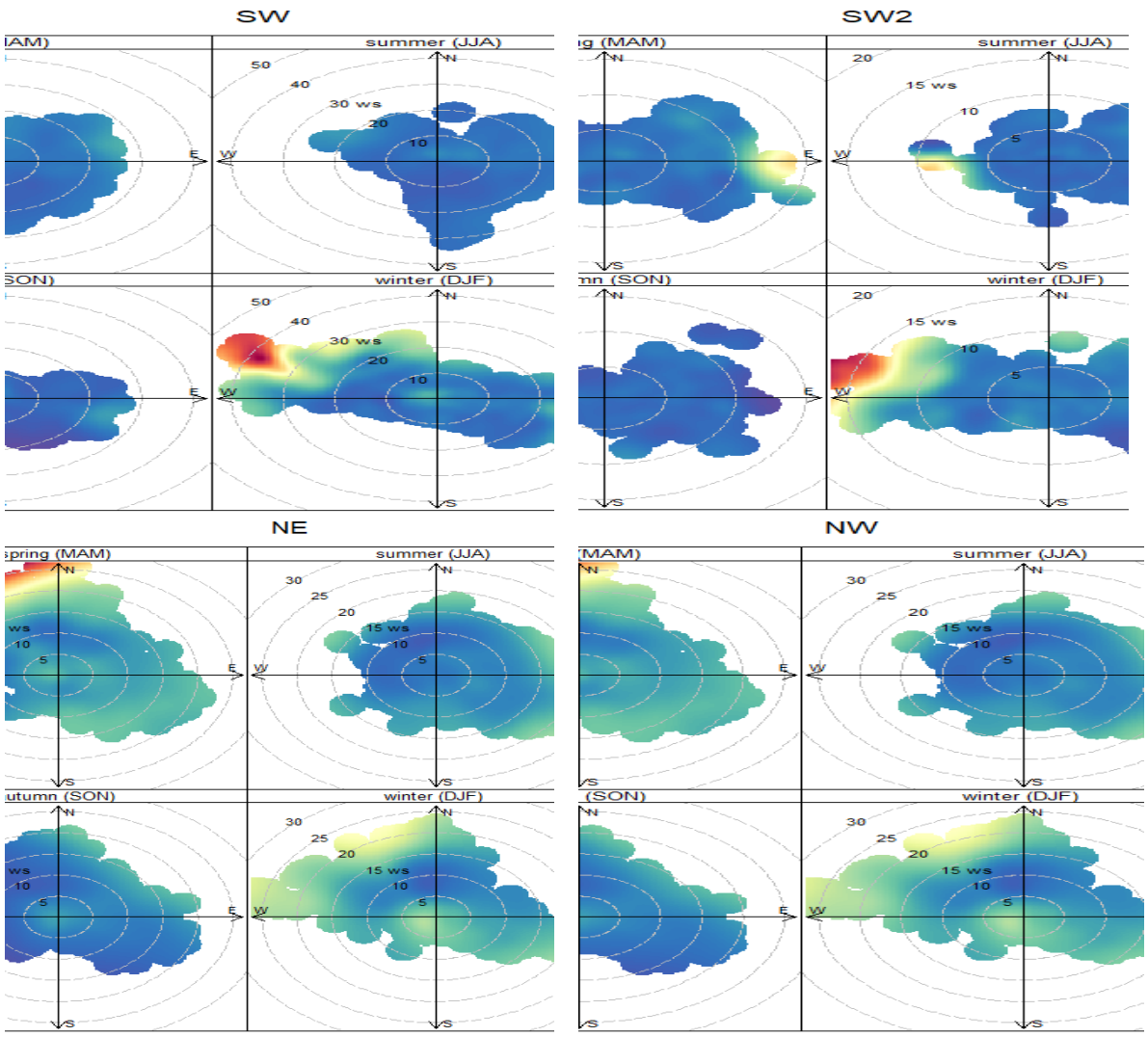
Fuente: Elaboración propia.

Análisis de PM_{10}

En la mayoría de estaciones se observa que las concentraciones más altas se presentan durante los meses de diciembre, enero y febrero. En el caso de las estaciones SW y SW2, se puede observar una contribución significativa de las canteras de explotación minera cerca de la zona. Para todos los otros sitios, excepto Obispado (CE) situado en el centro, las concentraciones más altas se observan a altas velocidades del viento. Esto sugiere una posible participación de fuentes natural que no se encuentran consideradas en el inventario de emisiones del ProAire, la contribución PM_{10} secundario o el transporte de emisiones.

Gráficos polares (Figura II.7) para las estaciones SW y SW2, señalan que la contaminación más alta se puede observar en el invierno cuando se registran los vientos más fuertes. En contraste, el NE y el NW se presentan una mayor concentración en la época de primavera cuando las velocidades del viento son más altas.

Figura II.7. Gráfico polar anual por hora para PM_{10}, 2014-2016



Fuente: Elaboración propia.

Análisis de $PM_{2.5}$

Los diagramas de variación de tiempo para $PM_{2.5}$ permiten observar las tendencias temporales en términos de hora, día, semanal y mensual. En los sitios NE, NE2 y NW se presentan las concentraciones más altas durante la noche, lo cual es inusual. Esto puede deberse a un problema con el equipo de medición o a actividades no registradas.

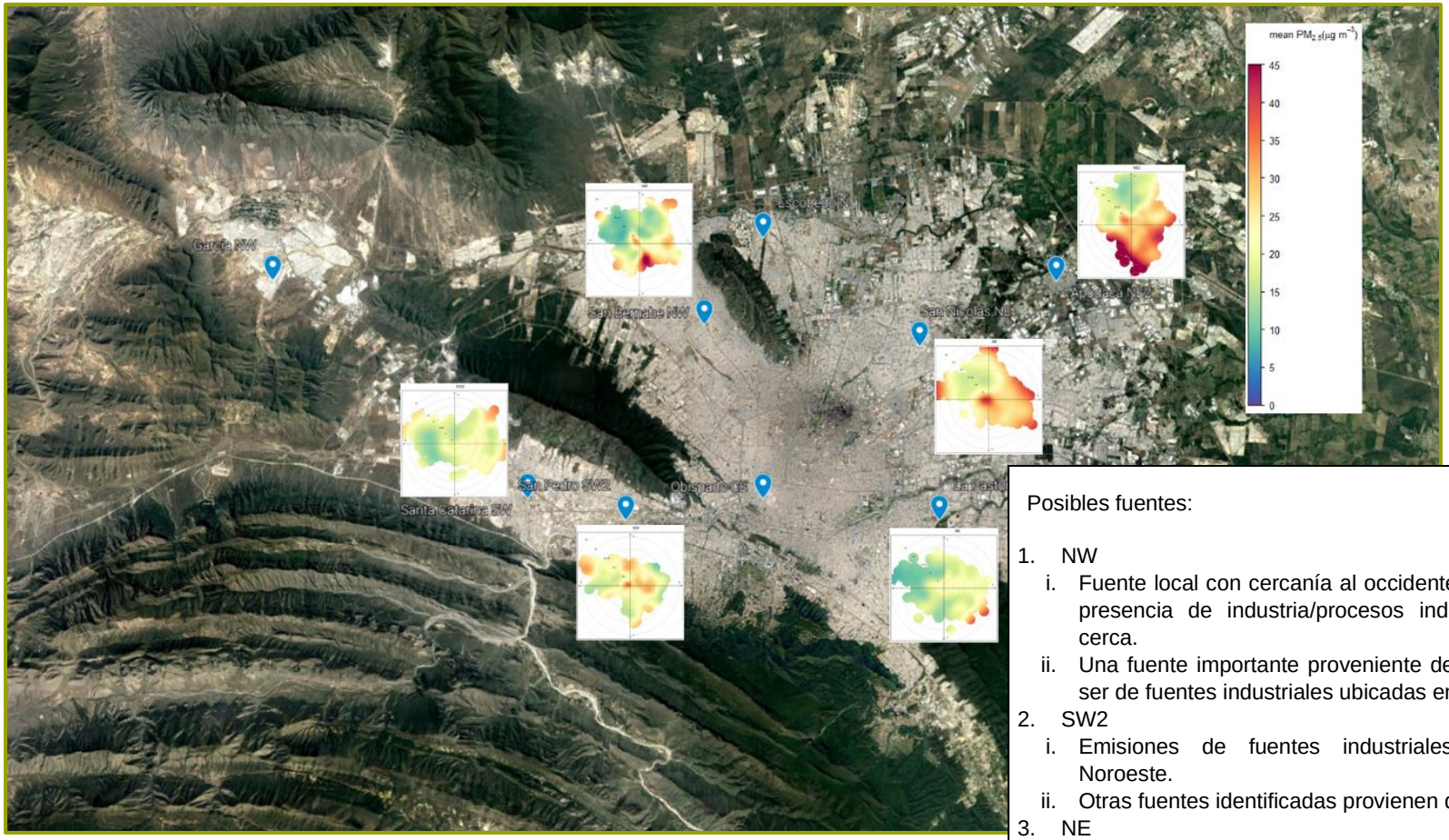
En el caso de $PM_{2.5}$ la información disponible permitió la preparación de gráficos polares para seis sitios (Figura II.8). Estos resultados muestran un perfil diferente al PM_{10}. Las concentraciones pueden asociarse con las emisiones provenientes de la refinería en Cadereyta así como a la planta de generación eléctrica.

Análisis de O_3

El ozono no se emite como contaminante primario de ninguna fuente. En cambio, las emisiones de contaminantes precursores (predominantemente NOx y COV), se transforman en ozono en presencia de la luz solar. Por lo tanto, es normal que el ozono medido en un lugar se deba a emisiones en otros lugares que con el tiempo pueden experimentar las reacciones químicas necesarias.

En la Figura II.9 se muestran los diagramas polares para el ozono. Estos sugieren una fuente general de contaminantes precursores en toda el área metropolitana. Por ejemplo, el diagrama del sitio SE en Juárez muestra que se miden concentraciones similares de ozono en el sitio cuando los vientos son de todas las direcciones. Teniendo en cuenta que los NOx y los COV son los precursores predominantes, esto parece estar relacionado con las emisiones generales de estos contaminantes. La fuente más probable que produce la contaminación en toda la zona, son las emisiones de NOx debidas al tráfico vehicular. Las emisiones de COV también podrían estar contribuyendo desde las áreas en que se presentan las mayores concentraciones de ozono, las cuales corresponden al NW (hacia el sur) y el NW2 (hacia el oeste), posiblemente debido a la participación de fuentes de área y el tráfico de autos particulares y taxis. La razón de la diferencia en las concentraciones registradas en los sitios SW y SW2 no es clara aún y debe ser evaluada en un siguiente reporte.

Figura II.8. Gráfico polar anual por hora para $PM_{2.5}$, 2014 – 2016

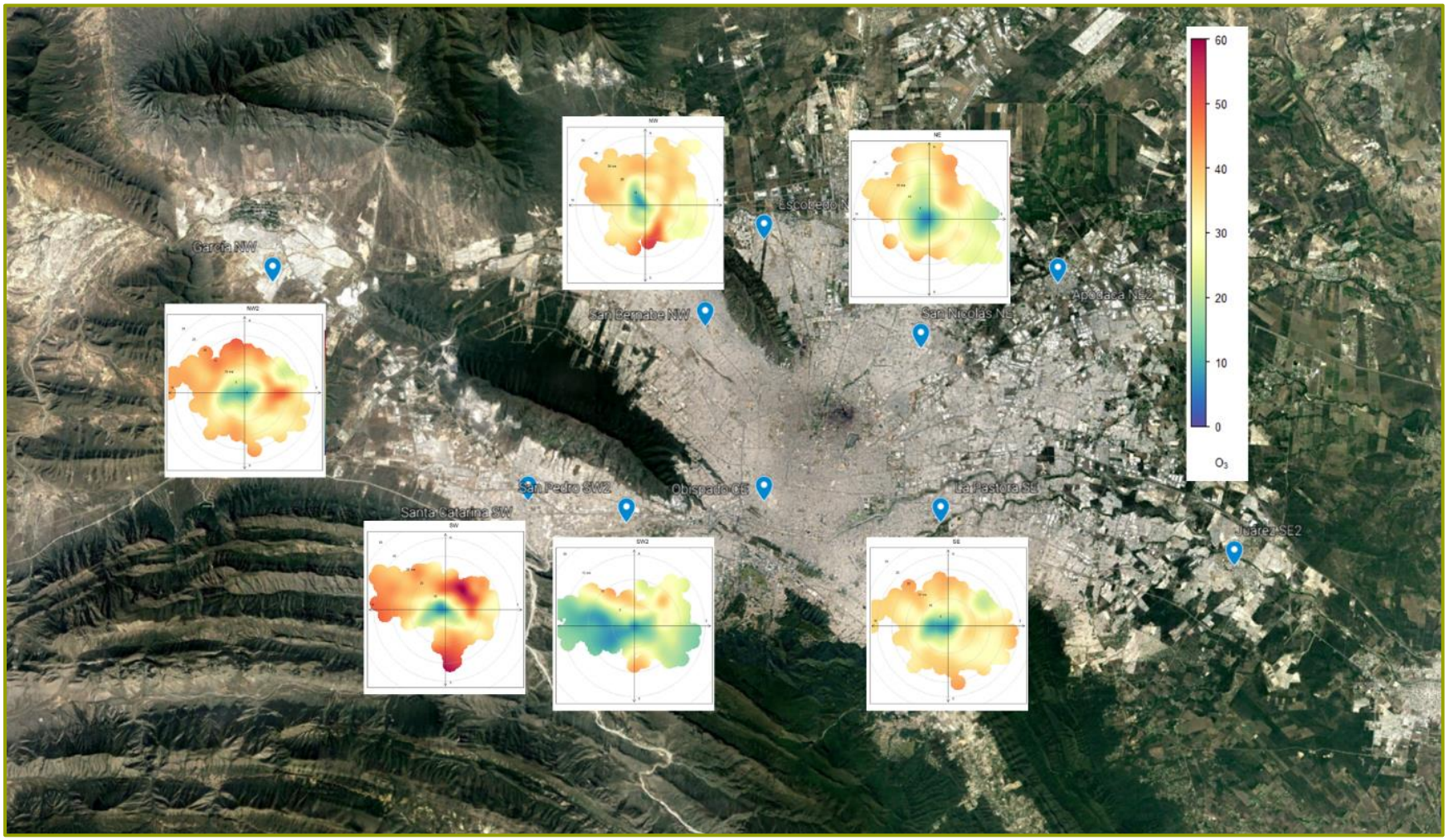


Fuente: Elaboración propia.

Posibles fuentes:

1. NW
   i. Fuente local con cercanía al occidente – No se observa la presencia de industria/procesos industriales localizados cerca.
   ii. Una fuente importante proveniente del Sur/Sureste puede ser de fuentes industriales ubicadas en esta dirección.
2. SW2
   i. Emisiones de fuentes industriales provenientes del Noroeste.
   ii. Otras fuentes identificadas provienen del Oeste y Norte.
3. NE
   i. Fuente extremadamente cerca al sitio de medición – Presencia de industrial de celulosa/papel e industrial química.
4. NE2
   i. Una posible influencia de las fuentes identificadas al Noreste y Este, pueden estar afectando las concentraciones también en este sitio. Fuentes industriales cuyos contaminantes se dispersan posiblemente en esa dirección.

Figura II.9. Gráfico polar anual por hora para O_3, 2014 – 2016

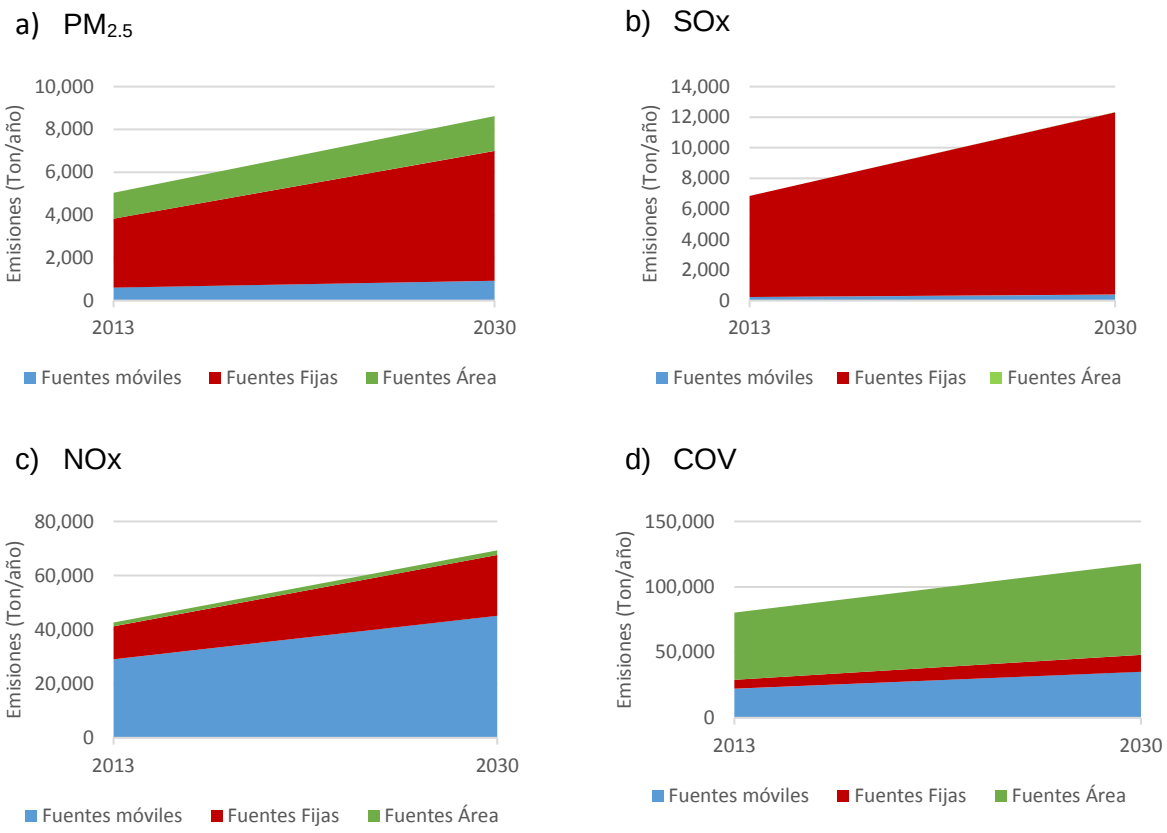


Fuente: Elaboración propia.

II.5.2 Evolución y crecimiento de las emisiones al aire

El análisis del crecimiento de las emisiones atmosféricas permite el dimensionamiento de los retos asociados con la mejora de la calidad del aire. Las emisiones atmosféricas se ven afectadas por las características del desarrollo económico, la matriz energética, la actividad industrial y del transporte, así como por las dinámicas poblacionales en un área de estudio. En esta sección se emplean los resultados de emisión del año 2013 estimadas a partir de la información del ProAire de Nuevo León (ProAire Nuevo León, 2016) para proyectar las emisiones del AMM en el periodo 2013-2030. Los detalles metodológicos de la proyección se presentan en el Anexo VI.2.

Figura II.10. Proyección de emisiones de línea base para los principales contaminantes



Fuente: Elaboración propia.

La Figura II.10 muestra el crecimiento proyectado de la línea base de emisiones para los diferentes contaminantes atmosféricos establecidos como prioritarios, $PM_{2.5}$, SOx, NOx y COV. En el caso del $PM_{2.5}$, el crecimiento de las emisiones en el periodo 2013-2030 sería de 71%, pasando desde 5,035 toneladas en 2013 a 8,622 toneladas en 2030. Por su parte el SOx aumentaría un 80%, desde 6,853 toneladas en 2013 a 12,327 toneladas en 2030. La emisión de NOx aumentaría en un 63% desde 42,588 en 2013 toneladas hasta 69,311 toneladas en 2030 y las de COV aumentarían en un 47% pasando de 80,382 toneladas a 117,942 toneladas.

III Estrategias de sustentabilidad

III.1 Desarrollo urbano

III.1.1 Desarrollo urbano acorde a los corredores prioritarios

La densidad en los principales corredores de transporte público de la ciudad no es la adecuada para avanzar hacia sistemas que mejoren la calidad del servicio. Los sistemas de transporte urbano estructurados como los BRT, requieren de densidades urbanas altas, es decir, de más de 60 viviendas por hectárea (WRI México, 2016). Por el contrario, como se muestra en el Mapa III.1 y la Tabla III.1, en el área de influencia (800 metros a la redonda) de seis nuevos corredores de transporte público de la ciudad de Monterrey (ver sección IV.2.1), la densidad promedio es de 48 viv/ha[11]. Un caso relevante es el corredor de la ECOVÍA ya en operación, donde la densidad promedio es de 51 viv/ha. Estos niveles de densidad son promedios generales, por lo que se sugiere disponer de mayores densidades en estos entornos, que actualmente no se distinguen del promedio metropolitano estimado en 49 viv/ha.

Por lo anterior, se recomienda que en los Planes de Desarrollo Urbanos se señalen densidades mínimas que generen la demanda necesaria de un sistema de transporte estructurado y garanticen su viabilidad financiera.

Tabla III.1. Densidades de población y vivienda en principales corredores de transporte público

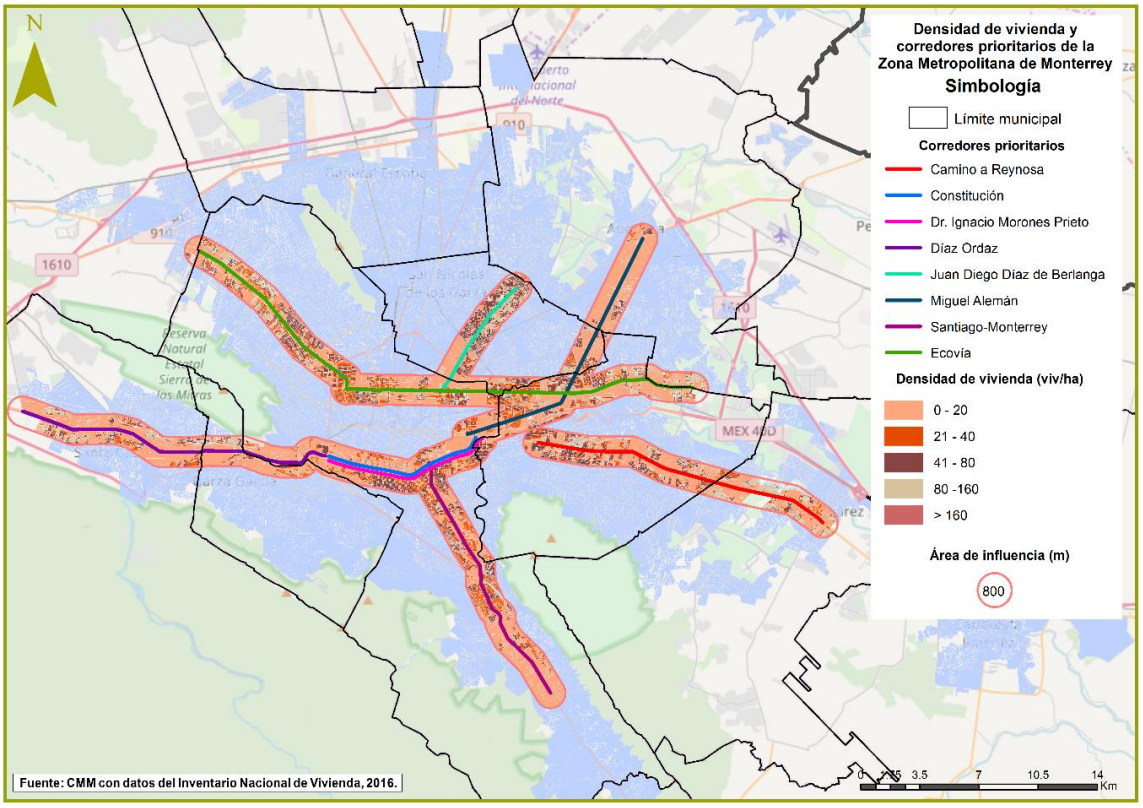
Corredor	Densidad	
	Población (hab/ha)	Vivienda (viv/ha)
Camino a Reynosa	178	52
Constitución	114	43
Dr. Ignacio Morones Prieto	132	47
Díaz Ordaz	175	47
Juan Diego Díaz de Berlanga	194	55
Miguel Alemán	138	40
Ecovía (Av. Abraham Lincoln y Av. Ruíz Cortines)	161	51
Área metropolitana	157	49
Promedio	**155**	**47**

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2015.

Adicionalmente, se identifican de una serie de intervenciones en el ámbito de la vivienda, la provisión de empleo, los usos del suelo mixtos, la concentración y diversidad de actividades económicas, de equipamiento urbano, espacio público, además de infraestructura para la accesibilidad y conectividad en el área de influencia del transporte estructurado que define el modelo de Desarrollo Orientado al Transporte (DOT).

[11] La unidad territorial de análisis es la manzana, por lo tanto la densidad de vivienda por hectárea expresada anteriormente es un promedio ponderado en función de la superficie de cada unidad territorial dentro de la zona de influencia antes señalada.

Mapa III.1. Corredores de transporte público estructurado y área de influencia



III.1.2 Estrategias de gestión de suelo vacante

La información base de esta propuesta recupera los polígonos considerados como suelo vacante en el Plan Metropolitano 2000-202, los cuales fueron actualizados a partir de la revisión de la imagen satelital (Google Maps) de la ciudad. Cabe mencionar que sólo se consideraron polígonos de grandes dimensiones, por lo que el siguiente cálculo de superficie vacante es apenas una aproximación[12] de la superficie vacante existente.

En primer lugar, y con el objetivo de controlar la expansión de las áreas urbanas y consolidar las ciudades para mejorar la calidad de vida de los habitantes, se definió emplear los polígonos de suelo vacante localizados al sur de la carretera Nuevo León 100 (Periférico de Monterrey), dado que presentan mayor aptitud para fomentar el desarrollo urbano compacto, y el Periférico de Monterrey puede ser referente del límite o borde urbano.

En segundo lugar, se corroboró que los polígonos se encontraran dentro de la zonificación urbana o urbanizable que establecen los PMDU. En total, los espacios vacantes considerados en la propuesta suman 734 polígonos con una superficie de 9,303 ha, de los cuales, 99% son

[12] En este sentido se recomienda la actualización del Inventario de Suelo Vacante a nivel metropolitano, que considere la información catastral.

mayores a 1 ha; es decir, predominan los polígonos que por sus dimensiones representan gran potencial de desarrollo.

En términos de localización, los 734 polígonos se encuentran dentro del área urbana metropolitana, en los municipios: Apodaca, García, Guadalupe, General Escobedo, Juárez, Santa Catarina y San Pedro Garza García. Lo cual incrementa su aptitud para el desarrollo urbano, debido a su proximidad a la red vial regional y primaria (Mapa II.2).

En términos de superficie, el 58% de suelo vacante se encuentra en los municipios centrales y de transición lo que representa la oportunidad de implementar políticas del suelo que promuevan el desarrollo de vivienda de interés social bien localizada, misma que serviría para reducir los viajes por motivos laborales que realiza el 25% de la población que se desplaza de los municipios periféricos a los centrales y que en promedio requiere hasta dos horas de traslado.

Considerando lo anterior, así como las dimensiones de los polígonos, se proponen cuatro estrategias que distribuyen la superficie vacante de la siguiente manera: el 1% para reagrupamiento parcelario, el 34% para áreas de desarrollo prioritario, el 18% para polígonos de actuación y el 47% para relocalización de la industria (Tabla III.2 y Mapa II.2).

Tabla III.2. Clasificación de las estrategias de gestión de suelo

Estrategia	Polígonos	Ha	Porcentaje
Reagrupamiento parcelario	201	101	1%
Desarrollo prioritario	346	3,169	34%
Polígono de actuación	81	1,660	18%
Relocalización de la industria	106	4,373	47%
Total	**734**	**9,303**	**100%**

Fuente: Elaboración propia con información de la CZC 2003.

Reagrupamiento parcelario

Debido a las limitadas dimensiones de los 201 polígonos menores a 1 ha, que suman 101 ha, se propone la implementación del instrumento de gestión urbana "Reagrupamiento Parcelario"[13], el cual promueve la fusión de predios a fin de constituir polígonos de mayor superficie atractivos para su ocupación y desarrollo. Además de distribuir cargas y beneficios dentro de los mismos. El potencial de esta estrategia puede elevarse a través de la actualización de un Inventario de Suelo Vacante o Subutilizado, que recupere información a nivel catastral.

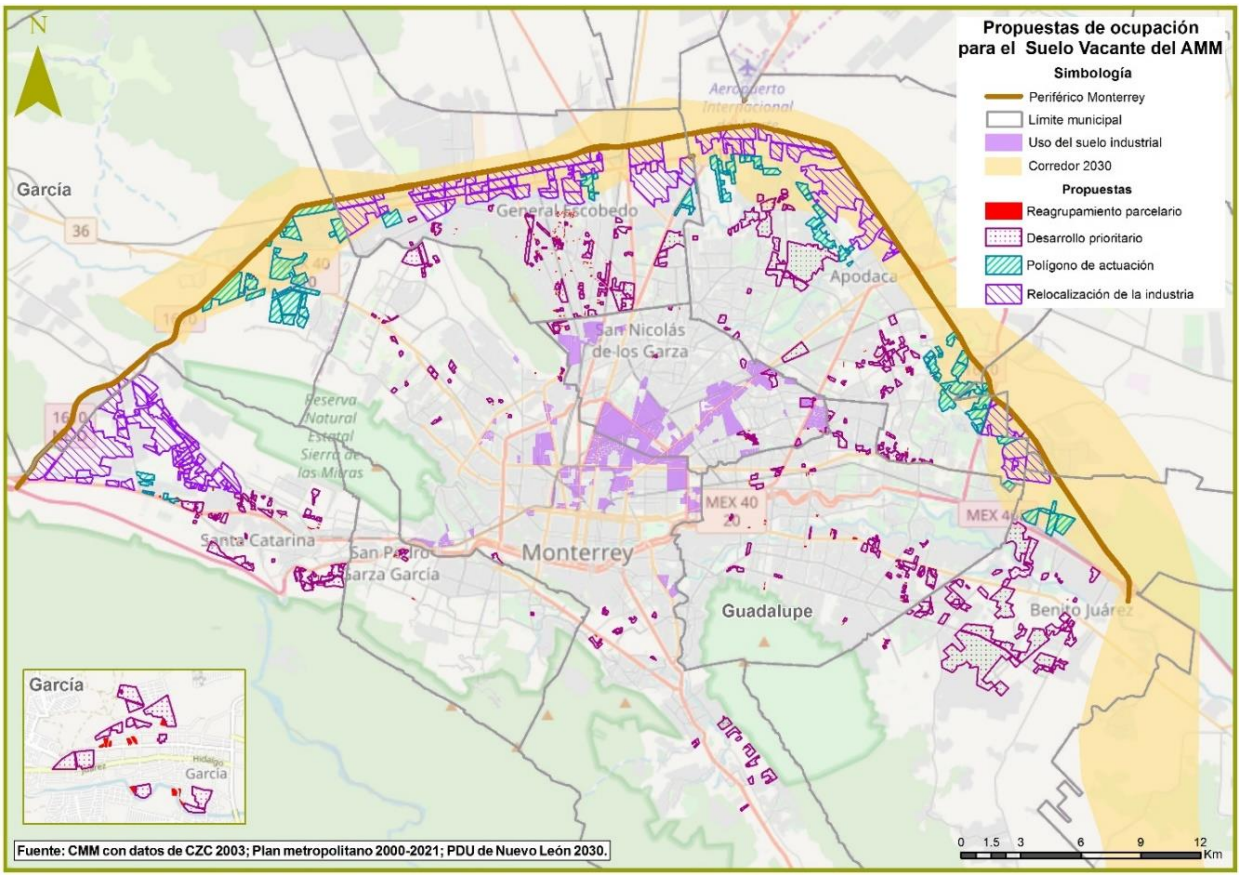
Desarrollo prioritario

De acuerdo a las proyecciones del incremento poblacional de CONAPO. De 2018 a 2030 se espera un incremento aproximado de 735,861 habitantes en el AMM, considerando una

[13] De acuerdo al Título décimo de los instrumentos de fomento al desarrollo urbano, capítulo primero, sección tercera (art. 347 al 350) de la Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano para el Estado de Nuevo León.

ocupación promedio de 3.7 habitantes por vivienda, se requerirán aproximadamente 198,881 nuevas viviendas para atender la demanda.

Mapa III.2. Propuestas de ocupación para suelo vacante



Aunado a lo anterior y retomando la visión del Plan Metropolitano 2000-2021, de consolidar el área urbana a través de la densificación gradual del centro urbano hacia la periferia ocupando los predios baldíos, se plantea la "Declaración de Desarrollo y Construcción Prioritaria"[14], para los 346 polígonos de superficies mayores a 1 ha, que suman 3,169 ha (Mapa III.2). De ese total se deduce el 17%[15] de la superficie (539 ha) para vialidades y equipamientos, con lo que se dispondría de 2,630 ha para desarrollar vivienda. Considerando una superficie de 60 m^2 por vivienda (superficie promedio de las viviendas colocadas en Nuevo León al 2018 de acuerdo a la Comisión Nacional de Vivienda, CONAVI); se podrían edificar 438,378 nuevas viviendas; es

[14] La declaratoria de polígonos de desarrollo y construcción prioritaria, es un mecanismo introducido en la reciente LGAHOTDU. No obstante, se conocen experiencias internacionales de su aplicación desde 2008. Tal es el caso de Bogotá, Colombia; que considera cuatro fases de su aplicación. Primero, se identifican los terrenos vacantes; segundo, se notifica a los propietarios el plazo que disponen para urbanizarlos; tercero, transcurrido el plazo y de no haber sido desarrollados se aplica la enajenación forzosa y venta en pública subasta; cuarto, se aplican mecanismos de recuperación de plusvalías (Maldonado y Hurtado, 2013).

[15] De acuerdo a lo establecido en el art. 210, fracción X de la Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano para el Estado de Nuevo León.

decir, 2.2 veces más vivienda de las necesarias para el 2030. Por tanto, se podría considerar el excedente para incrementar las áreas verdes y espacios públicos, o bien para la creación de vivienda de mayor superficie. Adicionalmente, cabe señalar que este escenario no considera vivienda vertical, que sin duda debe ser impulsado en entornos urbanos deseables como en los principales corredores o vialidades estructuradoras de la ciudad, particularmente en aquellos donde se impulse el transporte público estructurado.

Como incentivo para el desarrollo de los 346 polígonos propuestos se analizó su localización respecto a los Polígonos de Contención Urbana (PCU), definidos por la CONAVI para el año 2017; los cuales se consideran como criterio para la asignación de financiamiento a proyectos de vivienda. De modo que, en el primer contorno U1 se sitúan 90 polígonos (614 ha), en el segundo U2 se sitúan 206 polígonos (1,052 ha) y finalmente en el tercero U3 se localizan 50 polígonos (1,503 ha) (Tabla III.3). En términos de superficie, el 19% se encuentra en U1, el 33% en U2 y el 48% en U3. Es decir, más de la mitad tiene una localización favorable para el financiamiento de proyectos de vivienda.

Tabla III.3. Distribución de polígonos y superficie por PCU

Polígono de Contención Urbana	Polígonos	Ha	Porcentaje
U1	90	614	19%
U2	206	1,052	33%
U3	50	1,503	48%
Total	**346**	**3,169**	**100%**

Fuente: Elaboración propia con información de CONAVI 2017.

Polígono de actuación

Derivado de la revisión vía imagen satelital se detectó que 81 polígonos (1,660 ha) tienen características de suelo vacante periférico y se encuentran dentro de un entorno habitacional cercano a la industria, incluso 29 de ellos tienen zonificación industrial, dado que se encuentran sobre el Corredor 2030[16] (ubicado a lo largo del Periférico de Monterrey, sobre los municipios de Apodaca, García, General Escobedo, Juárez y Santa Catarina).

Con el propósito de orientar el desarrollo urbano de manera ordenada, integral y funcional, se propone implementar los "Polígonos de Actuación"[17], instrumento referido en la normativa estatal de Nuevo León, el cual promueve la inversión y desarrollo urbano con mezcla de usos de suelo y densidades en superficies baldías que se encuentran dentro del área urbana con acceso a servicios y vialidades.

Considerando que el 73% de los polígonos tiene dimensiones de 1 a 24 ha. Resalta su aptitud para desarrollar proyectos urbanos integrales, con mezcla de densidades y usos de suelo que generen entornos integrales entre la zona habitacional y la industria.

[16] Propuesto en el Programa Estatal de Desarrollo Urbano de Nuevo León.

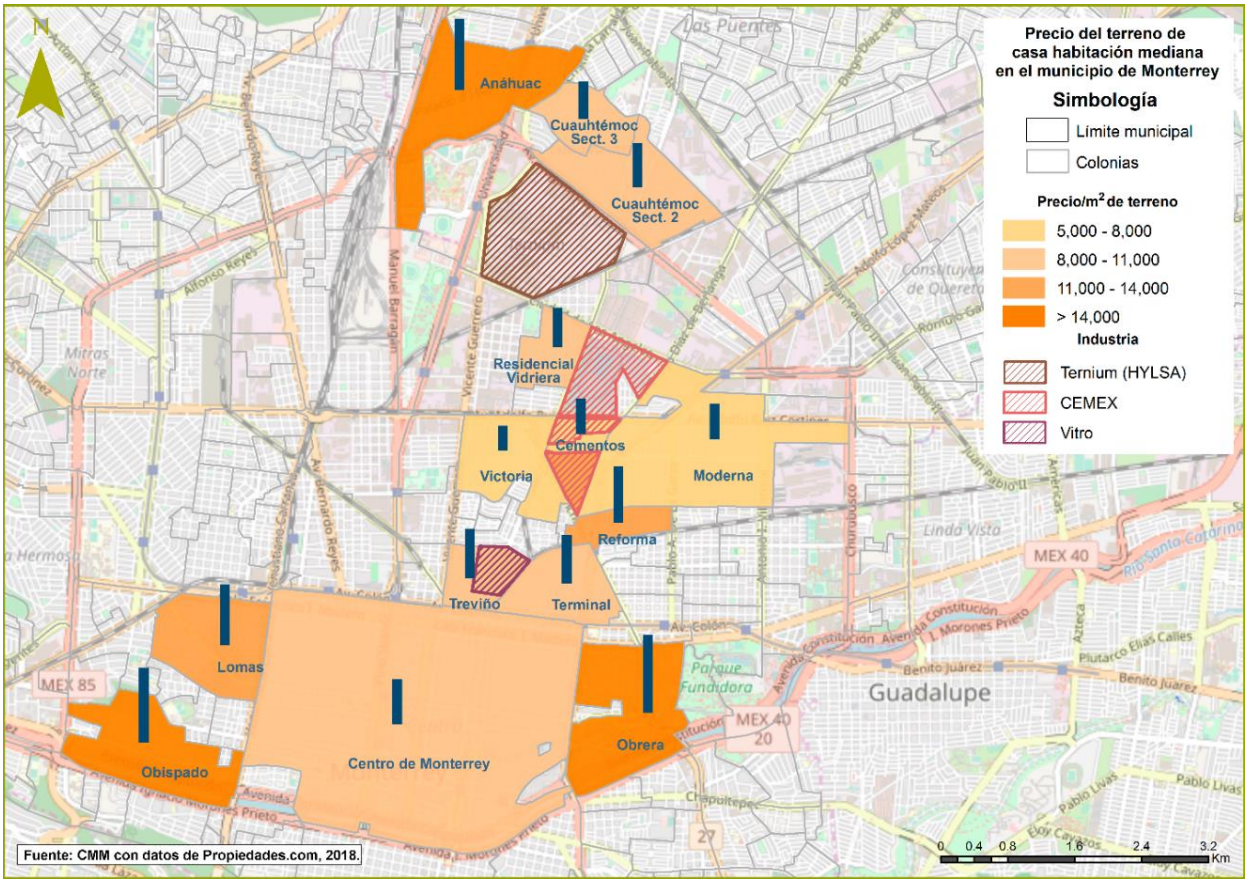
[17] De acuerdo al Título décimo de los instrumentos de fomento al desarrollo urbano, capítulo primero, sección tercera (art. 336 al 346) de la Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano para el Estado de Nuevo León.

III.1.2.1 Localización óptima de usos industriales

En parte, el deterioro de la imagen urbana obedece a la presencia de entornos industriales que en su momento fueron decisivos para la consolidación de la ciudad, y que en la actualidad conforman, de acuerdo a los instrumentos de planificación urbana municipal y metropolitanos, cerca de 30,200 has de uso industrial, de las cuales 42% se encuentran dentro de la superficie urbana, el resto se localiza en suelos agrícolas (9%), pecuarios (17%), y matorral (31%) principalmente. Es así como la ciudad alberga importantes grupos industriales, que debido al crecimiento urbano han quedado inmersas en un entorno habitacional y de comercio.

La diferencia de precio por m^2 de suelo urbano en las cercanías de los entornos industriales al norte del municipio de Monterrey, representa 64% del valor alcanzado por los predios localizados en el sur del municipio, donde la presencia de entornos industriales no es relevante. Por lo anterior, crear condiciones de habitabilidad en el centro de Monterrey es una condición necesaria para los numerosos proyectos y estudios de regeneración urbana planteados para esta urbe.

Mapa III.3. Panorama del precio del suelo en entornos industriales del centro de Monterrey



La localización industrial requiere definir un área apta, como polígonos y parques empresariales cercanos a vías de comunicación, o en localidades "borde"[18], creando importantes áreas empresariales, favoreciendo además un modelo metropolitano policéntrico. El lugar deberá cumplir con tres condiciones básicas: buena accesibilidad y conectividad, adecuada calidad del territorio y oferta de suelo.

Considerando las potencialidades y oportunidades que ofrece el borde urbano limitado por el Periférico de Monterrey, se sugiere impulsar la propuesta definida en 2010 por el Gobierno del Estado para desarrollar una zona industrial en el denominado Corredor 2030. Para ello, se identificaron 106 polígonos con 4,373 ha, sobre dicho Corredor, además 81% (3,534 ha) de la superficie cuenta con zonificación secundaria. Por tanto, puede dar cabida al desarrollo de nuevas zonas industriales donde se contemple de manera adecuada áreas de amortiguamiento entre usos urbanos e industriales, que en el caso de la zona centro no ha sido posible mantener.

[18] Entendiéndose como ciudades o localidades cercanas a la ciudad central, con las que se pudieran tener una relación funcional importante.

III.2 Movilidad

De acuerdo con lo observado en su caracterización, la movilidad en la ciudad de Monterrey presenta un rezago en todos sus vertientes, entre ellos, largos tiempos de recorrido derivados del patrón de crecimiento expansivo de la ciudad, poca oferta de transporte público, falta de conectividad, congestión vial en gran parte de la ciudad, escasa cobertura de infraestructura para una movilidad activa, por mencionar los más relevantes.

Por tal razón se plantean a continuación una serie de propuestas que buscan mejorar las condiciones de la ciudad en esta materia, además de diversificar la oferta de otras modalidades para desplazarse con el objetivo de reducir los viajes en vehículo particular.

III.2.1 Fortalecer la gestión de la movilidad urbana

Dada la debilidad en la estructura institucional y de instrumentos en la materia, es imperante fortalecer la coordinación tanto a nivel del gobierno estatal como en cada uno de los municipios que conforman el AMM. Para ello se proponen algunos tipos de intervención, orientados fundamentalmente al fortalecimiento de la Subsecretaría de Movilidad y Transporte, cabeza de sector para la coordinación y promoción del resto de las acciones planteadas.

Los niveles o tipos de intervención propuestos se clasifican en 4 tipos, los cuales fueron planteados a partir de las carencias identificadas para cada uno de los rubros (Tabla III.4).

Tabla III.4. Acciones propuestas para el mejoramiento en la planeación y operación de la movilidad

Nivel o tipo de acción	Rubro
Fortalecimiento y/o redefinición del enfoque	Subsecretaría de Movilidad y Transporte
	Ley de Transporte para la Movilidad Sustentable del Estado de Nuevo León
	Reglamento de la Ley de Transporte para la Movilidad Sustentable del Edo. de Nuevo L.
	Reglamento homologado de tránsito Metropolitano
	Plan Sectorial de Transporte y Vialidad
Revisión y/o redefinición reglas de operación	Fideicomiso para el Sistema Integral de Tránsito Metropolitano
	Fideicomiso Fondo Metropolitano Ciudad de Monterrey
Nueva creación	Instituto Metropolitano de Planeación
	Dar paso a la figura de "empresas" para la prestación del servicio de transporte
	Encuesta Origen Destino Carga
	Programa Integral de Movilidad Urbana
	Encuesta Origen Destino
	Comisión de participación ciudadana
Redefinición de objetivos y atribuciones	Sistema de Transporte Colectivo
	Agencia estatal para la Racionalización y Modernización del Sist. de Transporte Público
	Consejo Estatal de Transporte y Vialidad

Fuente: Elaboración propia.

III.2.2 Intervención en corredores prioritarios

Aunque la estructura de la ciudad por sí misma dificulta la conectividad en determinados puntos, dados los límites naturales, es importante trabajar en la mejora de la red actual, no

enfocando los esfuerzos en la construcción de más vialidades al interior, sino por el contrario, trabajar para aprovechar las vialidades existentes.

La red vial de la ciudad está conformada por aproximadamente 1,600 km, de la cual el 34% corresponde aquellas de acceso controlado y vialidades primarias. Dada la importancia de la red vial primaria para mejorar la movilidad, se plantea como primera etapa, la intervención de siete corredores identificados como prioritarios por su conectividad con puntos importantes en la ciudad, altos niveles de congestión y su elevada capacidad vial. Las vialidades propuestas para su intervención son: Camino a Reynosa, Santiago-Monterrey, Juan Diego Díaz de Berlanga, Díaz Ordaz, Constitución, Dr. Ignacio Morones Prieto y Miguel Alemán.

El tipo de intervención debe ser determinado mediante un estudio específico para cada corredor, sin embargo a continuación se describen acciones puntuales que pueden ser consideradas:

- Ampliación de las redes existentes de transporte de elevada capacidad (Metrorrey y Ecovía).
- Vincular el desarrollo urbano con la movilidad, es decir, impulsar la densificación en zonas que actualmente tienen una mayor cobertura de transporte, y además dar paso a una política de Desarrollo Orientada al Transporte, aprovechando predios vacantes o subutilizados, sobre los corredores, tanto los propuestos, como en donde ya existe una línea del transporte estructurado (ver apartado de estrategias de Desarrollo Urbano).
- Transformación en calles completas mediante la adecuación vial para incluir infraestructura ciclista y mejoramiento de la infraestructura peatonal, considerando la accesibilidad universal –rampas y algunos dispositivos como semáforos peatonales y auditivos-, además de la designación de carriles preferentes para transporte público, en el caso de aquellos corredores que no cuenten con alguna línea del sistema estructurado.

Es importante mencionar que estas acciones deben ir de la mano de un programa para la sustitución de unidades de transporte público, ya que de esa manera se mejoraría en gran medida la oferta del servicio, incentivando aún más su uso, además la renovación de la flota repercute de manera positiva en la calidad del aire de la ciudad.

III.2.3 Atenciones prioritarias en distintas zonas de la ciudad

Como resultado de la actividad de la ciudad, se observa una clara relación entre aquellas zonas con una mayor concentración de equipamientos y servicios, con un mayor volumen de viajes generados. Las zonas en donde se concentran las industrias, los equipamientos de salud y las oficinas son las que requieren de una serie de acciones que mejoren notablemente la circulación en la ciudad.

Ante ello, se plantean dos estrategias puntuales que buscan reducir los niveles de congestión, mejorar los tiempos y condiciones de traslado, y abatir los costos negativos generados a causa de una deficiente gestión de la movilidad.

En primer lugar, se propone trabajar de la mano con las industrias para el diseño e implementación de un plan de movilidad laboral, con el cual se pueden obtener diversos beneficios, tanto para los empleadores como para la movilidad, al prevenir los principales efectos negativos asociados a la congestión vehicular en el entorno laboral.

Dicho plan de movilidad puede estar enfocado a tres aspectos principales:

1) **Dotar de biciestacionamientos masivos al interior de las instalaciones laborales.**
2) **Implementación de un transporte interno de empleados.**
3) **Crear entornos seguros mejorando la infraestructura peatonal e incrementando la seguridad.**

En segundo lugar, para aquellas zonas que concentran un número importante de oficinas, se plantea la siguiente recomendación:

4) **Escalonamiento de horarios de trabajo.**

III.2.4 Reutilización de la red ferroviaria actual

Una de las características que puede ser vista como una virtud en la ciudad, pude ser la amplia cobertura de la red ferroviaria. Para su óptimo aprovechamiento, se tiene considerada la liberación de al menos 9 kilómetros de vías (parte de las líneas F y M) y aproximadamente 70 has ocupadas actualmente por el patio ferroviario. Esta infraestructura existente puede emplearse para iniciar la transformación de la movilidad en la ciudad.

Respondiendo a las necesidades de transporte de mayor capacidad y la existencia actual de una red ferroviaria que conecta distintos puntos de interés en la ciudad, se propone como una primera opción, evaluar la factibilidad para reutilizar la red ferroviaria actual brindando servicio de transporte de pasajeros una vez que sean liberados los recursos antes mencionados.

Es importante mencionar que esta alternativa reconoce la relevancia del papel de la industria, tanto para la ciudad como para sus pobladores. Por tal razón, es prioritario desarrollar los mecanismos que permitan seguir fomentando la actividad industrial, mediante acciones que minimicen los impactos negativos generados en su entorno.

Cabe mencionar la importancia de considerar la relocalización del patio ferroviario, para liberar suelo vacante bien localizado para otros usos y destinos, además esto ayudaría a reduciría notablemente los impactos negativos tanto al medio ambiente como a la mejora en términos de movilidad.

Como una segunda alternativa, se propone la adecuación de la red ferroviaria para la implementación de un sistema compartido. De acuerdo con la Administración Federal de

Ferrocarriles de Estados Unidos (FRA por sus siglas en inglés[19]), se definen tres tipos de servicios ferroviarios compartidos:

- **Vía compartida**: En donde vehículos pesados y ligeros (*LRT)* operan en la misma vía designada para el transporte de mercancías.
- **Derecho de vía compartida:** En este caso los vehículos transitan en vías separadas, pero el eje de las mismas se encuentran separadas 25 pies (7.62 metros).
- **Corredor compartido:** Los operadores de transporte de pasajeros y mercancías comparten un mismo corredor de transporte pero el eje de las vías se encuentran separados mínimo 25 pies (7.62 metros) y no más de 200 pies (60.96 metros).

La FRA ha definido una serie de recomendaciones menores a implementar en los corredores, con el propósito de optimizar el servicio de trenes de pasajeros y mercancías. Dichas recomendaciones incluyen desde la atención de intersecciones de vía férrea y vialidad para evitar siniestros entre vehículos, la implementación de intersecciones entre vías férreas para el funcionamiento de los trenes de carga y de pasajeros, hasta puentes móviles compartidos (carga y pasajeros).

Para brindar el servicio de manera segura y eficiente se han analizado varias alternativas. Una de ellas determina la viabilidad de construir vías adyacentes a la principal, así como la instalación de señalamientos para prevenir siniestros; por lo que operativamente, se puede permitir que el transporte de mercancías circule a mayor velocidad para reducir demoras y evitar congestionamiento, beneficiando de igual manera el servicio de pasajeros.

Es importante mencionar que actualmente no se cuenta con una guía o manual que especifique la metodología de diseño u operación de este tipo de sistemas, por lo que se continúa recopilando información al respecto. Sin embargo, existen algunas recomendaciones básicas a considerar en el caso de la implementación del servicio de este tipo. Cabe destacar que una de las claves para el éxito de un proyecto de esta dimensión es justamente garantizar la demanda del mismo, por lo que resulta vital establecer de manera paralela un sistema integrado de transporte con oferta de otras modalidades, como una red alimentadora del servicio, posibles estacionamientos disuasorios tipo *park and ride*, o espacio para bicicletas en los vagones y biciestacionamientos para que el primer y el último tramo de viaje puedan realizarse en bicicleta.

III.2.5 Recomendaciones generales en materia de transporte de carga

Una de las principales recomendaciones para atacar las problemáticas de movilidad y calidad del aire, vinculadas a la operación del transporte de carga, es la necesidad de más y mejor información. Por ello, se enlista una serie de recomendaciones:

[19] https://railroads.dot.gov/

- Incluir dentro de los planes de movilidad, la caracterización y diagnóstico del transporte de carga a nivel urbano, y los proyectos de infraestructura y logística operacional.
- Promover entre las instituciones de investigación y universidades, la investigación en el estudio del transporte de carga metropolitano y urbano de carga, especialmente en la modelación del mismo, para generar aproximaciones adecuados de la realidad.
- Identificar un mayor número de variables económicas a nivel de Unidad de Planeación de Zona, con el objetivo de facilitar futuros estudios de proyecciones de carga a nivel urbano.
- Solicitar a todas las dependencias que participan en el sector del transporte de carga a nivel gubernamental y las asociaciones-cámaras del autotransporte, la información fidedigna sobre todo el movimiento de la carga origen destino, así como la información técnica de las unidades, con la finalidad de establecer un banco de datos confiable.
- Estudiar los viajes en vacío, dado que son un buen indicador de la eficiencia operacional de la logística urbana.
- Para potenciar los beneficios de las restricciones vehiculares para el transporte de carga en las ciudades, se debe tener un enfoque integral con lo referente a la productividad, el derecho al trabajo y el reparto de mercancías. Es decir, que las medidas de restricción se deben implementar tomando como base, no solamente la necesidad de limitar la circulación, sino en el marco de políticas públicas más amplias enfocadas en la productividad, la logística, la movilidad y el desarrollo urbano de las ciudades.
- Para restringir la circulación de la carga en la ciudad, sería recomendable que primero se incluya el tema de logística y transporte de carga en los planes de desarrollo y de movilidad, ya que a la fecha estos temas no están integrados en dichos instrumentos.
- Impulsar la creación de una norma estatal estableciendo límites máximos permisibles más estrictos que los indicados actualmente en la NOM-167-SEMARNAT-2017 para la emisión de CO (4.5% volumen), HC (600 ppm) y NO (2,500 ppm) mediante la técnica de detección remota para vehículos a gasolina. Se recomiendan valores de 1.5% volumen de CO, 500 ppm de HC y 2,000 ppm de NO (percentiles 90 de la muestra para cada parámetro respectivamente).
- Impulsar la creación de una norma estatal estableciendo un límite máximo permisibles para factor de humo mediante la técnica de detección remota para vehículos a gasolina. Se recomienda un valor de 0.25 g de carbono / 100 g de combustible (percentil 90 de la muestra).
- Promover programas de autorregulación y mejora continua para mejorar las prácticas de operación y mantenimiento de los vehículos de carga y/o de uso intensivo.
- Proponer la renovación de flota e instalación de sistemas avanzados de control de emisiones a la salida del escape (retrofit) de los vehículos de carga y/o de uso intensivo.
- Renovar los programas enfocados a la regulación y reducción de emisiones contaminantes de fuentes móviles a la atmosfera, especialmente los precursores de ozono y el material particulado.
- Considerar que programas de inspección vehicular “integrados”, que incorporan la verificación conjunta de los elementos de seguridad y de emisiones, son fundamentales para garantizar el mejor funcionamiento del vehículo a lo largo de su vida útil.

- Implementar acciones de inspección a los vehículos ya que las condiciones mecánicas inadecuadas que pasan desapercibidas por los conductores, pueden hacer que emitan más contaminantes y se involucren en accidentes que son evitables.

III.3 Sector industrial

III.3.1 Estrategias de mitigación para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

Como se presentó en las secciones anteriores, el desarrollo del AMM ha estado basado en el desarrollo de diversas industrias que también han sido y son parte importante del desarrollo nacional. Las siguientes secciones presentan algunas medidas factibles que podrían traer beneficios tanto ambientales como económicos.

III.3.2 Refinación de petróleo

III.3.2.1 Sustitución de combustóleo por gas natural

De acuerdo con PEMEX, en 2015, se utilizaron 627,471 barriles de combustóleo para la generación de vapor (PEMEX, 2016). Como estima el INECC (2018), es posible sustituir la quema de combustóleo por gas natural en el Sistema Nacional de Refinación (SNR), y por lo anterior, se calcularon las emisiones derivadas de la quema de gas natural para cubrir los requerimientos de energía necesarios para generar vapor en la refinería. Estas emisiones se compararon con las emisiones generadas por la quema de combustóleo. Las emisiones evitadas por esta medida podrían ser de 84 mil toneladas anuales de CO_2e en 2030. En el caso de NOx, se podrían evitar emisiones anuales de 211 toneladas; mientras que para SO_2 y material particulado podrían ser de 1,760 toneladas anuales, y 89 toneladas anuales, respectivamente.

III.3.2.2 Cogeneración

La refinería de Cadereyta presenta un potencial significativo para la reducción de emisiones de GEI y de contaminantes criterio. Una de las medidas principales corresponde a la cogeneración. La cogeneración permite la generación simultánea de energía eléctrica y vapor, que puede ser aprovechado en procesos industriales. Cabe destacar que las dos formas de energía antes mencionadas provienen de la misma fuente primaria de energía. De acuerdo con el Plan de Negocios 2017 – 2021 de PEMEX, es posible instalar un sistema de cogeneración que tenga una capacidad instalada de producción de energía eléctrica de 525 MW, cubriendo un consumo de energía eléctrica en las instalaciones de 135 MW y generando 850 toneladas por hora de vapor al año (PEMEX, 2017a). Para realizar el cálculo de la reducción de emisiones de CO_2, se consideró que el sistema de cogeneración podría sustituir sistemas de generación de energía eléctrica y de vapor que en la actualidad operan de manera independiente. Asimismo, se consideró que el combustible utilizado era gas natural. Se estimó que la cantidad de gas natural que podría ahorrarse con el sistema de cogeneración podría ser de casi 20 millones de GJ por año, lo cual es equivalente a 1.1 millones de toneladas anuales de CO_2e en 2030. Asimismo, sería posible reducir 1,779 toneladas anuales de NOx.

III.3.2.3 Eficiencia térmica

Existen diferentes medidas que pueden ser implementadas en la refinería de Cadereyta, enfocadas a un mejor aprovechamiento de la energía y de los combustibles que se utilizan. Dentro de las medidas de eficiencia térmica que se consideraron se encuentran: el control del exceso de aire en calderas, la recuperación de calor residual, el precalentamiento de aire para calderas, la recuperación de energía de gases de regeneración en las unidades de craqueo catalítico de lecho fluidizado (FFC), la mitigación de las incrustaciones en intercambiadores de calor, el reemplazo de eyectores de vapor por bombas de vacío de anillo liquido en unidades de destilación al vacío, y la sustitución de trampas de vapor dañadas. Los cálculos de potencial de reducción en el consumo de energía, se realizaron considerando el esquema de generación de energía eléctrica y de vapor de la refinería presentada en PEMEX (2016) y PEMEX (2015). Las emisiones totales que pueden reducirse, del aumento de la eficiencia energética se calcularon de 337 mil toneladas anuales de CO_2e en 2030. La reducción en el consumo de gas natural, también puede traer beneficios en términos de la reducción de la contaminación atmosférica. Las emisiones de NOx, se podrían reducir hasta en 666 toneladas anuales.

III.3.3 Cemento

III.3.3.1 Disminución del contenido de Clinker

La disminución del contenido de Clinker en el cemento puede reducir el consumo energético y así las emisiones de CO_2. Lo anterior se logra al reducir los requerimientos de Clinker, que no sólo reduce la cantidad necesaria para llevar a cabo las reacciones químicas, sino que también se evita la emisión de CO_2 proveniente de la reacción de descarbonatación de la piedra caliza. Existen diversas opciones de materiales para sustituir el Clinker, como las puzolanas, la piedra caliza finamente molida y materiales de desecho o subproductos industriales como son las cenizas volantes de las centrales eléctricas o la escoria granulada del proceso de alto horno en la siderurgia. La reducción de emisiones estimada a 2030 fue de 183 mil toneladas de CO_2e anuales. La reducción de emisiones de NOx a 2030 se estimó en 498 toneladas anuales de NOx.

III.3.3.2 Disminución en el uso de combustibles fósiles a través del incremento al 35% en la cantidad residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial y/o residuos peligrosos co-procesados

En México, el sector cemento consume cantidades significativas de combustibles fósiles, siendo el coque de petróleo el principal insumo energético. A pesar de que en algunas plantas se han comenzado a utilizar residuos sólidos urbanos, el principal combustible alterno utilizado son las llantas. Dadas las condiciones de operación de los hornos de cemento, éstos permiten la utilización de mezclas de combustibles y en algunos lugares como Europa, se ha podido reemplazar una gran parte de los combustibles fósiles empelados, alcanzando un 80% de sustitución (CEMBUREAU, 2013). La reducción de emisiones a 2030 estimada fue de 64 mil toneladas anuales de CO_2e. Asumiendo que las emisiones de contaminantes son

proporcionales a las emisiones de CO_2, se estimó que la reducción en las emisiones de NOx a 2030 puede ser de 175 toneladas anuales.

III.3.4 Vidrio

III.3.4.1 Aumento del reciclaje de vidrio

Como señala la Agencia Internacional de la Energía (IEA) (2007), el reciclaje de vidrio representa una alternativa para la reducción de emisiones de CO_2e, debido a que se reduce la cantidad de energía necesaria para que las reacciones químicas se lleven a cabo. Se estimó que el potencial a 2030 de reducción de emisiones de CO_2e es de 42 mil toneladas anuales. La reducción de emisiones de NOx se estimó en 68 toneladas anuales.

III.3.4.2 Precalentamiento de vidrio reciclado

En general, las materias primas que se introducen a los hornos se encuentran a temperatura ambiente. Es por ello que es posible recuperar el calor residual del horno para calentar las materias primas y reducir el consumo energético del horno. La reducción de emisiones de CO_2e se calculó en 51 mil toneladas anuales, mientras que para NOx fue de 82 toneladas anuales.

III.3.5 Siderurgia

El sector siderúrgico y en particular, las plantas integradas operan con una eficiencia considerable. Por ejemplo, el CO_2 generado en la producción de hierro esponja es utilizado en la industria de bebidas. Además, los hornos de arco eléctrico existentes son de corriente directa, que tienen una mayor eficiencia con respecto a las alternativas convencionales.

III.3.5.1 Eficiencia eléctrica

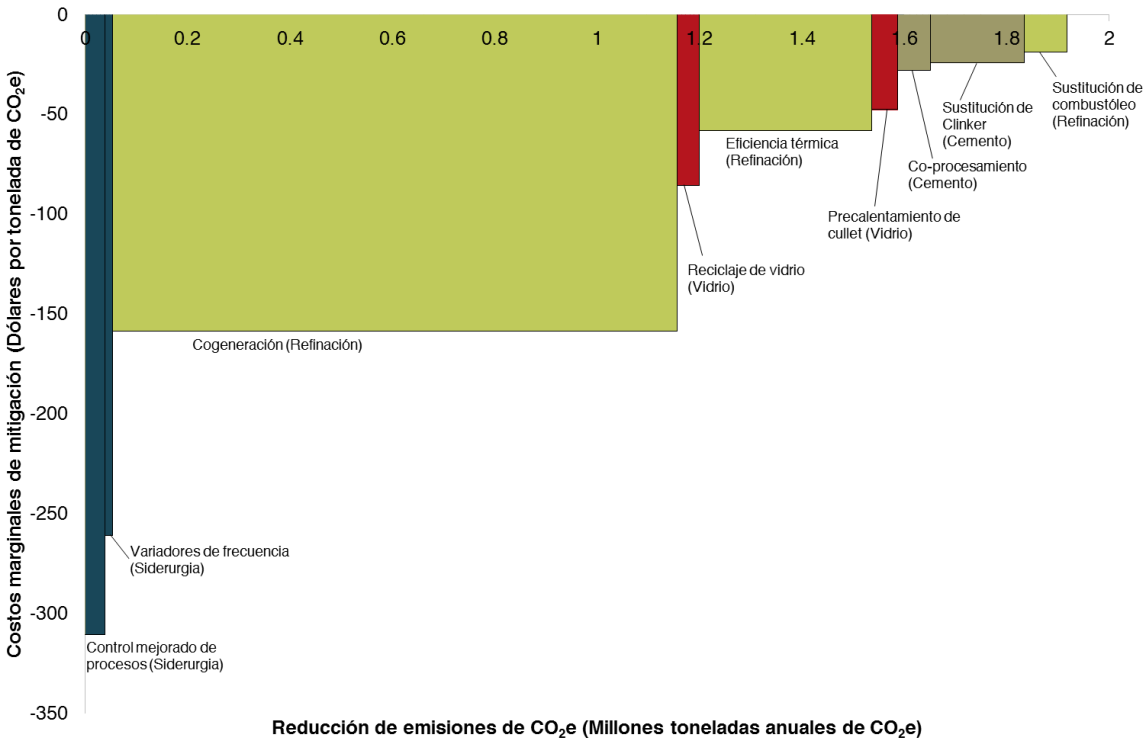
Dentro de las medidas para reducir el consumo de energía eléctrica se encuentran la mejora en el control de los procesos y el uso de variadores de frecuencia para sistemas de motores eléctricos y compresores. El potencial de reducción de emisiones de CO_2e para 2030 se estimó de 15 mil toneladas anuales de CO_2e para el uso de variadores de frecuencia, y de 38 mil toneladas anuales de CO_2e para la mejora en el control de procesos. La reducción en el consumo de energía eléctrica puede reducir por cada GWh consumido 1.17 toneladas de NOx. En conjunto, las medidas pueden reducir alrededor de 146 toneladas anuales de NOx.

III.3.6 Escenarios de mitigación y costos marginales de mitigación

Las medidas antes presentadas anteriormente tienen un potencial de reducción de emisiones de CO_2e totales a 2030 de 1.9 millones de toneladas anuales. De las medidas de mitigación de emisiones de CO_2e, se estimaron los costos marginales de mitigación. Estos costos representan el costo incremental de la aplicación de estas medidas con respecto a un caso de referencia (tecnología estándar con mayores emisiones de CO_2e) por unidad de emisiones de

CO_2e abatidas. Los costos marginales de mitigación incluyen diferentes supuestos económicos e información que se obtuvo en la literatura internacional y nacional. La Figura III.1 presenta los costos marginales de mitigación obtenidos.

Figura III.1. Curva de costos marginales de mitigación para el sector industrial del AMM



Fuente: Estimaciones propias.

III.3.7 Co-beneficios de las medidas en la reducción de contaminantes

La mayor oportunidad de reducción de emisiones de NOx se encuentra en las medidas de mitigación en el sector de refinación de petróleo, particularmente para la cogeneración y la eficiencia térmica, debido a una reducción significativa en el uso de gas natural. Lo anterior sucede para el caso de la producción de vidrio y acero, que utilizan gas natural en sus procesos. En el caso de cemento, el NOx generado debido a la quema de coque en los hornos, puede reducirse mayoritariamente al reducir el contenido de Clinker necesario para la producción de cemento. A través de las medidas de mitigación propuestas, es posible reducir emisiones de SO_2 principalmente de la sustitución de combustóleo por gas natural en la refinación de petróleo. El problema de emisiones de material particulado de las canteras localizadas en el AMM ha sido identificado por las autoridades locales como se mencionó con anterioridad. Otro sector importante en la emisión de material particulado es el de refinación de petróleo. Es posible reducir las emisiones de material particulado a través de la quema de gas natural y el uso de precipitadores electrostáticos en la unidad de conversión catalítica.

III.4 Disponibilidad y gestión del agua

III.4.1 Captación de agua pluvial y construcción de infraestructura de infiltración

Una primera propuesta de solución para la problemática de escasez de agua es la captación de lluvia para la recarga de los acuíferos subterráneos, tanto en la zona rural aledaña a la ciudad, como en el área urbanizada. La cubierta de asfalto y concreto de la ciudad impide la infiltración de la lluvia para la recarga de las fuentes de agua subterránea, situación ligada al déficit entre la recarga y la extracción, esta última provoca la sobreexplotación de las aguas subterráneas con consecuencias negativas en cuanto a su disposición y calidad. Para contrarrestar esta deficiencia sería necesario instrumentar un programa que contemplara obras de captación y de infraestructura de infiltración, para la recarga de acuíferos, en las zonas con más aptitud para este propósito.

La captación puede ser de grande, mediana o pequeña escala, de tal suerte que a gran escala se hacen a través del aprovechamiento de las inundaciones y de la cosecha de agua en extensas superficies. Los sistemas de mediana escala pueden ser represamientos para el almacenamiento o para la recarga de acuíferos. Los aprovechamientos de pequeña escala son los que se llevan a cabo en casas o edificios que captan el agua de lluvia directamente de tejados o grande techos y patios (Salinas López J.C 2015).

De acuerdo a la distribución de la lluvia dentro del AMM, la zona de mayor precipitación corresponde con el sur del municipio de Monterrey, junto con los municipios de Cadereyta y Santiago. Se sabe que la recolección de la lluvia es viable en zonas con precipitación incluso de 200 mm anuales, así que bajo este criterio no serían viables para esta acción parte de los municipios de García y Salinas Victoria.

Para apoyar la captación de agua, la actual infraestructura pluvial para el desalojo de las aguas ante lluvias extremas debiera trascender el mero ámbito de la seguridad y pasar de las obras de desalojo en los puntos más riesgosos de la ciudad, a obras de captación de agua y recarga de los acuíferos. Cierto es que los periodos de sequías son de varios años, pero cuando llueve después de 3 o 5 años la lluvia es abundante y recarga las presas a sus niveles máximos. Una acción similar debería fomentarse para los acuíferos subterráneos, los cuales podrían recargar sus aguas con obras de captación e infiltración y además disminuir los volúmenes de extracción durante las grandes avenidas que abastecen a las presas al extremo de tener que vaciar sus excedentes sin aprovechamiento alguno en ciertas épocas, particularmente cuando hay fenómenos de tormentas extremas o influencia de huracanes.

La recarga de acuíferos se puede basar en la identificación de zonas de captación de agua para la recuperación de los niveles de este recurso en zonas subyacentes al AMM, a través de sistemas de recarga natural o artificial de agua. Un proyecto de este tipo sería necesario desarrollar para iniciar la instrumentación de esta propuesta. En los municipios de Cadereyta, Juárez y Santiago se podría llevar a cabo, en una primera instancia, la recarga de acuíferos. Cabe hacer notar que las zonas al pie de monte pudieran ser otra buena opción de recarga y

almacenamiento de agua, lo cual podría realizarse en el AMM ya que ella se encuentra enclavada en la Sierra Madre Oriental, y mucha de las zonas urbanas están colindantes con laderas de las montañas. Obras de este tipo además podrían contribuir a disminuir los riesgos de inundaciones por corrientes de aguas broncas que bajan de las montañas

III.4.2 Acciones de infiltración del agua de lluvia en la ciudad

Otra de las causas de la sobreexplotación de los acuíferos subterráneos la representa la ciudad misma, pues las zonas urbanas son para la tierra una cubierta impermeable de cemento y asfalto que impide la infiltración de la lluvia al subsuelo y el agua que se queda en la superficie es canalizada al drenaje. Esas aguas ya no se infiltran al subsuelo y dejan de contribuir a la recarga del acuífero, de tal manera que disminuye el agua disponible de los mantos freáticos para el abasto de la población, por lo que ella se debe obtener de otras regiones mediante costosas obras de captación y conducción.

Tal es el caso del AMM, debido a que el agua que debiera abastecer a los campos de cultivo a través de la presa Marte R. Gómez se intercepta antes en la presa el Cuchillo y se envía por un largo acueducto a la ciudad de Monterrey.

Una propuesta para disminuir este problema es el uso de pavimentos permeables, aunque éstos son de menor resistencia a la carga que los pavimentos de concreto hidráulico convencionales, pueden ser de mayor resistencia que los pavimentos de asfalto. Conviene advertir que de manera adicional al análisis de las propiedades de los pavimentos permeables, es necesario evaluar los proyectos que con este material se puedan construir en función de los costos involucrados y los beneficios generados. Lo anterior implicaría hacer determinaciones sobre el valor del recurso agua (más valiosa cuanto más escasa puede ser) que pueda infiltrarse en el subsuelo y del costo de llevar a cabo el proyecto y compararlo con el costo de obtener agua de otras fuentes, así como del costo de desalojo de las aguas de lluvia que no se pueden infiltrar.

Una tendencia reciente en materia de movilidad sustentable es la de superar el esquema de construir cada vez más infraestructura para el transporte vehicular por un conjunto de redes viales, donde algunas de ellas sean para uso peatonal y ciclista, otras para vehículos ligeros y un tercer tipo para el tránsito de tipo masivo. Bajo este esquema se busca alcanzar beneficios sociales, ambientales y económicos, los cuales pueden verse incrementados por el uso de materiales permeables en la mayoría de las vialidades urbanas. Es así que el lograr altas resistencias en el diseño de pavimentos debiera cambiar a uno que favorezca la sustentabilidad y la socialización por medio de soluciones como las de los pavimentos permeables que han mostrado su capacidad de evitar los efectos indeseables derivados de la impermeabilidad.

III.4.3 Disminución del agua no contabilizada por fugas en la red

Se menciona que Monterrey va a la vanguardia en el control de fugas pues tiene alrededor del 25% de aguas no contabilizadas. Este índice se puede reducir aún más pues algunas ciudades como Matamoros en Tamaulipas tienen índices de tan solo 13% de aguas no contabilizadas.

Reducir este índice a 15% parecería factible con la tecnología actual disponible, como la de los polímeros que cubren las tuberías por dentro y que no requieren de excavaciones para el arreglo de fugas. Esto podría representar un ahorro de agua cercano a 1.3 m^3/s.

Adicionalmente, el control de fugas podría ser apoyado por una campaña constante de uso eficiente del agua con muebles y dispositivos ahorradores que permitieran que las dotaciones actuales que se calculan en 253 litros/habitante/día pudieran reducirse a 200 litros/habitante/día, de tal suerte que podría ahorrarse 20% del volumen consumido, aproximadamente 2.5 m^3/s. Cabe mencionar que Tijuana tiene una dotación actual de 178 litros/habitante/día y Saltillo 174 litros/habitante/día. Comparativamente Guadalajara tiene 202 litros/habitantes/día y la Ciudad de México 315 litros/habitante/día.

III.5 Calidad del aire

III.5.1 Definición de líneas estratégicas para la mejora de la calidad del aire

El desarrollo de una estrategia integral para la mejora de la calidad del aire debe incluir no solamente acciones directas para reducir las emisiones de ciertos sectores sino apuntar al fortalecimiento integral del sistema de gestión de la calidad del aire. Una estrategia integral permite que la mejora de la calidad del aire se conciba como parte del desarrollo los diferentes sectores económicos y de gobierno en el área metropolitana y que incluya la vinculación de actores estratégicos que puedan darle continuidad a estos procesos.

Con base en lo anterior, las líneas estratégicas se incorporan en cinco categorías principales: 1) fortalecimiento de los instrumentos de gestión; 2) movilidad eficiente y de bajas emisiones; 3) desarrollo industrial de y comercial de bajas emisiones y 4) planeación urbana y movilidad activa y 5) protección de la salud y evaluación de impactos. Asimismo, se incluyen 3 ejes transversales: a) comunicación y pedagogía; b) articulación sectorial y c) ciencia para la toma de decisiones.

Figura III.2. Líneas estratégicas para la mejora de la calidad del aire



Fuente: Clean Air Institute.

En la Tabla III.5 se presentan las principales acciones a desarrollar en estas líneas estratégicas. Las acciones específicas en los ejes transversales se incluyen en la Tabla III.6.

Tabla III.5. Acciones para la mejora de la calidad del aire y la reducción de emisiones en el AMM

Línea Estratégica	Acciones	Instrumentos de Implementación
Fortalecimiento de los instrumentos de gestión	Inventarios de emisión: - Actualización del inventario integrado de emisiones atmosféricas y gases de efecto invernadero - Desarrollo de un instrumento de reporte y actualización periódica del inventario.	- Estudio de actualización del inventario de emisiones. - Estudio de la contribución de las emisiones de fuentes de área a la calidad del aire en Monterrey. - Desarrollo de instrumento para actualización periódica.
	Monitoreo de la calidad del aire: - Realización de auditorías a la red de monitoreo y fortalecimiento del programa de control y aseguramiento de la calidad de los datos del monitoreo. - Desarrollo de una estrategia integral de comunicación que incluya publicación de la información de la calidad del aire en tiempo real y accesible a la población.	- Auditoría a la red de monitoreo. - Desarrollo de guías de control y aseguramiento del control de calidad. - Desarrollo de una estrategia de comunicación de la información de calidad del aire.
Movilidad eficiente y de bajas emisiones	- Implementación de planes de movilidad empresarial sostenible para la reducción de viajes al trabajo incluyendo estrategias como: a) teletrabajo; b) rutas empresariales y c) auto compartido.	- Desarrollo de guía técnica y ordenanza municipal (también puede incluirse como parte de Pacto por la Calidad del Aire).
	- Mejora integral de los servicios de transporte público, incluyendo: a) modernización de la flota e inclusión de tecnologías de transporte bajas en emisiones; b) optimización de rutas de transporte; c) integración con modos de transporte activo.	- Programa de mejoramiento integral del transporte público.
	- Incentivo a la modernización vehicular e introducción de vehículos de ultrabajas emisiones (EURO VI/6) y eléctricos - Fortalecimiento de los programas de verificación vehicular.	- Programas de renovación vehicular. - Programa de verificación vehicular
Desarrollo industrial y comercial de bajas emisiones	- Desarrollo de un programa de desarrollo bajo en emisiones que considere entre otros: a) sustitución de combustibles; b) reducción del contenido de azufre en combustibles; c) revisión y optimización de los sistemas de control de emisiones; d) reducción de emisiones en el sector de la construcción y la industria relacionada (canteras y aprovechamiento de minerales) y e) reducción de emisiones y modernización vehicular en la cadena de abastecimiento y suministro de mercancías, bienes y servicios - Reducción de emisiones de la industria petroquímica.	- Estrategia ambiental integrada para el diseño detallado de las medidas. - Pacto por la calidad del aire con actores del sector comercial e Industrias.
Planeación urbana y movilidad activa	- Planeación para la movilidad sostenible, incluyendo: a) desarrollo de centralidades; b) infraestructura de movilidad activa; c) acciones de gestión de la demanda.	- Instrumento de planeación urbana, código de construcción verde.
Protección de la salud y evaluación de impactos	- Desarrollo de una metodología para la evaluación de impacto en salud de la contaminación del aire y su incorporación en los instrumentos de gestión de la calidad del aire.	- Estudio de evaluación de la carga de enfermedad atribuible a la contaminación del aire en el AMM y desarrollo de indicadores de seguimiento.
	- Desarrollo de un programa de vigilancia epidemiológica y salud ambiental que incluya: a) fortalecimiento del sistema de respuesta frente a contingencias atmosféricas y b) seguimiento a indicadores de salud y desarrollo de estudios epidemiológicos	- Diseño de un sistema de vigilancia epidemiológica y salud ambiental. - Diseño de un programa de prevención, atención y respuesta a contingencias atmosféricas.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla III.6. Ejes transversales para la mejora de la calidad del aire en el AMM

Eje Transversal	Acciones
Comunicación Pública y Pedagogía	- Desarrollo de una campaña de comunicación de la información de gestión y calidad del aire. - Creación de espacios de participación ciudadana en materia de calidad del aire y salud.
Articulación Sectorial	- Creación de mesas de trabajo sectoriales de alto nivel con representantes de la industria y sectores relevantes para la reducción de emisiones.
Ciencia para la toma de decisiones	- Creación de un fondo para la investigación en materia de calidad del aire, salud y cambio climático. - Establecimiento de un grupo de trabajo con la academia y centros de investigación para el intercambio de experiencias en materia de calidad del aire, salud y cambio climático.

Fuente: Elaboración propia.

III.5.2 Evaluación de la reducción de emisiones

En la Tabla III.7 se presentan las medidas identificadas como prioritarias para la reducción de emisiones, y los contaminantes que se reducirían con su implementación. Esta evaluación se realizó a partir de la definición de los elementos base de las medidas propuestas; la incorporación de criterios de evaluación con base en la aplicación internacional de este tipo de medidas y el análisis de las características del contexto local. Las medidas se evaluaron usando como fecha de inicio el año 2020 y alcanzando su implementación plena en 2025 o 2030 según el tipo de medida. Los criterios de evaluación se incluyen en el Anexo V.3 de este documento.

La evaluación realizada no pretende ser un ejercicio exhaustivo, sino que busca dimensionar la magnitud del desafío para la reducción de emisiones y determinar el potencial de reducción de las medidas.

Las medidas que mayor potencial tienen para la reducción de emisiones de $PM_{2.5}$ son la relacionadas con la optimización de sistemas de control de emisiones, (FF1, 23%); la reducción de emisiones del sector petroquímico (FF5, 19%) y promoción de industria limpia (FF4, 19%). Estas dos últimas medidas son también las que permiten la mayor reducción de emisiones de SOx (FF5, 57%; y FF4, 21%). Los SOx juegan un papel importante en la formación de material particulado secundario por lo cual es importante mantener un enfoque integral para abatir de manera conjunta las emisiones de $PM_{2.5}$ y SOx en función de lograr una mejora en la calidad del aire.

En la Tabla III.8 se presenta una descripción sintética de las medidas de fuentes fijas evaluadas para la reducción de emisiones en el AMM.

Tabla III.7. Potencial de reducción de emisiones por la implementación de las medidas evaluadas (toneladas). Reducción medidas 2030 vs emisión de línea base 2030)

Medida	Cronograma				Reducción (toneladas, año 2030)				Reducción (%, frente a LB 2030)			
	2019	2020	2025	2030	$PM_{2.5}$	SOx	NOx	COV	$PM_{2.5}$	SOx	NOx	COV
FM1. Introducción de vehículos EURO VI/6					184	6	4,793	0	4%	0%	**14%**	0%
FM2. Mejora integral del transporte público					114	23	3,953	2,292	3%	0%	**12%**	5%
FM3. Movilidad empresarial sostenible					26	15	3,357	1,854	1%	0%	**10%**	4%
FM4. Optimización logística en el sector carga y conducción ecoeficiente					84	44	5,138	4,483	2%	0%	**15%**	9%
FM5. Fortalecimiento de la revisión técnico mecánica					46	19	3,871	1,763	1%	0%	**11%**	4%
FM6. Introducción de vehículos eléctricos					193	73	8,181	6,991	4%	1%	**24%**	**14%**
FM7. Promoción de la movilidad activa					16	13	2,643	1,537	0%	0%	8%	3%
FF1. Optimización de sistemas de control de emisiones					1,005	0	0	0	**23%**	0%	0%	0%
FF2. Disminución del contenido de azufre en combustibles					0	626	0	0	0%	7%	0%	0%
FF3. Sustitución de combustibles					648	1,315	-194	0	**15%**	**14%**	-1%	0%
FF4. Promoción de industria limpia					830	2,003	2,280	2,115	**19%**	**21%**	7%	4%
FF5. Reducción de emisiones del sector petroquímico					817	5,387	-147	0	**19%**	**57%**	0%	0%
FA1. Mejoramiento de la infraestructura vial					192	0	0	0	4%	0%	0%	0%
FA2. Reducción de emisiones de la industria de construcción.					147	0	0	0	3%	0%	0%	0%
FA3. Reducción de las emisiones en el uso de solventes					0	0	0	28,858	0%	0%	0%	**58%**
Total					4,303	9,524	33,876	49,892	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla III.8. Descripción sintética de acciones de las medidas evaluadas – Fuentes fijas

Medida	Descripción sintética
FF1. Optimización de sistemas de control de emisiones	Requerimiento del desarrollo de acciones para garantizar el mantenimiento efectivo y eventual reemplazo de sistemas de control de emisiones de partículas, algunas acciones específicas pueden incluir: - Exigencia de bitácora de mantenimiento, - Requerimiento de mantenimiento preventivo y correctivo, - Auditoría a sistemas de control, - Reemplazo de sistemas obsoletos. Como instrumento de implementación se puede considerar un acuerdo voluntario o un requerimiento normativo.
FF2. Disminución del contenido de azufre en combustibles	Requerimiento del pretratamiento de combustibles industriales para la disminución del contenido de azufre en los combustibles o su sustitución. Algunas acciones específicas pueden incluir: - Análisis de la matriz energética industrial, - Acuerdo con proveedores de combustible para suministro de combustible bajo en azufre, - Requerimiento de preprocesamiento de combustibles por parte de usuario industrial final. Como instrumento de implementación se puede considerar un acuerdo voluntario o un requerimiento normativo.
FF3. Sustitución de combustibles	Requerimiento de acciones para la transición a una matriz energética más limpia con combustibles menos carbono-intensivos o fuentes alternativas de energía. Algunas acciones específicas pueden incluir: - Evaluación del potencial de empresas participantes y alternativas tecnológicas, - Establecimiento de incentivos, - Reconversión de procesos, Como instrumento de implementación se puede considerar un acuerdo voluntario o un requerimiento normativo.
FF4. Promoción de industria limpia	Requerimientos para que el establecimiento de nuevas industrias en el AMM promueva la localización de industrias menos contaminantes y restrinja el establecimiento de industrias más contaminantes. Algunas acciones específicas pueden incluir: - Zonificación del territorio con criterios de calidad del aire, - Incentivos para la localización de industria baja en emisiones, - Regulación del tipo de combustible aceptable para nuevas fuentes. Como instrumento de implementación se puede considerar un requerimiento normativo o un instrumento de planificación urbana
FF5. Reducción de emisiones del sector petroquímico	Esta medida se fundamenta en lo desarrollado por el ProAire del Estado en relación con mantener emisiones reducidas de SO_2 y partículas de la refinería Ing. Héctor R. Lara Sosa mediante a) usar gas natural en lugar de combustóleo en las calderas y calentadores, b) mantener en operación quemadores de alta eficiencia en calderas y calentadores y c) desarrollar programas de mantenimiento preventivo y correctivo.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla II.9 se presenta una descripción sintética de las medidas de fuentes móviles evaluadas para la reducción de emisiones en el AMM.

Tabla III.9. Descripción sintética de acciones de las medidas evaluadas – Fuentes móviles

Medida	Descripción Sintética
FM1. Introducción de vehículos EURO VI/6 (Modernización vehicular)	Monterrey cuenta ya con diesel de ultrabajo contenido de azufre lo cual le habilita para la exigencia e introducción de tecnologías vehiculares más limpias. Esta medida propone la modernización de la flota de transporte el en AMM. Se pueden tener en consideración algunas acciones específicas como las siguientes - Actualización de límites de emisión para vehículos que circulen en el AMM, - Restricciones a la circulación de vehículos más contaminantes, - Incentivos para la modernización de la flota vehicular. Como instrumento de implementación se puede considerar un requerimiento normativo o incentivos económicos,
FM2. Mejora integral del transporte público	Desarrollo de un programa integral para la mejora y expansión de los servicios de transporte público en el AMM. Algunas acciones específicas pueden incluir: - Ampliación de la cobertura del transporte público, - Optimización de rutas, - Modernización vehicular, - Articulación de la red de transporte con infraestructura de transporte activo. Como instrumento de implementación se puede considerar un plan de mejora y presupuesto para el transporte público.
FM3. Movilidad empresarial sostenible	Desarrollo de un programa para reducir los viajes al trabajo por parte de organizaciones con mayor número de trabajadores. Algunas acciones específicas pueden incluir: - Desarrollo de guía para la elaboración de los planes, - Definición de alternativas de movilidad a promover, - Elaboración de planes por parte de la industria, - Seguimiento por parte de la autoridad. Como instrumento de implementación se puede considerar un acuerdo voluntario o un requerimiento normativo.
FM4. Optimización logística en el sector carga y conducción ecoeficiente	Desarrollo de un programa para la mejora logística y la capacitación en conducción ecoeficiente para el sector de carga, incluyendo la logística de distribución y suministro en las empresas. Algunas acciones específicas pueden incluir: - Actualización de línea base de movilidad, - Establecimiento de horarios para la circulación de carga, - Establecimiento de vías exclusivas para la circulación de carga, - Desarrollo de alternativas para la reducción de viajes en vacío. Como instrumento de implementación se puede considerar un plan maestro para el transporte, instrumento normativo o un acuerdo voluntario.
FM5. Fortalecimiento de la verificación técnico vehicular	Fortalecimiento del programa de verificación técnico vehicular para fortalecer el cumplimiento de los estándares de emisión y la aplicación de programas de mantenimiento preventivo y correctivo. Algunas acciones específicas pueden incluir: - Auditoría a centros de verificación, - Fortalecimiento de herramientas de reporte, - Desarrollo de operativos en campo para vigilancia del cumplimiento. Como instrumento de implementación se puede considerar un instrumento normativo, un acuerdo voluntario o campaña de sensibilización.

Medida	Descripción Sintética
FM6. Introducción de vehículos eléctricos	Desarrollo de un programa con metas ambiciosas para acelerar la introducción de vehículos eléctricos en el AMM. Algunas acciones específicas pueden incluir: - Establecimiento de metas de introducción de vehículos eléctricos por categoría vehicular, - Inclusión de vehículos eléctricos en el programa de mejoramiento del sistema de transporte público y en los programas de mejora de logística de carga, - Establecimiento de estímulos a usuarios particulares. Como instrumento de implementación se puede considerar la aplicación de incentivos fiscales y/o de circulación de los vehículos, o un acuerdo voluntario con las empresas.
FM7. Promoción de la movilidad activa	Ampliación de la infraestructura para la movilidad activa, promoción de la cultura del uso de la bicicleta y articulación con instrumentos de planeación urbana para facilitar el uso de modos no motorizados de transporte.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla III.10 se presenta una descripción sintética de las medidas de fuentes de área evaluadas para la reducción de emisiones en el AMM.

Tabla III.10. Descripción sintética de acciones de las medidas evaluadas – Fuentes de Área

Medida	Descripción Sintética
FA1. Mejoramiento de la infraestructura vial	Desarrollo de un programa para el mejoramiento de la infraestructura vial en el AMM enfocada en: - Pavimentación de caminos no pavimentados, - Mantenimiento de infraestructura vial.
FA2. Reducción de emisiones de la industria de construcción	Fortalecer la reglamentación para el manejo ambiental en las actividades de construcción de modo que se reduzcan las emisiones del sector. Algunas acciones específicas pueden incluir: - Mejora de prácticas de extracción de materiales, - Lineamientos ambientales en el uso de materiales de construcción en obras civiles, - Mejores prácticas en el transporte y manejo de residuos y materiales de construcción. Como instrumento de implementación se puede considerar un acuerdo voluntario o un requerimiento normativo.
FA3. Reducción de las emisiones en el uso de solventes	Desarrollo de un programa para reducir las emisiones relacionadas con el uso de solventes en el ámbito comercial e industrial. Algunas acciones específicas pueden incluir: - Sustitución de productos, - Mejores prácticas de uso. Como instrumento de implementación se puede considerar un acuerdo voluntario o un requerimiento normativo.

Fuente: Elaboración propia.

IV Propuesta integral para el desarrollo sustentable de la ciudad

La ciudad de Monterrey caracterizada por su pujante dinamismo industrial y elevados niveles de provisión de servicios y niveles de vida en relación al resto del país, enfrenta hoy al igual que el resto de las grandes urbes del planeta, el reto de continuar ofreciendo oportunidades para mejorar la calidad de vida de millones de personas, al tiempo que requiere ampliar y fortalecer las estrategias delineadas en los diferentes planes y programas de gobierno vinculados con temas clave de la sustentabilidad urbana.

Desde el punto de vista del ordenamiento territorial, el AMM se ha caracterizado por ser expansivo, disperso, de baja densidad y excluyente. A lo anterior se añade el despoblamiento del centro urbano, originado por múltiples factores entre los que se encuentran la elevación del precio del suelo, y el entorno inseguro y alterado propiciado por mala integración espacial de la industria y la vivienda. Lo anterior también es expresión de la falta de concurrencia y corresponsabilidad de la normativa de ordenamiento y planeación del territorio, y de la coordinación de los gobiernos. Sin duda, existen avances en cuanto a la visión objetivo de la ciudad y en particular en relación al uso eficiente del suelo, ya que algunos instrumentos de planeación consideran programas de redensificación, de usos mixtos, de recuperación de plusvalías y de regulación del crecimiento sobre el suelo de valor ambiental. Sin embargo, la instrumentación y aplicación de los mismos es deficiente. Debido a que hoy en día los procesos de integración física de las ciudades son más rápidos, complejos y con nuevas escalas, se requiere de una planeación de carácter vinculante y multiescalar aunado a una gestión conjunta y coordinada entre los distintos gobiernos. Es decir, debe entenderse como un trabajo colaborativo de los municipios en beneficio del AMM para que ésta funcional, eficiente y sustentable.

Por ello, las primeras propuestas en este ámbito se dirigen a atender la necesidad de institucionalizar la coordinación metropolitana, que orienten de forma articulada la aplicación de instrumentos de gestión de suelo para contener la expansión urbana, ordenar los usos de suelo no compatibles, fomentar la mixticidad de aquellos usos compatibles, mejorar la densidad urbana y normar el diseño urbano para favorecer la accesibilidad y generar condiciones adecuadas para la operación del transporte público estructurado. En este sentido, un reto no abordado pero de extrema relevancia será la oferta de suelo vacante para vivienda asequible y evitar futuros procesos de gentrificación. En este documento se analizan los grandes predios vacantes al interior y en la periferia urbana, que sin duda ofrecen un potencial único para mejorar la convivencia entre los usos industriales y habitacionales. Dos recomendaciones importantes son la necesidad de trabajar hacia una relocalización de las industrias de alto impacto urbano y ambiental hacia la periferia, así como seguir impulsando los corredores de Desarrollo Orientado al Transporte a través no sólo de ampliar la oferta de transporte público y de cobertura metropolitana, sino también con el entorno urbano que ofrezca densidades, usos y equipamientos que garanticen su viabilidad en el largo plazo.

Sin duda alguna, la dinámica de una ciudad es el reflejo de sus actividades. Por tal razón es de vital importancia que exista en la ciudad el soporte que permita a sus habitantes

desplazarse de una manera eficiente, cómoda y segura. Ese soporte deberá incluir una oferta variada de modos para que los habitantes elijan libremente la manera en la que desean realizar sus viajes. En el caso del AMM persiste un claro reflejo de la planeación urbana tradicional que fomenta el uso del vehículo particular. Sin embargo, considerando la importante contribución de las fuentes móviles a la mala calidad del aire, debe otorgarse prioridad a los modos de transporte más eficientes y menos contaminantes. Si bien dicha transformación está presente en la imagen objetivo de los distintos instrumentos de planeación de la movilidad, aún es necesario fortalecer los pilares y acciones concreta, como son la parte institucional o de instrumentación para una adecuada planeación de la movilidad.

También es necesario implementar una serie de acciones y estrategias que permitan aprovechar la intensa dinámica económica de la ciudad, pero generando condiciones dignas de habitabilidad. Para ello se requiere atender de manera urgente las necesidades de movilidad, como el crear un sistema integrado de transporte, apostando por aquellos de mayor capacidad y evaluando la posibilidad de utilizar parte de sus recursos actuales, como es el caso de la red ferroviaria, sin olvidar también aquella infraestructura que promueva además una movilidad activa.

Además, diseñar atenciones puntuales y estratégicas, como por ejemplo, transformar la manera en la que se desplazan los empleados de algunos sectores, mediante la organización de transportes internos, instalación de biciestacionamientos, o adecuación de los entornos laborales, todo ello con la finalidad de brindar condiciones para que lleguen a su lugar de trabajo en transporte compartido, bicicleta o a pie, desincentivando así el uso del vehículo particular.

Igualmente, la relevancia de los movimientos de mercancías, tanto de paso como con destino a la ciudad, no se refleja en los instrumentos de planeación de la movilidad urbana. Por ello, este rubro merece un estudio más detallado respecto a los aforos al interior de la ciudad para identificar los patrones de movilidad (horarios, frecuencias, dimensiones, etc.) de este tipo de vehículos con miras a reducir sus impactos ambientales y urbanos.

Sin lugar a duda, el sector industrial de Monterrey ha sido un motor de desarrollo local y nacional que ha desarrollado diversas industrias, creando sinergias entre las mismas. Debido a lo anterior, en el AMM, se han alojado industrias que no sólo consumen grandes cantidades de energía sino que también presentan emisiones considerables de GEI y de contaminantes criterio, los cuales tienen un impacto negativo en la salud de la población local.

A partir de los resultados obtenidos, se puede observar que existen diversas medidas de mitigación de emisiones de CO_2e en las principales industrias del AMM, que son costo-efectivas y podrían traer beneficios económicos. Asimismo, su implementación podría genera co-beneficios en términos de reducciones en emisiones de contaminantes criterio que a su vez podrían mejorar la calidad del aire en la zona y mejorar las condiciones de vida de la población.

Desde el punto de vista de los requerimientos financieros, se recomienda considerar el acceso a financiamiento internacional enfocado a proyectos de mitigación de emisiones de GEI como el proporcionado por el Fondo Verde del Clima (Green Climate Fund GCF) o por otros organismos como el Banco Mundial (BM), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) o las agencias de cooperación internacionales; además del establecimiento de mecanismos fiscales. Asimismo, con respecto a aspectos normativos, es de gran importancia que se establezca normatividad más estricta de manera que puedan limitarse las emisiones de contaminantes particularmente de la industria calera y la refinación de petróleo.

Sin lugar a duda, la escasez hídrica supone para el AMM una de las principales limitantes para continuidad de su desarrollo. La revisión de los indicadores de disponibilidad de agua en la ciudad alerta sobre los requerimientos de nuevas fuentes de abastecimiento, y a pesar de mantener una de las gestiones del agua más eficientes en el país, aún podrían realizarse acciones para mejorar el aprovechamiento de los recursos existentes. La búsqueda de desarrollos regionales más equilibrados, mediante el impulso de otras ciudades, también representa una alternativa de más largo plazo.

Otro reto de enorme envergadura será la mejora de la calidad del aire. Las emisiones del AMM presentan características propias de zonas de marcado desarrollo industrial: las fuentes fijas son dominantes en cuanto a las emisiones de SO_2 y $PM_{2.5}$ y el transporte de carga es una de las principales fuentes de emisión de $PM_{2.5}$. Asimismo, la principal fuente de emisiones de óxidos de nitrógeno (precursores de ozono), son las fuentes móviles, seguida en importancia por las fuentes fijas. Finalmente, tanto para partículas suspendidas PM_{10} y COV, la principal fuente de emisión son las fuentes de área. En el primer caso específicamente, las operaciones de extracción de materiales (pedreras) y en el segundo, la fabricación y uso de pinturas y solventes.

Las emisiones de los 4 principales contaminantes analizados en este proyecto ($PM_{2.5}$, SO_2, NOx y COV) aumentarán significativamente en los próximos 10 años y alcanzarán niveles extremadamente preocupantes, de hasta 80% mayores a las actuales, de no implementarse un sistema de gestión integral de la calidad del aire en el corto plazo y de manera inmediata, que debe incluir no solamente acciones directas para reducir las emisiones de ciertos sectores sino apuntar al fortalecimiento integral del sistema de gestión de la calidad del aire. El abordaje integral de la calidad del aire debe considerar entre otros los siguientes aspectos: a) la interacción de los factores que influencian el crecimiento de las emisiones en el área de estudio (fuerzas motrices); b) el fortalecimiento de instrumentos de gestión que permitan conocer el estado de la calidad del aire (inventarios de emisión, redes de monitoreo, modelos de calidad del aire, etc.); c) el desarrollo de estrategias de reducción de emisiones en múltiples sectores (industria, planeación urbana y movilidad); d) la implementación de estrategias para la vigilancia y el cumplimiento de dichas estrategias; e) la evaluación de estos programas y f) la divulgación de resultados. El retraso en la implementación de una estrategia integral agravará las afectaciones a la salud pública, particularmente del centro de la ciudad, para

lo cual se estiman los impactos en la morbilidad y el costo que tienen en el aparato productivo de la ciudad.

Los resultados de esta primera investigación también señalan pendientes en la generación e integración de la información necesaria para la elaboración de políticas públicas más robustas, no obstante han permitido generar una primera serie de propuestas de sustentabilidad urbana para el AMM, que pueden ser retomadas en la elaboración de proyectos específicos en beneficio de su población, sectores productivos y medio ambiente. Así, con base en las problemáticas identificadas anteriormente, se integran las siguientes recomendaciones que atienden limitantes en materia normativa, señalan a los diferentes niveles de gobierno involucrados, reconocen los sectores de atención prioritaria y los beneficios o impactos esperados de su implementación.

Tabla IV.1. Propuestas de sustentabilidad para el AMM

Propuesta	Principales resultados y/o recomendación
Desarrollo Urbano	
Institucionalizar la coordinación metropolitana.	Integrar comisiones Ordenamiento Metropolitano y de la Zona Conurbada.
Fomentar la utilización adecuada de instrumentos de gestión de suelo.	Trabajar en conjunto con los gobiernos municipales para generar instrumentos normativos y fiscales de gestión del suelo urbano acordes con una estrategia metropolitana de contención urbana, usos mixtos, mayores densidades y ordenamiento de los usos no compatibles del suelo.
Fomentar estrategias de Desarrollo Orientado al Transporte.	Elevar densidades en al menos 85 viv/ha en corredores prioritarios, así como reglamentar la mezcla de usos de suelo compatibles, infraestructura para la movilidad activa y desincentivos al uso del auto particular.
Gestión de suelo vacante.	Propuesta: • Destinar 101 ha de suelo vacante (polígonos menores a 1 ha) a una estrategia de reagrupamiento parcelario. • Impulsar el desarrollo prioritario de 3,169 ha de suelo vacante para albergar vivienda y equipamiento urbano. • Conformar polígonos de actuación en 1,660 ha de suelo vacante, con mezcla de densidades y usos de suelo que generen entornos integrales entre la zona habitacional y la industria. • Articular una estrategia en 4,373 ha de suelo vacante periférico para la localización óptima de industrias de alto impacto ambiental y urbano.
Movilidad	
Fortalecer la gestión de la movilidad urbana.	• Redefinición de reglas de operación de los Fideicomisos: – Sistema Integral de Tránsito Metropolitano, – Fondo Metropolitano Ciudad de Monterrey. • Creación de instrumentos de planeación: – Encuesta origen destino, – Encuesta origen destino para el transporte de carga, – Programa Integral de Movilidad Urbana. • Fortalecer y redefinir el enfoque de las siguientes dependencias o leyes: – Subsecretaría de movilidad y transporte, – Ley de transporte para la movilidad sustentable del Estado de

Propuesta	Principales resultados y/o recomendación
	Nuevo León, – Reglamento de la Ley de transporte para la movilidad sustentable del Estado de Nuevo León, – Reglamento homologado de tránsito metropolitano, – Plan sectorial de transporte y vialidad. • Creación del Instituto Metropolitano de Planeación. • Revisión de atribuciones y objetivos los siguientes órganos: – Agencia para la Racionalización y Modernización del Sistema de Transporte Público de Nuevo León, – Consejo Estatal de Transporte y Vialidad.
Intervención de corredores prioritarios.	Identificación de siete corredores que suman en total 87 km, que por su localización y capacidad, tienen la oportunidad de ser intervenidos para su ordenamiento e implementación de un sistema de transporte de elevada capacidad, así como la mejora de infraestructura peatonal y creación de infraestructura ciclista.
Atenciones prioritarias en distintas zonas de la ciudad.	• Ofrecer mejores condiciones de desplazamiento al 62% de los viajes (matutinos) y 47% (vespertinos) generados por las industrias, mediante tres acciones puntuales: 1) Dotar de biciestacionamientos masivos al interior de las instalaciones laborales. 2) Implementación de un transporte interno de empleados. 3) Crear entornos seguros. • Ofrecer mejores condiciones de desplazamiento al 11% de los viajes (matutinos) y 17% (vespertinos) generados por las oficinas mediante el escalonamiento de horarios de trabajo.
Reutilización de la red ferroviaria actual.	Evaluación de dos alternativas: • Diseñar un esquema de vía compartida para pasajeros y carga. • Aprovechamiento de las vías férreas liberadas por la relocalización de las industrias de la zona central.
Recomendaciones generales en materia de transporte de carga.	• Incluir dentro de los Programas Integrales de Movilidad Urbana Sustentable, la caracterización y diagnóstico del transporte de carga a nivel urbano. • Promover entre las instituciones de investigación y universidades, el estudio del transporte de carga metropolitano y urbano, especialmente en la modelación del mismo. • Solicitar la participación institucional, de las asociaciones y cámaras del autotransporte, en la generación de información fidedigna sobre el movimiento de la carga, así como la información técnica de las unidades. • Impulsar la creación de una norma estatal estableciendo un límite máximo permisibles para factor de humo mediante la técnica de detección remota para vehículos a gasolina. Se recomienda un valor de 0.25 g de carbono / 100 g de combustible (percentil 90 de la muestra). • Promover programas de autorregulación y mejora continua para mejorar las prácticas de operación y mantenimiento de los vehículos de carga y/o de uso intensivo. • Aplicación de un programa de inspección vehicular “integrado”, que incorpore la verificación conjunta de los elementos de seguridad y de emisiones.
Consumo energético en la industria	

Propuesta	Principales resultados y/o recomendación
En la refinación del petróleo sustituir el combustóleo por gas natural, e impulsar la cogeneración y la eficiencia térmica.	• Las emisiones evitadas por estas medidas se estiman en 84 mil toneladas anuales de CO_2e, 211 toneladas de NOx, 1,760 toneladas de SOx y 89 toneladas de material particulado. • El volumen de gas natural que podría ahorrarse con el sistema de cogeneración podría ser de casi 20 millones de GJ por año, equivalente a 1.1 millones de toneladas anuales de CO_2e. Asimismo, sería posible reducir 1,779 toneladas anuales de NOx. • Las emisiones totales que pueden reducirse a 2030, del aumento de la eficiencia energética se calcularon de 337 mil toneladas anuales de CO_2e y 666 toneladas anuales de NOx.
Reducir el contenido de Clinker y el uso de combustibles fósiles en la producción de cemento.	La reducción de emisiones estimada a 2030 es de 183 mil toneladas de CO_2e y de 498 toneladas de NOx.
Elevar el reciclaje de vidrio.	El potencial a 2030 de reducción de emisiones de CO_2e es de 42 mil toneladas anuales, y la de NOx se estimó en 68 toneladas anuales.
Mejorar la eficiencia eléctrica en la industria siderúrgica.	El potencial de reducción de emisiones para 2030 se estimó de 15 mil toneladas anuales de CO_2e para el uso de variadores de frecuencia, y de 38 mil toneladas anuales de CO_2e para la mejora en el control de procesos. La reducción en el consumo de energía eléctrica puede reducir por cada GWh consumido 1.17 toneladas de NOx. En conjunto, las medidas pueden reducir alrededor de 146 toneladas anuales de NOx.
En el sector minero se recomienda aplicar técnicas de control húmedo.	Los sistemas de control húmedo pueden suponer una reducción de hasta el 86% de los polvos, con lo que podrían reducirse las emisiones de material particulado total en 1,076 toneladas anuales en 2030 y 1,211 toneladas anuales de PM_{10} en 2030.
Gestión del agua	
Desarrollo de infraestructura para la captura de lluvia e infiltración de agua a los acuíferos subterráneos.	Atenuar la explotación intensiva de los acuíferos y prolongar su aprovechamiento. Esta acción podría complementarse con el tratamiento terciario del agua residual para recarga de acuíferos, cumpliendo con la normativa existente.
Impulso al uso de pavimentos permeables para permitir la infiltración del agua y recarga de acuíferos.	Esta acción podría desarrollarse en lugares que tienen las mejores características físicas para la infiltración. Ellos pueden corresponder con zonas de mayor lluvia y suelos que permitan la infiltración, como los que se localizan al pie de las montañas del AMM.
Reducir el agua no contabilizada de la red por fugas.	Mediante tecnología que puede resultar más económica como la que recubre con polímeros las tuberías deterioradas y no requiere de excavaciones, las pérdidas por agua no contabilizada podrían pasar del 25 al 15% con un ahorro que podría ser de al menos un metro cúbico por segundo en la demanda de agua.
Campaña de uso eficiente del agua.	Fomentar el uso de muebles y dispositivos ahorradores, complementado con la captura de lluvia en las viviendas residenciales y edificios de vivienda colectiva, para reducir la dotación de agua por habitante de 253 litros a 200 litros. Con esta medida se podría lograr un ahorro de agua en alrededor de un metro cúbico por segundo.

Propuesta	Principales resultados y/o recomendación
Calidad del aire	
Implementación de una estrategia integral de gestión de la calidad del aire.	• Fortalecimiento de la red de monitoreo con equipos y personal especializado. • Establecer metas progresivas alcanzables y auditables. • Incorporar la participación de grupos de interés y el desarrollo y uso de investigación científica para el entendimiento y fortalecimiento de la gestión. • Actualizar de manera periódica y continua el inventario de emisiones del AMM, con un reporte de acceso público. • Auditoría externa y publica a la red de monitoreo de calidad del aire. • Desarrollar campañas de comunicación que sensibilicen del tema a todos los sectores de la población.
Reducción de emisiones provenientes de fuentes fijas.	• Optimización de sistemas de control de emisiones. • Disminución del contenido de azufre en combustibles. • Reducción de emisiones y modernización vehicular en la cadena de abastecimiento y suministro de mercancías, bienes y servicios. • Sustitución de combustibles y prohibir de manera progresiva pero inmediata la utilización de combustóleo en la zona metropolitana. • Promoción del programa de industria limpia. • Reducción de emisiones del sector petroquímico.
Reducción de emisiones provenientes de fuentes móviles.	• Introducción de vehículos EURO VI o EPA 10 (Modernización vehicular). • Mejora integral del transporte público. • Movilidad empresarial sostenible. • Optimización logística en el sector carga y conducción ecoeficiente. • Fortalecimiento de la verificación técnico vehicular. • Introducción de vehículos eléctricos. • Promoción de la movilidad activa.
Reducción de emisiones provenientes de fuentes de rea.	• Mejoramiento de la infraestructura vial. • Reducción de emisiones de la industria de construcción. • Reducción de las emisiones en el uso de solventes.

V Anexos

V.1 Campaña de sensor remoto para caracterizar el perfil del parque vehicular

V.1.1.1 Criterios de la selección de sitio

Al momento de elegir los sitios de muestreo fue importante considerar que fuesen vialidades donde se pudiera instalar el sensor remoto sin poner en riesgo la integridad física del personal. Ya que el flujo vehicular es obligado a pasar por un solo carril, para realizar la lectura de todos los vehículos que transiten por dicha vía. Asimismo, fue importante contar con apoyo de personal de tránsito y de seguridad pública a fin de controlar el flujo vehicular mientras se realizó la instalación de todos los componentes del sensor remoto, así como durante la operación del mismo.

V.1.1.2 Condiciones de sitio

Una vez seleccionado los sitios de muestreo, se revisaron las condiciones del lugar, es decir, se verificó que en los sitios a evaluar no hubiese presencia de lodo, encharcamientos, terracerías u otras condiciones que dificultaran la operación del sensor remoto. Cualquier entorno donde exista la posibilidad de salpicar de agua los instrumentos o dificulte el montaje y desmontaje de los diferentes elementos del sensor remoto debe ser evitado, de lo contrario se debe reubicar el sitio donde se instala el sensor remoto.

La selección correcta del sitio para el muestreo fue importante, porque de ello depende que se recopilen los datos de los vehículos que se desean monitorear. Esto se reflejará en un mayor número de vehículos evaluados, así como en datos válidos.

Debe tomarse en cuenta que el sitio cuente con las condiciones mínimas de seguridad, tanto para el equipo como para el personal.

Adicionalmente, existen algunas condiciones técnicas que se tomaron en cuenta, pues son necesarias para el adecuado funcionamiento del equipo, así como requisitos indispensables para la correcta recopilación de datos:

- Que los vehículos se encuentren bajo aceleración o carga.
- Que el tránsito fluya en una sola dirección.
- Que la unidad móvil pueda ser estacionada de forma segura y sin obstruir el tránsito.
- Que el equipo pueda ser instalado en superficies sólidas; como asfalto, cemento o suelo libre de vegetación.
- Que el camino se encuentre en condiciones secas.
- Que el tránsito no generé nubes de polvo.

- Que los vehículos más nuevos y más viejos sean monitoreados; ya que de lo contrario los datos obtenidos estarán sesgados.
- Que el parque objetivo sea maximizado; donde la porción de vehículos objetivo circulando fuese mayor.
- Que la probabilidad de vehículos en frío fuese eliminada.

V.1.1.3 Preparativos de sitio

Para la operación del sensor remoto, la seguridad del personal que llevó a cabo la evaluación en los sitios fue de suma importancia. Para ello, se contó con elementos de seguridad pública en cuanto se llegó al sitio. Todo el personal se colocó de manera inmediata los chalecos de seguridad. Una vez puestos, se procedió a delimitar el área a evaluar con los conos señalizadores, los cuales se colocaron para el control de tránsito y resguardo del área de trabajo antes de comenzar a desplegar los componentes del sistema como se muestra en la Figura V.1.

Figura V.1. Medidas de seguridad



Fuente: Elaboración propia.

Cuando se colocaron los conos en el área de trabajo se tuvo cuidado de no colocarlos demasiado cerca el uno del otro ni de los componentes del sistema sensor remoto. De este modo; se aseguró que, si un vehículo llegara a golpear un cono, no causará ningún daño al equipo o al personal que se encuentre trabajando al momento de la medición.

La pendiente del sitio de muestreo es crítica para maximizar el número de registros válidos durante la operación del sensor remoto. Por lo tanto; en la medida de lo posible se seleccionaron sitios cuyas pendientes fueran positivas, para checar la pendiente se utilizó un nivel digital. Posterior a esto, se realizaron tres mediciones: al inicio de la unidad móvil, en medio y al final de la misma, el valor promedio resultante se capturo al iniciar el programa del sensor remoto.

V.1.1.4 Instalación de la planta de energía

La planta de energía se colocó a una distancia mayor a 10 metros, en el sentido al que sopla el viento delante y atrás de la unidad móvil, para evitar la interferencia directa al hacer la medición de gases de emisión, como se muestra en la Figura V.2. Se puso en marcha la planta y se dejó calentar un tiempo mínimo de 5 minutos antes de conectar cualquier equipo.

Figura V.2. Distancia mínima para colocar la planta



Fuente: Elaboración propia.

Cuando se comienza con la instalación, es primordial conectar el analizador a la alimentación y encenderlo, ya que se debe calentar al menos 45 minutos antes de calibrarlo. De esta manera, el analizador alcanza la temperatura óptima de operación y se asegura la confiabilidad de los datos obtenidos.

V.1.1.5 Alineación del equipo

Se verifica el flujo vehicular y de ser necesario se puede pedir apoyo al personal de tránsito o seguridad pública que está resguardando el sitio para vigilar que el tránsito no represente un peligro.

Se coloca tanto el SDM como el CCM en las bases y se manipulan los soportes para ajustar la alineación. Se mide la altura del láser de alineación que sale del analizador y se ajusta el espejo a la misma altura con los soportes frontales; si la vialidad presenta una pendiente transversal para compensar la misma se manipulan los soportes posteriores tanto del analizador como del espejo hasta igualar la pendiente en ambos; como se muestra en la Figura V.3.

La Figura V.4 nos muestra la configuración de los componentes del sistema sensor remoto al evaluar vehículos con escape bajo con barras de velocidad.

Antes de colocar la cámara, se debe considerar la posición de ésta, ya que si colocamos la cámara en una posición en donde nos interfieran los rayos solares, resultaría difícil capturar una buena imagen.

El lugar más factible para obtener la imagen de la placa generalmente es realizando la toma de la fotografía a la placa delantera, debido a las diferentes posiciones donde suele ser colocada la placa trasera en las unidades de carga.

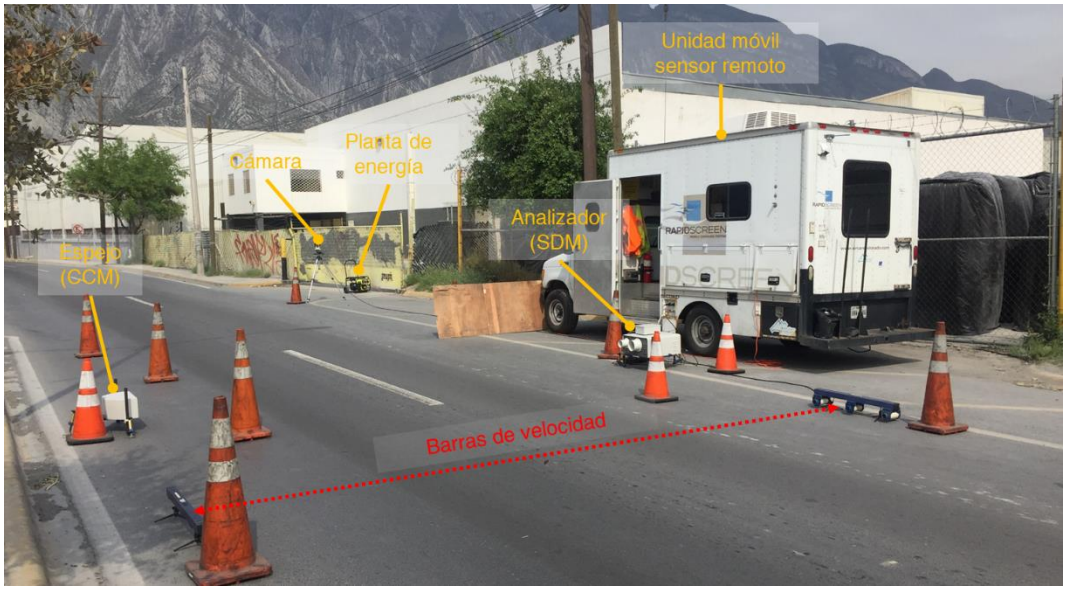
El personal debe considerar estos factores al momento de realizar el monitoreo, ya que en ocasiones los rayos solares pueden variar a través de la jornada y ser un factor importante si se tiene el sol de frente.

Figura V.3. Alineación de analizador



Fuente: Elaboración propia.

Figura V.4. Sistema sensor remoto



Fuente: Elaboración propia.

Mientras el analizador alcanza su temperatura de operación se puede comenzar la instalación y conexión de todos los componentes; espejo, barras de velocidad/aceleración y cámara. Si no están conectados al iniciar el sistema del sensor remoto, este indicará fallas en la comunicación y tendrá que ser reiniciado el sistema hasta que detecte todos los componentes conectados.

V.1.1.6 Sitios de muestreo

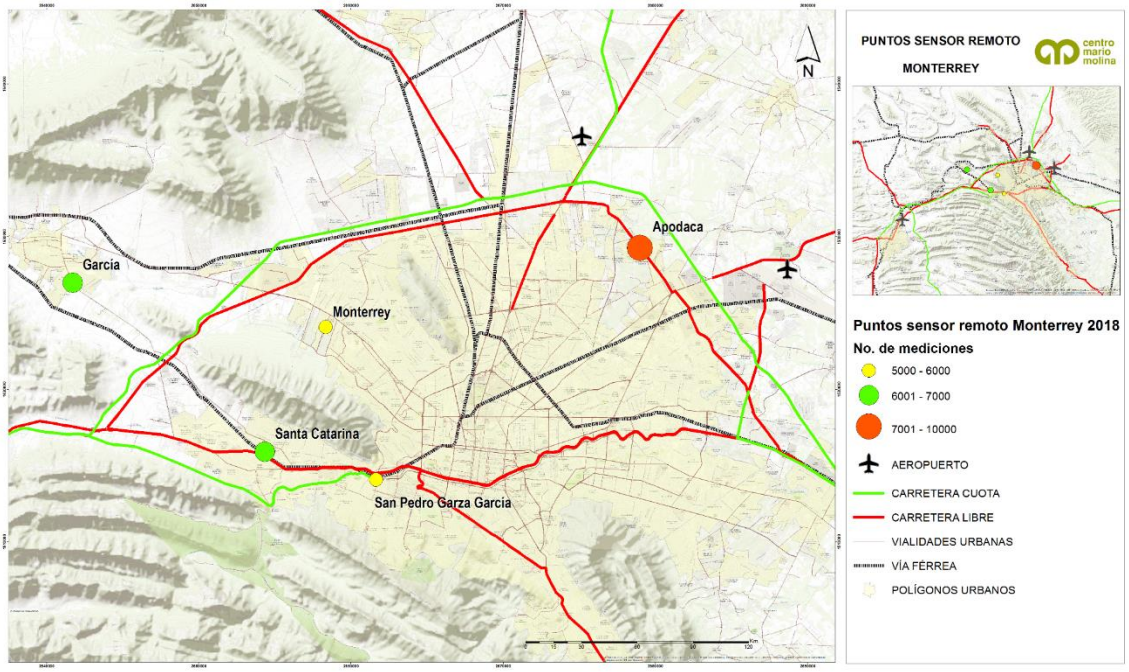
Después de realizar visitas de reconocimiento en diferentes sitios probables y con base en características como ubicación, flujo vehicular, etc., se definieron los cinco sitios de muestreo que se listan en la Tabla V.1. Los cuales se encuentran en el Área Metropolitana de Monterrey como se aprecia en el Mapa V.1.

Tabla V.1. Sitios de muestreo con sensor remoto

Sitio	Municipio	Fecha	Latitud	Longitud	Mediciones
1	San Pedro Garza García	05/03/2018	25.667572	-100.38236	5,024
2	Santa Catarina	06/03/2018	25.6848006	-100.4551458	6,070
3	García	07/03/2018	25.7864409	-100.5804559	6,456
4	Monterrey	08/03/2018	25.758598	-100.414329	5,812
5	Ciudad Apodaca	09/03/2018	25.8034	-100.207	10,040

Fuente: Elaboración propia.

Mapa V.1. Sitios de muestreo con sensor remoto



Fuente: Elaboración propia.

V.2 Proyección de emisiones contaminantes a la atmósfera

V.2.1.1 Variables consideradas en la proyección de emisiones

Para la proyección de la línea base de emisión se realizaron análisis diferenciados de los factores de crecimiento de las emisiones de contaminantes provenientes del transporte, la industria y fuentes de área para el periodo de análisis. A continuación, se presentan los criterios usados por tipo de fuente.

Para la proyección de la línea base de emisión se realizaron análisis diferenciados de los factores de crecimiento de las emisiones de contaminantes provenientes del transporte, la industria y fuentes de área para el periodo de análisis. A continuación, se presentan los criterios usados por tipo de fuente.

V.2.1.2 Fuentes fijas

A partir de datos de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera (EMIM) [20] se proyecta la tendencia de crecimiento del nivel de actividad para los sectores relevantes del inventario de emisiones del año 2013. Se utiliza la serie "Valor de producción de los productos elaborados, disponible para el periodo 2007 – 2017, y se consideran los valores anuales, correspondientes al agregado los valores mensuales. Se ajusta una tendencia logarítmica a los datos del periodo 2007-2017, la que se aplica al periodo proyectado, entre 2018 y 2030, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Producción_t = A * \ln(t) + B$$

Donde $Producción_t$ corresponde al valor de la producción en el año t, en miles de pesos corrientes, $\ln(t)$ corresponde al logaritmo natural aplicado al año t y los parámetros A y B son los que se presentan en la Tabla V.2[21].

Tabla V.2. Parámetros para la proyección en el tiempo de la producción

Sector	A	B
Fabricación de equipo de transporte	31,949,229,065.35	-242,917,768,709.48
Industria del papel	3,461,482,572.84	-26,312,077,383.96
Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	2,999,419,001.72	-22,790,663,862.02
Fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación de energía eléctrica	3,656,240,331.54	-27,766,873,133.77
Industria alimentaria	5,089,939,059.75	-38,678,644,455.74
Industrias metálicas básicas	12,041,812,169.78	-91,517,174,292.22

[20] Disponible en http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/encestablecimientos/mensuales/emim/2007/ consultado el 9 de Octubre de 2018

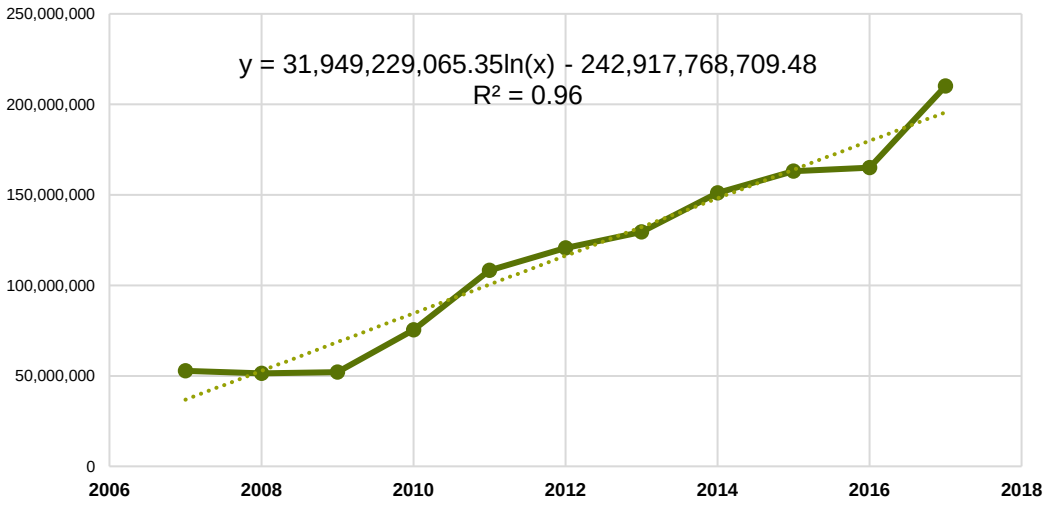
[21] Los datos del "total industria" se usan como proxy para proyectar las emisiones de la categoría "otras fuentes" así como de la categoría de "Petróleo y Petroquímica".

Sector	A	B
Industria química	2,183,315,850.99	-16,577,804,513.01
Total Industria	73,335,145,547.27	-557,296,004,561.11

Fuente: Elaboración propia.

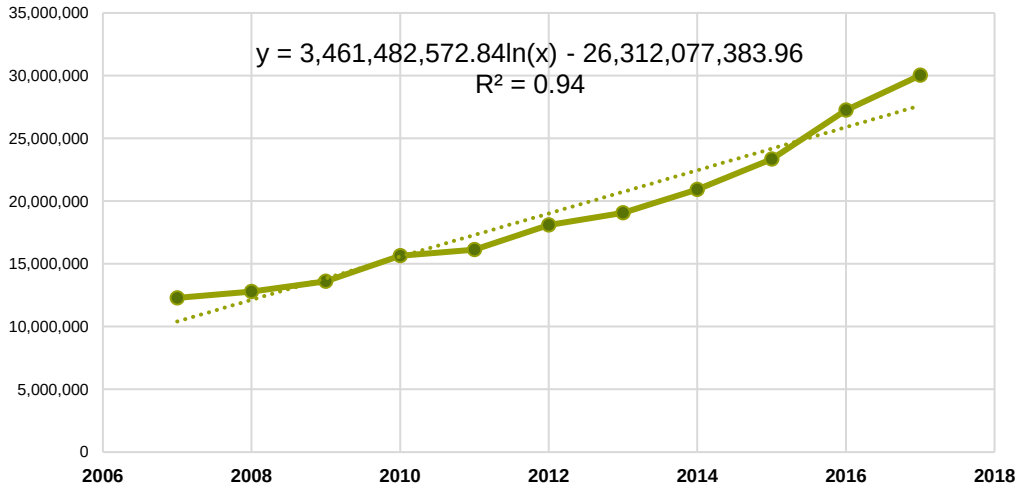
Entre la Figura V.5 y Figura V.12 se presenta en forma gráfica los datos de la EMIM y la proyección realizada para los diferentes sectores objeto de análisis.

Figura V.5. Valor de la producción para el sector fabricación de equipo de transporte, 2007-2017



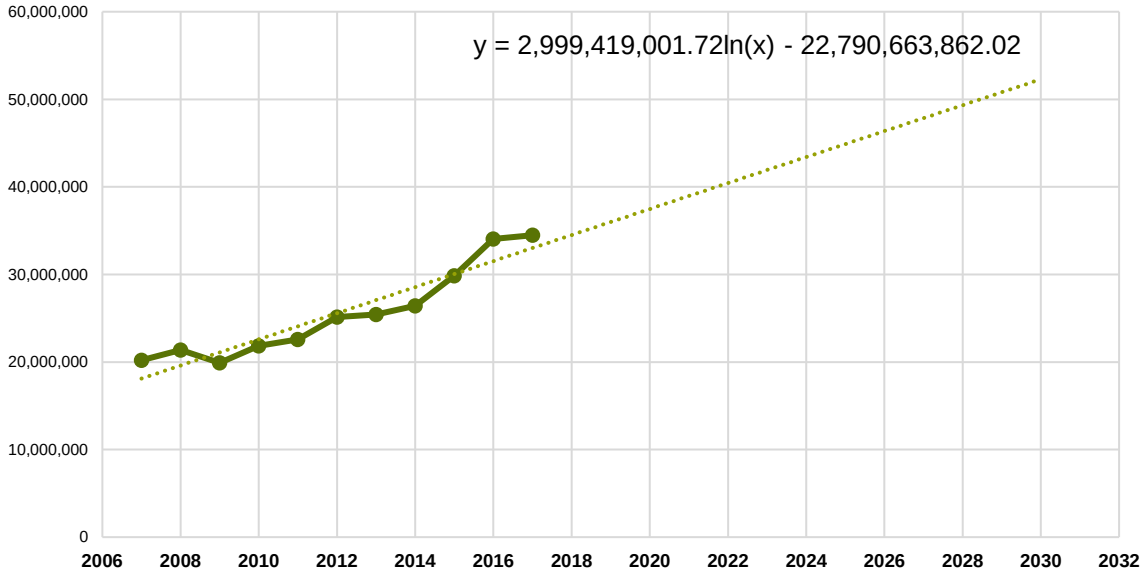
Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera, INEGI, 2007.

Figura V.6. Valor de la producción para el sector industria del papel, 2007-2017



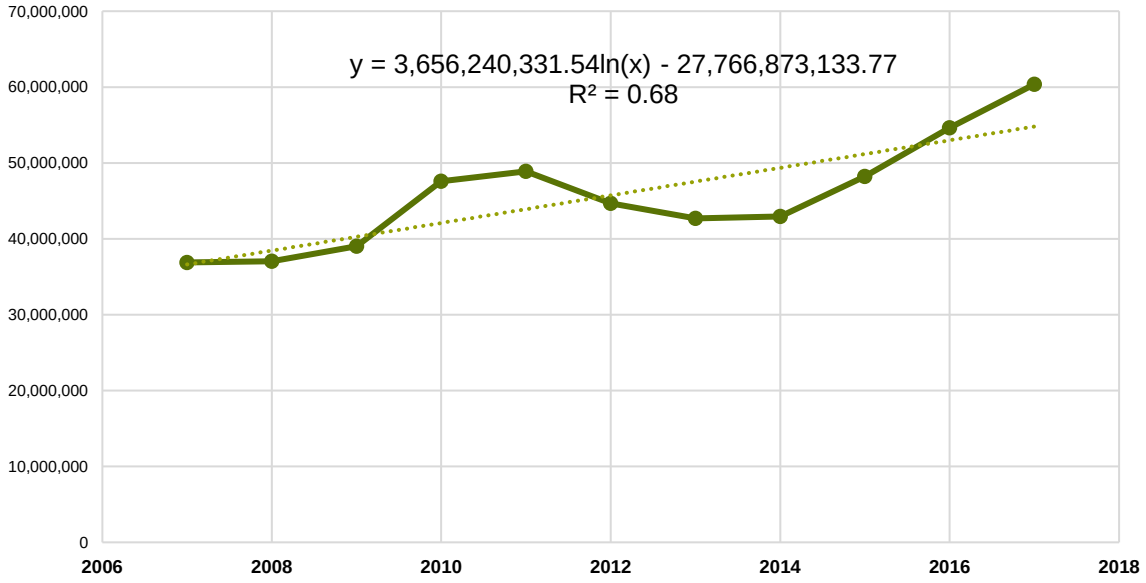
Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera, INEGI, 2007.

Figura V.7. Valor de la producción para el sector fabricación de productos a base de minerales no metálicos periodo 2007 – 2017, con proyección al 2030



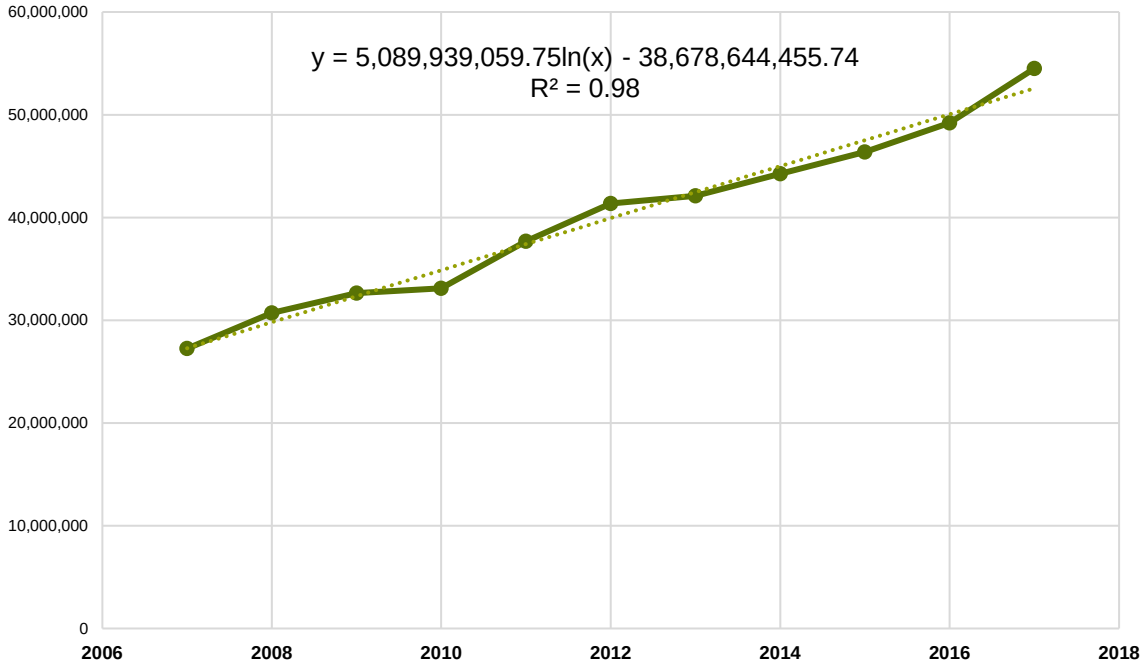
Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera, INEGI, 2007.

Figura V.8. Valor de la producción para el sector fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación de energía eléctrica, 2007-2018



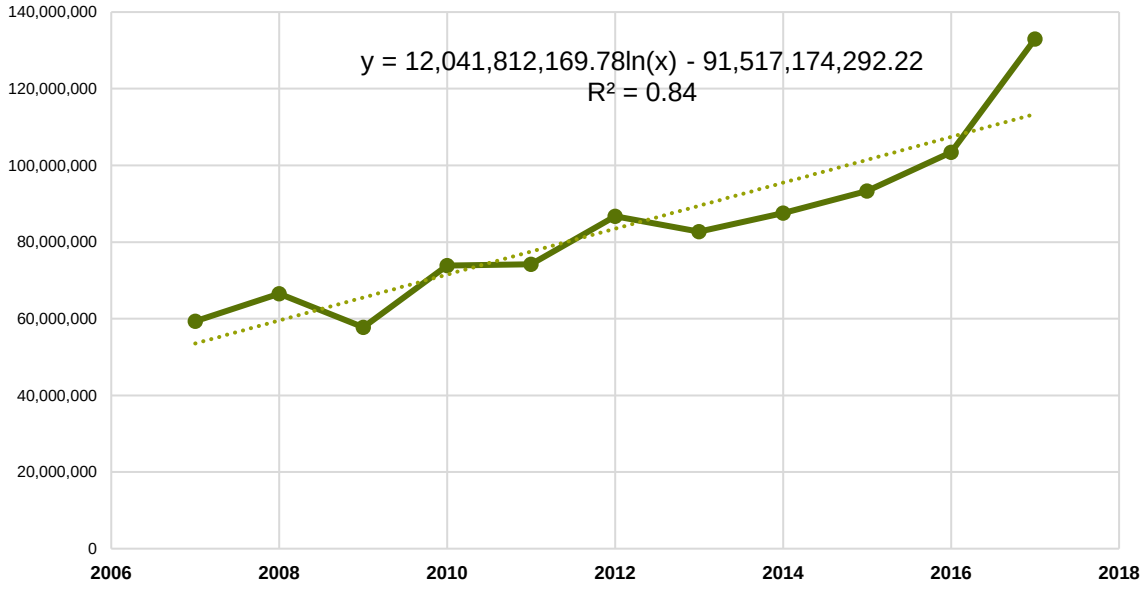
Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera, INEGI, 2007.

Figura V.9. Valor de la producción para el sector industria alimentaria, 2007-2017



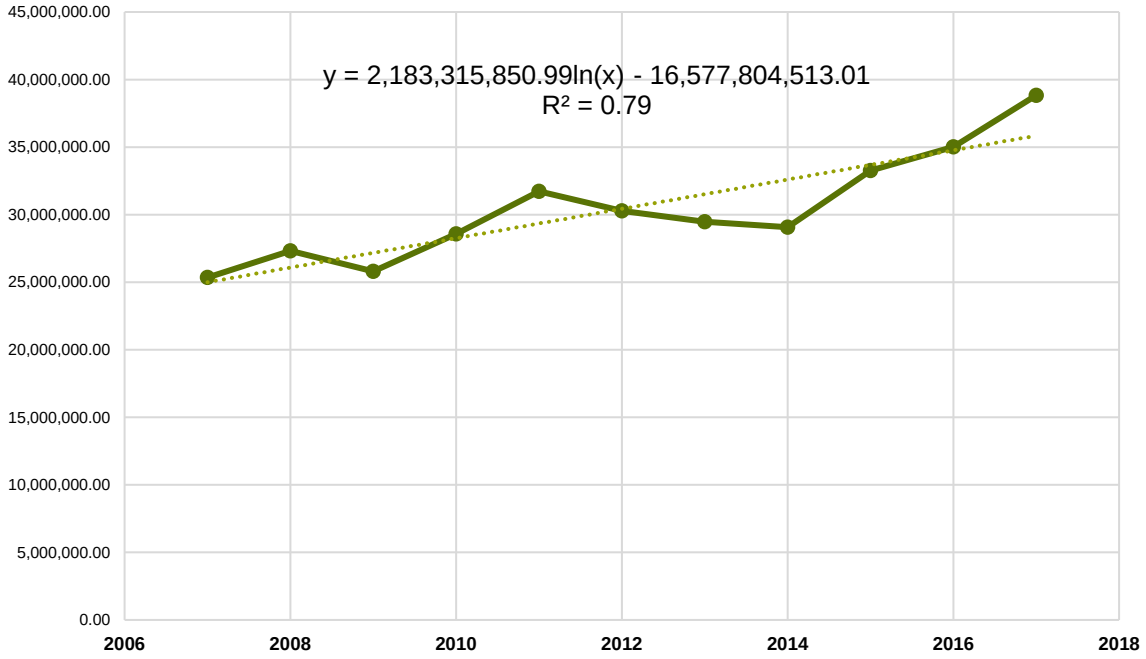
Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera, INEGI, 2007.

Figura V.10. Valor de la producción para el sector industrias metálicas básicas, 2007-2017



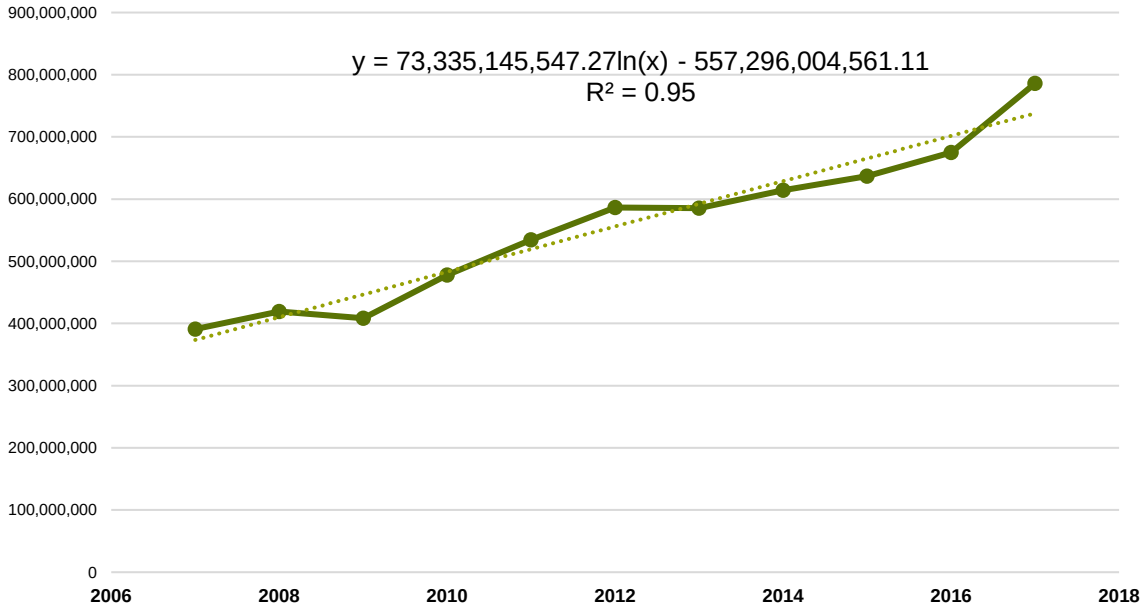
Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera, INEGI, 2007.

Figura V.11. Valor de la producción para el sector industria química, 2007-2017



Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera, INEGI, 2007.

Figura V.12. Valor de la producción para el sector industrial periodo 2007 - 2017



Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera, INEGI, 2007.

V.2.1.3 Fuentes móviles

Para la proyección del parque vehicular se utiliza la información histórica de los municipios en el AMM, proveniente de INEGI. Para obtener la ecuación de tendencia se considera el periodo 1980-2013 y se ajusta una tendencia logarítmica, excepto para las motocicletas, en que se ajusta una tendencia cuadrática, la cual presenta mejor ajuste a los datos históricos de este subsector en particular.

En el AMM se hicieron las siguientes suposiciones:

- Para los taxis se tomó la curva de crecimiento de automóviles públicos.
- Para los vehículos de carga pesada y carga ligera se tomó la curva de crecimiento de camiones y camionetas para carga total.

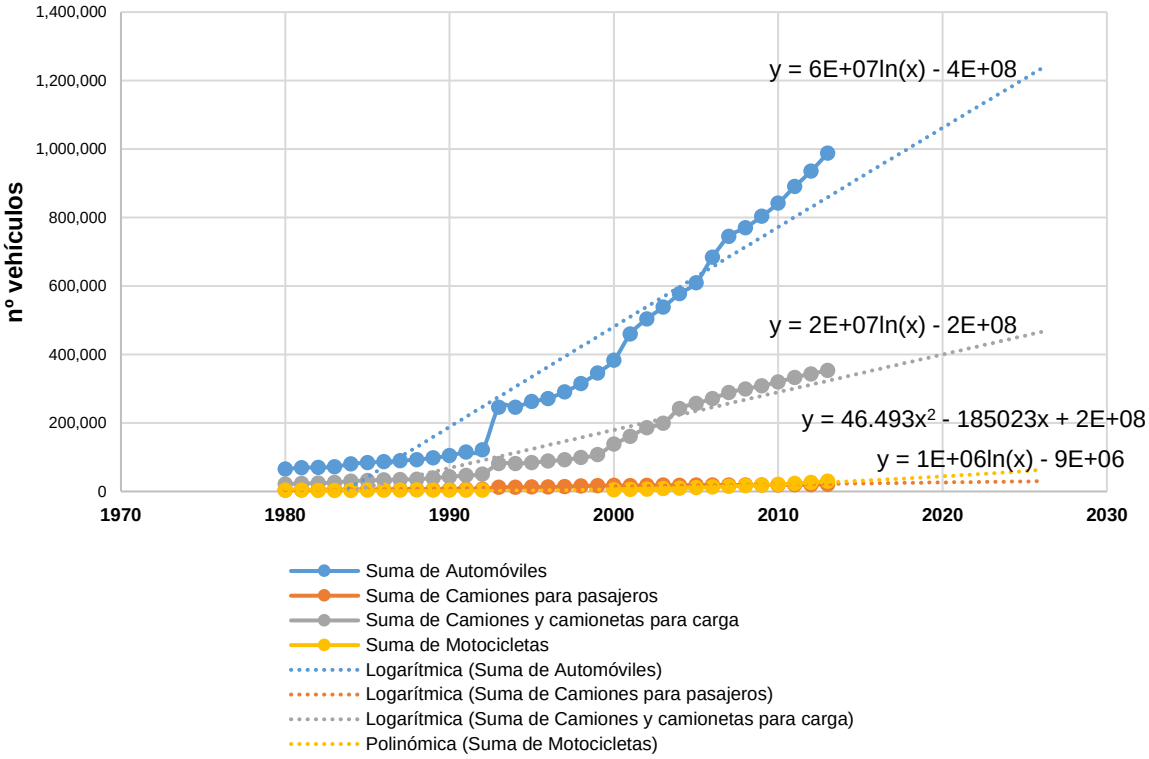
La Tabla V.3 presenta la ecuación resultante para la proyección hasta el año 2030 del parque vehicular, mientras que la Figura V.13 presenta en forma gráfica los datos históricos del parque y las líneas de tendencia ajustadas para las categorías vehiculares.

Tabla V.3. Parámetros para la proyección en el tiempo el parque vehicular

Categoría vehículo	Ecuación
Automóviles	58108770.316ln(x) - 441199275.160
Camiones y camionetas para carga	22154910.969ln(x) - 168217752.046
Camiones para pasajeros	1175224.090ln(x) - 8918063.192
Motocicletas	$50.903x^2$ - 202621.770x + 201636593.978
Autobús	747747.451*LN(X) - 5668037.469
Automóvil Particular	16869082.752*LN(X) - 128071888.125
Carga ligera y pickups	24574220.407*LN(X) - 186588729.328
Carga pesada	24574220.407*LN(X) - 186588729.328
Taxi	5377307.068*LN(X) - 40872010.704

Fuente: Elaboración propia.

Figura V.13. Parque vehicular y líneas de tendencia ajustadas



Fuente: Elaboración propia.
Fuentes de área

Para las proyecciones se utilizaron las series temporales relacionadas de variación en las áreas cultivadas, número de viviendas, cabezas de ganado, entre otras. Las categorías identificadas como prioritarias y con una participación mayor al 10% se proyectaron individualmente y las restantes se proyectaron con el valor acumulado con respecto al crecimiento poblacional.

- Para el ganado se tomaron las cabezas de ganado bovino y porcino existentes en el estado de Nuevo León, información proveniente de SAGARPA-SIAP.
- Para el AMM, en las categorías Caminos pavimentados, Consumo doméstico de solventes y Fugas de GLP, se tomó la curva de crecimiento de viviendas habitadas.
- Para el AMM, en las categorías Caminos no pavimentados y Aplicación de fertilizantes, se tomó la curva de crecimiento de superficie sembrada.
- El resto de la información fue obtenida de INEGI.

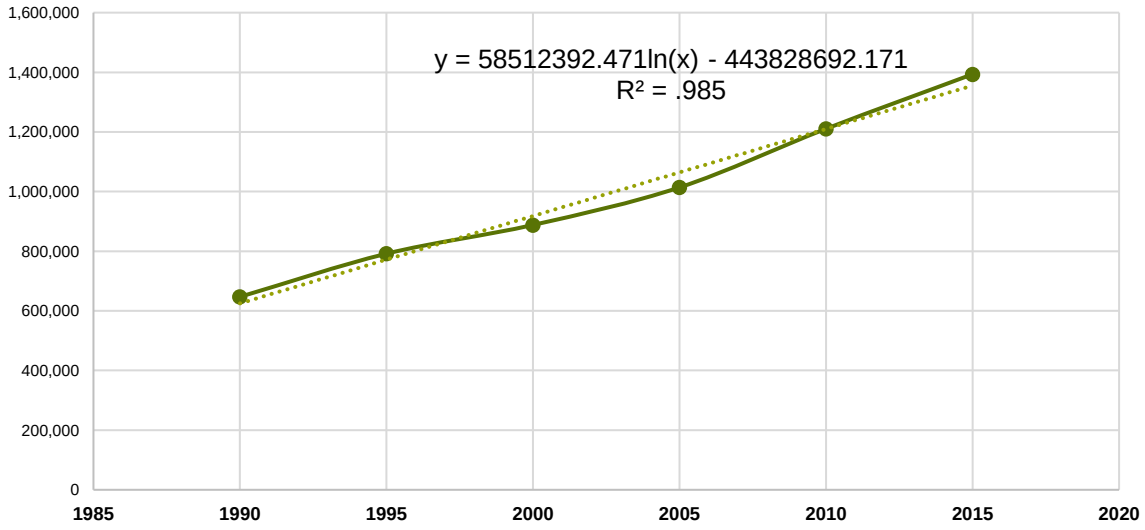
Tabla V.4. Ecuaciones para proyección de fuentes de área del inventario de emisiones

Datos utilizados	Ecuación	Sector inventario
Viviendas habitadas	58512392.471ln(x) - 443828692.171	Caminos pavimentados, Consumo doméstico de solventes, Fugas de Gas LP
Superficie sembrada, Ha	223.935x - 441989.155	Aplicación de fertilizantes, Caminos no pavimentados
Unidades económicas, Sector Construcción	38635.716ln(x) - 292518.808	Actividades de construcción
Cabezas de ganado	11153442.040ln(x) - 84117905.877	Emisiones ganaderas de amoniaco
Población Nuevo León	300678353.034ln(x) - 2277690657.452	Otras

Fuente: Elaboración propia.

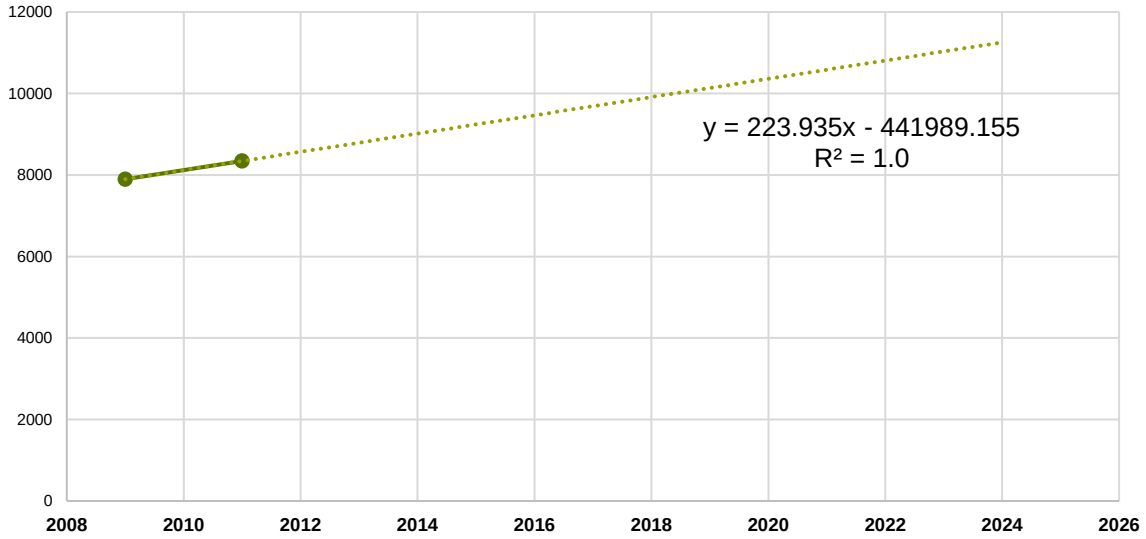
Entre la Figura V.14 y Figura V.17 se presentan los datos utilizados y las curvas ajustadas para proyectar hasta 2030 y para asignar un valor a años sin información disponible.

Figura V.14. Viviendas habitadas en el periodo 1990-2015 y proyección al 2020



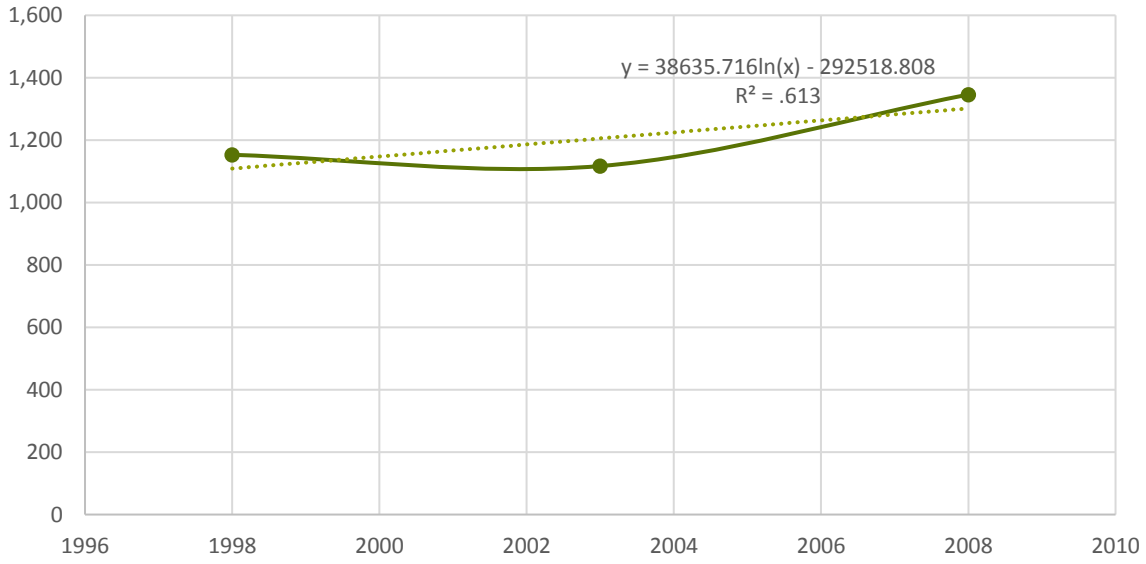
Fuente: INEGI 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015.

Figura V.15. Superficie sembrada periodo 2009 – 2011 con proyección al 2024



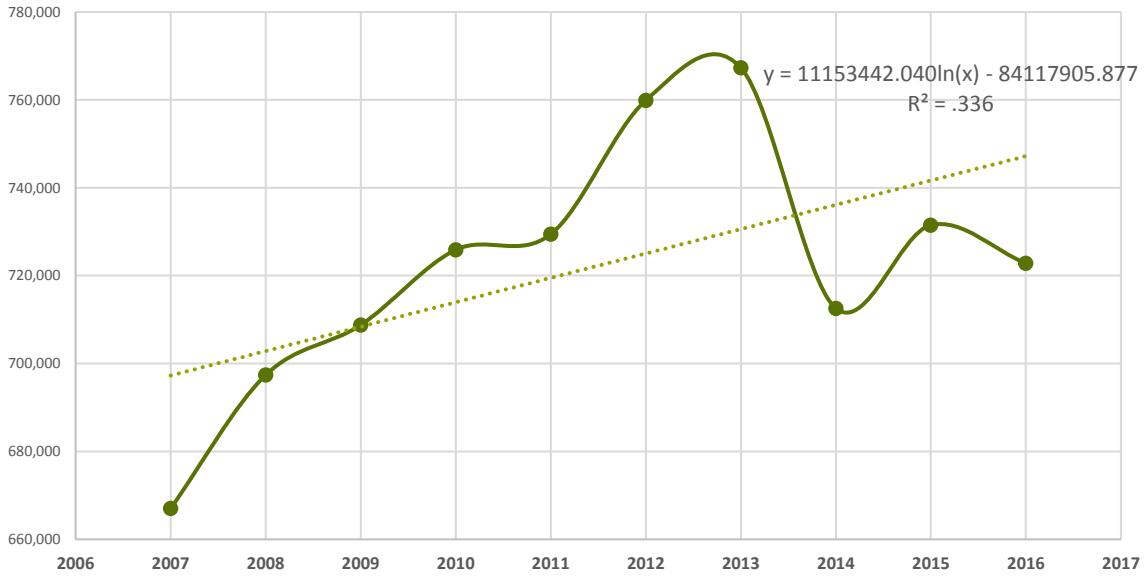
Fuente: Elaboración propia.

Figura V.16. Unidades económicas en el sector construcción, 1998, 2003 y 2008



Fuente: Elaboración propia.

Figura V.17. Cabezas ganado, 2007-20177



Fuente: Elaboración propia.

V.3 Criterios para la evaluación de las medidas propuestas

Medida	Criterios de Evaluación	Implementación
FM1. Introducción de Vehículos EURO VI/6	Se consideran las reducciones de pasar desde un estándar Euro 4 a Euro 6 en vehículos livianos y desde Euro III a Euro VI en vehículos pesados. Esto implicaría reducciones de 89% de PM en livianos y de 81% en pasos, 13% de reducción de SOx en livianos, 60% reducción de NOx en livianos y 35% en pesados. Se asume que el parque afectado sería de 40%.	Inicio 2020, plena implementación en 2030
FM2. Mejora Integral del Transporte Público	Se supone una reducción del 15% de emisiones de autobuses y e camionetas de transporte público de pasajeros + 5% en vehículos liviano derivado de mejoras en el sistema y cambio modal	Inicio 2019, plena implementación en 2030
FM3. Movilidad Empresarial Sostenible	Se asume una reducción del 30% en los viajes al trabajo sobre las categorías te vehículos privados y motos	Inicio 2019, plena implementación en 2025
FM4. Optimización Logística en el Sector Carga y Conducción Ecoeficiente	Se asume que las mejores prácticas de conducción y mejoras logísticas del transporte podrían reducir en un 20% las emisiones de vehículos comerciales y de carga	Inicio 2020, plena implementación en 2030
FM5. Fortalecimiento de la Revisión Técnico Mecánica	Se asume un potencial de reducción de 5% en las emisiones de cada categoría	Inicio 2019, plena implementación en 2025
FM6. Introducción de vehículos eléctricos	Se supone un reemplazo gradual del 30% del transporte público y de carga liviana y del 10% del transporte privado por eléctrico	Inicio 2020, plena implementación en 2030
FM7. Promoción de la Movilidad Activa	Se asume una reducción del 10% de viajes en autos particulares y en motos	Inicio 2019, plena implementación en 2025
FF1. Optimización de sistemas de control de emisiones	Se evalúa como un aumento en la eficiencia del 20% en las partículas (captura aumenta el 20% en las fuentes con emisión de partículas)	Inicio 2020, plena implementación en 2030
FF2. Disminución del Contenido de Azufre en Combustibles	Se establece meta de reducción de 10% en promedio de contenido de azufre en combustibles industriales	Inicio 2020, plena implementación en 2025
FF3. Sustitución de Combustibles	Se utiliza información industrial de Jalisco sobre uso de combustible. Se estima que del uso energético total, un 21% proviene del uso de combustóleo. Si se reemplazara combustóleo por gas licuado, manteniendo el consumo energético constante, las reducciones de las fuentes que recambien combustible disminuirían en un 78% sus emisiones de PM, 75% las de PM10, 61 % las de PM2.5, en 100% las de SO2, con un incremento de 5% en las emisiones de Nox.	Inicio 2020, plena implementación en 2025
FF4. Promoción de industria limpia	De acuerdo con el crecimiento proyectado de producción del sector entre 2018 y 2030, se estima las fuentes nuevas emitirán la mitad que las fuentes existentes antes de 2018. Estas fuentes serían entre el 35% y 90% del parque industrial en 2030.	Inicio 2020, plena implementación en 2030

Medida	Criterios de Evaluación	Implementación
FF5. Reducción de Emisiones del Sector Petroquímico	Definida en el ProAire como Uso de gas combustible Porcentaje de uso de gas combustible / combustibles totales utilizados = 87% Se evalúa con el potencia de reducción de emisiones por cambio de combustible más optimización de sistemas de control de emisiones.	Inicio 2019, plena implementación en 2030
FA1. Reducción de quema doméstica de biomasa	Se asume una meta de reducción del 30% de las emisiones derivadas de la quema de biomasa.	Inicio 2020, plena implementación en 2030
FA2. Reducción de emisiones de la industria de construcción.	Se asume una meta de reducción del 30% de las emisiones derivadas de la construcción.	Inicio 2020, plena implementación en 2030
FA3. Reducción de las emisiones en el uso de solventes	Se asume una meta de reducción del 30% de las emisiones derivadas del uso de solventes.	Inicio 2020, plena implementación en 2030

Fuente: Elaboración propia.

REFERENCIAS

Aguilar Barajas I. et al (2015) Agua para Monterrey: Logros, retos y oportunidades para Nuevo León y México. Centro del Agua para América Latina y el Caribe. Tecnológico de Monterrey y Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey.I.P:D. https://www.sadm.gob.mx/PortalSadm/Docs/aguaparamonterrey-media.pdf [Consultado: 23 de agosto de 2018].

AIST (2016) Electric arc furnace roundup. Association for Iron and Steel Technology (AITS).

Alcaraz-Calderón, A.M., González-Santaló, J.M., Morales-Olivas, D.A., García-Valenzuela, H.J. y Salguero-Neri, E.Y. (2014) Evaluación de arreglos para cogeneración. *Boletín IIE*, 16 – 27.

Alzheimer´s Society (02 de 2018) Air Pollution and Dementia. Obtenido de About dementia: https://www.alzheimers.org.uk/about-dementia/risk-factors-and-prevention/air-pollution-and-dementia

Ayuntamiento del Municipio de Abasolo (2000) Plan de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Municipio y del Centro de Población de Abasolo, Nuevo León 2000 – 2020, Nuevo León.

Ayuntamiento del Municipio de Apodaca (2001) Plan Municipal de Desarrollo Urbano Apodaca 2020, Nuevo León.

Ayuntamiento del Municipio de Apodaca (2015) Plan Municipal de Desarrollo Urbano Apodaca 2020, Nuevo León.

Ayuntamiento del Municipio de Cadereyta Jiménez (2014) Plan Municipal de Desarrollo Urbano Cadereyta Jiménez 2030, Nuevo León.

Ayuntamiento del Municipio de Ciénega de Flores (2000) Plan de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Municipio y del Centro de Población de Ciénega de Flores, Nuevo León 2000 – 2020, Nuevo León.

Ayuntamiento del Municipio de El Carmen (2000) Plan de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Municipio y del Centro de Población de El Carmen, Nuevo León 2000 – 2020, Nuevo León.

Ayuntamiento del Municipio de García (2013) Plan Municipal de Desarrollo Urbano del Municipio de García 2012-2015, Nuevo León.

Ayuntamiento del Municipio de General Escobedo (2015) Modificación del Plan de Desarrollo Urbano de Centro de Población de General Escobedo, Nuevo León.

Ayuntamiento del Municipio de General Zuazua (2000) Plan Municipal de Desarrollo Urbano del Municipio de General Zuazua, Nuevo León.

Ayuntamiento del Municipio de Guadalupe (2006) Plan de Desarrollo Urbano del Municipio de Guadalupe, N. L. 2005-2025, Nuevo León.

Ayuntamiento del Municipio de Juárez (sf) Plan Municipal de Desarrollo Urbano 2010-2030. Cd. Benito Juárez, Nuevo León.

Ayuntamiento del Municipio de Monterrey (2014) Plan de Desarrollo Urbano del Municipio de Monterrey 2013-2025, Nuevo León.

Ayuntamiento del Municipio de Pesquería (2014) Modificación del Plan de Desarrollo Urbano del Municipio de Pesquería, Nuevo León.

Ayuntamiento del Municipio de San Nicolás de los Garza (2011) Plan de Desarrollo Urbano Sustentable 2013-2033 de San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

Ayuntamiento del Municipio de San Pedro Garza García (2014) Plan de Desarrollo Urbano Municipal de San Pedro Garza García 2030-2050, Nuevo León.

Ayuntamiento del Municipio de Salinas Victoria (2015) Plan de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Salinas Victoria, Nuevo León 2030, Nuevo León.

Ayuntamiento del Municipio de Santa Catarina (2015) Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Santa Catarina 2014 – 2030, Nuevo León.

Banco Interamericano de Desarrollo (2014) Guía Metodológica. Iniciativa ciudades emergentes y sostenibles segunda edición.

Barragán-Hernández, J.J. (2011) Nuevo Pemex. La planta de cogeneración más grande y moderna de México. Caso Práctico. Abengoa.

Cabrera Márquez, Martha Alicia (2014) Políticas públicas para la regularización de la tenencia de la tierra en AMM: estudio de caso Colonia Burócratas de Guadalupe y Tierra y Libertad 2014. Maestría tesis, Universidad Autónoma de Nuevo León.

CAM (1999) Inventario de emisiones a la atmósfera en la ZMVM. Comisión Ambiental Metropolitana (CAM).

CAMIMEX (2015) Informe anual 2015. Cámara Minera de México (CAMIMEX).

CAMIMEX (2016) Informe anual 2016. Cámara Minera de México (CAMIMEX).

Cámpos, Erick (2013) Movilidad urbana y cobertura del servicio de transporte público local en el municipio de Rayón, Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México.

CANACERO (1996) México a través del acero. Cámara Nacional de la Industria del Acero (CANACERO).

Carpenter, A. (2012) CO_2 abatement in the iron and steel industry. IEA Clean Coal Centre.

Cárdenas Gutiérrez E. (2017) Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua. Ciencia ergo-sum. Vol. 24, núm. 2, 2017. Universidad del Estado de México. http://www.redalyc.org/jatsRepo/104/10450491009/html/index.html [Consultado: 12 de julio de 2018].

Cárdenas J., Cal y Mayor, R. (2007) Ingeniería de Transito, fundamentos y aplicaciones. México: Alfaomega.

CEMBUREAU (2013) The role of cement in the 2050 low carbon economy. The European Cement Association (CEMBUREAU).

Centro Internacional de Demostración y Capacitación de aprovechamiento del agua de lluvia CIDECAL (S/f) COLPOS 1 Cisterna uso doméstico. Colegio de Postgraduados en ciencias agrícolas. wwwcolpos.mx/ircsa/cidecall/

CFE (2009) Unidades generadoras termoeléctricas. Comisión Federal de Electricidad (CFE). IFAI folio: 1816400145009.

CFE (2010) Turbogas. Comisión Federal de Electricidad (CFE). IFAI folio: 1816400124810.

CFE (2014) Catálogo de centrales generadoras 2013. Comisión Federal de Electricidad (CFE). IFAI folio: 1816400235414.

CINAM (2014) Identificación de intensidades de carbono industriales, para la gestión climática pre-2020. Colegio de Ingenieros Ambientales de México (CINAM).Clean Air Institute. Recuperado de: http://www.cleanairinstitute.org/ciudades/ciudades.php?pag=16&sec=74.

CMM (2016) Índice de Desempeño Ambiental (IDA). Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C.

CMM (2008) Low-carbon growth. A potential path for Mexico. Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente (CMM).

CN (2017) Plan Estratégico para el Estado de Nuevo León 2015-2030, Consejo Nuevo León para la Planeación Estratégica.

CNA (2018) Información Meteorológica. Disponible en https://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=nl

Colket, M., Garvey, R., Hollick, H., Liscinsky, D., Mantese, J., Poncia, G. y Swanson, K. (2012) High Efficiency – Reduced Emissions Boiler Systems for Steam, Heat, and Processing. U.S. Department of Defense. Environmental Security Technology Certification Program.

Comisión Europea (2010) Prevención y control integrados de la contaminación. Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la industria de fabricación de cemento, cal y óxido de magnesio. Comisión Europea.

CONAGUA (2016a) Ley de Aguas Nacionales. México: Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1o de diciembre de 1992. Texto Vigente. Ultima reforma publicada en DOF24-03-2016.

CONAGUA (2016) Lineamientos técnicos: Sistemas de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda. México: Programas de Agua Potable.

CONAGUA (2017) Nota Informativa relativa a Pozos de Absorción para la Captación de Agua pluvial para áreas urbanas. México: Subdirección General Técnica. Gerencia de Aguas Subterráneas. http://www.senado.gob.mx/sgsp/respuestas/63/2/2017-06-21-1/CP2R2A_2359_SEGOB_CONAGUA.pdf

CONAPO (2010) Cuadro 5.31. Zona Metropolitana de Monterrey, Población, tasa de crecimiento, y densidad media urbana, 1990 2010. www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/zonas_metropolitanas.../ZM_31

CONAPO (2012) Proyecciones de la población de México 2010-2050, México.

CONAPO-INEGI-SEDATU (2017) Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015, Consejo Nacional de Población, México.

CONAVI (2017) Polígonos de Contención Urbana, México.

CONAVI (2018a) Registro Nacional de Reservas Territoriales, con datos a Diciembre 2017, México.

CONAVI (2018b) Sistema Nacional de Información e Indicadores de la Vivienda. Rezago habitacional a nivel municipal 2015, México.

CZC (2003) Plan metropolitano 2000-2021. Desarrollo Urbano de la Zona Conurbada de Monterrey, Comisión de la Zona Conurbada de Monterrey, Estado de Nuevo León.

Del Toro, A. (8 de Noviembre de 2017) Nuevo León espera incremento de enfermedades respiratorias durante invierno. Noticiero Televisa. Obtenido de https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/nuevo-leon-espera-incremento-enfermedades-respiratorias-durante-invierno/

Demographia (2018) Demographia World Urban Areas, 14th Annual Edition (201804), disponible en: http://www.demographia.com/db-worldua.pdf

Deng, Z., Chen, F., Zhang, M., Lan , L., Quiao, Z., Cui, Y., . . . Li, X. (2016) Association between air pollution and sperm quality: A systematic review and meta-analysis. Environmental Pollution, 208. Part B, 663-669. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.10.044

Dirección de Calidad del Aire (2012) Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 2008-2012. Gobierno del Estado de Nuevo León y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Diario Oficial de la Federación (2018) Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos. DOF 04/01/2018. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5510042&fecha=04/01/2018 [Consultado: 22 de febrero de 2018].

DOE (2007) Preheated Combustion Air. Energy Tips - Process Heating #1. Industrial Technologies Program. Energy Efficiency and Renewable Energy.

DOE (2012) Consider Installing a Condensing Economizer. Steam Tip Sheet #26a. United States. Department of Energy. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.

Doluweera, G.H., Jordaan, S.M., Moore, M.C., Keith, D.W. y Bergerson, J.A. (2011) Evaluating the role of cogeneration for carbon management in Alberta. Energy Policy, 39 (12), 7963 – 7974.

GCE (2018) Ciudades más habitables de México 2018, Gabinete de Comunicación Estratégica, México, disponible en: http://gabinete.mx/wp-content/uploads/ciudades_2018/ciudades_mas_habitables_2018.pdf

DTI (2009) EU Emissions Trading Scheme (ETS) Phase II – UK New Entrants Spreadsheet revisions. Department of Trade and Industry (DTI) United Kingdom.

ECRA (2017) Development of state of the art-techniques in cement manufacturing: Trying to look ahead, revision 2017. European Cement Research Academy (ECRA).

EIA (2017) Annual Energy Outlook 2017. US Energy Information Administration (EIA).

EIPPCB (2015) Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Refining of Mineral Oil and Gas. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB).

El Horizonte (2017) Al alza, consultas por malestar respiratorio. El Horizonte. Obtenido de http://www.elhorizonte.mx/local/al-alza-consultas-por-malestar-respiratorio/1802410 [Consultado: el 19 de marzo de 2017]

El Horizonte (2018) Regios, más enfermos por el smog. El Horizonte. Obtenido de http://www.elhorizonte.mx/local/regios-mas-enfermos-por-el-smog/2112042 [Consultado: 6 de Marzo de 2018]

El siglo de Torreón (2012) Reciclaje de vidrio, una actividad frágil [En línea] Disponible en: https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/705633.reciclaje-de-vidrio-una-actividad-fragil.html [Consultado: 19 de septiembre de 2018].

EPA (1992) Compilation of Air Pollutant Emissions Factors. AP-42. Vol. I. US Environmental Protection Agency (EPA).

EPA (1994) Emission factor documentation for AP-42. Section 11.15. Lime manufacturing. Final report. US Environmental Protection Agency (EPA).

EPA (2008) Technical support document for the iron and steel sector: proposed rule for mandatory reporting of greenhouse gases. US Environmental Protection Agency (EPA).

EPA (2010) Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from Industrial, Commercial, And Institutional Boilers. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards.

EPA Ireland (2006) Environmental Management in the Extractive Industry (Non-Scheduled Minerals) [En línea]. Disponible en: https://www.epa.ie/pubs/advice/general/EPA_management_extractive_industry.pdf [Consultado: 12 de septiembre de 2018].

Escolero Fuentes O. et al. (2017) Manejo de la recarga de acuíferos: un enfoque hacia Latinoamérica. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/manejo-recarga-acuiferos-ehl.pdf [Consultado: 10 de julio de 2018].

Federov, Akexey V. et al (2010) Tropical cyclones and permanent El Niño in the early Pliocen epoch. Nature. Febraury 2010. https://www.researchgate.net/publication/41562720_Tropical_cyclones_and_permanent_El_Nino_in_the_early_Pliocene_epoch [Consultado: 10 de septiembre de 2018].

Flores-Torres, O. (2009) Industria, comercio, banca y finanzas en Monterrey, 1890-2000. Universidad de Monterrey (UDEM).

Flores-Torres, O. y Robles, M. (2015) La industria del gas: el caso Monterrey. Historia de leyes y oportunidades. 1940-2013. Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades SOCIOTAM, 25 (1), 9 – 28.

Fomerrey (2018) Base de datos de asentamientos irregulares, Gobierno del Estado de Nuevo León, solicitud de información recibida en julio de 2018.

Forbes (2016) Contaminación del aire cuesta 2% del PIB en México. https://www.forbes.com.mx/contaminacion-del-aire-cuesta-2-del-pib-mexico/ [Consultado: 29 de junio de 2018].

García Amaro E. (2004) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf [Consultado: 6 de octubre de 2018].

García, G.G. (1999) Diagnóstico ambiental en la zona de pedreras en la Sierra de San Miguel, Nuevo León. Tesis de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Gardner, J. (s.f.) FAO. Rehabilitación de minas para el mejor uso del terreno: la minería de bauxita en el bosque de jarrah de Australia Occidental [En línea] Disponible en: http://www.fao.org/docrep/004/y2795s/y2795s03.htm [Consultado: 10 de septiembre de 2018].

Garza, Villareal G. (1998) El Área metropolitana de Monterrey en el 2020. Revista: Estudios Demográficos y Urbanos. Colegio de México. Vol. 13, num. 3 (1998). https://estudiosdemograficosyurbanos.colmex.mx/index.php/edu/issue/view/93 [Consultado: el 7 de junio de 2018].

Gobierno de Ciudad de Guadalupe (2017) Plan de Desarrollo Urbano Municipal de la Ciudad de Guadalupe, Documento en Consulta, Nuevo León.

Gobierno del Estado de Nuevo León. Plan Sectorial de Transporte y Vialidad del Área Metropolitana de Monterrey (2008-2030).

GHG IEA (2000) Greenhouse gas emissions from major industrial sources – III Iron and steel production.

Gobierno Municipal (2015-2018) Reglamento de tránsito y vialidad del municipio de Monterrey, Nuevo León.

Gray, K. A.; Finster, M. E. (2000). The urban heat island, photochemical smog, and Chicago: Local features of the problem and solution. Department of Civil Engineering, Northwestern University, Evanston, IL.Guenther, A., Karl, T., Harley, P., Wiedinmyer, C., Palmer, P.

GTZ (2009) Estudio sobre cogeneración en el sector industrial de México. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), Comisión Reguladora de Energía (CRE) y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).

H. Congreso del Estado de Nuevo León. Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano para el Estado de Nuevo León. Publicada en el Periódico Oficial del Estado de Nuevo León, el lunes 27 de noviembre de 2017.

Hernández, L. I. (2000) Crecimiento y diversificación de la Gran Industria en Monterrey, 1970-1982. Tesis Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL).

Hernández-León, R. (2008) Metropolitan migrants. The migration of urban Mexicans to the United States. University of California Press.

Hogares Alas (2018). http://hogaresalas.blogspot.com/2012_07_01_archive.html [Consultado: 27 de septiembre de 2018].

IDOM (2014) BiciPlan Monterrey.

IEA (2007) *Tracking industrial energy efficiency and CO_2 emissions*. International Energy Agency (IEA).

IETD (2018) *Batch and cullet preheating* [En línea] Disponible en: http://ietd.iipnetwork.org/content/batch-and-cullet-preheating [Consultado: 13 de septiembre de 2018].

IGME (2003) Estroncio. Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

IHME (2018) GBD Results Tool. Obtenido de Global Health Data Exchange: http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool

IHME (2018a) Country Profile: Mexico - Nuevo León. Institute for Health Metrics and Evaluation. Obtenido de http://www.healthdata.org/mexico-nuevo-le%C3%B3n

IISI (1998) Energy use in the steel industry. International Iron and Steel Institute (IISI).

INECC (2014) Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).

INECC (2014) Valoración económica de los beneficios a la salud de la población que se alcanzarían por la reducción de las PM2.5en tres zonas metropolitanas mexicanas. Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

INECC (2018) *Costos de las contribuciones nacionalmente determinadas de México. Medidas sectoriales no condicionadas*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).

INEGI (1960) VIII Censo de Población y Vivienda 1960, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.

INEGI (1970) IX Censo de Población y Vivienda 1970, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.

INEGI (1980) X Censo de Población y Vivienda 1980, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.

INEGI (1990) XI Censo de Población y Vivienda 1990, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.

INEGI (2000) XII Censo de Población y Vivienda 2000, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.

INEGI (2000a) Cartografía urbana del Censo Nacional de Población y Vivienda 2000, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI (2005) Conteo de Población y Vivienda 2005, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.

INEGI (2005a) Cartografía urbana del Censo Nacional de Población y Vivienda 2005, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI (2007) Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera (EMIM)-2007 en adelante http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/encestablecimientos/mensuales/emim/2007/

INEGI (2010) Censo de Población y Vivienda 2010, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.

INEGI (2010a) Cartografía urbana del Censo Nacional de Población y Vivienda 2010. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI (2015) Encuesta Intercensal 2015, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.

INEGI (2015a) Cartografía geoestadística urbana y rural amanzanada. Cierre de la Encuesta Intercensal 2015, Nuevo León. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI (2016) Inventario de Vivienda, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.

INEGI (2016a) Conjunto de datos vectoriales de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI. Capa Unión, México.

INEGI (2016b) Producto Interno Bruto por Entidad Federativa Variación porcentual anual.

INEGI (2018) Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) [En línea] Disponible en: http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denue/ [Cosultado: 2 de julio de 2018].

INEGI (2018a) PIB y cuentas nacionales [En línea] Disponible en: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/ [Consultado: 12 de septiembre de 2018].

INSP (2012) Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. Resultados por Entdiad Federativa. Nuevo León. Instituto Nacional de Salud Pública. Obtenido de https://ensanut.insp.mx/informes/NuevoLeon-OCT.pdf

INSP (2016) CONTAMINACIÓN ATMÓFERICA Y SALUD EN LA ZONA METROPOLITANA. FORO: Darle un respiro a la ciudad, como mejorar la calidad del aire en la ZMVM. México DF: Insituto Nacional de Salud Pública. Obtenido de http://www.senado.gob.mx/comisiones/distrito_federal/reu/docs/presentacion_HRR_270416.pdf

Instituto Mexicano del Transporte (1999) Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Infraestructura ferroviaria compartida: Carga y pasajeros. NOTAS núm. 46, mayo-junio 1999, artículo 3.

Institute of Transportation Engineers (2012) Trip Generation Manual 9th edition.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2014) Climate Change 2014, Synthesis Report. United Nations Organization. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf [Consultado: 10 de octubre de 2018].

IPCC (2006) Guidelines for national greenhouse gas inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Iracheta, A. (2015) Coloquio internacional: Las Paradojas de la Megalópolis. Ponencia de Alfonso Iracheta el 9 de julio de 2015 en Palacio Legislativo, Honorable Congreso de la Unión.

ITDP (2005) Transport Oriented Development (TOD) Standard v2.1. s.l.: Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP en inglés).

ITDP (2012) Planes integrales de movilidad, lineamientos.

ITDP (2016) Diagnóstico de inversión en movilidad en las zonas metropolitanas de México 2011-2015. Consultado en el micrositio: http://invertirparamovernos.itdp.mx/#/

ITESM (2005) Grupo IMSA S.A. de C.V. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Jacobs, Jane (1961) Muerte y Vida de las grandes ciudades.

Jáuregui, E. (1997) Heat island development in Mexico City. Atmos. Environ., 31, 3821–3831.

Jáuregui, E.; Luyando, E. (1999) Global radiation attenuation by air pollution and its effects on the thermal climate in Mexico City. International Journal of Climatology, 19(6), 683-694.

Jazcilevich, A.; García A. R.; Ruiz-Suarez, L. G. (2002) A modeling study of air pollution modulation through land-use change in the Valley of Mexico. Atmos. Environ., 36, 2297–2307.

Krewski D, Jerrett M, Burnett R, et al. (2009) Extended Follow-Up and Spatial analysis of the American Cancer Society Linking Particulate Air Pollution and Mortality. Health Effects Institute, Cambridge MA.

La casa econológica (2018) (http://lacasaeconologica.es/agua/sistemas-automaticos-para-el-reciclaje-de-aguas-grises/ [Consultado: 27 de septiembre de 2018].

La Jornada (2018) Reportan 5 mil muertes prematuras al año en Monterrey por mala calidad del aire. La Jornada Baja California. Obtenido de http://jornadabc.mx/tijuana/07-01-2018/reportan-5-mil-muertes-prematuras-al-ano-en-monterrey-por-mala-calidad-del-aire [Consultado: 07 de Enero de 2018].

LAMUDI (2017) Informe del Mercado Inmobiliario en México 2017, disponible en: http://www.lamudi.com.mx/informe-mercado-inmobiliario-2017/

Londoño C. (2015) Demografía industrial: un estudio sobre relocalización de firmas en Colombia, 1995-2012, en Lecturas de Economía, No. 82, Medellín, enero-junio 2015.

Loomis, D., et al. (1999) Air pollution and infant mortality in Mexico City. Epidemiology 10, 118–123.>65.

Macías, C.M. (2003) Empresas mineras y metalúrgicas en Monterrey, México. 1890-1908. Ingenierías, 53-61. Obtenido de http://www.ingenierias.uanl.mx/20/pdf/20empresasmineras.PDF

Maldonado, María M. y Hurtado, Adriana (2013) La declaratoria de desarrollo y construcción prioritarios (sujeta a venta forzosa en pública subasta) en Colombia: La experiencia de Bogotá, 2008-2012. Lincoln Institute of Land Policy.

Malmqvist, E., Liew, Z., Källén, K., Rignell-Hydbom, A., Rittner, R., Rylander, L., & Ritz, B. (2017) Fetal growth and air pollution - A study on ultrasound and birth measures. Environmental Research, 152, 73-80. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.09.017

Marroquín-Castillo, J.J., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Aguirre-Calderón, O.A., Mata-Balderas, J. M., Rubio-Camacho, E. A., & Chávez-Costa, A. C. (2017) Efecto de la restauración post-minería de la comunidad vegetal de matorral xerófilo [En línea] Disponible en: https://dx.doi.org/10.21829/abm120.2017.1262 [Conusltado: 11 de septiembre de 2018].

Master, B., Chunangad, K. y Pushpanathan, V. (2003) *Fouling Mitigation Using Helixchanger Heat Exchangers*. ECI Digital Archives, pp. 1-6.

McDiarmid, J. (2014) GO Transit in the dark on details of dangerous goods shipments. Obtenido de The Star: https://www.thestar.com/news/gta/2014/09/26/go_transit_in_the_dark_on_details_of_dangerous_goods_shipments.html

Méndez, Ricardo, *et al* (2006) Boletín de la A.G.E. No. 42. Metamorfosis industrial de las grandes ciudades y nuevas estrategias de revitalización: el ejemplo de Madrid.

Mendoza, J.E. (2001) Crecimiento y especialización en la región Saltillo-Ramos Arizpe. Comercio exterior, 250-258.

Mireles-Bravo, D. (2016) *Análisis de una refinería para modificar su esquema de vapor y suministro de energía, por un sistema de cogeneración*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Moovit. Datos y estadísticas de uso del transporte público en Monterrey, México. https://moovitapp.com/insights/es/Moovit_Insights_%C3%8Dndice_de_Transporte_P%C3%BAblico_M%C3%A9xico_Monterrey-3081

Morrow III, W.R., Marano, J., Sathaye, J., Hasanbeigi, A. y Xu, T. (2013) *Assessment of Energy Efficiency Improvement in the United States Petroleum Refining Industry*. Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL).

Nava, R. (2014) Cristalizan producción en Monterrey [En línea] Disponible en: https://www.somosindustria.com/articulo/cristalizan-produccion-en-monterrey/ [Consultado: 18 de julio de 2018].

NEDO (2008) *Japanese Technologies for Energy Savings/GHG Emissions Reduction (2008 revised edition)*. New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO).

Newgold (2015) *Proceso integral de cierre de mina responsable* [En línea] Disponible en: https://www.camimex.org.mx/files/6914/4112/8074/2-2.pdf [Consultado: 13 de septiembre de 2018].

Nieto, Alejandro (2013) Política Nacional de Vivienda, Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda de la SEDATU, disponible en: http://www.cmic.org.mx/plenariavivienda/ponencias/Alejandro%20Nieto.pdf

Notimex (2018) Presentan avances en ordenación de Zona Metropolitana de Monterrey. https://www.20minutos.com.mx/noticia/433801/0/presentan-avances-en-ordenacion-de-zona-metropolitana-de-monterrey/#xtor=AD-1&xts=513356

Ochoa A. (2018) Construirán en Centro 15 torres de depas, en Reforma, disponible en: https://busquedas.gruporeforma.com/reforma/Libre/VisorNota.aspx?id=3032028%7CArticulosCMS&md5=3872290855c3116bab6f65d39c0332af

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. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.

ONU Hábitat III (2017) La Nueva Agenda Urbana, Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible (Hábitat III), Quito, Ecuador, el 20 de octubre de 2016, http://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-Spanish.pdf

Panchal, C. y Huangfu, E.P. (2000) *Effects of Mitigating Fouling on the Energy Efficiency of Crude-Oil Distillation*. Heat Transfer Engineering, pp. 3-9.

PEMEX (2015) *Capacidad de procesamiento de las refinerías. PEMEX Transformación Industrial*. INAI folio: 1867900052216.

PEMEX (2016) *Consumo de combustibles y energía en las refinerías de PEMEX*. PEMEX Transformación Industrial. INAI folio: 1867900036216.

PEMEX (2017) Emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes criterio. PEMEX Transformación Industrial. INAI folio: 1867900074617.

PEMEX (2017a) *Plan de Negocios 2017 – 2021*. Petróleos Mexicanos (PEMEX).

PEMEX (2018) Base de Datos Institucional PEMEX [En línea] Disponible en: http://ebdi.pemex.com/bdi/bdiController.do?action=temas [Consultado: 23 de julio de 2018].

PEMEX (2018a) Refinería “Ing. Héctor R. Lara Sosa” cumple 39 años de servicio [En línea] Disponible en: http://www.pemex.com/saladeprensa/boletines_regionales/Paginas/2018-008-monterrey.aspx#.W1X4itVKiUk [Consultado: 23 de julio de 2018].

Pérez-Castro, L.E. (2014) La Cámara Nacional de Comercio de Monterrey ante el movimiento revolucionario. Aspectos económicos-políticos, 1910-1915. Actas: Revista de historia (13), 4 – 11.

Plataforma ciudadana "¿Cómo vamos?", publicacion resultados: Así Vamos 2016. Encuesta de percepción ciudadana.

Remus, R., Aguado, M.A., Roudier, S. y Sancho, L.D. (2013) *Best available techniques (BAT) reference document for iron and Steel production*. European Commission Joint Research Centre.

Reyes Daniel (2018) Elevan área urbana: serán 18 municipios. Periódico el Norte del 12 se septiembre de 2018. https://www.elnorte.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?id=1489201&sc=319&urlredirect=https://www.elnorte.com/aplicaciones/articulo/default.aspx?id=1489201&sc=319 [Consultado: 6 de octubre de 2018].

Ridaura, I.O. (2007) Nuevo León en el siglo XX: La industrialización del segundo auge industrial a la crisis de 1982. Tomo II. Nuevo León: Fondo Editorial de Nuevo León.

Rueda Palazuela. S. (1999) Modelos de Indicadores para Ciudades más sustentables. Catalunya: Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya. https://www.researchgate.net/publication/41393067_Analisis_territorial_de_las_condiciones_de_habitabilidad_en_el_periurbano_de_la_ciudad_de_Mar_del_Plata_Argentina_a_partir_de_la_construccion_de_un_indice_y_de_la_aplicacion_de_metodos_de_asociacion_e/fulltext/57e4fbc708ae9e8425a4e533/41393067_Analisis_territorial_de_las_condiciones_de_habitabilidad_en_el_periurbano_de_la_ciudad_de_Mar_del_Plata_Argentina_a_partir_de_la_construccion_de_un_indice_y_de_la_aplicacion_de_metodos_de_asociacion_e.pdf?origin=publication_detail [Consultado: 12 de octubre de 2018].

Sairam, V. y Satyanarayana, G. (2014) Feasibility Study of Replacing Steam Ejector with Liquid Ring Vacuum Pump (LRVP) in 210 MW Plant of Vijayawada Thermal Power Station (V.T.P.S). *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, pp. 150-162.

Salinas López J.C. (2015) Evaluación de un sistema de captación del agua de lluvia en la zona metropolitana de Monterrey para un aprovechamiento como recurso alternativo. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Nuevo León. http://eprints.uanl.mx/9698/1/1080215174.pdf [Consultado: 17 de julio de 2018].

Santander (2004) Latin American Equity Research. Alfa. Santander.

Saucedo Vidal A. (2010) Concreto hidráulico permeable, una alternativa para la recarga de los mantos acuíferos del Valle de México. Tesis de la Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/27/browse?type=author&value=Saucedo+Vidal%2C+Artemio [Consultado: 3 de octubre de 2018].

SE (2011) Monografía del sector siderúrgico de México, 2011. Secretaría de Economía.

Secretaria de Comunicaciones y Transportes (2018a) Datos viales del estado de Nuevo León.

Secretaria de Comunicaciones y Transportes (2018b) Congestión y niveles de servicio del estado de Nuevo León.

Secretaria de Comunicaciones y Transportes (2018c) Datos viales del estado de Coahuila.

Secretaría de Desarrollo Social (2012) Estretegia Territorial Nacional, México.

Secretaría de Desarrollo Sustentable (2012) Programa Estatal de Desarrollo Urbano Nuevo León 2030. Gobierno del Estado de Nuevo León.

Secretaría de Desarrollo Sustentable (2016) Norma Ambiental Estatal de Emergencia NAE-EM-SDS-001-2016. Monterrey: Gobierno del Estado de Nuevo León.

Secretaría de Desarrollo Sustentable (2016) Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Nuevo León. ProAire 2016-2025. Monterrey: Gobierno del Estado de Nuevo León.

Secretaría de Desarrollo Sustentable del Gobierno del Estado de Nuevo León (2016a) Programa de gestión para mejorar la calidad del aire del Estado de Nuevo León 2016-2025.

Secretaría de Desarrollo Sustentable del Estado de Nuevo León (2017) Estrategia de Desarrollo Urbano del Estado. Instalación del Consejo Estatal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano, 29 de mayo de 2017, Gobierno del Estado de Nuevo León.

Secretaría de Salud (2015) Informe sobre la salud de los mexicanos: Diagnóstico General de la Salud de la Población. México. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/64176/INFORME_LA_SALUD_DE_LOS_MEXICANOS_2015_S.pdf

SEDESOL (2009) Ciudades Compactas y Mezcla de Usos del Suelo, Secretaría de Desarrollo Social, México.

SEDESOL (2012) La expansión de las ciudades 1980-2010, México.

SEMARNAT (2003) Norma oficial mexicana NOM-014 CONAGUA 2003. Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada. Diario Oficial del 18 de agosto de 2009.

SEMARNAT (2005) Meremex. Reciclaje de residuos peligrosos para enriquecimiento de óxidos metálicos de baja ley. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

SEMARNAT (2018) Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC) [En línea] Disponible en: http://apps1.semarnat.gob.mx/retc/index.html [Consultado: 15 de julio de 2018].

SEMARNAT (2018a) *Empresas autorizadas para el manejo de residuos peligrosos* [En línea] Disponible en: https://www.gob.mx/semarnat/documentos/empresas-autorizadas-para-el-manejo-de-residuos-peligrosos [Consultado: 17 de septiembre de 2018].

SENER (2015) Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2015 – 2029. Secretaría de Energía (SENER).

SENER (2016) Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2016 – 2030. Secretaría de Energía (SENER).

SENER (2017) Prospectiva de Gas Natural 2017 – 2031. Secretaría de Energía (SENER).

SENER (2017a) Prospectiva del Sector Eléctrico 2017 – 2031. Secretaría de Energía (SENER).

SENER (2017b) Prospectiva de petróleo crudo y petrolíferos 2017 – 2031. Secretaría de Energía (SENER).

SENER (2017c) Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2017 – 2031. Secretaría de Energía (SENER).

SENER (2018) Consumo de gas natural y gas LP. Consulta pública. Folio: 0001800012018.

SENER (2018a) Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2018 – 2032. Secretaría de Energía (SENER).

SENER (2018b) Sistema de Información Energética [En línea] Disponible en: http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas [Consultado: 21 de septiembre de 2018].

SGM (2016) Panorama minero del estado de Nuevo León. Servicio Geológico Mexicano (SGM).

SIMA (2018) Reporte de la calidad del aire en el área metropolitana de Monterrey. Sistema Integral de Monitoreo Ambiental Nuevo León [En línea] Secretaría de Desarrollo Sustentable de Nuevo León, 2018. [Citado el: 6 de Septiembre de 2018.] http://aire.nl.gob.mx/map_calidad.html

SINAICA (2018) Red de monitoreo: Monterrey (MTY). Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire [En línea] 2018. [Citado el: 6 de Septiembre de 2018.] http://sinaica.inecc.gob.mx/

SINGH, Vijai Shanker; Pandey, Deep Narayan; Chaudhry, Pradeep (2010) Urban Forests and Open Green Spaces: Lessons for Jai-pur, Rajasthan (India). A review of the present status of urban forestry across the world, with les-sons that can be applied for the governance of urban green, Jaipur, Rajasthan (IN): Rajasthan State Pollution Control Board.

Smolka, Martín O. y Furtado, Fernanda (2014) Instrumentos notables de políticas de suelo en América Latina. Lincoln Institute of Land Policy.

Suriya S. and Mudgal B.V. (2012) Impact of urbanization on flooding: the thirusoolam subwatershed: A case study. Journal of Hydrology. Volumes 412-413, 4 January 2012. Pages 210-219.

UNIKEL, L. et al (1978) El desarrollo urbano de México, El Colegio de México, México.

United States Department of Transportation (2015) Bureau of transportation statistics: Number of U.S. Aircraft, Vehicles, Vessels, and Other Conveyances.

U.S. EPA (2015) Environmental Benefits Mapping and Analysis Program – Community Edition. Research Triangle Park, NC: U.S. Environmental Protection Agency.

U.S. EPA (2016) Environmental Benefits Mapping and Analysis Program - Community Edition (BenMAP-CE). Obtenido de US Environmental Protection Agency: https://www.epa.gov/benmap

Valles A. & Infante B. (2015) Regularización y derecho a la vivienda: Un caso del área metropolitana de Monterrey, en *Frontera Norte,* vol. 27, núm. 53, enero-junio de 2015, pp. 63-87, disponible en: http://www.scielo.org.mx/pdf/fn/v27n53/v27n53a3.pdf.

Vanguardia (1 de mayo de 2008) Semblanza Don Isidro López del Bosque. Vanguardia. Disponible en: https://vanguardia.com.mx/semblanzadonisidrolopezdelbosque-160056.html [Consultado: 10 de septiembre de 2018].

Ward, J., & Dillon, P. (2012) Principles to coordinate managed aquifer recharge with natural resource management policies in Australia. Hydrogeology Journal, 20, 943-956.

Weinstock, A. B. (2007) *Quantifying fugitive dust emissions from limestone quarries: data selection and uncertainty assessment*. Ryerson University, Canada.

WHO (2014) 7 million premature deaths annually linked to air pollution. Recuperado el 1 de July de 2015, de http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/ [Consultado: 25 de marzo 2018]

WHO (2016) Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. Geneva: World Health Organization. Obtenido de http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250141/9789241511353-eng.pdf?sequence=1

WHO (2017) Air pollution. Obtenido de Children's environmental health: http://www.who.int/ceh/risks/cehair/en/

World Bank (2016) The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action. The World Bank and Institute for Health Metrics and Evaluation University of Washington, Seattle. Washington: International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. Obtenido de http://documents.worldbank.org/curated/en/781521473177013155/pdf/108141-REVISED-Cost-of-PollutionWebCORRECTEDfile.pdf

Worrell, E., Corsten, M. y Galitsky, C. (2015) *Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for Petroleum Refineries*. U.S. Environmental Protection Agency.

WRI México (2016) Guía DOTS para comunidades urbanas.

Yoshikado, H., Tsuchida M. (1996). High levels of winter air pollution under the influence of the urban heat island along the shore of Tokyo Bay. J. Appl. Meteor., 35, 1804–1813.

Zou, B. (2015) Coordinating Share Rail Corridors. Illinois, Chicago: Urban Transportation Center.



Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos Sobre Energía y Medio Ambiente A.C.

Paseo de los Laureles No 458 Int. 406

Col. Bosques de las Lomas

C.P. 05120

México, D.F.

T: (+55) 9177.1670

F: (+55) 9177.1690

www.centromariomolina.org

Twitter: @CentroMMolina

Facebook.com/CentroMarioMolina

