

**Programa de Gestión para Mejorar la Calidad
del Aire en el Estado de México**

ProAire | 2018
2030



**Programa de Gestión para Mejorar la Calidad
del Aire en el Estado de México**

**ProAire | 2018
2030**

**Programa de Gestión para Mejorar la Calidad
del Aire en el Estado de México**

**ProAire | 2018
2030**

© Derechos reservados

Gobierno del Estado de México
Secretaría del Medio Ambiente
Conjunto SEDAGRO, Edificio "C"
Planta Baja, Puerta 101
Col. Ex Rancho San Lorenzo, C.P. 52140
Metepéc, Estado de México.

Primera Edición, Noviembre 2018
Impreso y hecho en México.

La reproducción total o parcial de este documento podrá efectuarse
mediante autorización expresa de la fuente y dándole el crédito
correspondiente.

Número de Dictamen Técnico 214060000/2000/2018

www.edomexico.gob.mx

DIRECTORIO

GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO

Alfredo Del Mazo Maza
Gobernador Constitucional

Jorge Rescala Pérez
Secretario del Medio Ambiente

Carolina García Cañón
*Directora General de Prevención y Control
de la Contaminación Atmosférica*

Carlos Alberto Hernández Vega
Coordinador del Programa Aire Limpio

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Rafael Pacchiano Alamán
*Secretario de Medio Ambiente y
Recursos Naturales*

Martha Garcíarivas Palmeros
*Subsecretaria de Gestión para
la Protección Ambiental*

Ana Patricia Martínez Bolívar
*Directora General de Gestión de la Calidad
del Aire y Registro de Emisiones y
Transferencia de Contaminantes*

Daniel López Vicuña
Director de Calidad del Aire

COMISIÓN AMBIENTAL DE LA MEGALÓPOLIS

Martín Alberto Gutiérrez Lacayo

Coordinador Ejecutivo

César Reyna de la Madrid

*Director General Adjunto de Calidad del Aire
en Zonas Metropolitanas*

Víctor Manuel Menéndez Flores

*Director General Adjunto de Planeación, Sostenibilidad
Metropolitana y Vinculación Institucional*

Gloria Julissa Calva Cruz

*Directora de Prevención y Control de la
Contaminación Urbana en Zonas Metropolitanas*

INTEGRANTES DEL COMITÉ NÚCLEO

Jorge Rescala Pérez

Secretario del Medio Ambiente

Martín Alberto Gutiérrez Lacayo

*Coordinador Ejecutivo de la Comisión
Ambiental de la Megalópolis*

Carolina García Cañón

*Directora General de Prevención y
Control de la Contaminación Atmosférica*

Enrique Pérez Gómez

*Delegado SEMARNAT Delegación
Estado de México*

Mireya Salas Carrillo

*Delegada PROFEPA
Delegación Estado de México*

Luis Eduardo Gómez García

*Procurador
Procuraduría de Protección al Ambiente*

María Elena López Barrera

*Directora General del Instituto Estatal de Energía
y Cambio Climático*

Francisco Zárate César

*Analista especializado UIPPE
Representante de la Secretaría
de Finanzas*

Francisco Santiago Liévano

*Responsable de Área de Servicios
Generales Representante de la Secretaría
de Salud*

José Juan Agustín Caire Pagés

*Subdirector de Planeación del Instituto de
Transporte del Estado de México
Representante de la Secretaría de Movilidad*

Rodrigo Jiménez Solomón

*Subsecretario de Fomento Industrial
Representante de la Secretaría de
Desarrollo Económico.*

Arturo Iván Barrera Pineda

*Subsecretario de Justicia
Representante de la Secretaría de Justicia y
Derechos Humanos*

Noé Armando Colín Mercado

*Responsable del Sistema de
Gestión Ambiental
Representante del Rector de la UAEM*

Carlos Mendieta Zerón

Presidente Fundación Tláloc

Marcelino Aparicio Ponce

*Representante de la Presidenta del Consejo
Consultivo de Protección a la Biodiversidad y
Desarrollo Sostenible del Estado de
México*

María de Lourdes Medina Ortega

*Presidenta del Consejo de Cámaras y
Asociaciones Empresariales del Estado de
México (CONCAEM)*

Rubén Gonzalo Martínez Cárdenas

Presidente de Industria Limpia A.C.

Miguel Ángel Campos Galindo

*Vocal de la Mesa Directiva
Representante del Presidente
CANACINTRA*

Jair Jesús Sánchez Valdez

*Director de Medio Ambiente
Representante del Presidente
Municipal Toluca*

José Luis García Bustos

*Director de Medio Ambiente
Representante del Presidente
Municipal de Metepec*

Marco Antonio Gutiérrez Ortega

*Director de Medio Ambiente
Representante del Presidente
Municipal de Lerma*

Juan Carlos Bautista Santos

Presidente Municipal Ixtlahuaca

Héctor Hulyces Nieto López

*Director de Medio Ambiente
Representante de la Presidenta
Municipal Atlacomulco*

Claudio Gómez Pezuela Gutiérrez

*Director de Medio Ambiente
Representante del Presidente Municipal
Valle de Bravo*

Efraín Rodríguez Navarrete

*Director de Desarrollo Rural
Representante del Presidente
Municipal Tejupilco*

Tomás García Carmona

*Jefe de Área de Medio Ambiente
Representante del Presidente
Municipal de Zumpango*

José Desiderio Torres Barrón

*Director de Medio Ambiente
Representante de la Presidenta
Municipal de Tlalnepantla de Baz*

Araceli García Martínez

*Encargada de la Dirección
de Medio Ambiente
Representante del Presidente Municipal
de Cuautitlán Izcalli*

Jerónimo César Sauza

*Director de Ecología
Representante del Presidente
Municipal Otumba*

Álvaro Carlos Avelar López

Presidente Municipal de Amecameca

Carlos Alberto Hernández Vega

Coordinador del Programa Aire Limpio

Virginia Elías Cruz

*Coordinadora de Ecología
Representante del Presidente
Municipal Tenancingo*

Ana Laura González

*Síndico
Representante del Presidente
Municipal Tepotzotlán*

Gregorio Olvera Canela

*Subdirector de Gestión Ambiental
Representante del Presidente
Municipal de Naucalpan de Juárez*

José Luis Rodríguez Gallegos

*Director de Medio Ambiente
Representante del Presidente
Municipal de Nezahualcóyotl*

Víctor Espejel Carrillo

*Subdirector de Medio Ambiente
Representante del Presidente
Municipal de Ecatepec*

Guillermo Velasco Rodríguez

Consultor CAPSUS

AGRADECIMIENTOS

Por su participación para la realización de este documento se agradece a las siguientes instituciones:

GOBIERNO FEDERAL

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)
- Delegación Federal de la SEMARNAT en el Estado de México
- Delegación Federal de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente en el Estado de México (PROFEPA)

GOBIERNO ESTATAL

- Secretaría General de Gobierno
- Consejo Estatal de Población (COESPO)
- Secretaría de Finanzas
- Secretaría de Salud
 - Centro Estatal de Vigilancia Epidemiológica y Control de Enfermedades (CEVECE)
 - Institutos de Salud del Estado de México
 - Coordinación de Regulación Sanitaria
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Metropolitano
- Secretaría de Movilidad
 - Instituto de Transporte del Estado de México
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario
- Secretaría de Desarrollo Económico
- Secretaría del Medio Ambiente
 - Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (IEECC)
 - Procuraduría de Protección al Ambiente (PROPAEM)
 - Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE)
 - Coordinación General de Conservación Ecológica
 - Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna (CEPANAF)
- Secretaría de Justicia y Derechos Humanos
- Secretaría de Comunicaciones

GOBIERNO MUNICIPAL

- H. Ayuntamiento de Acambay
- H. Ayuntamiento de Acolman
- H. Ayuntamiento de Aculco
- H. Ayuntamiento de Almoloya de Alquisiras
- H. Ayuntamiento de Almoloya de Juárez
- H. Ayuntamiento de Almoloya del Río

- H. Ayuntamiento de Amanalco
- H. Ayuntamiento de Amatepec
- H. Ayuntamiento de Amecameca
- H. Ayuntamiento de Apaxco
- H. Ayuntamiento de Atenco
- H. Ayuntamiento de Atizapán
- H. Ayuntamiento de Atizapán de Zaragoza
- H. Ayuntamiento de Atlacomulco
- H. Ayuntamiento de Atlautla
- H. Ayuntamiento de Axapusco
- H. Ayuntamiento de Ayapango
- H. Ayuntamiento de Calimaya
- H. Ayuntamiento de Capulhuac
- H. Ayuntamiento de Chalco
- H. Ayuntamiento de Chapa de Mota
- H. Ayuntamiento de Chapultepec
- H. Ayuntamiento de Chiautla
- H. Ayuntamiento de Chicoloapan
- H. Ayuntamiento de Chiconcuac
- H. Ayuntamiento de Chimalhuacán
- H. Ayuntamiento de Coacalco de Berriozábal
- H. Ayuntamiento de Coatepec Harinas
- H. Ayuntamiento de Cocotitlán
- H. Ayuntamiento de Coyotepec
- H. Ayuntamiento de Cuautitlán
- H. Ayuntamiento de Cuautitlán Izcalli
- H. Ayuntamiento de Donato Guerra
- H. Ayuntamiento de Ecatepec de Morelos
- H. Ayuntamiento de Ecatzingo
- H. Ayuntamiento de El Oro
- H. Ayuntamiento de Huehuetoca
- H. Ayuntamiento de Hueypoxtla
- H. Ayuntamiento de Huixquilucan
- H. Ayuntamiento de Isidro Fabela
- H. Ayuntamiento de Ixtapaluca
- H. Ayuntamiento de Ixtapan de la Sal
- H. Ayuntamiento de Ixtapan del Oro
- H. Ayuntamiento de Ixtlahuaca
- H. Ayuntamiento de Jaltenco
- H. Ayuntamiento de Jilotepec
- H. Ayuntamiento de Jilotzingo
- H. Ayuntamiento de Jiquipilco
- H. Ayuntamiento de Jocotitlán
- H. Ayuntamiento de Joquicingo
- H. Ayuntamiento de Juchitepec
- H. Ayuntamiento de La Paz
- H. Ayuntamiento de Lerma
- H. Ayuntamiento de Luvianos
- H. Ayuntamiento de Malinalco
- H. Ayuntamiento de Melchor Ocampo
- H. Ayuntamiento de Metepec
- H. Ayuntamiento de Mexicaltzingo
- H. Ayuntamiento de Morelos
- H. Ayuntamiento de Naucalpan de Juárez
- H. Ayuntamiento de Nextlalpan
- H. Ayuntamiento de Nezahualcóyotl
- H. Ayuntamiento de Nicolás Romero
- H. Ayuntamiento de Nopaltepec
- H. Ayuntamiento de Ocoyoacac
- H. Ayuntamiento de Ocuilan
- H. Ayuntamiento de Otumba
- H. Ayuntamiento de Otzoloapan
- H. Ayuntamiento de Otzolotepec
- H. Ayuntamiento de Ozumba
- H. Ayuntamiento de Papalotla
- H. Ayuntamiento de Polotitlán
- H. Ayuntamiento de Rayón
- H. Ayuntamiento de San Antonio la Isla
- H. Ayuntamiento de San Felipe del Progreso
- H. Ayuntamiento de San José del Rincón
- H. Ayuntamiento de San Martín de las Pirámides
- H. Ayuntamiento de San Mateo Atenco
- H. Ayuntamiento de San Simón de Guerrero
- H. Ayuntamiento de Santo Tomás
- H. Ayuntamiento de Soyaniquilpan de Juárez
- H. Ayuntamiento de Sultepec
- H. Ayuntamiento de Tecámac
- H. Ayuntamiento de Tejupilco
- H. Ayuntamiento de Temamatla
- H. Ayuntamiento de Temascalapa
- H. Ayuntamiento de Temascalcingo
- H. Ayuntamiento de Temascaltepec
- H. Ayuntamiento de Temoaya
- H. Ayuntamiento de Tenancingo
- H. Ayuntamiento de Tenango del Aire
- H. Ayuntamiento de Tenango del Valle
- H. Ayuntamiento de Teoloyucan
- H. Ayuntamiento de Teotihuacán

- H. Ayuntamiento de Tepetlaoxtoc
- H. Ayuntamiento de Tepetlixpa
- H. Ayuntamiento de Tepoztlán
- H. Ayuntamiento de Tequixquiac
- H. Ayuntamiento de Texcaltitlán
- H. Ayuntamiento de Texcalyacac
- H. Ayuntamiento de Texcoco
- H. Ayuntamiento de Tezoyuca
- H. Ayuntamiento de Tianguistenco
- H. Ayuntamiento de Timilpan
- H. Ayuntamiento de Tlalmanalco
- H. Ayuntamiento de Tlalnepantla de Baz
- H. Ayuntamiento de Tlatlaya
- H. Ayuntamiento de Toluca
- H. Ayuntamiento de Tonanitla
- H. Ayuntamiento de Tonicaco
- H. Ayuntamiento de Tultepec
- H. Ayuntamiento de Tultitlán
- H. Ayuntamiento de Valle de Bravo
- H. Ayuntamiento de Valle de Chalco Solidaridad
- H. Ayuntamiento de Villa de Allende
- H. Ayuntamiento de Villa del Carbón
- H. Ayuntamiento de Villa Guerrero
- H. Ayuntamiento de Villa Victoria
- H. Ayuntamiento de Xalatlaco
- H. Ayuntamiento de Xonacatlán
- H. Ayuntamiento de Zacazonapan
- H. Ayuntamiento de Zacualpan
- H. Ayuntamiento de Zinacantepec
- H. Ayuntamiento de Zumpahuacán
- H. Ayuntamiento de Zumpango

INICIATIVA PRIVADA

- Consejo de Cámaras y Asociaciones Empresariales del Estado de México (CONCAEM).
- Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (CANACINTRA)
- Consejo Directivo de la Asociación de Industriales del Estado de México.
- Asociación de Distribuidores de Gasolina y Lubricantes A.C. (ADIGAL)
- Biofuels de México S.A. de C.V.
- Cementos Fortaleza.

ORGANIZACIONES DE LA SOCIEDAD CIVIL

- Consejo Consultivo de Protección a la Biodiversidad y Desarrollo Sostenible del Estado de México.
- Industria Limpia A.C.
- Fundación Tláloc A.C.
- Greenpeace México.
- Estrategia México 2030 A.C.
- Organización de Productores Forestales del Estado de México UMAFOR Región VI
- Organización Regional de Productores Forestales del Valle de Toluca A.C.

INSTITUCIONES DE INVESTIGACIÓN Y SECTOR ACADÉMICO

- Universidad Autónoma del Estado de México.
- Tecnológico de Monterrey Campus Estado de México.
- Instituto Tecnológico de Toluca.
- Centro Universitario Nezahualcóyotl.
- Centro Universitario UAEM Atlacomulco.
- Centro Universitario UAEM Temascaltepec.
- Colegio de Ingenieros Civiles del Estado de México, A.C
- Instituto Tecnológico de la Construcción.
- Universidad Intercultural del Estado de México
- Universidad Mexiquense del Bicentenario Unidad de Estudios Superiores de Ixtlahuaca.
- Universidad Mexiquense del Bicentenario Unidad de Estudios Superiores de Jiquipilco.
- Universidad Mexiquense del Bicentenario Unidad de Estudios Superiores de San José del Rincón.
- Universidad Politécnica de Atlacomulco.
- Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec.
- Tecnológico de Estudios Superiores de Villa Guerrero.

APORTACIONES TÉCNICAS AL DOCUMENTO

Alberto Castro Sánchez	Luis Anaya López
Alejandra Arenal Hernández	Luis Felipe Martínez Espinosa
Alejandro Mojica Salgado	Luisa Castorena Esquivel
Alejandro Ricardo Valdez Pérez	Luisa Paola Kassandri Jaramillo Rangel y Saldaña
Alejandro Segura Bravo	Manuel Antonio Pérez Chávez
Alfredo López Melgoza	Marcela Flores Maccise
Alfredo López Millán	Marcela Jaramillo
Alma Delia Álvarez Colín	Margarita Parra Fría
Andrés Alfredo Araiza Solórzano	María de Jesús Mendoza Sánchez
Ángeles Garduño Esquivel	María del Carmen Mendoza Pelcastre
Araceli García Martínez	María del Carmen Padilla Ruíz
Ariel Ignacio Valdés Valdés	María del Carmen Sánchez
Armando Rodríguez Cámara	María del Socorro López Coyuca
Arturo Chávez Sánchez	María del Sol Muciño Duran
Arturo Jiménez Cortés	María Guadalupe Bernal Luna
Benjamín Arias Villanueva	María Leticia Bartolo Sánchez
Benjamín Carreola Martínez	María Teresa García Blancas
Bibiana Valdés Avendaño	Maricruz Portillo García
Camilo José Morales Becerril	Mario Francisco Espinoza Novoa
Carlos Alberto Friecen Flores	Mario González Aranda
Carlos Edgardo Aguirre Campuzano	Marisol Torres Toledano
Carlos Gabriel Antero Rodarte Cordero	Miguel Ángel Brena Becerril
Carlos Guillermo Rodiles Hernández	Mildred Neftalí Sánchez Soria
Carlos Josué Ortega Flores	Mirela Gálvez Carmona
Carlos Manuel Ballesteros Benítez	Mirna Rebeca Navarrete Pérez
Carlos Samayoa	Moisés Alejandro García
Carmen Lynette Loza Pacheco	Mónica Iliana Orduña Cano
Celia Leticia Ortiz Ramírez	Mónica Ocegüera Murillo
Claudia Patricia Hernández Barrios	Nery Callejas Reyes
Claudia Ramírez Palacios	Noé Armando Colín Mercado
Cruz Villarreal Álvarez	Noel Gómez Rodríguez
Diana Bobadilla Martínez	Norma Eugenia Alvarado Estévez
Eduardo Cuitláhuac Marques Martínez	Octavio Montes de Oca Hernández

Elibeh González Zaldívar
Eloy Dávila Javier
Emiliano Alejandro Patiño Benítez
Erika Ordoñez Monroy
Estrella Sandoval Esquivel
Fernando Alemán Rodríguez
Florencio Segura Guerra
Florentino Ruiz Garduño
Francisco Barrera Martínez
Francisco Zarate Cesar
Freddy Jorge Albarrán Díaz
Gabriela Ocampo Hernández
Héctor Rodríguez Vivas
Hernán Saúl Vázquez Aguilar
Hilda Valdez Hinojosa
Horacio Ramírez de Alba
Inés Graciela Domínguez Núñez
Israel Castillo Jiménez
Iván Galileo Martínez Cienfuegos
Jesús Manzo Camargo
Joel Pérez Ibarra
Jorge Alberto Landeros Sánchez
Jorge Luis Pedraza Navarrete
José Desiderio Torres Barrón
José Juan Agustín Caire Pagés
José Luis Rico Contreras
José Mario Gómez Morales
José Mendoza Lovera
José Valencia Hilario
José Ysabel González Mejía
Juan Ángel Juárez González
Juan Carlos Jiménez Martínez
Juan Manuel Cruz Gutiérrez
Juan Manuel Montoya Salinas
Juan Pablo Ortiz Zúñiga
Orlando Hernández Ortíz
Oscar Escobar Plata
Pablo Escamilla Báez
Pierre Pascal Cerdán
Ramón González Valles
Raúl Alcántara Martínez
Raúl Guillermo Guillen Martínez
Raúl Vera Noguez
Rene Torres Domínguez
Ricardo Rodríguez Cárdenas
Ricardo Villena Martínez
Rigoberto Barrios Francisco
Roberto Carlos Nieto Olivares
Rocío Fuentes Mendoza
Rodrigo Castañeda Sandoval
Rogelio Morales González
Rubén Gonzalo Martínez Cárdenas
Samuel Plata Colín
Sandra Emilia López de la Torre
Sandra Meza Cortes
Santiago Benito Gutiérrez Mejía
Saúl Palomares Ruiz
Sergio Reyes Vargas
Silvia Rojas González
Silvia Trinidad López Illescas
Tadeo R. Mendoza Alcántara
Teresa Salinas Mercado
Tomas Jesús García Maya
Tomas Maldonado Abad
Tomas Ricardo Chávez y Moreno
Urbano Heras Escutia
Verónica Patricia Vázquez Hernández
Víctor Espejel Carrillo
Víctor Manuel Torres Meza
Viviana Aketzali Frías Rojas

Juanita Dolores Serrato

Julieta Ortega Hernández

Julio Cesar Calixto Gutiérrez

Lázaro Abner Hernández Rodríguez

Lourdes Berenice Mata Padilla

Xanat Antonio Nemiga

Yosadara Pacheco Ortega

Ytzel Santisteban Acosta

Yuriana Gómez Ortíz

INTEGRACIÓN TÉCNICA DEL DOCUMENTO

CAPSUS S.C.

Christian Casildo Rendón

Conrado Martínez Suárez

Daniela Evia Duarte

Guillermo Velasco Rodríguez

Ignacio Vázquez Ramírez

Judá Jiménez García

Karla Hernando Flores

Marcia Pedroza Brambila

Mariana Ortega Ramírez

Oscar García Pozos

Ricardo García Ruiz

Sebastián Reyes de la Lanza

Silvia López Zepeda

ÍNDICE

Directorio.....	I
Agradecimientos	V
Índice.....	XIII
Siglas, acrónimos, abreviaturas y símbolos químicos.....	XXV
Mensaje.....	XXXI
Presentación	XXXIII
Resumen ejecutivo	XXXV
Introducción	XLI
Capítulo 1. Generalidades del Estado de México.....	3
1.1. Delimitación geográfica	3
1.2. Aspectos físicos	4
1.2.1. Relieve.....	4
1.2.2. Hidrografía	7
1.2.3. Clima	10
1.2.4. Uso de suelo y vegetación	16
1.2.5. Biodiversidad.....	22
1.2.6. Áreas Naturales Protegidas (ANP)	22
1.2.7. Cuencas atmosféricas.....	24
1.2.8. Incendios forestales	28
1.2.9. Residuos sólidos urbanos	29
1.3. Aspectos socioeconómicos.....	30
1.3.1. Demografía.....	30
1.3.2. Desarrollo económico	38
1.4. Vías de comunicación	42
1.4.1. Parque vehicular.....	44
Referencias.....	47
Capítulo 2. Diagnóstico de la calidad del aire en el Estado de México	53
2.1. Descripción de los Sistemas de Monitoreo Atmosférico en el Estado de México.....	53
2.1.1. Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire	54
2.1.2. Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT	56
2.1.3. Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ZMCT	59
2.1.4. Cumplimiento de la NOM-156-SEMARNAT-2012.....	62
2.1.5. Auditorías del Sistema de Monitoreo Atmosférico	62
2.2. Normas de Salud vigentes de Calidad del Aire	65
2.3. Indicadores de la calidad del aire.....	66
2.3.1. Indicadores primarios.....	68
2.3.2. Indicadores Secundarios	85
2.3.3. Evaluación del cumplimiento de las NOM para el año base 2017	90
2.3.4. Evaluación de la calidad del aire para el año base 2017 respecto del IMECA.....	94
2.3.5. Tendencias de los contaminantes para el año base 2017	95

2.4. Diagnóstico del Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA)	96
2.4.1. Histórico de contingencias	98
2.4.2. Evolución de los criterios de activación del PCAA, ZMVM	100
2.5. Programa de Verificación Vehicular Obligatoria (PVVO)	101
2.5.1. Objetivo	102
2.5.2. Alcance	102
2.5.3. Centros de Verificación de Emisiones Contaminantes Autorizados (CVECA)	103
2.5.4. Pruebas de evaluación de emisiones provenientes del escape de los vehículos automotores y diagnóstico	104
2.5.5. Histórico de verificaciones	109
2.5.6. Auditorías	111
2.5.7. Otros programas de reducción de emisiones de fuentes móviles	112
2.6. Programa de Ciudades Sostenibles	115
2.7. Programa de Movilidad	115
2.8. Cedula de Operación Integral (COI)	117
2.9. Campañas de medición y modelación de la calidad del aire	117
Referencias	119
Capítulo 3. Inventario de emisiones	123
3.1. Comportamiento histórico de las emisiones	124
3.1.1. Inventario de Emisiones del Estado de México	124
3.1.2. Inventarios de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle Cuautitlán-Texcoco	127
3.1.3. Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca	129
3.2. Generalidades del presente inventario de emisiones del Estado de México, año base 2016	132
3.3. Metodología	132
3.3.1. Fuentes Puntuales	133
3.3.2. Fuentes de Área	133
3.3.3. Fuentes Móviles	135
3.3.4. Fuentes Naturales o Biogénicas	136
3.4. Inventario Estatal de Emisiones de Contaminantes 2016	136
3.5. Análisis del inventario por contaminante	142
3.6. Análisis del inventario por tipo de fuente	147
3.6.1. Fuentes Puntuales	147
3.6.2. Fuentes de Área	150
3.6.3. Fuentes Naturales	153
3.6.4. Fuentes móviles	154
3.7. Análisis del inventario por Zona Poblacional	157
3.8. Proyección de emisiones al año 2030	161
Referencias	165

Capítulo 4. Impactos sobre la salud	169
4.1. Aspectos demográficos y salud pública	170
4.2. Efectos de la contaminación del aire en la salud humana	174
4.2.1. Partículas suspendidas (PM ₁₀ y PM _{2.5})	174
4.2.2. Ozono (O ₃)	177
4.2.3. Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	178
4.2.4. Dióxido de azufre (SO ₂)	179
4.2.5. Monóxido de carbono (CO)	180
4.3. Evidencia epidemiológica para la Evaluación de Impactos a la Salud	180
4.3.1. Evidencia epidemiológica de PM _{2.5}	181
4.3.2. Evidencia epidemiológica de PM ₁₀	181
4.3.3. Evidencia epidemiológica de O ₃	182
4.4. Caracterización de impactos sobre la salud en el Estado de México	183
4.4.1. Descripción de alcances y supuestos de la Evaluación de Impactos sobre la Salud	183
4.5. Evaluación de la mortalidad evitable en el Estado de México	193
4.5.1. Análisis de la mortalidad asociada a la exposición a PM _{2.5}	194
4.5.2. Análisis de la mortalidad asociada a la exposición a PM ₁₀	195
4.5.3. Análisis de la mortalidad asociada a la exposición a O ₃	197
4.5.4. Tendencia de los impactos a la salud entre 2012 y 2016 (mortalidad por causas generales)	198
4.6. Evaluación de las incidencias a la morbilidad por la exposición de corto plazo a contaminantes en el Estado de México	203
4.7. Valoración económica de los impactos sobre la salud	205
Referencias	207
Capítulo 5. Participación ciudadana, comunicación y educación ambiental	213
5.1. Proceso actual de comunicación y estrategia de participación ciudadana	214
5.2. Portal de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA)	217
5.3. Educación ambiental	221
5.3.1. Educación formal	222
5.3.2. Educación no formal	224
5.4. Percepción ciudadana	228
5.5. Análisis de la comunicación y educación de calidad del aire en el Estado	239
Referencias	241
Capítulo 6. Estrategias y medidas	245
6.1. Introducción	245
6.2. Objetivos y metas del ProAire	246
6.2.1. Objetivo general	246
6.2.2. Objetivos específicos	246
6.3. Análisis de los ProAire existentes y acciones en curso	247

6.4. Estrategias del ProAire 2018-2030	248
6.5. Medidas del ProAire 2018-2030.....	252
6.5.1. Descripción de las medidas y acciones del ProAire.....	253
6.5.2. Listado de recomendaciones auxiliares	277
Referencias	289
Capítulo 7. Opciones de Financiamiento	293
7.1. Introducción.....	293
7.2. Análisis del presupuesto federal destinado al mejoramiento de la calidad del aire	294
7.3. Análisis del presupuesto estatal destinado al mejoramiento de la calidad del aire	295
7.4. Mecanismos de fondeo interno	296
7.5. Intervención de gobiernos municipales en el financiamiento del ProAire.....	297
7.6. Fuentes de financiamiento externas	298
7.6.1. Fuentes de financiamiento nacionales	298
7.6.2. Fuentes de financiamiento internacionales y extranjeras	300
7.7. Intervención del sector privado	309
Referencias	313
Capítulo 8. Fundamento Jurídico.....	317
8.1. Introducción.....	317
8.2. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.....	317
8.3. Marco jurídico internacional	318
8.3.1. Tratados Internacionales en materia de Derechos Humanos	318
8.3.2. Instrumentos Internacionales relativos a la calidad del aire	319
8.3.3. Agenda 2030.....	322
8.3.4. Acuerdos bilaterales y multilaterales celebrados por México en materia de calidad del aire	323
8.4. Legislación Federal	325
8.4.1. Legislación Estatal.....	333
8.4.2. Legislación Municipal	339
Referencias	345
Conclusiones	349
Glosario	353
Anexo I. Población por municipio al 2015.....	357
Anexo II. Actividades económicas.....	359
Anexo III. Climas.....	362
Anexo IV. Descripción del cálculo de los indicadores de calidad del aire	363

TABLAS

<i>Tabla 1.1</i> Coordenadas geográficas extremas	4
<i>Tabla 1.2</i> Elevaciones importantes del Estado	5
<i>Tabla 1.3</i> Ríos y cuerpos de agua Estado de México.....	8
<i>Tabla 1.4</i> Descripción de los tipos de clima del Estado de México	11
<i>Tabla 1.5</i> Características de los vientos	15
<i>Tabla 1.6</i> Cambio en uso de suelo	19
<i>Tabla 1.7</i> Edafología más relevante del Estado de México.....	21
<i>Tabla 1.8</i> Categoría de ANP	23
<i>Tabla 1.9</i> Cuencas atmosféricas sobre el Estado de México	25
<i>Tabla 1.10</i> Municipios del Estado de México con población mayor a 500 mil habitantes.....	31
<i>Tabla 1.11</i> Distribución de la población por grupo de edad y género.....	32
<i>Tabla 1.12</i> Distribución de las zonas	33
<i>Tabla 1.13</i> Cambio en población y nacimientos.....	35
<i>Tabla 1.14</i> Migración Estado de México, 2015.....	37
<i>Tabla 1.15</i> Estado Físico de la Red Estatal Libre de Peaje.....	42
<i>Tabla 2.1</i> Configuración de las estaciones de monitoreo ZMVT	58
<i>Tabla 2.2</i> Objetivos de los subsistemas de monitoreo	60
<i>Tabla 2.3</i> Configuración de las estaciones de monitoreo ZMCT (que se encuentran en el área conurbada del Estado de México con la Ciudad de México).....	60
<i>Tabla 2.4</i> Diferencia porcentual promedio de los contaminantes.....	64
<i>Tabla 2.5</i> Criterios de evaluación de las Normas Oficiales Mexicanas vigentes	65
<i>Tabla 2.6</i> Datos diarios y criterios de suficiencia para la determinación de la distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala	68
<i>Tabla 2.7</i> Escala de números y colores del Índice Metropolitano de Calidad del Aire	69
<i>Tabla 2.8</i> Evaluación del cumplimiento de las NOM (máximos en la RAMA)	91
<i>Tabla 2.9</i> Evaluación de cumplimiento de las NOM por parte de la RAMA ZMVT (por estación)	92
<i>Tabla 2.10</i> Evaluación del cumplimiento de las NOM por parte del SIMAT de la ZMCT (2017)	93
<i>Tabla 2.11</i> Evaluación del cumplimiento de las NOM por parte del SIMAT de la ZMCT (2017 [cont.])	94
<i>Tabla 2.12</i> Comparación de calidad del aire entre ZMVT y ZMCT para 2017.....	95
<i>Tabla 2.13</i> Percentil 10, 50 y 90 de los contaminantes criterio, ZMVT.....	96
<i>Tabla 2.14</i> Percentil 10, 50 y 90 de los contaminantes criterio, ZMCT	96

<i>Tabla 2.15 Activación y suspensión de Contingencias Ambientales Atmosféricas</i>	98
<i>Tabla 2.16 Histórico de contingencias</i>	98
<i>Tabla 2.17 Posibles contingencias, ZMVT 2011-2017</i>	99
<i>Tabla 2.18 Modificaciones a los valores de activación contingencia Fase I</i>	101
<i>Tabla 2.19 Tarifas verificación vehicular vigentes durante el segundo semestre de 2018</i>	104
<i>Tabla 2.20 Métodos de prueba aplicables a los vehículos automotores en circulación para la evaluación de emisiones de contaminantes</i>	105
<i>Tabla 2.21 Límites Máximos Permisibles de emisión de contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación para los métodos de prueba Dinámica o Estática (Holograma "0")</i>	107
<i>Tabla 2.22 Límites Máximos Permisibles para vehículos a gasolina con convertidor catalítico (Holograma "1")</i>	107
<i>Tabla 2.23 Límites Máximos Permisibles para vehículos a gasolina que cuentan con carburador (Holograma "2")</i>	108
<i>Tabla 2.24 Reducción de emisiones en vehículos a gasolina con convertidor catalítico</i>	113
<i>Tabla 3.1 Algunas variables que inciden en la generación de emisiones en el Estado de México</i>	123
<i>Tabla 3.2 Inventario de Emisiones del Estado de México, 2006 (ton/año)</i>	124
<i>Tabla 3.3 Inventario de Emisiones del Estado de México, 2010 (ton/año)</i>	126
<i>Tabla 3.4 Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle Cuautitlán-Texcoco, 2010, 2012, 2014, 2016 (ton/año)</i>	127
<i>Tabla 3.5 Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, 2004 (ton/año)</i>	129
<i>Tabla 3.6 Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, 2008 (ton/año)</i>	131
<i>Tabla 3.7 Datos de actividad para la estimación de emisiones de fuentes de área, 2016</i>	134
<i>Tabla 3.8 Inventario Estatal de Emisiones de Contaminantes 2016</i>	137
<i>Tabla 3.9 Contribución porcentual de las fuentes del Inventario Estatal de Emisiones de Contaminantes 2016</i>	140
<i>Tabla 3.10 Emisiones provenientes de fuentes puntuales en el Estado de México, año 2016</i>	149
<i>Tabla 3.11 Emisiones provenientes de fuentes de área en el Estado de México, año 2016</i>	151
<i>Tabla 3.12 Emisiones provenientes de fuentes biogénicas en el Estado de México, año 2016</i>	154
<i>Tabla 3.13 Flota vehicular estimada para el Estado de México y kilómetros recorridos, año 2016</i>	155

Tabla 3.14 Emisiones provenientes de fuentes móviles en el Estado de México, año 2016.....	154
Tabla 3.15 Inventario Estatal de Emisiones de Contaminantes por Zona Poblacional, año 2016.....	158
Tabla 3.16 Contribución porcentual de las Zonas Poblacionales en el Inventario Estatal de Emisiones de Contaminantes, año 2016.....	159
Tabla 3.17 Emisiones per cápita de contaminantes por Zona Poblacional, año 2016.....	160
Tabla 3.18 Proyección del Inventario de Emisiones, año 2030.....	161
Tabla 3.19 Porcentaje de aumento/reducción de emisiones por fuente, año 2030.....	164
Tabla 4.1 Padecimientos principales en el Estado de México.....	171
Tabla 4.2 Guías de Calidad del Aire y Objetivos Intermedios recomendados por la OMS para PM_{10} y $PM_{2.5}$: concentraciones promedio anuales.....	175
Tabla 4.3 Guías de Calidad del Aire y Objetivos Intermedios recomendados por la OMS para PM_{10} y $PM_{2.5}$: promedios de 24 horas diarios.....	176
Tabla 4.4 Guía de Calidad del Aire y Objetivos Intermedios recomendados por la OMS para concentraciones de 8 horas de O_3	178
Tabla 4.5 Guías de Calidad del Aire de la OMS para exposición de corto y largo plazo de NO_2	179
Tabla 4.6 Guías de Calidad del Aire y Objetivos Intermedios de la OMS para exposición de corto y largo plazo de SO_2	180
Tabla 4.7 Identificación de impactos vinculados a la mortalidad de largo plazo.....	184
Tabla 4.8 Identificación de impactos vinculados a la morbilidad.....	185
Tabla 4.9 Indicadores de calidad el aire para la Evaluación de Impactos a la Salud en la región de análisis durante 2016 (concentraciones promedio anuales).....	186
Tabla 4.10 Análisis de cobertura de población de la evaluación de impactos a la salud en 2016.....	189
Tabla 4.11 Escenarios de reducción de concentraciones de contaminantes (escenarios de gestión) para el análisis de mortalidad evitable.....	191
Tabla 4.12 Escenarios de reducción de concentraciones de contaminantes (escenarios de gestión) para el análisis de morbilidad.....	191
Tabla 4.13 Resumen de VVE seleccionados (a precios del 2016).....	193
Tabla 4.14 Costos utilizados en la valoración de incidencias en morbilidad.....	193
Tabla 4.15 Muertes evitables por la reducción de concentraciones de $PM_{2.5}$ conforme a los estándares OMS y NOM durante 2016.....	194
Tabla 4.16 Muertes evitables por la reducción de concentraciones de PM_{10} conforme a los estándares OMS y NOM durante 2016.....	196
Tabla 4.17 Muertes evitables por la reducción de concentraciones de O_3 conforme a los estándares OMS y NOM durante 2016.....	197
Tabla 4.18 Tendencia de la mortalidad evitable por región y causas principales entre 2012 y 2015.....	199
Tabla 4.19 Resumen de impactos totales en el Estado de México por escenario analizado entre 2012 y 2016.....	201

Tabla 4.20 Incidencias a la morbilidad por causas seleccionadas en 2016 204

Tabla 4.21 Valoración económica de los impactos a la salud por contaminantes atmosféricos en el Estado de México (MXN 2016)..... 206

Tabla 5.1 Seguidores en redes sociales 216

Tabla 5.2 Código de colores del IMECA..... 218

Tabla 5.3 Grados en medio ambiente ofrecidos en el Estado de México 224

Tabla 5.4 Distribución de encuestados por Zona Poblacional 229

Tabla 6.1 Medidas previas y en curso retomadas de ProAire existentes..... 247

Tabla 6.2 Estrategias del ProAire..... 250

Tabla 6.3 Medidas críticas y prioritarias del ProAire..... 253

Tabla 8.1 Guías de Calidad del Aire de la OMS y objetivos intermedios para contaminantes atmosféricos..... 321

Tabla 8.2 Normas Oficiales Mexicanas vigentes en materia de Calidad del Aire..... 331

GRÁFICAS

Gráfica 1.1 Rosa de los vientos más representativa de ZMVT 2015-2017 (Estación San Mateo Atenco) 14

Gráfica 1.2 Fuentes de contaminación atmosférica (América Latina) 20

Gráfica 1.3 Crecimiento poblacional estimado al año 2030 30

Gráfica 1.4 Esperanza de vida al nacimiento por sexo, 1990-2030 35

Gráfica 1.5 Diferencia en esperanza de vida entre ambos sexos 36

Gráfica 1.6 Tasa de mortalidad infantil total y por sexo, 1990-2030 37

Gráfica 1.7 Tasa de crecimiento natural (TCN) y tasa neta de migración interestatal, 1990-2030..... 38

Gráfica 1.8 Variación anual de la economía nacional y del Estado de México (precios constantes del 2013)..... 38

Gráfica 1.9 Curva Ambiental de Kuznets..... 39

Gráfica 1.10 Generación de energía eléctrica por tecnología 41

Gráfica 1.11 Crecimiento y distribución del parque vehicular Estado de México (vehículos registrados) 44

Gráfica 1.12 Distribución del parque vehicular..... 45

Gráfica 2.1 Evaluación del cumplimiento de la NOM de PM10 por estación de monitoreo en el Estado de México (2015 – 2017) 70

Gráfica 2.2 Promedio anual de PM10 en el Estado de México (2011 – 2017) 71

Gráfica 2.3 Percentil 98 de PM10 en el Estado de México (2011 – 2017) 71

Gráfica 2.4 Distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala por PM10 en el Estado de México (2015 – 2017)..... 72

Gráfica 2.5 Evaluación del cumplimiento de la NOM de PM2.5 por estación de monitoreo en el Estado de México (2015 – 2017) 73

Gráfica 2.6 Promedio anual de PM2.5 en el Estado de México (2011 – 2017) 74

Gráfica 2.7 Percentil 98 de $PM_{2.5}$ en el Estado de México (2011 – 2017).....	74
Gráfica 2.8 Distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala por $PM_{2.5}$ en el Estado de México (2015 – 2017)	75
Gráfica 2.9 Evaluación del cumplimiento de la NOM de O_3 por estación de monitoreo en el Estado de México (2015 – 2017)	76
Gráfica 2.10 Máximos horarios de O_3 en el Estado de México (2011 – 2017).....	77
Gráfica 2.11 Distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala por O_3 en el Estado de México (2015 – 2017).....	78
Gráfica 2.12 Evaluación del cumplimiento de la NOM de SO_2 por estación de monitoreo en el Estado de México (2015 – 2017)	79
Gráfica 2.13 Promedio diario de SO_2 en el Estado de México (2011 – 2017)	80
Gráfica 2.14 Promedio anual de SO_2 en el Estado de México (2011 – 2017).....	80
Gráfica 2.15 Distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala por SO_2 en el Estado de México (2015 – 2017)	81
Gráfica 2.16 Evaluación del cumplimiento de la NOM de NO_2 por estación de monitoreo en el Estado de México (2015 – 2017)	82
Gráfica 2.17 Segundo máximo del promedio horario de NO_2 en el Estado de México (2011 – 2017)	82
Gráfica 2.18 Distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala por NO_2 en el Estado de México (2015 – 2017).....	83
Gráfica 2.19 Evaluación del cumplimiento de la NOM de CO por estación de monitoreo en el Estado de México (2015 – 2017)	84
Gráfica 2.20 Segundo máximo del promedio móvil de 8 horas de CO en el Estado de México (2011 – 2017)	84
Gráfica 2.21 Distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala por CO en el Estado de México (2015 – 2017)	85
Gráfica 2.22 Comportamiento horario de los contaminantes, ZMVT y ZMCT, 2015-2017	87
Gráfica 2.23 Comportamiento semanal de los contaminantes, ZMVT y ZMCT, 2015-2017	88
Gráfica 2.24 Comportamiento mensual de los contaminantes, ZMVT y ZMCT, 2015-2017	90
Gráfica 2.25 Días al año con más de 150 IMECA en la ZMVM	100
Gráfica 2.26 Cantidad de Verificaciones Vehiculares por Semestre.....	110
Gráfica 2.27 Verificación vehicular primer semestre 2018.....	110
Gráfica 3.1 Distribución porcentual del Inventario de Emisiones del Estado de México, 2006.....	125
Gráfica 3.2 Distribución porcentual del Inventario de Emisiones del Estado de México, 2010.....	126
Gráfica 3.3 Comparación histórica del nivel de emisiones de la Zona Metropolitana Cuautitlán- Texcoco (PM_{10} , $PM_{2.5}$, SO_2 , NH_3)	128
Gráfica 3.4 Comparación histórica del nivel de emisiones de la Zona Metropolitana Cuautitlán- Texcoco (NO_x , COV, CO).....	129

Gráfica 3.5 Distribución porcentual del Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, 2004.....	130
Gráfica 3.6 Distribución porcentual del Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, 2008.....	131
Gráfica 3.7 Distribución porcentual de emisiones de PM10 en el Inventario 2016.....	143
Gráfica 3.8 Distribución porcentual de emisiones de PM2.5 en el Inventario 2016.....	143
Gráfica 3.9 Distribución porcentual de emisiones de SO2 en el Inventario 2016.....	144
Gráfica 3.10 Distribución porcentual de emisiones de CO en el Inventario 2016.....	145
Gráfica 3.11 Distribución porcentual de emisiones de NOX en el Inventario 2016.....	145
Gráfica 3.12 Distribución porcentual de emisiones de COV en el Inventario 2016.....	146
Gráfica 3.13 Distribución porcentual de emisiones de NH3 en el Inventario 2016.....	147
Gráfica 3.14 Distribución porcentual de la industria instalada en el Estado de México, año 2016.....	148
Gráfica 3.15 Contribución de las fuentes puntuales por jurisdicción.....	149
Gráfica 3.16 Distribución porcentual de las emisiones por categoría de área.....	153
Gráfica 3.17 Distribución porcentual de las emisiones contaminantes por tipo de vehículo.....	157
Gráfica 3.18 Distribución porcentual de las emisiones por Zona Poblacional, año 2016.....	160
Gráfica 5.1 Resultados de la pregunta: “Para usted, ¿cuál es el problema de contaminación más grave?”.....	230
Gráfica 5.2 Resultados de la pregunta: “En su opinión, ¿cuál debería ser la medida prioritaria para reducir la contaminación del aire?”.....	230
Gráfica 5.3 Resultados de la pregunta: “En su opinión, ¿cómo es normalmente la calidad del aire donde vive?”.....	232
Gráfica 5.4 Resultados de la pregunta: “Durante los últimos meses, ¿ha sentido alguno de estos Síntomas al andar en la calle?”.....	232
Gráfica 5.5 Resultados de la pregunta: “¿Considera que estos malestares pueden deberse a la contaminación del aire?”.....	233
Gráfica 5.6 Resultados de la pregunta: “¿Cuál cree que sea el sector de la población más afectado por la contaminación atmosférica?”.....	234
Gráfica 5.7 Resultados de la pregunta: “¿Cuál cree que es la principal fuente de contaminación del aire?”.....	234
Gráfica 5.8 Percepción de los mexiquenses sobre el tipo de combustible de vehículos automotores que contribuye más a la contaminación atmosférica (Encuesta ProAire 2018).....	235
Gráfica 5.9 Desglose de medidas prioritarias para el 61% de la población que considera a los vehículos automotores como la principal fuente de contaminación atmosférica.....	236
Gráfica 5.10 Resultados de la pregunta: ¿Cómo cree que la calidad del aire ha cambiado en los últimos años?.....	236
Gráfica 5.11 Resultados de la pregunta: “¿En dónde cree que se corre más riesgo de respirar aire contaminado?”.....	237

Gráfica 7.1 Presupuesto del Gobierno de México destinado a la SEMARNAT durante los años 2012-2018.....	294
Gráfica 7.2 Presupuesto del GEM destinado al rubro de Medio Ambiente para los años 2012-2018.....	295

FIGURAS

Figura 2.1 Modelo Conceptual de la Circulación del Viento en la ZMVM.....	118
Figura 3.1 Consumo de combustibles del sector industrial 2016.....	148
Figura 3.2 Consumo de combustibles del sector transporte 2016.....	155
Figura 4.1 Diez principales factores de riesgo a la mortalidad mundial en el 2016.....	169
Figura 4.2 Mecanismos fisiológicos generales involucrados en la exposición de partículas con la morbilidad y mortalidad cardiopulmonares.....	175
Figura 4.3 Tendencia de la tasa de mortalidad evitable por cada 10,000 habitantes en la zona de cobertura y grupos de edad indicados: Escenario NOM.....	200
Figura 4.4 Tendencia de la tasa de mortalidad evitable por cada 10,000 habitantes en la zona de cobertura y grupos de edad indicados: Escenario OMS.....	201
Figura 4.5 Comparación de muertes evitables de los escenarios NOM y OMS para el Estado de México entre 2012 y 2016.....	202
Figura 5.1 Centro de Educación Ambiental y Cambio Climático Metepec, Estado de México.....	215
Figura 5.2 Infografías publicadas en redes oficiales SMAGEM.....	216
Figura 5.3 Ejemplo del reporte horario (2 noviembre 2018).....	218
Figura 5.4 Ejemplo del reporte diario (lunes 16 de julio de 2018).....	219
Figura 5.5 Ejemplo del reporte mensual (enero 2018).....	220
Figura 5.6 Ejemplo mosaico para $PM_{2.5}$ (2011-2018).....	220
Figura 5.7 Ejemplo del reporte de la Red de Carbono Negro (octubre 2017).....	221
Figura 5.8 Material didáctico (botargas) para programas de educación ambiental.....	225
Figura 5.9 Proyección de 360° de la Tierra.....	226
Figura 5.10 “Rescateclota”.....	227
Figura 5.11 Difusión de la Encuesta ProAire 2018-2030.....	228
Figura 6.1 Integración del Comité Núcleo del ProAire.....	249
Figura 6.2 Foro Estatal de Validación de Estrategias, Medidas y Acciones ProAire Estado de México 2018-2030.....	249
Figura 8.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.....	322

MAPAS

Mapa 1.1 Ubicación del Estado de México..... 3

Mapa 1.2 Cuencas Hidrológicas del Estado de México..... 7

Mapa 1.3 Principales ríos del Estado de México..... 9

Mapa 1.4 Climas del Estado de México 10

Mapa 1.5 Uso de Suelo y Vegetación del Estado de México..... 18

Mapa 1.6 Áreas naturales protegidas 24

Mapa 1.7 Cuencas Atmosféricas..... 27

Mapa 1.8 Distribución de la población por municipio..... 32

Mapa 1.9 Distribución de las Zonas Poblacionales del Estado de México 34

Mapa 1.10 Vías de comunicación 43

*Mapa 2.1 Ubicación de las estaciones de monitoreo atmosférico y distribución
de la población 55*

Mapa 2.2 Distribución de CVECA en el Estado de México 103

Mapa 2.3 Distribución talleres PIREC autorizados 112

*Mapa 4.1 Distribución de la población vulnerable (2010) en el
Estado de México..... 172*

Mapa 4.2 Distribución de servicios de educación, salud y asistencia social 173

SIGLAS, ACRÓNIMOS, ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS QUÍMICOS

ABC	Atmospheric brown cloud (Nube atmosférica color café)
ACS	Sociedad Americana contra el Cáncer (American Cancer Society)
AFD	Agencia Francesa para el Desarrollo
AIF	Asociación Internacional de Fomento
ANP	Área Natural Protegida
ASEA	Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente
Banobras	Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BIRF	Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento
BM	Banco Mundial
CAF	Banco de Desarrollo de América Latina
CAMe	Comisión Ambiental de la Megalópolis
CBEM	Código para la Biodiversidad del Estado de México
CCAC	Coalición Clima y Aire Limpio (Climate and Clean Air Coalition)
CCG	Centro de Colaboración Geoespacial
CEACC	Centro de Educación Ambiental y Cambio Climático
CECA	Centro de Educación y Cultura Ambiental
CECADESU	Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable
CEEA	Centro Ecoturístico y de Educación Ambiental
CEPANAF	Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna
CEVECE	Centro Estatal de Vigilancia Epidemiológica y Control de Enfermedades
CFI	Corporación Financiera Internacional
CH₄	Metano
CIE-10	Clasificación Internacional de Enfermedades versión 10
CO₂	Dióxido de carbono
CO	Monóxido de carbono
COA	Cédula de Operación Anual
COESPO	Consejo Estatal de Población
COI	Cédula de Operación Integral
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONALEP	Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
CONAPO	Consejo Nacional de Población
COV	Compuestos orgánicos volátiles
CPEUM	Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
CVECA	Centros de Verificación de Emisiones Contaminantes Autorizados
DATGEN	Datos Generales
DGPCCA	Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica
DOF	Diario Oficial de la Federación
DV	Dirección del viento
EIS	Evaluación de Impactos a la Salud
EKC	Environmental Kuznets Curve (Curva Ambiental de Kuznets)
EPA	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental)
EPOC	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica
FCR	Función Concentración-Respuesta
FIPREV	Fondo para Proyectos de Prevención de la Contaminación
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial (en inglés Global Environment Facility o GEF)
FONADIN	Fondo Nacional de Infraestructura
GCA	Guías de Calidad del Aire
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GEM	Gobierno del Estado de México
GIZ	Corporación Alemana para la Cooperación Internacional
GloBEIS	Sistema Global de Emisiones de la Biósfera y sus Interacciones
GPT	Gas-phase titration (titulación en fase gaseosa)
HR	Humedad relativa
IC	Intervalo de confianza
IEECC	Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático
IMECA	Índice Metropolitano de Calidad del Aire
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
IMSS	Instituto Mexicano del Seguro Social
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía

INSP	Instituto Nacional de Salud Pública
IRA	Infección respiratoria aguda
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Japón
km	Kilómetro
LGCC	Ley General de Cambio Climático
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
LMP	Límites máximos permisibles
MDB	Bancos Multilaterales de Desarrollo
MOVES	Modelo de Emisiones de Fuentes Móviles (Motor Vehicle Emission Simulator)
msnm	Metros sobre el nivel del mar
NAFIN	Nacional Financiera
NOM	Norma Oficial Mexicana
NO_x	Óxidos de nitrógeno
NTEA	Norma Técnica Estatal Ambiental
O₃	Ozono
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OI	Objetivo Intermedio
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OR	Razón de probabilidades (Odds Ratio)
PA	Presión Atmosférica
PACMUN	Programa de Acción Climática Municipal
Pb	Plomo
PCAA	Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PERC	Property and Environment Research Center (Centro de Investigación de Propiedad y Medio Ambiente)
pH	Potencial de Hidrógeno
PIB	Producto Interno Bruto
PIDESC	Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales
PIREC	Programa Integral de Reducción de Emisiones Contaminantes
PM_{2.5}	Materia particulada con diámetro menor a 2.5 micras
PM₁₀	Materia particulada con diámetro menor a 10 micras
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

PP	Precipitación pluvial
ppb	Partes por billón
ppm	Partes por millón
ProAire	Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire
PROBOSQUE	Protección de Bosques del Estado de México
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
PROPAEM	Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de México
PVVO	Programa de Verificación Vehicular Obligatoria
RADG	Radiación Global
RAMA	Red Automática de Monitoreo Atmosférico
REDDA	Red de Depósito Atmosférico
REDMA	Red Manual de Monitoreo Atmosférico
REDMET	Red de Meteorología y Radiación Solar
RETC	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
RESCATA	Red de Escuelas Acreditadas en el Tema Ambiental
SAECHV	Sistema Automatizado de Emisiones y Control de Hologramas de Verificación Vehicular
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SDB	Sistema de Diagnóstico a Bordo
SDF	Sitio de disposición final
SEDECO	Secretaría de Desarrollo Económico del Estado de México
SEDEMA	Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SEP	Secretaría de Educación Pública
SIDA	Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo
SIG	Sistema de Información Geográfica
SIMAT	Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México
SINAICA	Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire
SMAGEM	Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México
SMCA	Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire
SO₂	Dióxido de azufre
SSA	Secretaría de Salud
TLCAN	Tratado de Libre Comercio de América del Norte

TMP	Temperatura
UAEM/ UAEMex	Universidad Autónoma del Estado de México
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization)
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
UVA	Radiación UVA
UVB	Radiación UVB
VV	Velocidad del viento
VVE	Valor de una Vida Estadística
WRB	Base Referencial Mundial (World Reference Base) para la clasificación de suelos
ZBE	Zona de Bajas Emisiones
ZM	Zona Metropolitana
ZMCT	Zona Metropolitana de Cuautitlán-Texcoco
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México
ZMVT	Zona Metropolitana del Valle de Toluca

MENSAJE

Uno de los retos más apremiantes que enfrentan las sociedades del siglo XXI es la protección del medio ambiente.

Defender al planeta y la vida depende de nuestra participación firme y decidida. Para ello, dejar a las siguientes generaciones una ruta de actuación que involucre a todas y todos en la conservación de la naturaleza, es una responsabilidad que asumimos con el compromiso de mejorar la situación ambiental y heredar un mundo limpio, próspero y saludable.

El Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire en el Estado de México 2018-2030, ProAire, nos abre esta oportunidad al reunir las voces de académicos, empresarios, ciudadanos y funcionarios públicos, y establecer una estrategia de solución para los desafíos ambientales que enfrentará nuestra entidad durante la siguiente década.

El ProAire está integrado por 8 capítulos y presenta una investigación extensa sobre las condiciones atmosféricas del Estado de México y sus capacidades de atención; así como un estudio detallado sobre los efectos de la contaminación urbana en la salud pública, bajo un análisis comparativo de las mejores prácticas legales y financieras para la conservación ambiental a nivel internacional.

Este ProAire es el primer documento rector sobre la materia que abarca los 125 municipios del Estado de México, y su objetivo es garantizar un aire de calidad que favorezca la conservación ambiental y fortalezca la salud de las familias mexiquenses.

Desde una perspectiva social, económica y urbana, el ProAire agrupa las acciones a corto, mediano y largo plazo que los tres órdenes de gobierno y la sociedad, debemos realizar para mejorar el monitoreo ambiental y reducir las partículas contaminantes en el territorio mexiquense durante los siguientes doce años.

Con Decisiones Firmes y Resultados Fuertes, el ProAire nos compromete a trabajar por días más claros, limpios y saludables para el Estado de México.

Alfredo Del Mazo Maza
Gobernador Constitucional del Estado de México



Alfredo Del Mazo Maza
Gobernador Constitucional del Estado de México

PRESENTACIÓN

El Estado de México tiene dos grandes riquezas: los mexiquenses que lo habitamos y su geografía física.

Somos la entidad con la mayor población en el país. Ciudadanos con pluralidad de convicciones, ideas, talentos y esfuerzos; poseedores de las más bellas tradiciones y cultura.

Además, tenemos una envidiable naturaleza en la que convergen climas, llanuras, vegetación diversa, fauna, bellos volcanes -como el Xinantécatl- y bosques.

Nuestra magnífica fusión entre la provincia y la modernidad representada por sus ciudades, exige encontrar políticas públicas y acciones que permitan el desarrollo de los mexiquenses sin poner en riesgo el futuro de las próximas generaciones.

Nuestros recursos naturales son sinónimo de aire limpio y agua para millones de mexiquenses e, inclusive, habitantes de la Ciudad de México. Solo por poner un ejemplo, buena parte del agua que se consume en la Zona Metropolitana del Valle de México proviene de la Cuenca del Cutzamala.

Pero más allá de los grandes números, la coyuntura exige una mayor conciencia tanto del gobierno como de los habitantes acerca de las acciones que debemos emprender para garantizar un ambiente sano y limpio.

Por indicaciones del Gobernador Alfredo Del Mazo Maza, la Secretaría del Medio Ambiente se ha dado a la tarea de coordinar un esfuerzo muy importante para mejorar la calidad del aire de nuestra entidad a corto, mediano y largo plazo. Se trata de la elaboración del Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire en el Estado de México 2018-2030 (ProAire), que contiene una serie de estrategias y políticas públicas bien definidas para cada región del Estado.

De hecho, es el primer programa en su tipo que abarca toda la Entidad y plantea el camino a seguir en la materia por los próximos 12 años. Se alinea al Plan de Desarrollo Estatal, el cual a su vez, adopta los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 establecida por la Organización de las Naciones Unidas.

Los temas más relevantes de este importante documento son el diagnóstico de la Entidad, la situación actual de la calidad del aire en el Estado, el inventario de emisiones estatales, los efectos en la salud pública, las oportunidades en educación y difusión, las políticas públicas necesarias

para alcanzar las metas planteadas y los retos de financiamiento para lograrlas. Todo esto dentro del marco jurídico aplicable que sustenta la aplicación del ProAire.

El proceso de elaboración buscó establecer un número limitado de medidas contundentes, con la finalidad de dirigir la acción pública en actividades de alto beneficio social.

En materia de medio ambiente, el Estado de México cuenta con grandes retos, pero esta administración reitera su vocación y perspectiva sustentable, sabedora que nuestros recursos naturales son grandes prioridades para el desarrollo de la entidad más grande del país. Son tareas que no permiten dejarlas para un mañana.

Jorge Rescala Pérez
Secretario del Medio Ambiente
Gobierno del Estado de México

RESUMEN EJECUTIVO

El ProAire del Estado de México 2018-2030 se enfoca en la reducción de emisiones de los contaminantes criterio, en especial ozono y partículas suspendidas, de 10 y 2.5 micrómetros de diámetro aerodinámico, ya que son los que presentan una mayor abundancia en el Estado, así como efectos más adversos para la salud de la población. Es un instrumento que servirá, tanto a dependencias como a los ciudadanos del Estado de México, para gestionar durante los próximos doce años la calidad del aire.

El documento está integrado por ocho capítulos: 1) Generalidades, 2) Diagnóstico de la Calidad del Aire, 3) Inventario de Emisiones, 4) Impactos sobre la Salud, 5) Participación Ciudadana, Comunicación y Educación Ambiental, 6) Estrategias y Medidas, 7) Opciones de Financiamiento y 8) Fundamento Jurídico. Cada uno de ellos es esencial para la correcta y completa implementación del ProAire, ya que se abarca la problemática de calidad del aire desde todos los niveles y sectores para que, trabajando de manera integral entre las distintas dependencias y actores involucrados, los mexiquenses puedan gozar de una calidad del aire cada vez mejor.

En el Capítulo 1 se realiza un diagnóstico sobre las generalidades del Estado de México, ya sean aspectos naturales, sociales o económicos. Se especifica cómo es que cada una de las características del Estado tiene una relación con las emisiones de gases y partículas que contaminan la atmósfera, ya sea de manera directa o indirecta. Simplemente por la altitud del Estado -en promedio 2,000 metros sobre el nivel del mar- los procesos de combustión no se efectúan de manera eficiente, por lo que se presentará una mayor generación de contaminantes con respecto a otras entidades, aun con motores de última generación. Además, la Zona Metropolitana de Cuautitlán-Texcoco (ZMCT) se encuentra rodeada de elevaciones montañosas que impiden la disipación de los gases y partículas por corrientes de viento, ocasionando una mayor acumulación de contaminantes atmosféricos en la región.

En el Capítulo 2 se realiza un diagnóstico de la calidad del aire que ha presentado el Estado de México en los últimos diez años. Se analizan las tendencias anuales, semanales y diarias que han tenido las concentraciones atmosféricas de los seis contaminantes criterio (ozono, material particulado de 10 y 2.5 micrómetros de diámetro aerodinámico, monóxido de carbono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno) en dicho periodo, así como la evaluación de los indicadores establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) vigentes. Es importante mencionar que hay dos Zonas Metropolitanas que cuentan con monitoreo atmosférico, la Zona Metropolitana de Cuautitlán-Texcoco (ZMCT) y la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT).

De acuerdo con el diagnóstico, ninguna estación de monitoreo de estas zonas cumplió con los límites para material particulado en los últimos 3 años. A nivel estatal, alrededor del 50% de los días presentan una mala calidad del aire respecto de las partículas suspendidas menores a 10 micras. Para partículas suspendidas menores a 2.5 micras, la ZMVT presenta una problemática más severa, con 50% de los días con mala calidad del aire atribuibles a este contaminante criterio. Respecto del ozono, la ZMCT tiene la problemática más severa, pues todas las estaciones de monitoreo incumplen con los límites máximos permisibles. Si bien la frecuencia con que los límites se superan en la ZMVT es menor, en 2017 35% de los días del año presentaron una mala calidad del aire por este contaminante. Según la evaluación a partir del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire, en 2017 la ZMVT tuvo 0 días con buena calidad del aire, mientras que la ZMCT tuvo únicamente 9 (2.5%).

Los datos muestran que la ZMCT ha presentado un continuo problema de altas concentraciones de ozono, las cuales han permanecido relativamente constantes en la última década. En la ZMVT, en cambio, el material particulado es el que presenta las mayores concentraciones, igualmente manteniéndose relativamente constante en el periodo analizado. En ambas zonas se observa un incumplimiento normativo en ambos contaminantes. También es necesario enfatizar que la Zona Metropolitana de Santiago Tianguistenco y las otras tres Zonas Poblaciones del Estado (Zona Sur, Atlacomulco e Ixtapan de la Sal) no cuentan con monitoreo atmosférico a pesar de tener características demográficas y económicas que fundamentan la necesidad de medir la calidad del aire en dichas zonas.

De la misma manera, una vez expuesto el panorama referente a las emisiones contaminantes en el Estado de México, se abordan los esfuerzos vertidos en programas y regulaciones encaminados al control y la reducción de los contaminantes atmosféricos.

El Capítulo 3 detalla la cantidad de emisiones generadas de cada contaminante en el territorio estatal. Se incluyen compuestos orgánicos volátiles y amoníaco, además de los contaminantes criterio. Se toman en cuenta las emisiones que provienen de actividades humanas y las que no tienen relación con ellas. Las fuentes fijas (industria), de área (comercios, servicios, hogares) y móviles (vehículos) corresponden a las emisiones generadas por las actividades humanas. Las fuentes naturales, en cambio, son las que emiten los bosques, los cultivos y los suelos, sin relación directa con actividades antropogénicas. El Capítulo desglosa cada fuente en diferentes categorías para poder identificar fácil y rápidamente qué tipo de contaminantes y en qué magnitud se emiten de cada actividad.

Del análisis del inventario, se encuentra que las fuentes de área son responsables de más del ochenta por ciento del material particulado y casi del cien por ciento del amoníaco que se produce en el territorio. Las fuentes

móviles, por su parte, generan más de tres cuartas partes del monóxido de carbono de la región y la mitad de óxido de nitrógeno. Las fuentes fijas aportan casi el cuarenta por ciento de las emisiones de dióxido de azufre y las fuentes naturales contribuyen con la misma proporción en compuestos orgánicos volátiles.

Es importante destacar que la Zona Poblacional de Atlacomulco, que no cuenta con monitoreo atmosférico, genera prácticamente el mismo volumen de partículas suspendidas que la ZMVT, por lo que es prioritario asignar los recursos necesarios para cubrir esa región. Como ya se mencionó, el principal problema del Estado de México, y de la ZMVT en particular, son las partículas suspendidas. Por esta razón, es que una de las medidas críticas implica la ampliación de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico, pues los habitantes de la zona de Atlacomulco presentan relativamente la misma exposición a material particulado que los de la ZMVT, pero no cuentan con un monitoreo para identificar específicamente en qué secciones se debe actuar para reducir los niveles de dichos contaminantes.

En el Capítulo 4 se realiza un análisis profundo de los impactos sobre la salud -mortalidad y morbilidad- que genera la contaminación atmosférica. Se analiza el efecto de cada contaminante de manera independiente, pues las propiedades físicas y químicas de cada uno influyen de manera distinta en el organismo. Derivado de los Capítulos 2 y 3 se observó que hay tres contaminantes a los que se debe dar principal atención debido a su alta concentración en la atmósfera: ozono (O_3), material particulado de 10 micrómetros de diámetro aerodinámico (PM_{10}) y material particulado de 2.5 micrómetros de diámetro aerodinámico ($PM_{2.5}$). Además, los efectos de dichos contaminantes acumulan la mayor parte de los impactos sobre la salud, de acuerdo con otras evaluaciones realizadas tanto a nivel nacional como internacional, y sobre ellos se presenta evidencia epidemiológica más sólida para poder realizar evaluaciones cuantificadas sobre los impactos en la salud.

Como resultado de la Evaluación de Impactos a la Salud se obtuvo que, de cumplir con lo establecido en las NOM, se podrían evitar anualmente 2,212 muertes por $PM_{2.5}$, 1,265 por PM_{10} y 35 por O_3 . Asimismo, se atribuyen 94,098 infecciones respiratorias agudas, 4,356 egresos cardiovasculares y 4,120 egresos respiratorios a la contaminación atmosférica. En términos monetarios, y con base en estándares internacionales, los costos atribuibles a la contaminación del aire ascienden hasta 35 mil millones de pesos; este valor debe interpretarse como la máxima cantidad que la sociedad estaría dispuesta a pagar por reducir la probabilidad de morir. En términos de morbilidad, los costos ascienden a 74 millones de pesos; este valor cuantifica los posibles beneficios directos al sistema de salud, y parcialmente al gasto o ingresos de la población. Es así que se vuelve prioritario informar a la población sobre cómo prevenir los riesgos asociados al mal estado de la calidad del aire en la Entidad.

El Capítulo 5 presenta el diagnóstico sobre la situación actual del proceso de comunicación y educación ambiental en materia de calidad del aire en el Estado de México. Se incluyen los actores involucrados, la descripción de los portales de Internet activos, las acciones realizadas, la percepción ciudadana y el análisis de su desempeño. Se han realizado avances en tema de comunicación y educación ambiental, formal y no formal, en el Estado de México. Sin embargo, aún hay importantes esfuerzos que realizar para que los mexiquenses se encuentren informados y conscientes con respecto a los efectos que la calidad del aire tiene sobre su salud y cómo pueden cuidarse a sí mismos y cuidar el medio ambiente con sus actividades. De manera generalizada, la población está consciente de que las fuentes móviles son una fuente representativa de las emisiones contaminantes, pero no se conocen claramente las afectaciones que pueden tener los compuestos generados por la quema de combustibles en las actividades domésticas.

Para el desarrollo del Capítulo 6 se realizó una evaluación de los resultados obtenidos del diagnóstico en los primeros cinco capítulos y se definieron ocho estrategias principales que regirán las medidas del ProAire: 1) Reducción de emisiones en fuentes móviles, 2) Reducción de emisiones en fuentes fijas, 3) Reducción de emisiones en fuentes de área y naturales, 4) Reducción de emisiones en el sector doméstico, comercial y de servicios, 5) Desarrollo urbano, 6) Protección a la salud, 7) Fortalecimiento institucional y financiamiento y 8) Comunicación y educación ambiental.

Una vez determinadas las medidas y acciones que debería contener cada estrategia, se llevó a cabo un Foro de Participación Ciudadana en donde se contó con la presencia de actores relevantes de los distintos sectores, quienes realizaron aportaciones para adicionar, eliminar o modificar las medidas y acciones propuestas de acuerdo con su experiencia en cada ámbito. Finalmente, tomando en cuenta los resultados del diagnóstico y las aportaciones de los diversos sectores durante el Foro y demás reuniones agendadas entre las dependencias involucradas, se establecieron tres medidas críticas y diez medidas prioritarias que generarán un impacto positivo y significativo en la calidad del aire de los mexiquenses.

Las medidas críticas cuentan con acciones cuya implementación tendrá impactos significativos en la calidad del aire de la Entidad; deberán resolverse en el corto plazo pues son necesarias para satisfacer deficiencias apremiantes presentes en el Estado. Son las siguientes:

1. Implementación de mecanismos de financiamiento y estímulos fiscales para las medidas descritas en el ProAire.
2. Ampliación de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico del Estado de México.
3. Fortalecimiento del programa de autorregulación para el transporte de carga ligera y pesada, así como de pasajeros, que utiliza diésel y circula en el Estado de México.

Las medidas prioritarias siguen a las críticas en orden de importancia. Deben resolverse a la par, en el corto y mediano plazo, con el fin de encaminar al Estado de México a una mejora constante de la calidad del aire. Estas buscan atender deficiencias importantes identificadas durante el diagnóstico y son las siguientes:

1. Fortalecimiento del Programa de Verificación Vehicular Obligatoria (PVVO).
2. Implementación de mejores prácticas, tecnologías para el control de emisiones y acciones de mitigación en fuentes fijas.
3. Fomento de mejores prácticas para la reducción de emisiones en el sector agropecuario.
4. Impulso de tecnologías alternativas, combustibles más limpios y sistemas eficientes de distribución de combustibles en el sector doméstico, comercial y de servicios.
5. Establecimiento de Zonas de Bajas Emisiones en diferentes áreas metropolitanas dentro de la Entidad.
6. Mejoramiento de la vigilancia epidemiológica respecto de padecimientos y enfermedades asociadas a la calidad del aire.
7. Concertación de convenios de coordinación y colaboración entre los tres órdenes de gobierno y otros actores relevantes para la reducción de emisiones contaminantes.
8. Integración, en un único Sistema de Información Geográfica, de los datos relevantes para la gestión de la calidad del aire.
9. Implementación de Programas de Reducción de Emisiones Contaminantes.
10. Promoción de temas relacionados a la calidad del aire dentro de los programas estatales de educación ambiental.

Durante la ejecución de las medidas estipuladas en el presente documento, se contará con la participación de dependencias federales, estatales y municipales, sector privado, academia y población general, siendo las dependencias gubernamentales quienes se encargarán de dar seguimiento puntual a la evaluación del cumplimiento de cada acción establecida.

La instrumentación de estas medidas usualmente requiere de recursos económicos significativos para llevar las estrategias a su éxito. Por ello, el Capítulo 7 permite identificar opciones de financiamiento para la aplicación de las acciones contenidas en el ProAire. Cabe destacar que tanto los fondos externos como los presupuestales tienden a priorizar el gasto de inversión, limitando los recursos disponibles para el gasto corriente o de operación. Por ello, las estrategias de financiamiento priorizan mecanismos que logren mantener las inversiones realizadas en el sector. Se espera que la mayoría de las fuentes de financiamiento provengan del presupuesto local y de recursos autogenerados. Las transferencias federales tendrán un objetivo específico que limitará su aplicación a las medidas del ProAire. Las donaciones internacionales y privadas son inciertas e insuficientes para garantizar el éxito de las estrategias de mejora de la calidad del aire en el Estado de México.

Por último, en el Capítulo 8 se presenta el marco jurídico vigente en materia de calidad del aire y protección a la atmósfera, con el objetivo de encuadrar el sustento jurídico que justifica al ProAire 2018-2030 y las medidas y acciones que propone. Se identifican las áreas de oportunidad en el marco jurídico vigente, considerando los retos actuales de la gestión pública ambiental del Estado de México, y cómo ésta repercute en el problema de calidad del aire. La descripción parte desde la esfera internacional, que se concreta al describir los instrumentos de derecho internacional celebrados por México y que guardan relación con la protección a la atmósfera. De manera posterior, se relatan las disposiciones jurídicas nacionales, partiendo de una breve referencia a las disposiciones relativas a la protección de la contaminación atmosférica tanto en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos como en la Constitución del Estado de México.

El ProAire contiene un total de trece medidas catalogadas en ocho estrategias. Estas abordan aspectos relacionados a la salud humana, un uso más eficiente de la energía, sistemas más limpios para movilidad y transporte, así como la regulación del parque vehicular y el control de las emisiones. Incluyen también el fortalecimiento de las instituciones, de la educación ambiental y los mecanismos de participación social.

INTRODUCCIÓN

El Estado de México es la entidad con mayor población en el país, con más de 16 millones de habitantes. Es tan rico en recursos naturales, como complejo en relación con la gestión ambiental. Goza de tal variedad de climas que es prácticamente imposible catalogar uno dominante. En relación con su topografía ocurre algo semejante, es posible encontrar regiones con altitud de 400 metros y otras con 5,500 metros sobre el nivel del mar. La Entidad también tiene un patrimonio natural y productivo sobresaliente (casi 80% del territorio estatal es suelo no urbanizable), el cual alberga 92 áreas naturales protegidas -el mayor número en el país- y, aun así, concentra tres Zonas Metropolitanas.

Cuenta con 125 municipios de los cuales 75 se encuentran en las Zonas Metropolitanas del Valle de México y de Toluca, regiones en las que se concentra poco más del 85% de la población de la Entidad, así como la mayor parte de las actividades industriales y de servicios. Lo anterior genera, por consecuencia, que éstas tengan concentraciones de contaminantes atmosféricos que rebasan las normas de calidad del aire de ozono y partículas suspendidas. Es decir, la mayor parte de la población habita en el 7.4% del territorio, por lo cual hace relevante que la gestión ambiental en una fracción mínima del territorio tenga el potencial de impactar en la gran mayoría de las familias mexiquenses.

De manera adicional, se observa qué, en las próximas décadas, la población económicamente activa representará un porcentaje de la población cada vez menor; pasará de 67.4% en 2020 a 66.9% en 2030 y puede esperarse que siga decreciendo en las siguientes décadas, principalmente por la reducción en el tamaño de los hogares y por el aumento en la longevidad. Esto tiene dos consecuencias importantes. Por una parte, para mantener el crecimiento económico, la población económicamente activa deberá de ser más eficiente y productiva. Por otra parte, la Entidad deberá prepararse para el envejecimiento de la población; es decir, para una población más vulnerable. Con todo lo anterior, la gestión de la calidad del aire en el Estado de México es vital para asegurar el desarrollo social y económico de la Entidad.

En México, los Programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire (ProAire) orientan, durante un periodo determinado, las políticas públicas en materia de calidad del aire. Estos son instrumentos clave para asegurar el desarrollo de las entidades, ya que integran medidas y acciones para prevenir y revertir las tendencias del deterioro de la calidad del aire, y con ello contribuyen a mejorar la salud de la población, la conservación del medio ambiente y a la conformación de una sociedad más productiva y eficiente.

El ProAire del Estado de México 2018-2030 es un instrumento de gestión ambiental que servirá durante los próximos doce años como guía para las dependencias y ciudadanos en un proceso de mejora continua de la calidad del aire. Es resultado del trabajo conjunto de los tres órdenes de gobierno para reducir las emisiones contaminantes y, de esta manera, mejorar la calidad del aire. Incluye una estrategia integral enfocada en los siguientes aspectos:

- a) La reducción de los dos componentes de emisiones contaminantes más importantes detectados en la Entidad por su magnitud e impacto a la salud o en relación con el deterioro de la calidad del aire. Las mayores concentraciones de contaminantes son de ozono y partículas suspendidas, específicamente en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca y la Zona Metropolitana de Cuautitlán-Texcoco. Además, estos contaminantes son los que repercuten de manera más significativa en la salud de la población, al causar estrés oxidativo -en el caso del ozono- y bioacumulación en los órganos vitales - en el caso de las partículas.
- b) Conformar un proceso participativo que involucre a todas las partes interesadas o que lleven a cabo actividades urbanas e industriales y contribuyan al problema de la contaminación del aire. En las medidas propuestas, detalladas más adelante, se incluye la participación y responsabilidad de 25 dependencias, 14 gubernamentales y 11 no gubernamentales, para la correcta implementación de las acciones necesarias para reducir las emisiones de contaminantes criterio, principalmente en las de mayor dimensión en el Estado que provienen de fuentes móviles y fuentes de área.
- c) Reconocer y definir responsabilidades específicas y mecanismos de trabajo conjunto entre sociedad, sector privado y los tres órdenes de gobierno. Se identificaron tres medidas críticas sin las cuales no sería posible impactar positivamente en la calidad del aire de la región. De estas, dos dependen directamente de que se fortalezcan las instituciones y se aseguren las fuentes de financiamiento necesarias, sobre todo en el gasto corriente que ha mostrado deficiencias en la historia del Estado y la Secretaría. La tercera corresponde a la regulación del transporte que utiliza diésel, ya que cada vez hay mayor cantidad de vehículos en circulación que utilizan este combustible, el cual es responsable de una mayor emisión de compuestos orgánicos volátiles y, por ende, de ozono y partículas suspendidas, que han mostrado ser el principal problema en la región.

- d) Establecer las bases y lineamientos para el seguimiento de compromisos y alcances, la evaluación de resultados y la retroalimentación de los actores que participan en su ejecución. Cada medida propuesta, ya sea crítica o prioritaria, se desarrolló junto con su ficha correspondiente en donde se señalan los indicadores cualitativos y cuantitativos que servirán, tanto a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales como a la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México, a dar seguimiento puntual a la implementación de las acciones comprometidas en el periodo del ProAire de 2018 a 2030. Se determinó a la Secretaría del Medio Ambiente y a las dependencias relacionadas con el transporte y los comercios y servicios como los principales actores responsables debido a que, como se mencionó anteriormente y se detalla a lo largo del diagnóstico, las principales fuentes de emisiones del Estado de México provienen de los vehículos móviles y de la combustión llevada a cabo por las fuentes de área por la quema de leña, carbón y gas L.P. primordialmente.

El documento está integrado por ocho capítulos: 1) Generalidades, 2) Diagnóstico de la Calidad del Aire, 3) Inventario de Emisiones, 4) Impactos sobre la Salud, 5) Participación Ciudadana, Comunicación y Educación Ambiental, 6) Estrategias y Medidas, 7) Opciones de Financiamiento y 8) Fundamento Jurídico. Cada uno de ellos es esencial para la correcta y completa implementación del ProAire, ya que se abarca la problemática de calidad del aire desde todos los niveles y sectores para que, trabajando de manera integral entre las distintas dependencias y actores involucrados, los mexiquenses puedan gozar de una calidad del aire cada vez mejor.

En términos generales, el Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de México 2018-2030, es el instrumento de planeación que orientará la gestión ambiental para fortalecer las acciones en la Entidad, encaminadas a disminuir la concentración de los contaminantes en la atmósfera.

CAPÍTULO

01

GENERALIDADES DEL ESTADO DE MÉXICO

01 GENERALIDADES DEL ESTADO DE MÉXICO

1.1. Delimitación geográfica

Localización y superficie territorial

El Estado de México está ubicado en el centro de la República Mexicana. La mayor parte de su territorio se localiza sobre la meseta de Anáhuac donde se ubica el Valle de México, el Valle de Toluca y parte del Valle de Puebla. Su extensión territorial es de 22,499.95 km², cubriendo aproximadamente 1.14% del total de la superficie del país (GEM, 2008).

El Estado de México es la Entidad con mayor población en el país, con más de 16 millones de habitantes. Cuenta con 125 municipios de los cuales 75 se encuentran en las Zonas Metropolitanas del Valle de Toluca y del Valle de Cuautitlán-Texcoco. Principales zonas en las que se concentra poco más del 85% de la población de la Entidad, así como la mayor parte de las actividades industriales y de servicios.

En el Estado la altitud presenta un amplio rango dependiendo de la zona; la altitud promedio de las cabeceras municipales es de 2320 metros sobre el nivel del mar (msnm). (GEM, 2008).

Mapa 1.1 Ubicación del Estado de México



Fuente: Elaboración propia con información de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (CONABIO, 2012b)

Coordenadas extremas

El Estado de México se encuentra enmarcado por las siguientes coordenadas geográficas:

Tabla 1.1 Coordenadas geográficas extremas

	Máxima	Mínima
Longitud	100°36'46.39" Oeste	98°35'45.36" Oeste
Latitud	20°17'25.52" Norte	18°22'1.42" Norte

Fuente: Elaboración propia con información del Gobierno del Estado de México (GEM) (GEM, 2017b)

Colindancias

Limita al norte con los estados de Querétaro e Hidalgo, al sur con los estados de Morelos y Guerrero, al oeste con el estado de Michoacán y al este con los estados de Tlaxcala y Puebla; y prácticamente rodea a la Ciudad de México.

1.2. Aspectos físicos

1.2.1. Relieve

Descripción del Relieve

En el Estado de México se localizan la Sierra Nevada, el Monte de las Cruces, Monte Alto y las Cumbres Occidentales. La superficie estatal forma parte de las provincias: Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur.

En el suroeste se localiza una sierra conformada por rocas metamórficas, sedimentarias, ígneas intrusivas e ígneas extrusivas o volcánicas. Con un valle ubicado entre serranías, en esta zona se encuentra la altura más baja, en el cañón que ha formado el río San Pedro, la cual corresponde a 400 metros sobre el nivel del mar (msnm).

En el centro se encuentra un lomerío con sierras de origen ígneo extrusivo o volcánico, volcanes de edad geológica cuaternaria y valles; se incluyen las depresiones que dieron origen al lago de Texcoco. Al sureste está la elevación más importante, el volcán Popocatepetl, con 5,500 msnm (GEM, 2017b)

Tabla 1.2 Elevaciones importantes del Estado

Elevaciones	Altitud (msnm)
Volcán Popocatepetl	5,500
Volcán Iztaccíhuatl	5,220
Volcán Nevado de Toluca (Xinantécatl)	4,680
Cerro Tláloc	4,125
Cerro El Mirador	4,120
Cerro Telapón	4,060
Cerro Atlamasha	3,980
Cerro Jocotitlán	3,910
Cerro La Corona	3,780
Cerro La Catedral	3,770

Fuente: *Elaboración propia con información del Gobierno del Estado de México (GEM, 2017b)*

Cabe señalar que el Popocatepetl es un volcán activo, por lo que representa una fuente natural de emisiones contaminantes a la atmósfera, las cuales pueden conllevar riesgos para los ecosistemas y los humanos, especialmente aquellos con alguna enfermedad respiratoria, que se ubiquen en las inmediaciones (INECC, 2013). Dentro de los municipios cercanos afectados se encuentran: Ozumba, Amecameca, Atlautla, Ecatzingo y Tepetlixpa, que pertenecen a la Zona Metropolitana de Cuautitlán-Texcoco (ZMCT).

Además, dada su altura, las elevaciones montañosas actúan como barrera física modificando la circulación de los vientos, los cuales tienden a chocar con las laderas de las montañas y ocasionan efectos de valle y montaña, es decir, la temperatura del aire disminuye y la humedad aumenta, generando así lluvias locales, en formas concentradas o arremolinadas en la temporada más húmeda del año, mientras que en invierno estas disminuyen. En estas zonas, la contaminación atmosférica se vuelve estacionaria en relación con las bajas temperaturas y falta de dispersión, generando inversiones térmicas que incrementan la exposición de la población a los contaminantes atmosféricos (SMAGEM, 2012b).

En el Estado de México se encuentra la Zona Metropolitana de Cuautitlán-Texcoco (ZMCT), que a su vez está dentro del Valle de México, y que posee una serie de características fisiográficas y climáticas únicas que contribuyen de manera determinante en la severidad de los problemas de contaminación de la zona (SEMARNAT, 1996):

- Se encuentra a una altura de más de 2 mil msnm, por lo que tiene un contenido de oxígeno en el aire 23% menor al nivel del mar. Esto hace que los procesos de combustión interna sean menos eficientes y produzcan, por tanto, una mayor cantidad de contaminantes.
- Está rodeado por las montañas de las sierras del Ajusco, Chichinautzin, Nevada, Las Cruces, Guadalupe y Santa Catarina, las que constituyen una barrera física natural para la circulación del viento, impidiendo el desalojo del aire contaminado fuera del Valle.
- Se localiza dentro de la región central del país, por lo cual está sujeto también a la influencia de sistemas anticiclónicos, generados tanto en el Golfo de México como en el Océano Pacífico. Estos sistemas ocasionan una gran estabilidad atmosférica, inhibiendo el mezclado vertical del aire.
- Recibe una abundante radiación solar debido a su latitud de 19° N, lo que hace que su atmósfera sea altamente foto-reactiva. En presencia de la luz solar, los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno reaccionan fácilmente para formar ozono y otros oxidantes.

La Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) está rodeada por sierras y volcanes, entre ellos se encuentran: al suroeste, la Sierra Nevada de Toluca; al este, la Sierra de las Cruces y Sierra de Ocoyotepec; al noreste, la Sierra Monte Alto y al sur, la Sierra Matlazinca. Además, se encuentran algunas elevaciones individuales, entre las que resalta, el volcán Molcajete en la Sierra Morelos, al noreste del municipio de Toluca.

Especialmente el volcán Nevado de Toluca tiene una función decisiva en la dinámica del viento del valle, a partir de los sistemas de baja y alta presión que se generan sobre la región durante el año. En el área de su pie de monte, en el municipio Zinacantepec, existen elevaciones menores como el cerro la Calera y el volcán Gordo, que influyen en la dirección del viento que sopla del sur.

Entre las principales elevaciones de la Sierra de Monte Alto, está el cerro Xeshadi y la Sierra de las Cruces, donde destacan el cerro El Gavilán, y los volcanes cerros: La Palma y La Campana, los cuales conforman una obstrucción considerable para los vientos alisios a su arribo sobre este valle. (SMAGEM, 2012b)

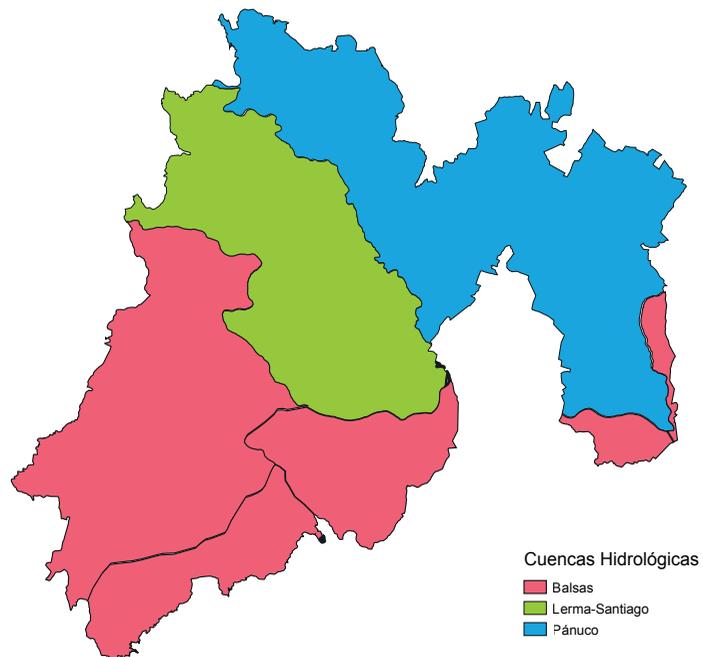
La Zona Metropolitana de Santiago Tianguistenco presenta una planicie con pendientes ligeras en el noroeste cerca de las Ciénegas de Lerma. En el este, sur y sureste se describen elevaciones que van desde los 2,600 hasta los 3,770 msnm. (Ayuntamiento de Tianguistenco, 2014)

La Zona Sur y la parte este de la Zona de Ixtapan de la Sal se encuentran limitadas al norte por la Sierra Madre del Sur, por las subprovincias fisiográficas Depresión del Balsas y Sierras y Valles Guerrerenses, respectivamente.

1.2.2. Hidrografía

El Estado de México forma parte de las tres regiones hidrológicas más importantes del país, tanto por extensión, como por la concentración de población y actividades económicas que presentan: Pánuco que ocupa 33% del total, Lerma-Chapala-Santiago¹ con el 6% y Balsas con 61% (CONAGUA, 2015; GEM,2008).

Mapa 1.2 Cuencas Hidrológicas del Estado de México



Fuente: Elaboración propia con información de CONABIO y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (CONABIO, 2012b; CONAGUA, 2015)

La región del Pánuco cubre la región norte y oriente del Estado, y presenta abundantes recursos naturales, los cuales actualmente se encuentran gravemente afectados, como los lagos de Texcoco y Chalco. En esta región existen tanto corrientes perennes como intermitentes; las principales son: el Río Cuautitlán, localizado al norte de la Ciudad de México; el Río Salado, al norte de la Laguna de Zumpango; los Órganos, situado en los municipios de Tepetlaoxtoc y Otumba, y el Ñadó, situado en la porción noroeste del Estado.

1. También conocida como Lerma-Santiago

La región del Lerma-Chapala-Santiago se localiza en la zona centro occidente del Estado y posee una superficie de 539,545 hectáreas. El Río Lerma nace en el municipio de Almoloya del Río, siguiendo un trayecto de 125 kilómetros, en un curso que se dirige al noroeste predominantemente, hasta el municipio de Temascalcingo. Su cauce sigue por varios estados de la República hasta desembocar, con el nombre de Santiago, en el Océano Pacífico.

La región del Balsas, al sur del territorio, ocupa una superficie de 957,154 hectáreas. Se ubica sobre las áreas de Valle de Bravo y Coatepec Harinas, y en pequeños sectores al oriente del Estado. A diferencia de las otras dos cuencas, ésta se sitúa sobre pequeños valles y terrenos montañosos.

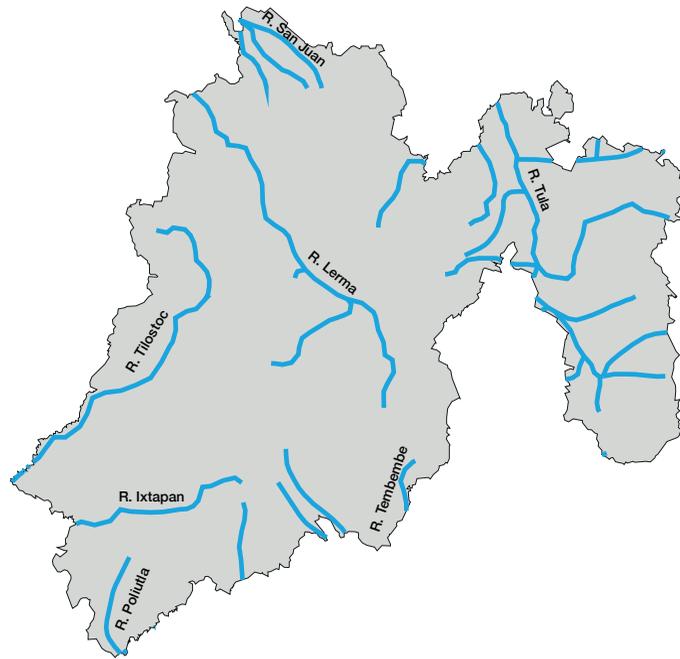
Ríos y Cuerpos de Agua

Tabla 1.3 Ríos y cuerpos de agua del Estado de México

Ríos		Presas	Lagos
Lerma	San Juan del Río	Valle de Bravo	Nabor Carrillo
San Felipe	San Bernardino	Antonio Alzate	Zumpango
La Venta	Los Lobos	Villa Victoria	
Temascaltepec	Ixtapan	Ignacio Ramírez	
La Asunción	Chalma	Huapango	
Sultepec	Zarco	Danxhó	
Pungaranchó	Meyuca	Tepetitlán	
Tejalpa	San Agustín	Guadalupe	

Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (INEGI, 2018b)

Mapa 1.3 Principales ríos del Estado de México



Fuente: Elaboración propia con información de CONABIO
(CONABIO, 2012b)

Los cuerpos de agua poseen un rol importante en su relación con el aire de la atmósfera; la capacidad de absorción gaseosa que representa el agua ayuda a limpiar parte de los contaminantes del aire que se encuentra en la cercanía de estos cuerpos. Dicho fenómeno resulta benéfico desde el punto de vista atmosférico, pero dañino para la calidad del agua y la vida acuática. Además, el agua contaminada fluye y/o se infiltra a través de los suelos, ocasionando que también estos se contaminen. Una vez establecida esta relación, se puede concluir que la contaminación del aire afecta directa e indirectamente a todos los ecosistemas, pues deriva en contaminación de cuerpos de agua y suelos.

El fenómeno descrito en el párrafo anterior tiene lugar debido a que todo sistema tiende a un equilibrio. Si el aire está contaminado, el agua que se encuentra en contacto con ese aire absorberá parte de esos contaminantes, buscando un equilibrio entre ambos sistemas (aire y agua). De igual manera, si se trata de un cuerpo de agua que se encuentra altamente contaminado, como es el caso del Río Lerma, el aire de los alrededores absorberá una fracción de dichos contaminantes para buscar un equilibrio entre ambas concentraciones. De esta manera, la mala calidad del agua afecta directamente a la calidad del aire de la ZMVT.

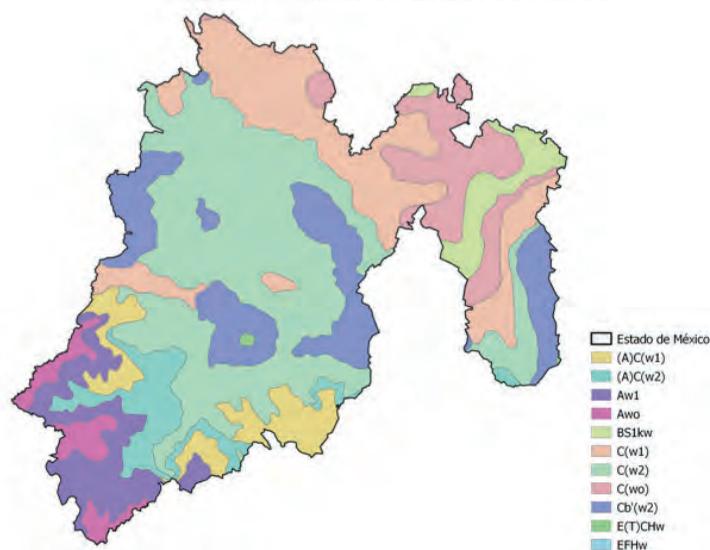
1.2.3. Clima

Tipos de Clima

De acuerdo con la ubicación geográfica del Estado de México, el clima dominante debería ser el tropical; sin embargo, dadas las variaciones del relieve, existe una diversidad de climas en la zona. En el centro y el este del Estado, se encuentra el templado subhúmedo (Cwb) que comprende 61.8% del territorio, localizado en los valles, llanuras y planicies a unos 2,000-2,700 msnm. El clima cálido (Aw) es característico del suroeste de la Entidad y representa 20.8%. En el norte de la Entidad predomina el semiárido templado (BS) y le corresponde 5.7%. Finalmente, los climas frío (EFH) y semifrío (E(T)CH) se localizan en zonas altas y montañosas, como el Nevado de Toluca, Popocatepetl e Iztaccíhuatl, comprendiendo 11.7 % del territorio (SMAGEM, 2010).

En el Estado de México los pueblos de alta montaña que se localizan en torno a las grandes elevaciones del eje neovolcánico transversal, se establecen en zonas con climas semifríos, a altitudes que pueden alcanzar hasta los 3,500 msnm (zonas de vocación forestal donde decrece significativamente la productividad agrícola), y en estrecha relación con bosques de coníferas, principalmente de pino y oyamel (Diana Anastacio-Martínez, Nava-Bernal, & Franco-Maass, 2014). Destacan, por su población mayor a 1000 habitantes y una altitud superior a 3000 msnm, poblados tales como: El Guarda, La Glorieta, La Unidad Huitzilapan, Las Rajas Huitzilapan, Contadero de Matamoros, El Hielo, San José Tejamanil, Ojo de Agua, La Guadalupana, Llano Grande, Dilatada Sur y Salazar (INEGI, 2010b).

Mapa 1.4 Climas del Estado de México



Fuente: Elaboración propia con información de CONABIO
(CONABIO, 2012b)

Tabla 1.4 Descripción de los tipos de clima del Estado de México

Clave	Características
(A)C(w1)	Semicálido subhúmedo del grupo C, lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55
(A)C(w2)	Semicálido subhúmedo del grupo C, lluvias de verano con índice P/T mayor a 55
Aw1	Cálido subhúmedo, precipitación del mes más seco menor de 60 mm, lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55.3
Awo	Cálido subhúmedo, precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm, lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2
BS1kw	Semiárido, templado
C(w1)	Templado, subhúmedo, lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55
C(w2)	Templado, subhúmedo, lluvias de verano con índice P/T mayor de 55
C(wo)	Templado, subhúmedo, lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2
Cb'(w2)	Semifrío, subhúmedo con verano fresco largo
E(T)CHw	Frío
EFHw	Muy frío

Fuente: Elaboración propia con información de CONABIO
(CONABIO, 1998)

Precipitación

Se presentan lluvias en los meses de junio a septiembre, con una precipitación media de 900 milímetros anuales. Durante el verano, las lluvias se ven reforzadas por fenómenos convectivos, es decir son lluvias producidas por el ascenso de aire húmedo y cálido, lo cual da origen a nubes del tipo de cumulonimbus con lluvias intensas.

Al finalizar las primeras lluvias, las temperaturas descienden, generando abundancia de nubosidad y precipitación. Los tipos de nubes característicos en el verano son los cúmulos, estratos, estratocúmulos y cumulonimbus, estos últimos ocasionan fuertes tormentas eléctricas y granizadas, sobre todo en las sierras Nevada, de las Cruces, Nanchititla y el Nevado de Toluca. Es en estas estructuras orográficas y áreas adyacentes donde se presenta la mayor cantidad de lluvia a lo largo del año, mientras que el Valle de México y el Valle de Toluca, al encontrarse entre grandes montañas que obstaculizan el libre paso de humedad, captan de 800 a 900 milímetros anualmente. En 2017, el Estado recibió 865 milímetros de agua; este valor se encuentra 11% por arriba de la media nacional, que es de 782 milímetros (CONAGUA, 2018).

La región más seca es el noreste, donde las lluvias son del orden de 600 a 700 milímetros anuales. Durante el período de lluvia también caen granizadas frecuentes en las zonas montañosas. La frecuencia del granizo en dichas áreas es de 10 a 20 días al año. La menor incidencia corresponde a las áreas bajas del suroeste con menos de dos días al año (SMAGEM, 2010).

La precipitación y su efecto positivo sobre la calidad del aire se debe a que, como se mencionó en el apartado de hidrografía, el agua tiene la capacidad de absorber parte de los contaminantes que se encuentran en el aire. Cuando llueve, las gotas de agua arrastran parte de la contaminación realizando un efecto de lavado de la atmósfera, de manera que los primeros minutos de lluvia son los que arrastran la mayor parte de los contaminantes. De esta manera se puede explicar que, en los meses de lluvia (junio a septiembre), es cuando se presentan las menores concentraciones de contaminantes en la región.

Temperatura

En el Estado de México, la temperatura promedio es de $16.4 \pm 3.2^{\circ}\text{C}$, y corresponde a los climas templados. El verano es caluroso pues presenta temperaturas por arriba de los 22°C , siendo el mes más cálido julio con 29.1°C ; en cambio, el invierno es frío, especialmente durante enero, cuando se presentan temperaturas promedio de 8°C . Diversos factores afectan la temperatura de una zona a otra y en general se puede observar que la temperatura sigue cierto gradiente altitudinal: las temperaturas más bajas ($< 11^{\circ}\text{C}$) se distribuyen en las altitudes mayores, en las que se presenta vegetación de bosque templado; mientras que las temperaturas mayores ($> 19.1^{\circ}\text{C}$) se distribuyen en las zonas más planas localizadas en la depresión del Balsas y asociadas principalmente a la vegetación de selva baja caducifolia (GEM, 2017b).

La temperatura está intrínsecamente relacionada con la calidad del aire de la región debido a que, a menor temperatura, los contaminantes poseen menor energía cinética para transportarse libremente, ocasionando una densificación del aire y una dispersión limitada de los contaminantes. Esto, sumado al fenómeno de inversión térmica que se intensifica en invierno, cuando se presentan las menores temperaturas del año, es causa directa de que en los meses más fríos se presente la mayor concentración de contaminantes en el aire.

Presión atmosférica

En el Estado de México se encuentran estaciones meteorológicas automáticas con las cuales se realizan las mediciones de presión a lo largo del Estado. Las estaciones se encuentran en las zonas del Nevado de Toluca, Altzomoni, Cerro Catedral, Parque Izta-Popo, Lagunas de Zempoala, Atlacomulco, Valle de Bravo, Presa Madín y Cemcas; e indican un rango de presión para el Estado de 627 a 782 milibares. La presión más baja se encuentra en el Nevado de Toluca con 627 milibares en promedio, y la más alta en Cemcas con 782 en promedio. El Estado presenta una presión atmosférica en un rango de 12-30% por debajo del promedio nacional (Gobierno de la República, 2017).

Todas las zonas poblacionales del Estado de México se encuentran a una altura de más de 1,800 msnm, por lo que tienen una presión atmosférica 22-38% menor que la presión estándar. Además, su contenido de oxígeno en el aire es 23% menor al del nivel del mar, ocasionando que los procesos de combustión interna sean menos eficientes y produzcan, por tanto, una mayor cantidad de contaminantes atmosféricos (SEMARNAT, 1996). Esto se puede explicar, ya que cuando se realiza la combustión en altura, se requiere una cantidad mayor de aire con relación a la necesaria en condiciones estándar, lo que incrementa el contenido de óxidos de nitrógeno en los gases de combustión.

Humedad Relativa

La humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica; la humedad relativa se expresa en porcentaje. El contenido de agua en la atmósfera depende enormemente de la temperatura. Cuanto más caliente está una masa de aire, mayor es la cantidad de vapor de agua que puede retener. En contrapartida, a temperaturas bajas el aire puede almacenar menos vapor de agua. Por ello, los valores más bajos se presentan en la época seca fría, entre los meses de noviembre a marzo; y los valores más altos se presentan en junio, julio y agosto, que suelen ser los meses más cálidos.

Las estaciones meteorológicas mencionadas previamente también arrojan información sobre la humedad relativa a lo largo del Estado, la cual se suele encontrar en un rango de 57.3 a 80.4%. La humedad relativa más baja se encuentra en Presa Madín con 57.3% en promedio, y la más alta en Lagunas de Zempoala con 80.4% en promedio (Gobierno de la República, 2017).

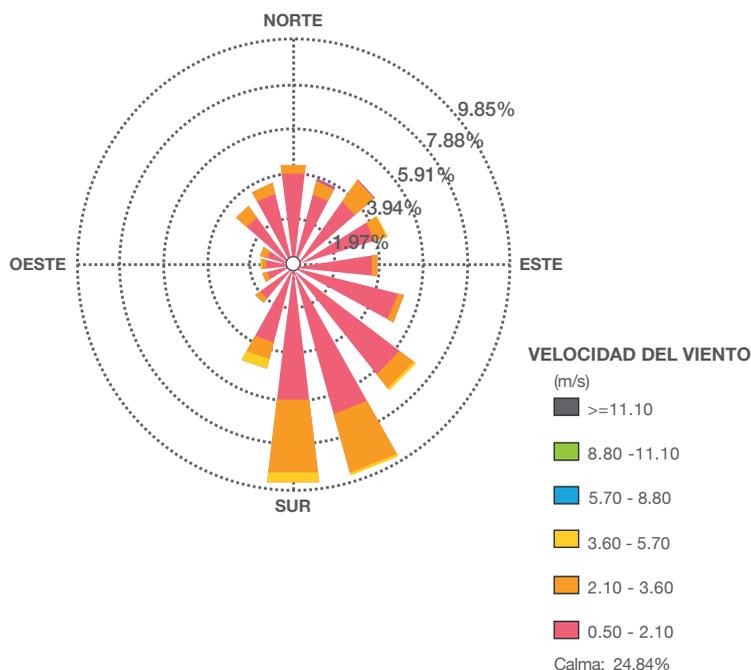
Vientos

En la ZMVT los vientos provienen predominantemente del sur y sureste, lo que favorece el transporte de los contaminantes hacia la región norte, provocando que esta área se vea afectada por el desplazamiento y el transporte de contaminantes generados en otras zonas. Por esta razón, en los años de monitoreo de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), la zona norte ha presentado las concentraciones de ozono más elevadas (SEMARNAT, 1996).

Invierno. El viento sopla de sur a norte con una pequeña curvatura en el sentido de las manecillas del reloj. Por ello, las poblaciones que se encuentran al norte son afectadas por las emisiones a la atmósfera de la principal zona industrial localizada en el municipio de Toluca.

Verano. La dirección del viento parte del sur dirigiéndose al noroeste con una curvatura más pronunciada en el sentido de las manecillas del reloj. De esta forma, el viento puede transportar los contaminantes de la zona industrial de Lerma hacia la parte noreste de la Ciudad de Toluca.

Gráfica 1.1 Rosa de los vientos más representativa de ZMVT 2015-2017 (Estación San Mateo Atenco)



Fuente: Proporcionado por la RAMA
(RAMA, 2018)

Para la ZMCT existe otro factor importante. El flujo de viento en los niveles medios y altos de la tropósfera (de cinco mil a quince mil metros de altura, aproximadamente) ejerce su influencia al regir el patrón del viento. La configuración de los vientos en altura provoca cierto comportamiento del viento en los niveles bajos, que no presenta un flujo raso de trayectorias rectas o de poca curvatura cuando fluye dentro de la zona, sino más bien se provoca turbulencia debido a la rugosidad del terreno (edificios, árboles, fuentes de calor internas, calentamiento de la superficie terrestre por radiación y demás obstáculos que se puedan encontrar en la zona urbana). Esto provoca que se formen vórtices o remolinos del viento con giro ciclónico o anticiclónico, trayectorias convergentes y trayectorias divergentes del flujo, según sea el caso. En general, el comportamiento de la velocidad del viento en el año tiende a disminuir en el transcurso del día mientras que aumenta gradualmente al final de la jornada. En cuanto a la dirección del viento, esta tiende a ser muy variable en los diferentes puntos del Valle de México.

En la Tabla 1.5 se presenta un resumen sobre la velocidad y dirección del viento a lo largo del año en las distintas zonas poblacionales del Estado de México:

Tabla 1.5 Características de los vientos²

Zona Poblacional	Vientos más fuertes			Vientos más calmados		
	Fecha	Velocidad (km/h)	Origen	Fecha	Velocidad (km/h)	Origen
Toluca	5 enero al 2 de mayo	7	Oeste	2 mayo al 5 enero	5.5	Este
Cuautitlán- Texcoco	20 enero al 25 abril	9	Oeste	25 abril al 20 enero	7	Este
Ixtapan de la Sal	5 enero al 10 mayo	7.5	Oeste	10 mayo al 5 de enero	6.3	Este
Atacomulco	29 enero al 24 abril	9.7	Oeste	24 abril al 29 enero	8.5	Este
Santiago Tianguis- tenco	2 enero al 1 mayo	6.8	Oeste	1 de mayo al 2 enero	5.4	Noreste
Zona Sur	18 febrero al 11 junio	7.3	Este	11 junio al 18 febrero	5.9	Sur

2. Se tomó un municipio representativo por zona poblacional: Toluca, Cuautitlán Izcalli, Ixtapan de la Sal, Atacomulco, Santiago Tianguistenco y Luvianos, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia con información de Weatherspark
(Weatherspark, 2018)

Elementos que determinan el clima

Las condiciones climáticas se ven afectadas directamente por la contaminación atmosférica, ocasionando cambios en los fenómenos meteorológicos. En la última década se ha demostrado que los contaminantes suspendidos en la atmósfera ocasionan formaciones de nubes atmosféricas color café (ABCs, por sus siglas en inglés), las cuales interceptan la luz, absorbiéndola y reflejándola. Dicho fenómeno tiene un efecto de enfriamiento superficial, el cual disminuye la velocidad de evaporación del agua de la superficie, ralentizando el ciclo hidrológico. Por otro lado, la absorción de radiación solar del carbono negro y el material particulado aumenta el calentamiento atmosférico y tiende a amplificar el efecto invernadero (Ramanathan & Feng, 2009).

Por su parte, el Valle de Toluca presenta una ventilación favorecida la mayor parte del año, debido a que no se presentan barreras naturales importantes que impidan la circulación del viento. Sin embargo, se ha detectado que cuando un sistema anticiclónico afecta a la República Mexicana, se propician vientos débiles desde la superficie hasta las capas más alejadas, por lo que el viento no logra aumentar su velocidad en la superficie de forma oportuna y los contaminantes precursores de ozono se estancan, lo que, aunado a los altos índices de radiación solar que se presentan en los días despejados sobre la región, ocasiona que se rebasen las normas establecidas para los contaminantes. Esta situación se relaciona en forma simultánea con episodios de alta contaminación en la ZMCT y puede perdurar por varios días.

1.2.4. Uso de suelo y vegetación

Uso de suelo

Los usos no urbanizables ocupan una superficie de 1,781,909 hectáreas, representando el 79.2% del territorio estatal. Entre estos, los usos agropecuario y forestal abarcan alrededor de tres cuartas partes del Estado. La superficie urbana actual abarca 8% de la superficie estatal (INEGI, 2017b).

Vegetación

En el territorio estatal hay 5 tipos de vegetación: bosques de clima templado y frío, selva baja caducifolia, matorral, pastizal y vegetación acuática. Los bosques cubren 465,248 hectáreas, que representan el 19% de la superficie estatal, donde prevalecen los bosques de oyamel, pino, encino y táscate. La mayor concentración y diversidad de los bosques de clima templado y frío, se encuentran en la cuenca del Río Balsas y en las partes altas de las montañas (Sierras de Monte Alto, de las Cruces,

Nevada y Nevado de Toluca). Por otro lado, 21,882 hectáreas son selva (1%), las cuales se localizan al sur del Estado. La selva baja caducifolia, se localiza en las laderas de los cerros cuyas altitudes son menores a los 1,700 metros sobre el nivel del mar, en los ambientes cálidos de la región hidrológica del Balsas (INEGI, 2017b).

- El bosque de pino se caracteriza por la presencia de especies del género *Pinus sp.* en un porcentaje mayor del 80%. Se ubica principalmente en las regiones montañosas con temperatura media anual entre los 10° y 18 °C. La mayoría de las especies tiene afinidad con climas templados, fríos y subhúmedos, así como suelos ácidos y medianamente profundos.
- El bosque de oyamel presenta casi exclusivamente individuos de oyamel (*Abies religiosa*), a una altitud entre 2,500 y 3,600 msnm en climas húmedos con temperatura entre 7° y 15°C y una precipitación media anual de 1,000 milímetros. Este bosque se puede hallar en forma de manchones aislados restringidos a una ladera, cañada o cerro.
- El bosque de encino se localiza en áreas de clima templado frío y subhúmedo. Presenta la misma distribución que el bosque de pino, pero en zonas más bajas. Las especies dominantes son: *Quercus rugosa*, *Q. macrophylla*, *Q. crassipes*, *Q. elliptica*, *Q. acutifolia* y *Q. castanea*. Dicha vegetación no tolera deficiencias de drenaje, escasa precipitación ni alta oscilación térmica. Se desarrolla en suelos de reacción ácida moderada (pH 5.5 a 6.5).
- El bosque mixto incluye las comunidades de los géneros *Pinus*, *Quercus* y *Abies*. Se distribuye en casi todas las sierras del Estado, en áreas con altitudes similares al bosque de pino. (SMAGEM, 2012a).

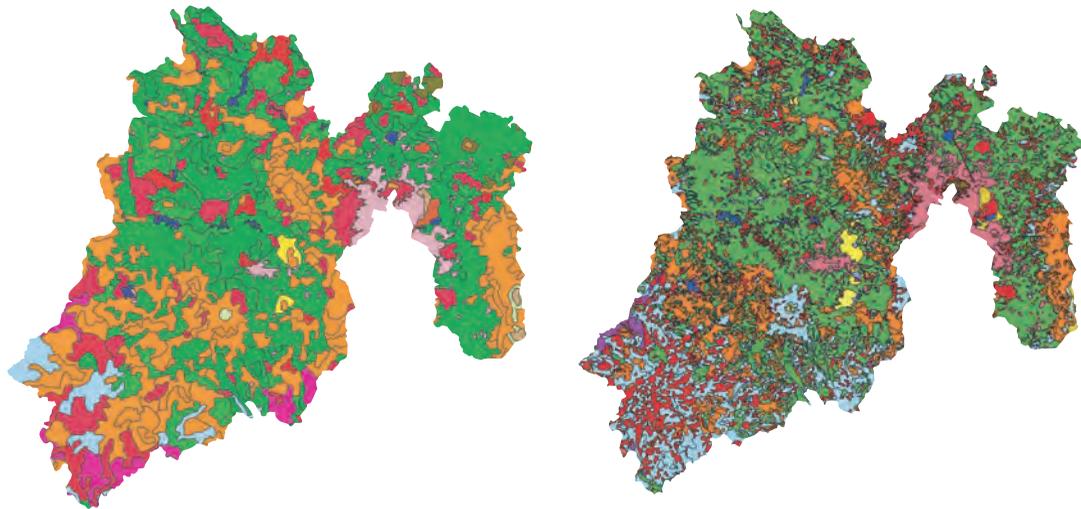
Los matorrales y pastizales semiáridos se localizan en el norte de la Entidad, mientras el pastizal de alta montaña se presenta en altitudes mayores a los 3,600 metros sobre el nivel del mar. En su totalidad, estos grupos ocupan el 14% del territorio estatal (INEGI, 2017b).

- El matorral xerófilo se desarrolla en climas semisecos, del cual se distinguen dos variantes: los matorrales crasicaules (especies de tallos carnosos o espinosos), y los matorrales inermes (arbustos dominantes sin espinas).
- El pastizal halófilo está compuesto por comunidades vegetales herbáceas y arbustivas, que se desarrollan sobre suelos con altos contenidos de sales, en las orillas de algunos lagos o lagunas. Son comunes las asociaciones de *Distichlis spicata* (zacate salado) con *Atriplex muricata* (romerillo) y *Suaeda nigra* (romerito) (SMAGEM, 2012a).

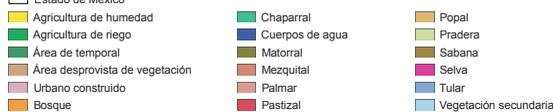
Mapa 1.5 Uso de Suelo y Vegetación del Estado de México

(año 2003)

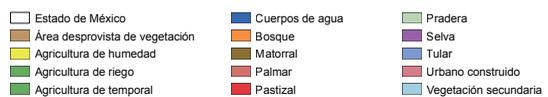
(año 2016)



Usos de suelo



Usos de suelo



Fuente: Elaboración propia con información de INEGI (INEGI, 2017b)

En el Mapa 1.5 se puede observar el uso de suelo y vegetación del Estado de México para los años 2003 y 2016, el cual ha presentado diversos cambios. A continuación, se enlistan los principales cambios en el uso de suelo estatal para los 13 años considerados:

Tabla 1.6 Cambio en uso de suelo

Uso de suelo	Territorio estatal (2003)	Territorio estatal (2016)	Cambio
Área desprovista de vegetación	0.17%	0.02%	Disminución de 85%
Agricultura de humedad	0.25%	0.47%	Aumento de 89%
Selva	3.41%	0.55%	Disminución de 84%
Urbano construido	3.13%	5.22%	Aumento de 67%

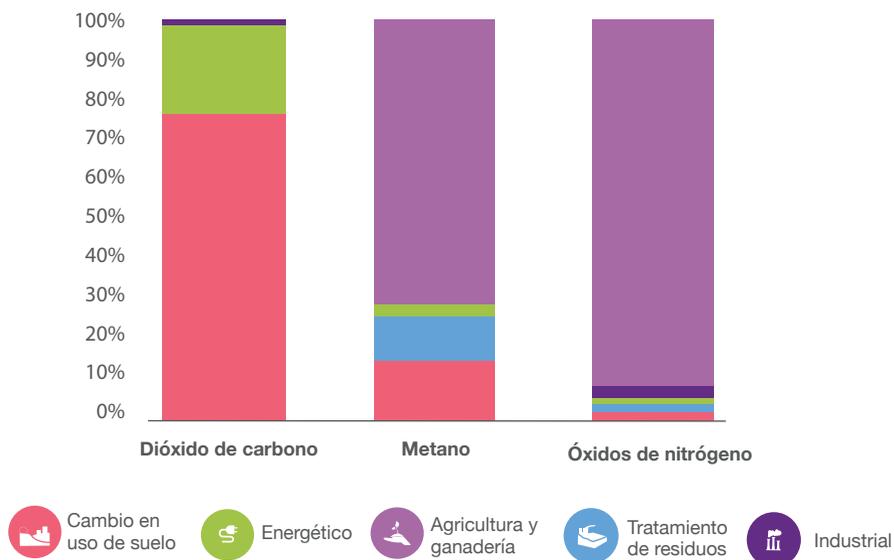
Fuente: Elaboración propia con información de INEGI
(INEGI, 2017b)

Con respecto al área urbana construida es importante mencionar que, mientras ésta creció un 67% de 2003 a 2016, la población del Estado creció únicamente 18% en ese mismo periodo (INEGI, 2015). El cambio en uso de suelo representa diferentes beneficios y perjuicios; las crecientes concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO_2) conducen a una mayor densidad de vegetación a través de la fertilización con CO_2 , lo que aumenta las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV). También se ha demostrado que la exposición al CO_2 atmosférico elevado inhibe directamente la producción de isopreno (un tipo de COV) en plantas. En general, se estima que estas disminuciones en las emisiones de isopreno producen una disminución del 4% en la carga troposférica de O_3 , con cambios en la superficie local de O_3 entre ± 10 partes por billón (ppb). También se ha demostrado que las emisiones de monoterpenos (un tipo de COV) se inhiben cuando se exponen a CO_2 elevado, pero este efecto y sus impactos en la calidad del aire aún no se han investigado. A través de un proceso conocido como deposición seca, que se refiere a la transferencia de contaminantes gaseosos o material particulado hacia la superficie terrestre, incluida la superficie vegetal, se elimina alrededor del 20% del ozono de la tropósfera, por lo que el cambio de uso de suelo que conlleva una disminución en la cobertura vegetal juega un papel importante en el control de la calidad del aire por remoción directa de ozono (Heald & Spracklen, 2015).

El cambio en el uso de suelo también altera las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) en el suelo a través de cambios en el tipo de vegetación (deforestación, forestación, etc.) o el uso de fertilizantes; por lo que el incremento en el uso de suelo agrícola impacta directamente en la producción de óxidos de nitrógeno y amoníaco por el mayor uso de fertilizantes en la región.

La conversión de bosques nativos en áreas agrícolas, especialmente en pastizales, se encuentra asociada con la quema de biomasa y la emisión de contaminantes atmosféricos con efectos globales y locales.

Gráfica 1.2 Fuentes de contaminación atmosférica
(América Latina)



Fuente: Kozovits, Alessandra R.; Bustamante, Mercedes M.C.
(Kozovits & Bustamante, 2013)

En la gráfica anterior se presenta la contribución de las principales fuentes a tres contaminantes atmosféricos según su generación en América Latina. En ella se puede observar que el cambio en uso de suelo es responsable de casi el 80% de las emisiones de CO_2 , 15% de las emisiones de CH_4 y 3% de las emisiones de NO_x . Además, gran parte del cambio en uso de suelo se debe a la conversión del mismo para fines agrícolas, por lo que indirectamente el cambio en uso de suelo también contribuye con una fracción de las emisiones de agricultura y ganadería.

Edafología

A continuación, se enlistan los principales tipos de suelo que se pueden encontrar en el territorio del Estado de México, de acuerdo con la clasificación de suelos de la FAO, publicada en el 2006.

Tabla 1.7 Edafología más relevante del Estado de México

Tipos de Suelos WRB 2006	Simbología	Superficie (km ²)
Andosoles	AN	4,799.08
Feozems	PH	4,727.18
Regosoles	RG	2,656.83
Vertisoles	VR	2,414.85
Cambisoles	CM	1,960.47
Leptosoles	LP	1,749.68
Luvisoles	LV	1,469.05

Fuente: Ruíz-Sotelo, Erasto; González-Hernández, Antonio; Cruz-Bello, Gustavo;
Moreno Sánchez, Francisco; Cruz-Cárdenas, Gustavo
(Ruíz-Sotelo, González-Hernández, Cruz-Bello, Moreno Sánchez, & Cruz-Cárdenas, 2010)

Los suelos de tipo feozem, caracterizados por su aptitud para la agricultura, se localizan principalmente en los Valles de Toluca y Cuautitlán-Texcoco. Los suelos andosol, los cuales se derivan de cenizas volcánicas, son susceptibles a erosionarse y poco aptos para uso agrícola; se ubican en zonas volcánicas como las sierras de Monte Alto, las Cruces, Nevado de Toluca y Valle de Bravo (IEECC, 2014).

Existe una correlación entre la volatilización de pesticidas y el contenido de humedad del suelo; por lo tanto, aquellos suelos que sean más propensos a retener humedad también liberarán a la atmósfera de manera más fácil los plaguicidas que sean aplicados en la superficie (Wolters et al., 2003). La temperatura ambiental es otro factor determinante en la volatilización de pesticidas del sustrato, pues a mayor temperatura, se espera una mayor volatilidad. Los andosoles, el tipo de suelo con mayor distribución en el Estado de México, se caracterizan por presentar una alta capacidad de retención de agua, por lo que el tipo de suelo de la región podría estar contribuyendo en cierta medida a la volatilización de pesticidas hacia la atmósfera (Chesworth, 2008).

Erosión

Aproximadamente el 30% del territorio del Estado de México presenta afectaciones por erosión, tanto hídrica como eólica. Este fenómeno se ha manifestado principalmente en los lomeríos y las sierras debido a su relieve irregular, sobre todo porque el 76% del territorio estatal cuenta con estas características topográficas. Además, los tipos de suelo de mayor abundancia en la Entidad corresponden a feozem, andosol, regosol y vertisol, los cuales se caracterizan por su susceptibilidad a erosionarse. (SMAGEM, 2007)

La erosión es un proceso natural que se ha visto acelerado en las últimas décadas tanto por actividades antropogénicas que se llevan a cabo en el Estado, como la deforestación, las quemas agrícolas y eventos naturales, tales como los incendios forestales. Por lo anterior, con las corrientes de viento generadas en la región se favorece la suspensión y generación de partículas de diámetro aerodinámico menor a 10 micrómetros (PM_{10}), las cuales impactan directamente en la calidad del aire en zonas urbanas y agrícolas y, a su vez, en la salud de la población mexiquense. (SMAGEM, 2008)

1.2.5. Biodiversidad

Existe un registro de 6,104 especies de flora comprendidas en 1,708 géneros y 281 familias. Noventa y siete especies se encuentran catalogadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010. De estas, 46 se encuentran en la categoría de protección especial, 34 en la categoría de amenazadas y 17 en peligro de extinción. Treinta y una especies son endémicas (GEM, 2017b).

Se recopiló un registro de 830 especies de anfibios y reptiles, agrupadas en 118 familias y 430 géneros. En el caso de reptiles se tienen registradas 60 especies endémicas, mientras que para los anfibios se presentan 29 especies. Cuarenta y nueve especies de reptiles se encuentran dentro de alguna categoría de riesgo, mientras que el número para anfibios es de 34 (GEM, 2017b).

En el Estado de México se tienen registradas 134 especies y 2 subespecies de mamíferos, distribuidas en 8 órdenes, 20 familias y 77 géneros, correspondiente al 23.7% de la mastofauna total de México; lo anterior indica que la Entidad ocupa los primeros lugares en cuanto a riqueza mastofaunística a nivel nacional. Se reporta la presencia de 21 especies, así como una subespecie con categoría de endémicas, mientras que 24 especies se encuentran bajo alguna categoría de riesgo ya sea tanto a nivel nacional o internacional (GEM, 2017b).

En lo que respecta a la ornitofauna, se tienen datos de 535 especies y 30 subespecies de aves, que pertenecen a 20 órdenes, 70 familias y 292 géneros. Este número de especies representa el 47 % del total de especies registradas a nivel nacional (GEM, 2017b).

1.2.6. Áreas Naturales Protegidas (ANP)

Clasificación de acuerdo con competencia y categorías de Áreas Naturales Protegidas

El Estado de México cuenta con 92 Áreas Naturales Protegidas; es la entidad con el mayor número en el país. Suman un total de 1,006,913

hectáreas, que representan aproximadamente el 44.77% del territorio estatal. A la fecha, se tienen 36 Programas de Conservación y Manejo publicados, los que representan una superficie de 565,391 hectáreas, equivalente al 57.24% de la superficie protegida (CEPANAF, 2017).

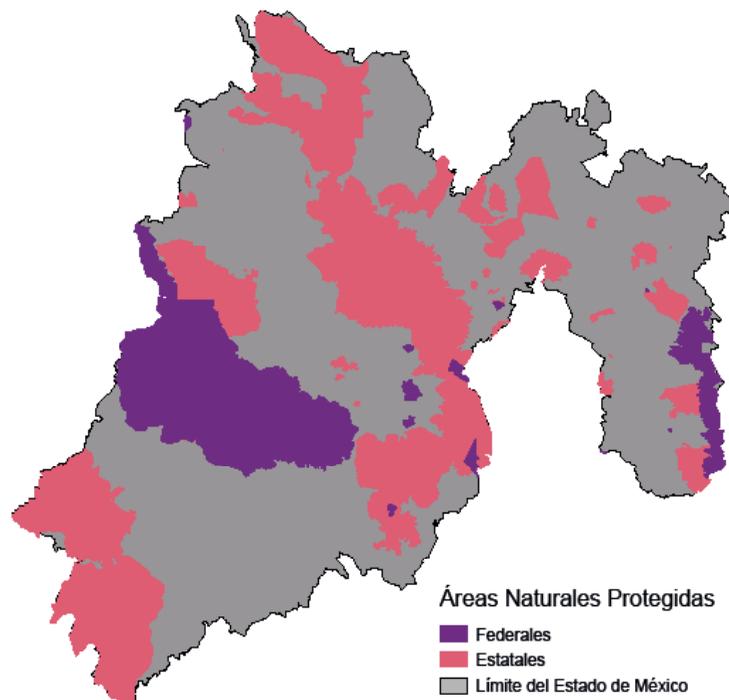
Entre otras consecuencias, se reconoce que el cambio de uso de suelo puede llegar a tener efectos negativos sobre algunos elementos atmosféricos del ciclo hidrológico, como la evapotranspiración, la precipitación y las temperaturas superficiales; además puede alterar profundamente los patrones de clima regional. Dichos elementos tienen una influencia directa en la calidad atmosférica regional, por lo que la protección de dichas áreas se torna de suma relevancia (Galicia, 2014). La cobertura arbórea contribuye a la remoción de partículas suspendidas en el aire, ya sea absorbiéndolas o reteniéndolas. La vegetación ayuda a remover contaminación del aire mediante absorción a través de los estomas foliares o retención en la superficie de la planta. (Nowak, Crane, & Stevens, 2006).

Tabla 1.8 Categoría de ANP

	Categoría	Número	Superficie (ha)
Competencia Federal	Parques Nacionales	9	46,146.09
	Reservas Ecológicas Federales	1	22,162.66
	Áreas de Protección de Flora y Fauna	3	59,583.60
	Área de Protección de Recursos Naturales	1	140,194.95
Competencia Estatal	Parques Estatales	53	594,819.44
	Parques Municipales	4	902.69
	Reservas Ecológicas Estatales	12	122,807.75
	Parques Urbanos	6	200.57
	Parques sin decreto	8	679.44
	Total	97	987,497.19

Fuente: Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna (CEPANAF) (CEPANAF, 2017)

Mapa 1.6 Áreas Naturales Protegidas



Fuente: Elaboración propia con información de la CONABIO y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (CONABIO, 2010) (CONANP, 2018)

1.2.7. Cuencas atmosféricas

Las cuencas atmosféricas son espacios geográficos que se encuentran delimitados, total o parcialmente, por atributos naturales como elevaciones montañosas o demás obstáculos topográficos. Dentro de ellas se modifica la circulación general del aire sobre la superficie, además de que la calidad del aire se encuentra influenciada por fuentes de emisión naturales y antropogénicas al interior de estas. Según la división nacional de cuencas atmosféricas, el territorio del Estado cuenta con dos (Valle de México y Toluca), de las cuales una (Valle de México) se comparte con la Ciudad de México. A nivel estatal se han definido 16 cuencas atmosféricas con características propias que las hacen diferentes entre sí, las cuales se muestran en la Tabla 1.9.

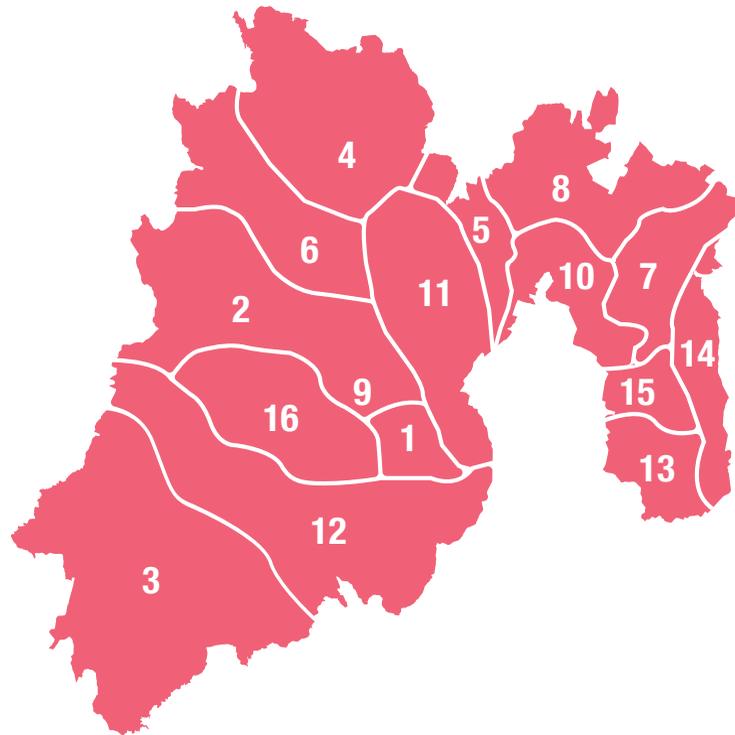
Tabla 1.9 Cuencas atmosféricas sobre el Estado de México

Cuenca Atmosférica	Superficie Cuenca Atmosférica (km ²)	Altitud (msnm)		Temperatura promedio mensual		Dirección predominante de viento, según época del año		
		Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Época fría	Época seca	Época de lluvia
1. Del Alto Lerma	425.7	2500	3000	12	14	SO, con vientos polares N y NE	SE	SE
2. Del Medio y Bajo Lerma	2,195.9	2500	3500	10	17	SO, con vientos polares N y NE	SE	SE
3. Del Suroeste	3,866.0	400	2500	19	26	NE	NE	NE
4. Del Valle Atlacomulco	2,286.1	2200	3300	13	16	E, con vientos polares N y NE	E - SE	E - SE
5. Del Valle Cuautitlán	539.0	2200	2900	14	15	SO, con vientos polares N y NE	E - NE	E - NE
6. Del Valle de Ixtlahuaca	1,473.9	2300	3800	13	15	SO, con vientos polares N y NE	E - SE	E - SE
7. Del Valle Texcoco	965.5	2200	3000	14	16	SE, con vientos polares N y NE	SE - E	E
8. Del Valle Zumpango	1,449.9	2200	3000	15	16	SE, con vientos polares N y NE	E	E - NE
9. Metropolitana de Toluca	328.6	2500	2800	12	13	SO, con vientos polares N y NE; frecuentes periodos de atmósfera estable	SE	SE

10. Metropolitana Valle de México	773.7	2200	2900	15	16	SE, con vientos polares N y NE, frecuentes periodos de atmósfera estable	NE	NE
11. Monte Alto - Cruces	1,855.0	2500	3700	10	13	Flanco E: dirección O, Flanco O: dirección E	Flanco E: dirección E, Flanco O: dirección O	Flanco E: dirección E - NE, Flanco O: dirección E
12. Ocuilan - Valle de Bravo	3,004.9	1200	3000	10	21	NE	E - SE	E - SE
13. Oriental del Balsas	492.8	1800	3000	13	15	NE	NE	NE
14. Popo - Izta	1,064.3	2400	5200	4	14	E	O	E
15. Valle del Izta	371.6	2200	2600	13	15	E - NE	E	E
16. Xinantecátl	1,406.7	2200	4400	5	17	Flanco NE: dirección SO, Flanco SO: dirección NE	Flanco NE: dirección SO, Flanco SO: dirección NE	Flanco NE: dirección E - NE, Flanco SO: dirección E - SE

Fuente: Elaboración propia con información de la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica (DGPCCA) (DGPCCA, 2007)

Mapa 1.7 Cuencas Atmosféricas



Fuente: Elaboración propia con información de DGPCCA
(DGPCCA, 2007)

El estudio de las cuencas atmosféricas ayuda a comprender la trayectoria que pueden tomar los contaminantes al desplazarse por las regiones del Estado, dependiendo de diversos fenómenos naturales y antropogénicos, así como de la temporada del año. Como ejemplo se puede mencionar la actividad volcánica del Popocatepetl que, como se indicó anteriormente en este capítulo, es responsable de la emisión de diversos contaminantes a la atmósfera que pueden afectar a las zonas urbanas a su alrededor, pues la composición de las cenizas es dañina para los seres vivos (Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM, 2016).

A través de diversos estudios, en donde se han establecido los movimientos de los vientos, se han podido inferir los siguientes patrones de intercambio de masas de aire entre las cuencas atmosféricas de la Megalópolis (SEMARNAT, 2017):

- La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) exporta partículas hacia el norte (Estado de México) entre enero y marzo, y hacia el este del Estado de México en el Valle de Toluca de septiembre a diciembre.

- Toluca exporta hacia Zumpango y Ciudad de México en septiembre-diciembre, hacia el oeste del Ajusco.
- Cuernavaca-Cuautla exportan de enero a abril y en noviembre hacia la ZMVM a través de la Sierra del Chichinautzin y el Paso de Tenango del Aire, y de mayo a octubre hacia el Valle de Toluca a través del Paso de Tenango del Valle.
- Pachuca exporta hacia el este del Estado de México, a través del corredor Texcoco-Amecameca y Ozumba, principalmente entre junio y diciembre.

1.2.8. Incendios forestales

El Estado de México se encuentra en el primer lugar del país con 1,380 incendios forestales (21% de los incendios totales a nivel nacional) con una superficie afectada de 7,812 hectáreas (1.7% del área afectada total nacional) en el primer semestre del 2018 (Probosque, 2018). El 29% de sus municipios cuenta con una alta incidencia de incendios forestales (20 o más incendios en 2018) El Estado cuenta con la mayor incidencia de incendios forestales en el país, pero se encuentra, en promedio, en el decimosegundo lugar en superficie afectada, con 91% menos hectáreas dañadas que Jalisco, quien encabeza la lista (CONAFOR, 2016).

Aun estando en el primer lugar de cantidad de incendios forestales, el Estado de México ha aumentado su eficiencia para combatirlos, disminuyendo en 32% en los últimos años la superficie afectada por cada incendio ocurrido (Probosque, 2018).

Ya sean ocasionados por actividades humanas, o por fenómenos naturales (por ejemplo, por rayos eléctricos), los incendios forestales representan una fuente de material particulado proveniente del humo de la madera. Estos incendios pueden impactar significativamente la calidad local del aire, la visibilidad y la salud de la población; las emisiones pueden desplazarse largas distancias, produciendo afectaciones en las poblaciones a su paso. Dentro de los contaminantes emitidos durante las deflagraciones se encuentran: material particulado, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, mercurio atmosférico, precursores de ozono y compuestos orgánicos volátiles (Gobierno de la Columbia Británica, 2018).

La contaminación del aire aumenta debido a las emisiones directas de los incendios o por las especies traza que se generan en la atmósfera a partir de estas emisiones directas a través de reacciones químicas o modificaciones microfísicas. La combustión de la vegetación libera a la atmósfera cantidades significativas de contaminantes en forma de gas y partículas. Los productos dominantes de cualquier proceso de combustión que involucre material orgánico son dióxido de carbono y agua. La fracción dominante de las emisiones de incendios forestales se libera como carbono, donde CO₂ y CO son responsables de alrededor del

90-95% del carbono total emitido. La mayor parte del carbono restante está compuesto de gas metano y otros compuestos orgánicos volátiles. Menos del 5% del carbono se emite en forma de partículas.

La combustión incompleta en los incendios forestales da como resultado la emisión de numerosos compuestos adicionales. Según el tipo de incendio y las condiciones de combustión, entre aproximadamente el 5 y el 10% de la masa de partículas emitidas se puede atribuir al carbono negro. Se han identificado compuestos traza gaseosos (por ejemplo, acetonitrilo) y particulados (por ejemplo, levoglucosan) como marcadores de emisiones de incendios forestales, debido a su largo tiempo de residencia atmosférica y la gran contribución de la combustión de biomasa a sus presupuestos atmosféricos (Duncan, Textor, & Werf, 2009).

1.2.9. Residuos sólidos urbanos

En el Estado de México, de los 76 sitios de disposición final (SDF) solamente el 28% está en conformidad con la normativa³, el resto se compone de tiraderos a cielo abierto y sitios controlados (sitios inadecuados de disposición final) (SMAGEM, 2018).

La disposición de residuos sólidos a cielo abierto o en sitios no controlados es una fuente de contaminación atmosférica, olores desagradables y problemas a la salud de la población por lo siguiente:

1. Incendios o quema de residuos sólidos. Debido a la presencia de residuos sólidos orgánicos, en los tiraderos se produce cierta cantidad de metano que, de no tener las medidas necesarias de control y seguridad, puede originar una explosión y, posteriormente, un incendio. Por otro lado, con el fin de reducir el volumen de los residuos sólidos, algunas personas suelen recurrir a la quema de estos. Ya sea en un contenedor o en un espacio abierto, estos incendios son una fuente de contaminantes atmosféricos.
2. Suspensión y arrastre de microorganismos, polvos y partículas por el viento. Ya que la mayoría de los tiraderos a cielo abierto carecen de un material que recubra los residuos (como en los rellenos sanitarios), se presenta un medio susceptible de degradación por componentes físicos y químicos, al entrar en contacto con agua, aire y luz solar, principalmente. Además, por la degradación natural de los residuos orgánicos se produce material particulado que puede ser fácilmente transportado por las corrientes de viento.

Ambas situaciones contribuyen a la emisión de diversos contaminantes como dióxido de azufre, metano, material particulado, compuestos orgánicos volátiles -y ozono-, por consiguiente-, entre otros.

3. NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

1.3. Aspectos socioeconómicos

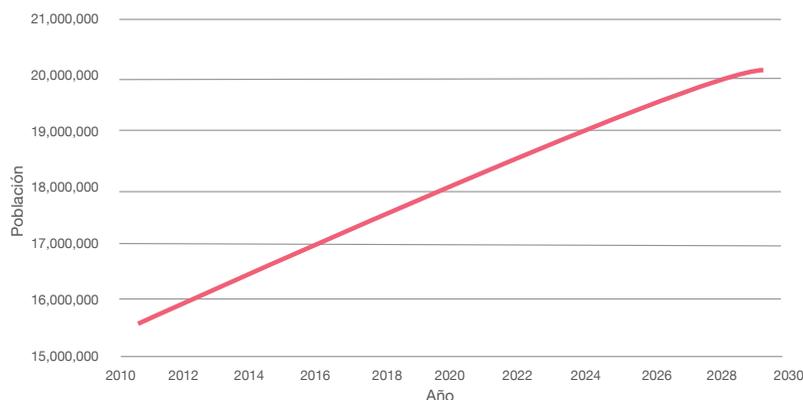
1.3.1. Demografía

1.3.1.1. Población

De acuerdo con la Encuesta Intercensal de Población y Vivienda 2015, la población del Estado de México era de 16,187,608 habitantes, es decir, el 13.5% de la población nacional, y la densidad de la población de 724.2 habitantes por km² (INEGI, 2015). La densidad poblacional a nivel nacional es de 61 habitantes por kilómetro cuadrado (INEGI, 2018a), mientras que para la ZMVM es de 2557.4 hab/km² y para la ZMVT es de 878.8 hab/km² de acuerdo con la Comisión Nacional de Población (CONAPO, 2010).

Según proyecciones de Comisión Nacional de Población (CONAPO), para el 2030, el Estado de México alcanzará una población de poco más de 20 millones de personas, como se muestra en la siguiente gráfica. De acuerdo con los datos, en el Estado de México se presentará una disminución en el crecimiento poblacional, ya que en 2015 la población crecía anualmente 1.5%, y para 2030 se espera un crecimiento de 0.94% (CONAPO, 2017).

Gráfica 1.3 Crecimiento poblacional estimado al año 2030



*Fuente: Elaboración propia con información de CONAPO
(CONAPO, 2017)*

El volumen, el ritmo de crecimiento, la estructura y la distribución territorial de la población, así como las variables que determinan la dinámica poblacional (fecundidad, mortalidad y migración), constituyen dimensiones que se interrelacionan en forma compleja con los procesos de desarrollo económico y social. La explotación de los recursos naturales, la deforestación, la erosión del suelo y la desertificación, la contaminación del aire y el agua, la acumulación de residuos tóxicos, por solo mencionar algunos ejemplos, constituyen fenómenos de deterioro ambiental con causas múltiples e interrelaciones complejas.

Los municipios que presentan una población mayor a 500 mil habitantes son (INEGI, 2015)⁴ :

Tabla 1.10 Municipios del Estado de México con población mayor a 500 mil habitantes

Municipio	Población (habitantes)	Superficie (km ²)	Densidad de población (habitantes/km ²)
Ecatepec de Morelos	1,656,107	154.19	10,741
Nezahualcóyotl	1,110,565	67.57	16,436
Toluca	819,561	399.78	2,050
Naucalpan de Juárez	833,779	155.98	5,345
Tlalnepantla de Baz	664,225	76.16	8,721
Chimalhuacán	614,453	49.18	12,493.8

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2015)

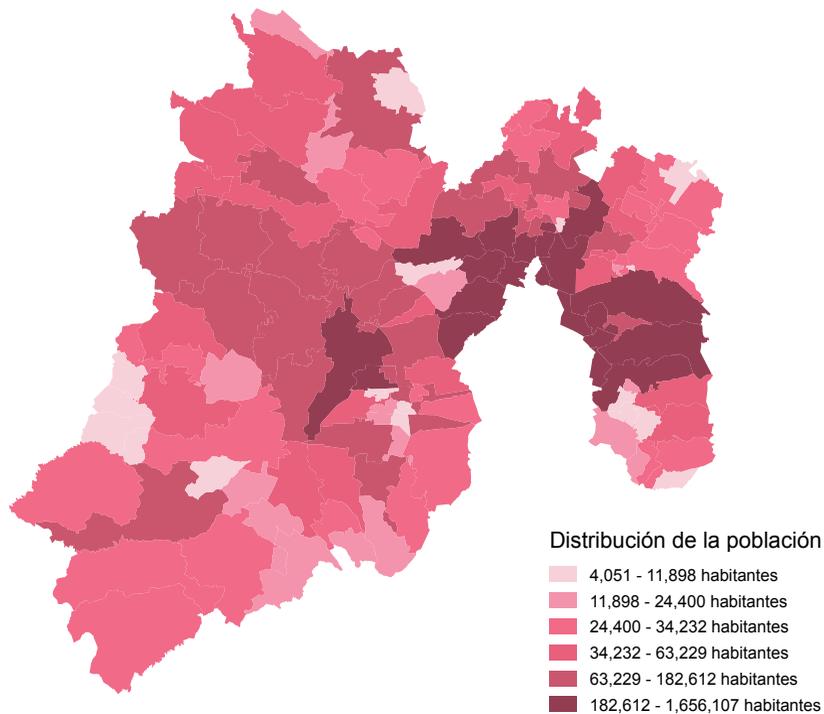
La atención de las necesidades de una población en rápido crecimiento puede ser un gran desafío para la capacidad de una entidad de administrar sus recursos naturales de manera sostenible. La calidad del aire se ve afectada por la presencia de industrias, automóviles, transporte público (motorizado) y desechos en hogares, entre otros. Los principales contaminantes que se presentan a raíz de esto son el dióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas, compuestos orgánicos volátiles y ozono.

El crecimiento demográfico ejerce un impacto negativo sobre el medio ambiente debido a diversos factores. Tanto el tamaño como la distribución de la población, junto con los niveles de urbanización, están directamente relacionados con la contaminación del aire. Esto se debe principalmente a que se ejerce presión sobre los recursos naturales por la sobreexplotación de los bosques y de los acuíferos, el cambio en uso de suelo, consumo de energías no renovables, actividad industrial, desplazamiento de los ecosistemas y la consiguiente generación de residuos de una población que el medio ambiente puede no ser capaz de soportar.

Además, el parque vehicular crece a raíz del aumento de la población, por lo que cada vez hay más vehículos motorizados que se utilizan para satisfacer las necesidades de transporte de personas y servicios. Mismos vehículos que utilizan combustibles fósiles y que son responsables, de la manera más directa, del aumento en la concentración de contaminantes en el aire.

4. Consultar Anexo I para detalle sobre la distribución de la población en los municipios del estado.

Mapa 1.8 Distribución de la población por municipio



Fuente: Elaboración propia con información de CONABIO
(CONABIO, 2012a)

1.3.1.2. Distribución de la Población

De la población total, 8,353,540 son mujeres (51.6%) y 7,834,068 son hombres (48.4%) (COESPO, 2015a), de los cuales el 87% se encuentra viviendo en zonas urbanas y el 13% en zonas rurales (INEGI, 2010a). A continuación, se muestra la distribución por edad y sexo de la población del Estado:

Tabla 1.11 Distribución de la población por grupo de edad y género

Grupo de edad	Total	Hombres	Mujeres
Total	16,187,608	7,834,068	8,353,540
0 a 14 años	4,288,825	2,171,965	2,116,860
15 a 64 años	10,888,380	5,203,579	5,684,801
65 años en adelante	994,375	450,896	543,479
No especificado	16,028	7,628	8,400

Fuente: Elaboración propia con información de la Comisión Estatal de Población (COESPO)
(COESPO, 2015)

Zonas Metropolitanas y Zonas de Planeación Estatal (COPLADEM)

El Estado de México se divide en seis zonas: tres zonas metropolitanas (ZM) y tres de planeación estatal. En dos de las zonas metropolitanas se concentra el 87% de la población total del Estado: 1) Valle de Cuautitlán- Texcoco⁵ (ZMCT) con 73% de la población, 2) Valle de Toluca (ZMVT) con 14%. El resto de la población (13%) se encuentra distribuida en las otras cuatro zonas: Zona Metropolitana de Santiago Tianguistenco, y las Zonas de Planeación Estatal de Atlacomulco, Ixtapan de la Sal y Zona Sur.

Tabla 1.12 Distribución de las zonas poblacionales

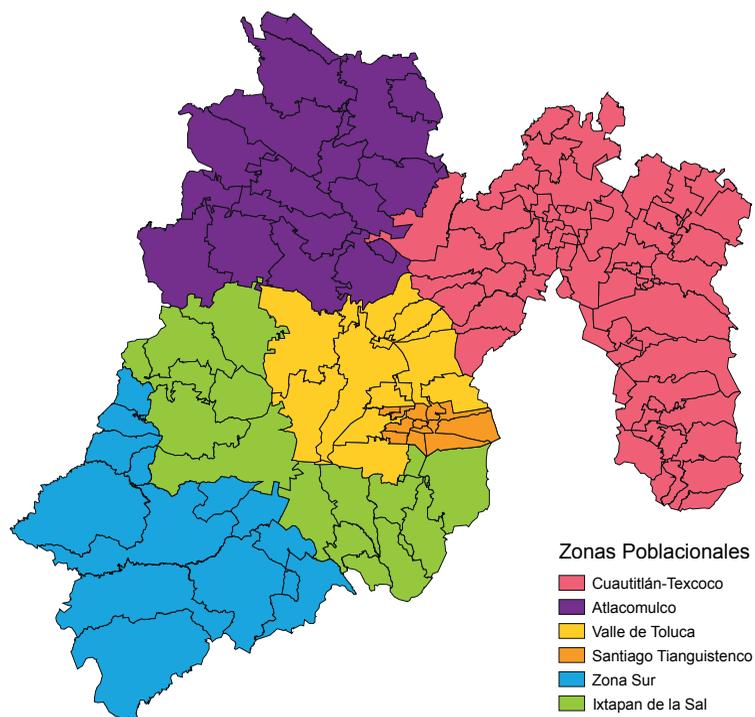
Zona	Población	Porcentaje población (%)	Municipios
ZM Valle Cuautitlán- Texcoco	11,854,629	73%	Acolman, Amecameca, Apaxco, Atenco, Atizapán de Zaragoza, Atlautla, Axapusco, Ayapango, Chalco, Chiautla, Chicoloapan, Chiconcuac, Chimalhuacán, Coacalco de Berriozábal, Cocotitlán, Coyotepec, Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Ecatepec de Morelos, Ecatingo, Huehuetoca, Hueyoptla, Huixquilucan, Isidro Fabela, Ixtapaluca, Jaltenco, Jilotzingo, Juchitepec, Melchor Ocampo, Naucalpan de Juárez, Nextlalpan, Nezahualcóyotl, Nicolás Romero, Otumba, Ozumba, Papalotla, San Martín de las Pirámides, Tecámac, Temamatla, Temascalapa, Tenango del Aire, Teoloyucan, Teotihuacán, Tepetlaoxtoc, Tepetlixpa, Tepotzotlán, Tequixquiac, Texcoco, Tezoyuca, Tlalmanalco, Tlalnepantla de Baz, Tonanitla, Tultepec, Tultitlán, Valle de Chalco Solidaridad, Villa del Carbón, Zumpango
ZM Valle de Toluca	2,202,886	14%	Almoloya de Juárez, Calimaya, Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Oztolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Tenango del Valle, Toluca, Xonacatlán, Zinacantepec
Zona Atlacomulco	1,026,492	6%	Acambay, Aculco, Atlacomulco, Chapa de Mota, El Oro, Ixtlahuaca, Jilotepec, Jiquipilco, Jocotitlán, Morelos, Polotitlán, San Felipe del Progreso, San José del Rincón, Soyaniquilpan de Juárez, Temascalcingo, Timilpan
Zona de Ixtapan de la Sal	659,600	4%	Amanalco, Coatepec Harinas, Donato Guerra, Ixtapan de la Sal, Joquicingo, Malinalco, Ocuilán, Temascaltepec, Tenancingo, Tonalico, Valle de Bravo, Villa de Allende, Villa Guerrero, Villa Victoria, Zumpahuacán
Zona Sur	273,540	2%	Almoloya de Alquisiras, Amatepec, Ixtapan del Oro, Luvianos, Oztoloapan, San Simón de Guerrero, Santo Tomás, Sultepec, Tejupilco, Texcallitlán, Tlatlaya, Zacazonapan, Zacualpan
ZM Santiago-Tianguistenco	170,461	1%	Almoloya del Río, Atizapán, Capulhuac, Texcalyacac, Tianguistenco, Xalatlaco

5. La Zona Metropolitana de Cuautitlán- Texcoco comprende los municipios del Estado de México que corresponden a la ZMVM.

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), registra los mayores niveles de emisiones en el país e incluso se ubica como la cuarta ciudad más contaminada del mundo. Por su parte, la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) ocupa el cuarto lugar dentro de las más contaminadas del país. Las fuentes móviles, representadas por los vehículos automotores, son los responsables de la mayor carga de contaminantes al aire en la Entidad. En 2016, generaron el 77% de las emisiones de monóxido de carbono y el 51% de los óxidos de nitrógeno.

Otras fuentes de contaminación corresponden a establecimientos industriales de diversos giros. En la Entidad, el 75% de la industria se ubica en los municipios conurbados del Valle de México; el 16% en el Valle de Toluca y el 9% se distribuye en el resto del Estado. De acuerdo con el inventario de emisiones del Capítulo 3, también contribuyen a esta problemática, con la emisión de partículas de fracción respirable, las actividades extractivas, la operación de hornos para la fabricación artesanal de tabique rojo, así como la erosión del suelo e incendios forestales.

Mapa 1.9 Distribución de las Zonas Poblacionales del Estado de México



Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM, 2018)

1.3.1.3. Dinámica de la población

Natalidad

En el Estado de México se prevé que la población continúe aumentando en las décadas futuras, pero con un ritmo de crecimiento cada vez menor. Este comportamiento estará asociado a que el cambio en los nacimientos será lento (véase Tabla 1.13).

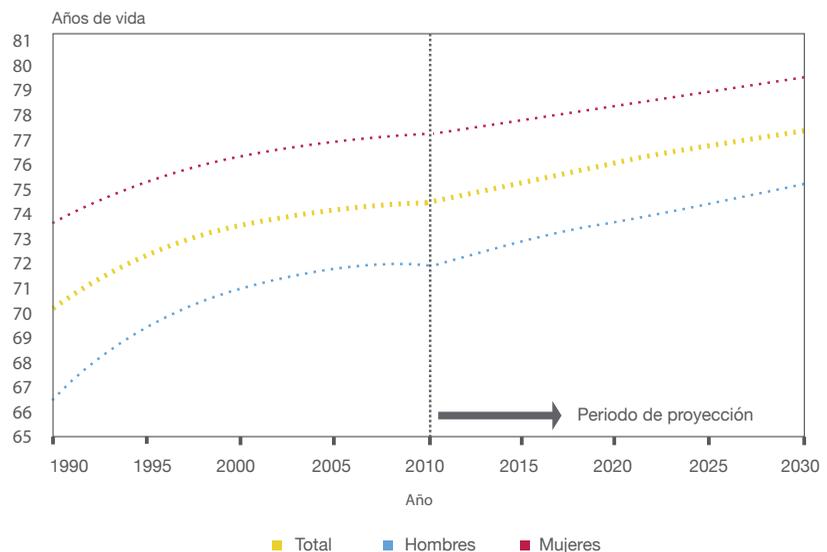
Tabla 1.13 Cambio en población y nacimientos

Año	Población	Crecimiento anual de población	Nacimientos	Crecimiento anual de nacimientos
2010	15,175,862	-	305,522	-
2020	18,075,065	1.28%	310,658	1.68%
2030	20,167,433	0.94%	310,071	-0.19%

Fuente: Elaboración propia con información de CONAPO (CONAPO, 2014b)

Según datos del 2016, la esperanza de vida al nacer para mujeres era 77.9 años, y para hombres de 73. En la siguiente gráfica se muestra, según proyecciones de CONAPO, cómo ha ido aumentando la esperanza de vida en el Estado y cómo continuará aumentando hacia el 2030, en donde se espera que la esperanza de vida para las mujeres sea de 79.5 años, y para los hombres de 75:

Gráfica 1.4 Esperanza de vida al nacimiento por sexo, 1990-2030



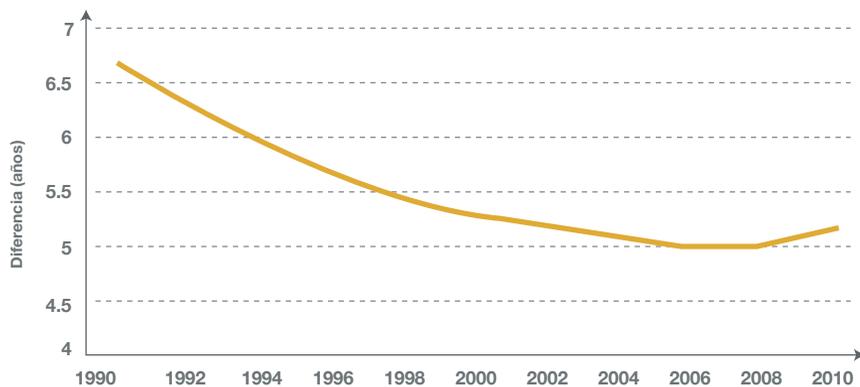
Fuente: Elaboración propia con información de CONAPO (CONAPO, 2014b)

Mortalidad

Al 2016 se registraron 82,350 defunciones, siendo las principales causas de muerte: enfermedades del corazón, diabetes mellitus, y tumores malignos (INEGI, 2017a). Se ha observado una disminución en la mortalidad de la población, a la vez que ha aumentado la esperanza de vida al nacimiento para ambos sexos.

Las tendencias en la mortalidad general, mortalidad infantil y la esperanza de vida al nacimiento entre el periodo de 1990 a 2010, permiten establecer que la mortalidad de los niños continuará con la tendencia al descenso y que la brecha entre hombres y mujeres seguirá reduciéndose (véase Gráfica 1.5). En 2013, el Estado de México ocupó el 16° lugar en términos de esperanza de vida y para el 2030 se prevé que llegue al 19° lugar a nivel nacional. Por último, a consecuencia de la disminución de la mortalidad, traducida en una mayor esperanza de vida para la población de la Entidad, se espera que el grupo de 65 y más años, en los próximos dos decenios, comience a tener mayor peso relativo; en 2020 se prevé que represente el 7% del total y en 2030 el 10%.

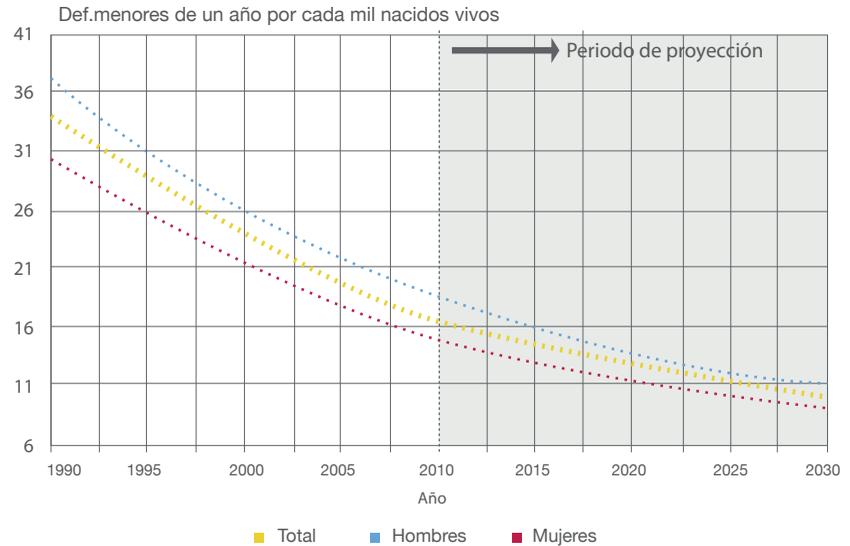
Gráfica 1.5 Diferencia en esperanza de vida entre ambos sexos



Fuente: Elaboración propia con información de CONAPO
(CONAPO, 2014a)

La siguiente gráfica muestra cómo ha ido descendiendo la mortalidad infantil y, según las proyecciones de la CONAPO, cómo seguirá descendiendo hacia 2030.

Gráfica 1.6 Tasa de mortalidad infantil total y por sexo, 1990-2030



Fuente: Elaboración propia con información de CONAPO
(CONAPO, 2014b)

Migración

Aun si es la primera entidad receptora en el país (COESPO, 2015b), la migración interna para el Estado de México aporta menores ganancias de población que el crecimiento natural. Al comparar la dinámica del crecimiento natural de la población (nacimientos y defunciones) con el crecimiento social o migratorio en la Entidad, el número de personas que nacieron superó a los inmigrantes y las defunciones registradas fueron menores que los emigrantes. Tal hecho muestra que el crecimiento natural (nacimientos menos defunciones) es el responsable del aumento de la población del Estado.

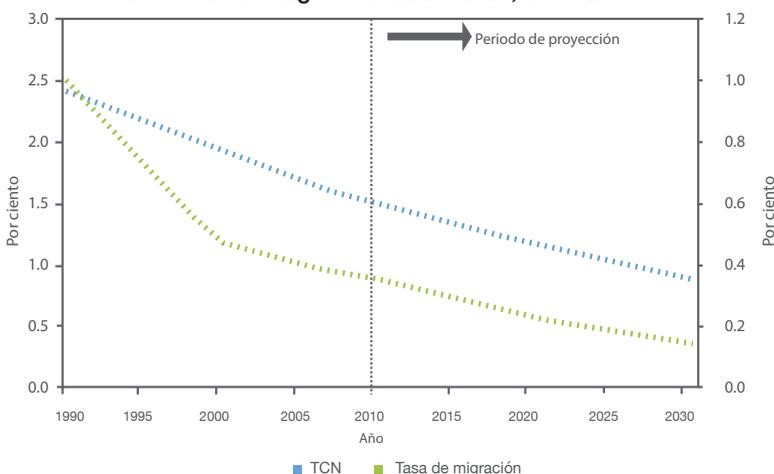
Tabla 1.14 Migración Estado de México, 2015

Inmigración (habitantes)	Emigración (habitantes)	Saldo migratorio (habitantes)
499,716	401,383	98,333

Fuente: Elaboración propia con información de COESPO
(COESPO, 2015c)

Según la Gráfica 1.7, tanto la tasa de crecimiento natural como la tasa de migración han estado descendiendo en las últimas décadas, y se seguirá esa tendencia por lo menos durante el periodo de proyección hacia 2030.

Gráfica 1.7 Tasa de crecimiento natural (TCN) y tasa neta de migración interestatal, 1990-2030

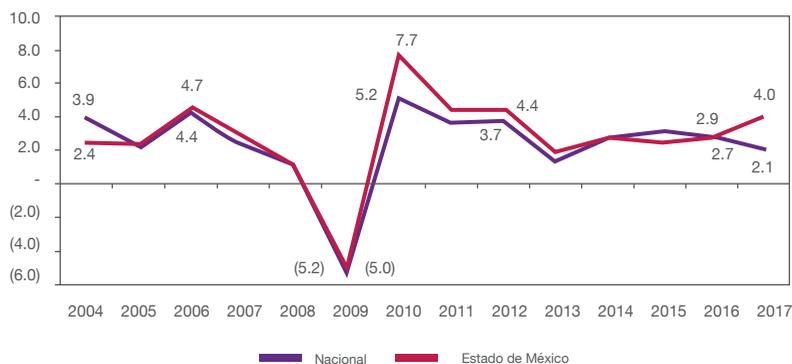


Fuente: Elaboración propia con información de CONAPO (CONAPO, 2014b)

1.3.2. Desarrollo económico

El Producto Interno Bruto (PIB) del Estado de México en 2016 representó 8.9% con respecto al total nacional y correspondió a 1,480,882 millones de pesos (INEGI, 2017c). Tan solo en 2017, el crecimiento del PIB del Estado de México fue 90% mayor al de nuestro país. En varios años se ha observado que el crecimiento económico del Estado de México ha sido mayor al de la República Mexicana, como es el caso del periodo 2006-2013 (SEDECO, 2017).

Gráfica 1.8 Variación anual de la economía nacional y del Estado de México (precios constantes del 2013)



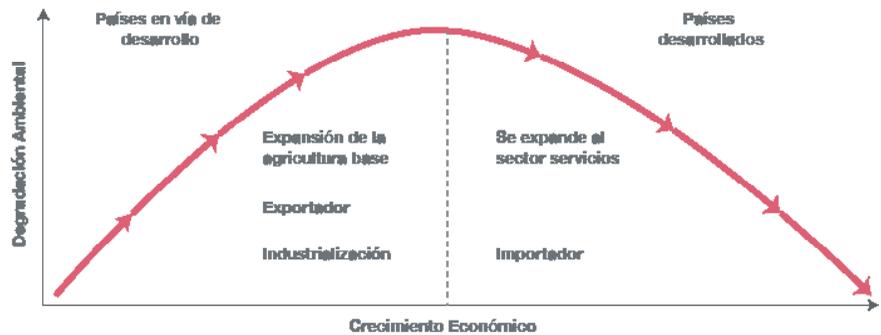
1/ Indicador Global de la Actividad Económica (IGAE) e Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal (ITAE), al CUARTO trimestre Fuente : SEDECO. UIPPE con información del INEGI. Sistemas de Cuentas Nacionales de México e indicadores económicos de coyuntura.

Fuente: Secretaría de Desarrollo Económico del Estado de México (SEDECO) (SEDECO, 2018c)

Entre las principales actividades se encuentran: servicios inmobiliarios y alquiler de bienes muebles e intangibles, comercio, construcción, industria alimentaria y fabricación de maquinaria y equipo. Los sectores estratégicos son: automotriz, productos químicos, agroindustrial, minería, textil, turismo, logístico, equipo y servicio aeroespacial, y servicios de investigación (SE, 2015).

Desde la perspectiva de la historia del desarrollo de la economía de la sociedad humana, la calidad ambiental no se fija al desarrollo de un país. En la década de 1990, se encontró una relación inversamente proporcional entre la calidad ambiental y el ingreso económico. Dicha relación se definió como Curva Ambiental de Kuznets (EKC, por sus siglas en inglés), y muestra que la calidad ambiental primero se deteriora con el aumento de los ingresos, y luego mejora cuando los ingresos alcanzan un cierto nivel. Esta curva la han presentado principalmente los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), como es el caso de México (Vergara Schmalbach et al., 2018). El comportamiento de la curva EKC se muestra en la siguiente gráfica:

Gráfica 1.9 Curva Ambiental de Kuznets



Fuente: Centro de Investigación de Propiedad y Medio Ambiente (PERC) (PERC, 2011)

El resultado de México es consistente con la teoría y la evidencia de las curvas de Kuznets ambientales, pues su desempeño macroeconómico ha sido inadecuado para elevar el ingreso per cápita a los niveles necesarios para cruzar los puntos de inflexión estimados de muchos contaminantes. Visto de esta manera, la calidad ambiental de México continuará siendo una mezcla de modestas mejoras junto con modestos reveses hasta que la economía muestre un crecimiento fuerte y sostenido (PERC, 2011). El crecimiento económico mexicano todavía se considera supeditado a un aumento de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

En otras palabras, es necesaria la intervención de las autoridades ambientales, tanto federales como estatales, para alcanzar el punto de inflexión en donde crezca la economía a la vez que se disminuye el deterioro ambiental.

A continuación, se presenta la aportación al PIB estatal por cuenta de cada sector económico. Para más información sobre cada sector económico, ver Anexo II.

1.3.2.1. Sector económico primario

Para el 2016, el PIB de este sector a precios constantes del 2013 fue de 22,973 millones de pesos. Esto correspondió al 1.55% del PIB estatal. La población ocupada por el sector económico primario en el primer trimestre del 2018 en el Estado de México fue de 334,138 personas, lo que corresponde al 4.5% del Estado. Se incluyen actividades como agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca (SEDECO, 2018b).

1.3.2.2. Sector económico secundario

Al 2016, el PIB de este rubro fue de 378,296 millones de pesos, representando el 25.54% del PIB estatal. La población ocupada por el sector económico secundario en el primer trimestre del 2018 en el Estado de México fue de 2,083,461 personas, lo que corresponde al 28.1% del Estado. Dicho sector corresponde a la industria extractiva y de la electricidad, la industria manufacturera y la construcción (SEDECO, 2018b).

Industria Manufacturera

En el año 2014, la industria manufacturera contó con 23,044 unidades económicas. La industria alimentaria fue la más representativa de la manufactura, pues fue la que empleó a una mayor cantidad de personal, con 111,058 trabajadores, y la que generó un mayor PIB para el año 2016, 84,338 millones de pesos⁶.

En el Estado de México operan 105 parques industriales, los cuales se encuentran localizados en 28 municipios; Tlalnepantla de Baz es el municipio con mayor cantidad, cuenta con 17 complejos, equivalente al 16.1% del total (SEDECO, 2018a).

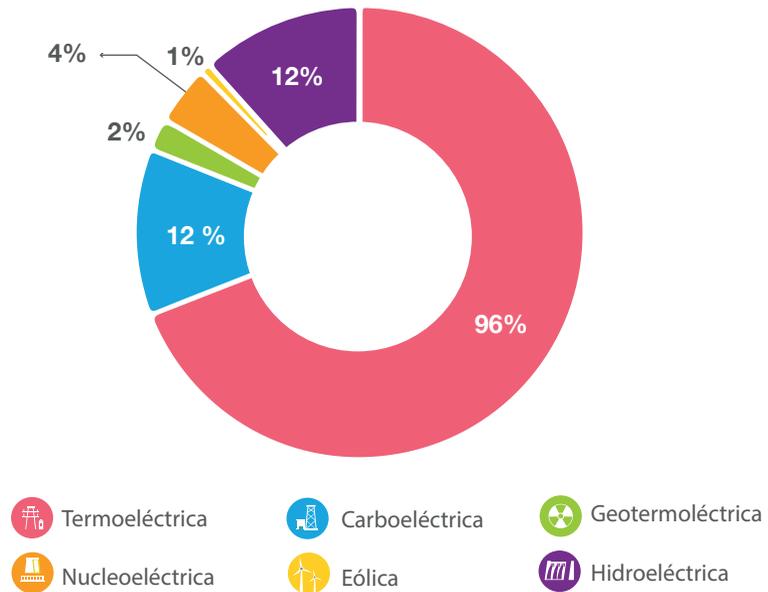
Energía eléctrica

En México y sus entidades, el 81% de la energía eléctrica que se consume viene de energías no renovables, como combustibles derivados del petróleo (SENER, 2018). La quema de estos combustibles, así como su extracción y transporte, genera emisiones de los contaminantes criterio. La principal diferencia entre las emisiones generadas por el procesamiento del combustible fósil y las emisiones generadas durante su uso en el transporte radica en que el combustible que consumen los vehículos motorizados tiene bajo contenido en azufre, a diferencia del petróleo crudo que puede contener hasta 5.7% peso en azufre (Industria Petrolera Mexicana, 2010). Tal contenido de azufre en la materia prima fomenta la emisión de dióxido de azufre al aire durante su extracción y tratamiento, deteriorando la calidad del aire de la región.

6. Para mayor detalle sobre la industria manufacturera, consultar Anexo II.

El Estado de México es el primer consumidor de energía eléctrica en el país, con 8.24% del total nacional; y se encuentra en la posición número 17 en cuanto a generación, con 2.37% del total (SENER, 2018). En conclusión, el consumo y generación de electricidad en el Estado influyen directa e indirectamente en la calidad del aire del mismo debido a las emisiones que se generan durante todo el ciclo de vida de la materia prima.

Gráfica 1.10 Generación de energía eléctrica por tecnología



Fuente: Secretaría de Energía (SENER)
(SENER, 2018)

1.3.2.3. Sector económico terciario

Con un PIB de 1,079,614 millones de pesos, este sector representó el 72.9% del PIB estatal del año 2016. La población ocupada por el sector económico terciario en el primer trimestre del 2018 en el Estado de México fue de 4,959,029 personas, lo que corresponde al 67% del Estado. En este sector se consideran actividades como: comercio, restaurantes y servicios de alojamiento, transportes, comunicaciones, correo y almacenamiento, servicios profesionales, financieros y corporativos, servicios sociales, servicios diversos, gobierno y organismos internacionales. (SEDECO, 2018b)

1.4. Vías de comunicación

Las vías de comunicación son pieza fundamental para el desarrollo económico de todo país o región. La importancia de ellas se centra en que son el principal medio para el intercambio de mercancías y movimiento de personas. En el Estado de México las vías de comunicación no solo sirven para el movimiento interno, sino que tienen como objetivo apoyar el movimiento interestatal.

Carreteras

El Estado de México, por su ubicación, es paso obligado para llegar a la Ciudad de México. Este factor ha influido en el desarrollo de sus vías de comunicación tanto internas como externas, y en él convergen y surgen múltiples carreteras que lo conectan con las entidades vecinas, favoreciendo así el dinamismo de los diversos sectores económicos. La ubicación geográfica estatal permite una mayor interconexión entre el Occidente, el Norte, el Golfo, el Pacífico y el Centro del país, a través de una red carretera troncal, alimentadora y local que en 2016 era de 14 mil 778 kilómetros que cubre la totalidad de su territorio, con una densidad carretera de 657.2 metros por kilómetro cuadrado. Esto posiciona al Estado de México como una de las entidades mejor comunicadas del país, con una red que es de las de mayor longitud a nivel nacional, la cual podría unir en línea recta a la ciudad de Toluca con la de Alberta, Canadá.

La Infraestructura Vial Primaria Libre de Peaje de responsabilidad estatal, está integrada por 311 caminos con una longitud de 4,326 kilómetros, de los cuales 302 son caminos y vialidades pavimentadas con una longitud de 4,032 kilómetros y nueve son caminos revestidos, una longitud de 293.70 kilómetros. A través del Proyecto de Prestación de Servicios, se atiende el 14.72 por ciento de esta Infraestructura Vial Primaria Libre de Peaje, el cual incluye 56 vialidades y caminos con una longitud de 636,999 kilómetros.

Tabla 1.15 Estado Físico de la Red Estatal Libre de Peaje

Condición del camino	Distancia (km)	Porcentaje
Buena	865	20%
Regular	2,163	50%
Mala	1,298	30%

Fuente: Gobierno del Estado de México
(GEM, 2017a)

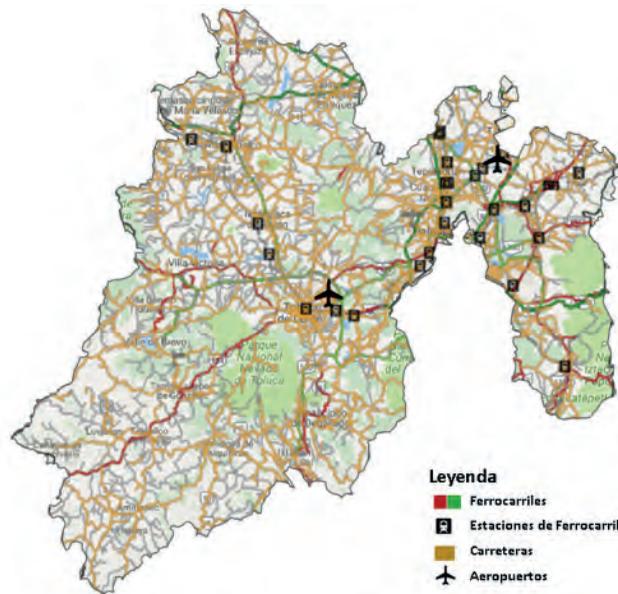
Ferrocarriles

El Estado de México cuenta con un total de 799.7 km de vías, correspondiendo 588.6 km a las vías troncales; 30 km a las secundarias y 181.1 km a las vías particulares. (INEGI, 2001). La línea ferroviaria más importante de la Entidad es la que parte de la Ciudad de México y cruza al Estado de este a noroeste; por medio de ella se da salida a los productos elaborados en el corredor industrial Toluca-Lerma. Esta línea, llamada México-Uruapan, une localidades como Lerma de Villada, Toluca de Lerdo, Atlacomulco de Fabela, Maravatío, Tarandacuao, Acámbaro, Morelia y Pátzcuaro. La región Zumpango registra la mayor longitud de vías férreas con 221 km, lo cual representa 39% del total del Estado (CCG, 2018).

Aeropuertos

El Estado de México, actualmente se apoya en dos aeropuertos importantes: el aeropuerto internacional Lic. Adolfo López Mateos, ubicado en la ciudad de Toluca de Lerdo, y el aeropuerto nacional Dr. Jorge Jiménez Cantú, ubicado en el municipio de Atizapán de Zaragoza. La Entidad tiene una ubicación geográfica privilegiada e instalaciones aeroportuarias que lo ubican como un potencial centro logístico para el comercio internacional. Se encuentra conectado con mercados nacionales e internacionales a través del Aeropuerto Internacional de Toluca (GEM, 2017a).

Mapa 1.10 Vías de comunicación



Fuente: Elaboración propia con información del Centro de Colaboración Geoespacial (CCG) (CCG, 2018)

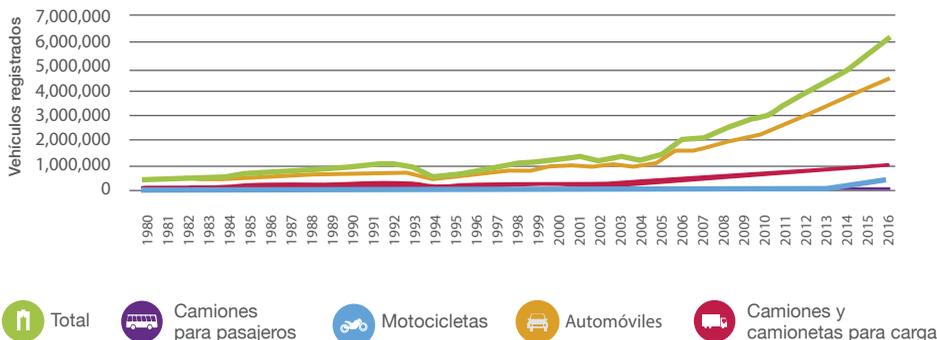
Las vías de comunicación y los medios de transporte son fundamentales para el desarrollo económico, pero también corresponden a una de las principales fuentes de contaminación atmosférica, debido a la tecnología utilizada. De acuerdo con el Inventario de Emisiones del Estado de México más reciente, con año base al 2016, el 77% del total de emisiones de CO de dicho año (624,893 ton) y el 51% de las emisiones de NO_x (90,491 ton) fueron por fuentes móviles. Lo anterior confirma que los medios de transporte corresponden a la fuente más relevante de contaminantes a la atmósfera.

Es importante mencionar que, aún si sigue en construcción, se tiene prevista la terminación de la obra y la operación del Tren Interurbano Toluca-Valle de México para el 2018. Este tren dará servicio a 230 mil pasajeros al día y tendrá una longitud de 57.7 kilómetros con 6 estaciones (dos terminales y cuatro intermedias). Con el tren se espera disminuir los trayectos en vehículos individuales o en vehículos que no tengan el mantenimiento adecuado, por lo que podría ayudar a mejorar la calidad del aire en la zona.

1.4.1. Parque vehicular

El parque vehicular del Estado de México ha presentado un continuo crecimiento desde hace varias décadas, como se puede observar en la siguiente gráfica. Ha mantenido un crecimiento relativamente constante de aproximadamente 10% anual. De continuar con el mismo crecimiento, para el 2030 se podrían estimar más de 23 millones de vehículos en el Estado de México.

Gráfica 1.11 Crecimiento y distribución del parque vehicular del Estado de México (vehículos registrados)



Fuente: Elaboración propia con información de INEGI (INEGI, 2018c)

En el 2015, el Estado de México contaba con 16.19 millones de habitantes (COESPO, 2015) y 5.9 millones de vehículos (INEGI, 2015), presentando un promedio de 0.36 vehículos per cápita para 2015. En solamente 5 años, del 2010 al 2015, hubo un 75% de aumento en el promedio de vehículos per cápita⁷, pues en 2010 era de 0.2 vehículos per cápita y en 2015 aumentó hasta 0.36. En otras palabras, el crecimiento poblacional fue de 7%, mientras que el crecimiento del parque vehicular fue de 90% en un mismo periodo de tiempo.

Actualmente, el parque vehicular del Estado se encuentra distribuido de la siguiente manera: 76.18% automóviles, 17.53% camiones de carga, 5.96% motocicletas y 0.33% camiones de pasajeros; siendo los camiones de carga el tipo de transporte más contaminante, principalmente porque -en promedio- estos tienen una antigüedad de 20 a 30 años. La edad de esta fracción del parque vehicular nos indica que se trata de transporte que no cuentan con la tecnología más actualizada de reducción de emisiones, pues la mayoría de ellos no cumple con los límites máximos permisibles de emisiones establecidos en la NOM-045-SEMARNAT-2017.

7. 15.18 millones de habitantes en la entidad, 3.12 millones de vehículos



Fuente: Elaboración propia con información de INEGI (INEGI, 2018c)

REFERENCIAS:

- Ayuntamiento de Tianguistenco. (2014). Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Tianguistenco. *Bando Municipal*, (1), 66. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- CCG. (2018). Sistemas de Información Geográfica Municipal. Recuperado el 14 de agosto de 2018, de <http://ccg.edomex.gob.mx/index.php>
- Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM. (2016). *Diagnóstico sobre la calidad del aire en cuencas atmosféricas de México*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/208883/Informe_Final_AECAME_20161230.pdf
- CEPANAF. (2017). Categoría de la Áreas Naturales Protegidas. Recuperado el 14 de agosto de 2018, de http://cepanaf.edomex.gob.mx/categoria_areas_naturales_protegidas
- Chesworth, W. (2008). *Encyclopedia of soil science*. Springer.
- COESPO. (2014). Zonas metropolitanas del Estado de México. Recuperado el 14 de agosto de 2018, de http://coespo.edomex.gob.mx/zonas_metropolitanas
- COESPO. (2015a). ¿Cuántos somos? Recuperado el 14 de agosto de 2018, de http://coespo.edomex.gob.mx/cuantos_somos
- COESPO. (2015b). Migración.
- COESPO. (2015c). Migración. Recuperado el 15 de agosto de 2018, de <http://coespo.edomex.gob.mx/migracion>
- CONABIO. (1998). Anexo Clima, obtenido de “Climas (Clasificación de Köeppen, modificado por García)” Escala 1:1000,000. Recuperado de <http://www.microrregiones.gob.mx/zap/PDFs/ANEXOCLIMA.pdf>
- CONABIO. (2010). Base de Datos Geográfica de Áreas Naturales Protegidas Estatales y del Distrito Federal de México, 2009. Recuperado de http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/anpe09gw.xml?_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- CONABIO. (2012a). Localidades de la República Mexicana. Recuperado de http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/loc2010gw.xml?_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- CONABIO. (2012b). Portal de Información Geográfica - CONABIO. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- CONAFOR. (2016). Reporte semanal de resultados de incendios forestales 2016 (01 de enero al 25 de agosto de 2016), 1–22.
- CONAGUA. (2015). *Atlas del Agua en México 2015*. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/ATLAS2015.pdf>
- CONAGUA. (2018). Precipitación a nivel nacional y por entidad federativa 2017. Recuperado de <https://smn.cna.gob.mx/tools/DATA/Climatología/Pronóstico climático/Temperatura y Lluvia/PREC/2017.pdf>
- CONANP. (2018). Sistema de Información Geográfica. Recuperado el 15 de octubre de 2018, de http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/info_shape.htm

- CONAPO. (2010). Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010 | Consejo Nacional de Población CONAPO. Recuperado el 24 de agosto de 2018, de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Zonas_metropolitanas_2010
- CONAPO. (2014a). Indicadores Demográficos.
- CONAPO. (2017). Datos de Proyecciones. Recuperado el 14 de agosto de 2018, de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos
- CONAPO, S. (2014b). *Dinámica demográfica 1990-2010 y proyecciones de población 2010-2030*. Recuperado de http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Proyecciones/Cuadernos/15_Cuadernillo_Mexico.pdf
- DGPCCA. (2007). *Cuencas Atmosféricas del Estado de México*. Recuperado de www.edomexico.gob.mx
- Diana Anastacio-Martínez, N., Nava-Bernal, G., & Franco-Maass, S. (2014). *El desarrollo agropecuario de los pueblos de alta montaña. La Peñuela, Estado de México Economía, Sociedad y Territorio* (Vol. xiv). Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/est/v14n45/v14n45a4.pdf>
- Duncan, B., Textor, C., & Werf, G. R. Van Der. (2009). Vegetation fire emissions and their impact on air pollution and climate, 43, 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.047>
- Galicia, L. (2014). El cambio de uso de suelo: consecuencias en el ciclo hidrológico y la disponibilidad de agua. *AZ Revista de Educación y Cultura*, 82(July), 15–18.
- GEM. (2008). *Plan Estatal de Desarrollo Urbano*. Recuperado de <http://seduv.edomexico.gob.mx/dgau/pdf/PEDU.pdf>
- GEM. (2017a). *Plan de Desarrollo Estatal 2017-2030*. Recuperado de http://copladem.edomex.gob.mx/sites/copladem.edomex.gob.mx/files/files/pdf/Planes_y_programas/PDEM_2017-2023_web.pdf
- GEM. (2017b). Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Estado de México.
- Gobierno de la Columbia Británica. (2018). Forest Fires and Air Quality - Province of British Columbia. Recuperado el 14 de agosto de 2018, de <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/air-land-water/air/air-pollution/smoke-burning/forest-fires-air-quality>
- Gobierno de la República. (2017). *Anexo 1. Análisis Meteorológico*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/240054/Anexo_1_Meteorologico.pdf
- Heald, C. L., & Spracklen, D. V. (2015). Land Use Change Impacts on Air Quality and Climate. *Chemical Reviews*, 115(10), 4476–4496. <https://doi.org/10.1021/cr500446g>
- IEECC. (2014). *Inventario de Emisiones del Estado de México*. Recuperado de <http://ieecc.edomex.gob.mx/sites/ieecc.edomex.gob.mx/files/files/Investigacionescientificas/EDOMEX-2010-Criterio.pdf>
- Industria Petrolera Mexicana. (2010). Azufre. Recuperado el 27 de agosto de 2018, de <http://www.industriapetroleramexicana.com/tag/azufre/>
- INECC. (2013). *Monitoreo de las Emisiones del Volcán Popocatepetl*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/191433/2013_Extensi_n_de_la_cobertura.pdf

- INEGI. (2001). *Síntesis de Información Geográfica del Estado de México*. Recuperado de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825224028/702825224028_3.pdf
- INEGI. (2010a). Censo de Población y Vivienda 2010. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/>
- INEGI. (2010b). SCITEL (Sistema de Consulta de Integración Territorial, Entorno Urbano y Localidad). Recuperado el 28 de agosto de 2018, de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/scitel/Default?ev=5>
- INEGI. (2015). Encuesta Intercensal de Población y Vivienda 2015. Principales resultados., 1–96. <https://doi.org/304.601072>
- INEGI. (2017a). Consulta de resultados. Mortalidad. Recuperado el 15 de agosto de 2018, de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/registros/vitales/consulta.asp?c=11800#>
- INEGI. (2017b). Mapas. Uso de suelo y vegetación. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/usosuelo/>
- INEGI. (2017c). PIB - Entidad Federativa, anual. Recuperado el 14 de agosto de 2018, de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibe/>
- INEGI. (2018a). Banco de indicadores. Recuperado el 24 de agosto de 2018, de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/indicadores/#>
- INEGI. (2018b). Dirección General de Geografía y Medio Ambiente. Recuperado el 15 de agosto de 2018, de <http://sc.inegi.org.mx/Normateca2010/menuNormateca.jsp?codigo=030204>
- INEGI. (2018c). Parque vehicular. Recuperado el 24 de agosto de 2018, de <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/vehiculos/>
- Kozovits, A. R., & Bustamante, M. M. C. (2013). *Land use change, air pollution and climate change-vegetation response in latin america. Developments in Environmental Science* (1a ed., Vol. 13). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098349-3.00019-0>
- Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry and Urban Greening*, 4(3–4), 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007>
- PERC. (2011). Mexico and the Environmental Kuznets Curve. Recuperado el 14 de agosto de 2018, de <https://www.perc.org/2011/02/10/mexico-and-the-environmental-kuznets-curve/>
- Probosque. (2018). Estadísticas de incendios. Recuperado el 14 de agosto de 2018, de <http://probosque.edomex.gob.mx/estadisticas>
- Ramanathan, V., & Feng, Y. (2009). Air pollution , greenhouse gases and climate change : Global and regional perspectives. *Atmospheric Environment*, 43(1), 37–50. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.063>
- Ruíz-Sotelo, E., González-Hernández, A., Cruz-Bello, G., Moreno Sánchez, F., & Cruz-Cárdenas, G. (2010). *Los suelos del Estado de México y su actualización a la base referencial mundial del recurso suelo 2006*. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v2n8/v2n8a7.pdf>

- SE. (2015). Información económica y estatal. Recuperado de <http://www.travelbymexico.com/toluca>
- SEDECO. (2017). Producto Interno Bruto. Recuperado el 14 de agosto de 2018, de <http://desarrolloeconomico.edomex.gob.mx/pib>
- SEDECO. (2018a). Datos económicos importantes del Estado. Recuperado el 28 de agosto de 2018, de http://desarrolloeconomico.edomex.gob.mx/sabias_que
- SEDECO. (2018b). Indicadores estratégicos de ocupación y empleo.
- SEDECO. (2018c). Información Económica. Recuperado el 14 de agosto de 2018, de http://desarrolloeconomico.edomex.gob.mx/informacion_economica
- SEMARNAT. (1996). *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/69323/18_PROAIRE_ZMVM_1995-2000.pdf
- SEMARNAT. (2017). *Programa de Gestión Federal para mejorar la calidad del aire de la Megalópolis 2017-2030*. Recuperado de <http://www.gob.mx/semarnat>
- SENER. (2018). Sistema de Información Energética. Recuperado el 27 de agosto de 2018, de <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas>
- SMAGEM. (2010). *Iniciativa ante el Cambio Climático en el Estado de México*. Recuperado de http://sma.edomex.gob.mx/sites/sma.edomex.gob.mx/files/files/sma_pdf_cam_clima_2.pdf
- SMAGEM. (2007). *Diagnóstico Ambiental del Estado de México por Regiones Hidrográficas 2007*. Recuperado de http://sma.edomex.gob.mx/sites/sma.edomex.gob.mx/files/files/sma_pdf_da_em_2007.pdf
- SMAGEM. (2008). *Bases de Diagnóstico: Identificación de Zonas Susceptibles a la Erosión en el Estado de México*. Recuperado de http://sma.edomex.gob.mx/sites/sma.edomex.gob.mx/files/files/sma_pdf_base_diag_ide_zon_sus.pdf
- SMAGEM. (2012a). *Inventario de Emisiones a la Atmósfera del Estado de México, 2006*. Recuperado de http://sma.edomex.gob.mx/sites/sma.edomex.gob.mx/files/files/sma_pdf_inv_emi_atm_edomex2006.pdf
- SMAGEM. (2012b). *Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, 280*. Recuperado de http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/69287/8_ProAire_ZMVT.pdf
- Vergara Schmalbach et al. (2018). *Crecimiento económico y emisiones de CO2: el caso de los países suramericanos*. (Vol. 39). Recuperado de <http://www.revistaespacios.com/a18v39n13/a18v39n13p17.pdf>
- Wolters, A., Linnemann, V., Herbst, M., Klein, M., Schäffer, A., & Vereecken, H. (2003). Pesticide volatilization from soil: lysimeter measurements versus predictions of European registration models. *Journal of environmental quality*, 32(4), 1183–1193. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12931871>

CAPÍTULO

02

DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ESTADO DE MÉXICO

02 DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ESTADO DE MÉXICO

En el territorio del Estado de México existen dos Sistemas de Monitoreo Atmosférico independientes. El primero es administrado por la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México a través de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). El segundo, denominado Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT), es operado por el Gobierno de la Ciudad de México; parte de las estaciones de este Sistema se ubican en los municipios conurbados del Estado de México con la Ciudad de México, en la Zona Metropolitana de Cuautitlán-Texcoco (ZMCT).

En el Sistema de Monitoreo Atmosférico del Estado de México se miden continuamente las concentraciones atmosféricas de los contaminantes criterio para monitorear la calidad del aire de la ZMVT y tomar las medidas necesarias en caso de que estos niveles excedan los permitidos por las normas federales. Los contaminantes que conforman este grupo fueron los primeros en ser estudiados sistemáticamente en varios países, debido a la evidencia sobre sus efectos adversos en la salud humana. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) los llamó “contaminantes criterio” porque sus normas de calidad del aire se basaban en el conocimiento plasmado en documentos llamados “documentos criterio.” Actualmente el término se ha adoptado en muchos países y es convencionalmente aceptado para referirse a los siguientes contaminantes: dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), partículas o material particulado (PM), plomo (Pb), monóxido de carbono (CO) y ozono (O_3).

Las fuentes de dichos contaminantes pueden ser puntuales o fijas, de área, móviles o naturales. Las fuentes puntuales son aquellas que son estacionarias e identificables; toda instalación en la que se desarrollan procesos industriales, comerciales, de servicios o, en general, actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. Las fuentes de área son fuentes fijas que resultan demasiado numerosas y dispersas como para ser incluidas de manera individual en un inventario de fuentes puntuales. Estas fuentes tienden a no ser constantes en su ubicación, dado que pueden deberse a establecimientos que abren y cierran por las zonas de estudio. Un ejemplo de ellas serían los puestos informales de comida. Las fuentes móviles son todos los vehículos de transporte de carga o de personas que utilizan combustibles fósiles. Por último, la contaminación por fuentes naturales es provocada por diversos y variados procesos naturales tales como las emisiones biogénicas, la erosión de suelos y erupciones volcánicas, entre otras.

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) son precursores del ozono troposférico, por lo que también es importante tomarlos en cuenta en los diferentes rubros que abarca el ProAire. La evaporación de combustibles y las emisiones industriales son las fuentes más importantes de COV. Otras fuentes de COV son las emisiones de vehículos automotores, la industria química orgánica y la fabricación de plásticos, pinturas y solventes, entre otras. Finalmente, la quema de biomasa también tiene una influencia significativa en la química regional respecto de los COV.

Los impactos a la salud pueden variar dependiendo del estilo de vida y las predisposiciones genéticas de los habitantes. Todos los contaminantes criterio son dañinos para la salud de las personas; para la zona de estudio, los contaminantes con mayores implicaciones son el O₃ y las partículas suspendidas. El primero debido a su alta capacidad de oxidación, pues causa inflamación de las células, reduce la capacidad del aparato respiratorio para combatir infecciones y remover partículas externas. El segundo representa un riesgo mayor ya que, por su tamaño y toxicidad, puede agudizar las enfermedades pulmonares, como las Enfermedades Pulmonares Obstructivas Crónicas (EPOC) y el asma. Entre de las herramientas más importantes para conocer el comportamiento de los contaminantes criterio están los Sistemas de Monitoreo Atmosférico.

De esta forma, este diagnóstico expone -en primer término- los Sistemas de Monitoreo Atmosférico con que cuenta el Estado, para después pasar a exponer diversas tendencias por contaminante, así como sus indicadores. Finalmente, dados los riesgos sanitarios y ambientales de este contexto, así como de la importancia ya descrita de la calidad del aire, este capítulo también menciona algunos de los esfuerzos que se han llevado a cabo y toman en cuenta esta situación, como lo son diversas regulaciones y programas.

2.1. Descripción de los Sistemas de Monitoreo Atmosférico en el Estado de México

2.1.1. Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire

Un Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire (SMCA) es la herramienta utilizada por las autoridades ambientales para medir la calidad del aire a la que está expuesta la población. La información generada por este sistema es indispensable para proteger la salud pública; los datos obtenidos pueden ser utilizados para emitir contingencias atmosféricas, así como para diseñar y evaluar políticas públicas, acciones y estrategias enfocadas a mejorar la calidad del aire que la población respira diariamente. Los SMCA están regidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012, la cual establece las características y reglas para la operación, mantenimiento y gestión de la información. En esta norma se indica que las zonas urbanas con las siguientes características están obligadas a tener un SMCA:

1. Para fines de este análisis se consideró como asentamiento humano a un municipio.

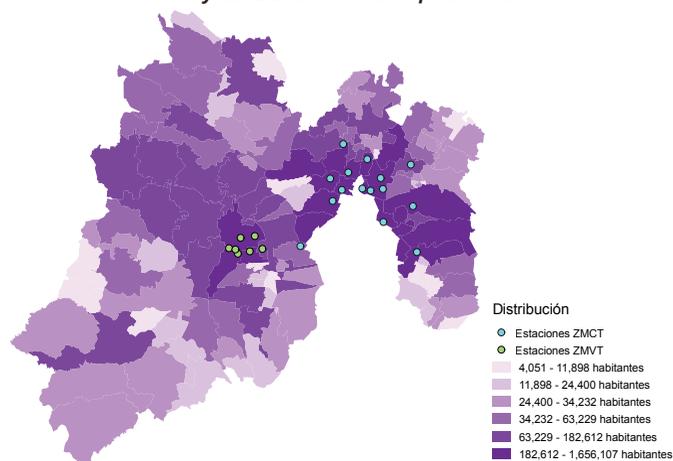
- Asentamientos humanos¹ con más de quinientos mil habitantes.
- Zonas metropolitanas y conurbaciones.
- Asentamientos humanos con emisiones superiores a veinte mil toneladas anuales de contaminantes criterio primarios a la atmósfera.
- Zonas con significativa actividad industrial.

Actualmente, la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) y la región conurbada del Estado de México con la Ciudad de México, denominada Zona Metropolitana de Cuautitlán-Texcoco en el presente documento, cuentan con un SMCA. El sistema de la ZMVT se compone de 7 estaciones y es administrado por la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México a través de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). El SMCA del Valle de México cuenta con 43 estaciones totales, de las cuales 28 están en la Ciudad de México y 15 se localizan en la Zona Metropolitana de Cuautitlán-Texcoco (ZMCT). Esta red de estaciones es conocida como el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) y es operada por el Gobierno de la Ciudad de México.

Comparando el sistema de monitoreo atmosférico de la ZMVT con otros sistemas de monitoreo de la calidad del aire, como los que se tienen en la ciudad de Tokio, Japón (30 estaciones); Ámsterdam, Holanda, (10 estaciones); Los Ángeles, California (35 estaciones); Houston, Texas (8 estaciones) y Sao Paulo, Brasil con 25 estaciones (Ramírez Flores, 2002); se considera que las estaciones existentes en la ZMVT son insuficientes (7 estaciones).

El Mapa 2.1 muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo atmosférico en el Estado de México.

Mapa 2.1 Ubicación de las estaciones de monitoreo atmosférico y distribución de la población



2. A fin de mantener congruencia a lo largo del documento, al hacer referencia a las estaciones de la RAMA se menciona que se ubican en la ZMVT; no obstante, la infraestructura actual permite únicamente monitorear a los municipios de Toluca, Metepec y San Mateo Atenco.

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA, 2017), Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010) y Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM, 2017)

De las siete estaciones que son operadas por el gobierno estatal, cinco se ubican en Toluca, una en Metepec y una en San Mateo Atenco. Es importante mencionar que la infraestructura actual permite monitorear únicamente a los municipios de Toluca, Metepec y San Mateo Atenco, mientras que no se cuenta con cobertura de todos los municipios que conforman la Zona Metropolitana del Valle de Toluca². Se tiene contemplada la operación de otras cuatro estaciones (Ocoyoacac, Zinacantepec, Xonacatlán y Almoloya de Juárez), pero su ubicación no se muestra en el Mapa 2.1. La Ciudad de México administra el resto de las estaciones, ya que fueron instaladas con el objetivo de abarcar la Zona Metropolitana del Valle de México y tener mejores indicadores para la Ciudad de México.

Al observar las características del Estado de México, según se detalla en el capítulo anterior, y considerando los criterios de la NOM-156-SEMARNAT-2012, las regiones que carecen de un sistema y que deben contar con uno son:

- La Zona Metropolitana de Santiago Tianguistenco.
- La Zona Sur, debido a su extensión territorial y actividades económicas.
- La Zona de Atlacomulco, por tener más de 500 mil habitantes y contar con una zona industrial relevante.
- La Zona de Ixtapan de la Sal, por tener más de 500 mil habitantes con expectativas de crecimiento.
- Los municipios de Chimalhuacán y Cuautitlán Izcalli por tener más de 500 mil habitantes.

Actualmente la RAMA presenta áreas de oportunidad para mejorar en cuanto a la infraestructura necesaria para la medición, registro, procesamiento y difusión de los niveles de los principales contaminantes atmosféricos, así como de los parámetros meteorológicos que influyen sobre los niveles de contaminación en el aire.

En el Capítulo 6 se detallan las acciones necesarias para fortalecer la red de monitoreo atmosférico de la zona, además de la adición de estaciones en el Estado de México para mantener un monitoreo constante en las zonas en donde sea necesario, de acuerdo con las actividades que se realizan y a las características de la región.

2.1.1. Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT

Historia del Sistema de Monitoreo Atmosférico

En 1993, el Gobierno del Estado de México adquirió los componentes para la instalación de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana de Toluca (RAMA de la ZMVT), misma que inició operaciones en 1994 y desde entonces es administrada por la Secretaría de Ecología, hoy en día Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del

Estado de México. Se rige bajo diferentes normas de calidad del aire, entre ellas las normas de salud, enfocadas en determinar un valor límite para los diferentes contaminantes criterio. La integran siete estaciones de monitoreo, un Centro de Control y una unidad móvil; dividiéndose en tres zonas: Zona Norte, Zona Centro y Zona Sur.

Desde 1994, la unidad móvil se ha utilizado para realizar monitoreo en sitios que no cuentan con cobertura para la medición de contaminantes, de los más importantes destacamos el realizado en las zonas aledañas al volcán Popocatepetl y en diversos municipios del Estado de México.

A finales del año 2010, la RAMA de la ZMVT fue renovada en su totalidad adquiriendo equipo de reemplazo para monitoreo atmosférico y sensores meteorológicos, ambos de última generación. Además, una estación de monitoreo fue reubicada (Toluca Centro) y se instaló una nueva, Ceboruco, que se ubicó en la Prepa 5 de la Universidad Autónoma del Estado de México, reemplazando a la estación de San Lorenzo.

En el año 2015 se lograron adquirir componentes necesarios para garantizar la operación del sistema de monitoreo atmosférico de la ZMVT. Para el año 2016 se lograron adquirir refacciones y consumibles para garantizar la operación de la RAMA, así como sensores para medir radiación ultravioleta y un equipo de carbono negro. En el año 2017, a través de un proyecto de inversión estatal, se logró la adquisición de dos estaciones nuevas acondicionadas para instalar equipo de monitoreo y torre meteorológica, las cuales se ubican en el municipio de Ocoyoacac y Zinacantepec; dos estaciones más serán instaladas en Xonacatlán y Almoloya de Juárez con recursos federales. Estas cuatro estaciones se encuentran en proceso para iniciar sus operaciones.

Componentes del Sistema de Monitoreo Atmosférico

Las estaciones de monitoreo fijas son cabinas metálicas climatizadas en donde se encuentran instalados los analizadores automáticos para el monitoreo de 6 contaminantes atmosféricos (O_3 , PM_{10} , $PM_{2.5}$, CO , NO_2 , SO_2). De forma general, la medición de la contaminación del aire se inicia con la obtención de la muestra de aire ambiente en la estación, la cual pasa a los analizadores. Ahí, se procesa la información para generar los datos que posteriormente se envían al Centro de Control, vía Internet, donde se almacenan y se validan, para integrar los diferentes reportes de calidad del aire. La red opera las 24 horas del día, los 365 días del año, por lo que la generación de datos es constante y en tiempo real.

Además, las estaciones cuentan con una torre meteorológica, equipada con sensores que miden la temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento, precipitación, radiación solar, humedad relativa y la presión barométrica. Estas cabinas cuentan con energía eléctrica regulada y un sistema de adquisición de datos basado en una plataforma y una

3. Inició operaciones en 1994 en la Plaza España del Centro de Toluca y fue reubicada en el 2010 a las instalaciones de la UAEM.
4. En proceso de reubicación.

topología de red local interna con un sistema de comunicación con el Centro de Control vía internet. Cuenta con un área para el almacenaje de los tanques de gas para la calibración de los equipos y una zona pequeña acondicionada para trabajos de oficina. En todas las cabinas se tienen los analizadores para los 6 contaminantes, mientras que la instalación de sensores para el monitoreo de los parámetros meteorológicos es variada. La Tabla 2.1 detalla las características de cada una de las estaciones de la RAMA ubicadas en la ZMVT.

Tabla 2.1 Configuración de las estaciones de monitoreo ZMVT

#	Nombre estación	Clave	Municipio	Tipo	Domicilio	Fecha de inicio	Estatus	Partículas y gases medidos	Parámetros meteorológicos
01	Oxtotitlán	OX	Toluca	Automática	Escuela Primaria Carmen Serdán, calle Lago Caimanera esq. Laguna de la Asunción, Col. Nueva Oxtotitlán	RAMA (1994)	Activa	O ₃ , NO ₂ , NO, NO _x , CO, SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5}	DV, HR, PP, TMP, UVB, VV, HRI, TMPI
02	Toluca Centro	CE	Toluca	Automática	Gimnasio Prof. Guillermo Ortega Vargas de la UAEM, calle Venustiano Carranza esq. Mariano Matamoros	RAMA (2011) ³	Activa	O ₃ , NO ₂ , NO, NO _x , CO, SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5}	DV, HR, PB, PP, RS, TMP, UVB, VV, HRI, TMPI
03	Metepec	MT	Metepec	Automática	Manzana # 20-A, Col. Izcalli Cuauhtémoc V, Metepec, México, C.P. 52176	RAMA (1994)	Activa	O ₃ , NO, NO _x , NO ₂ , CO, SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5}	DV, HR, PB, PP, RS, TMP, UVB, VV, HRI, TMPI
04	Ceboruco	CB	Toluca	Automática	Calle Ceboruco S/N, Colonia Azteca, C.P. 50640	RAMA (2011)	Activa	O ₃ , NO, NO _x , NO ₂ , CO, SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5}	DV, HR, PB, PP, TMP, UVB, VV, HRI, TMPI
05	San Mateo Atenco	SM	San Mateo Atenco	Automática	Av. Hacienda Tres Marías # 260 Col. Santa Elena, San Mateo Atenco, C.P. 52100	RAMA (1994)	Activa	O ₃ , NO, NO _x , NO ₂ , CO, SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5}	DV, HR, PB, PP, TMP, UVB, VV, HRI, TMPI
06	Aeropuerto	AP	Toluca	Automática	Calle Enedino Arévalo Alanís S/N, Parque Industrial Exportec II, San Pedro Totoltepec, C.P. 54080	RAMA (1994)	Inactiva ⁴	O ₃ , NO ₂ , CO, SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5}	VV, DV, TMP, HR, PP
07	San Cristóbal Huichochitlán	SC	Toluca	Automática	Paseo de la Luz esq. Manuel Hinojosa Giles S/N, Poblado de San Cristóbal Huichochitlán, C.P. 50100	RAMA (1994)	Activa	O ₃ , NO ₂ , NO, NO _x , CO, SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5}	DV, HR, PB, PP, RS, TMP, UVB, VV, HRI, TMPI

Fuentes: Gobierno del Estado de México
(RAMA, 2018)

Centro de Control

El Estado de México cuenta con un centro de control para el SMCA del Valle de Toluca, mismo que se encuentra a cargo de la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica, ubicado en la calle Urawa #100, Anexo A, Col. Izcalli IPIEM, Toluca. Su función principal es el procesamiento, análisis, validación y difusión de los datos generados de calidad del aire de cada una de las estaciones de monitoreo.

2.1.3. Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ZMCT

La Ciudad de México cuenta con una amplia infraestructura que permite medir, registrar, procesar y difundir las concentraciones de los contaminantes criterio y las condiciones meteorológicas que influyen sobre los niveles de contaminación atmosférica. El Sistema de Monitoreo Automático (SIMAT) tiene el objetivo de vigilar el comportamiento de los contaminantes atmosféricos cada hora del día durante todo el año y de esta manera ser la base para activar el Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA). Asimismo, busca evaluar las tendencias de la calidad del aire e informar a la población sobre los niveles de contaminación. Parte de las estaciones y sitios de monitoreo del SIMAT se encuentran en el Estado de México; en específico, se ubican en los municipios del área conurbada del Estado con la Ciudad de México, dentro de la Zona Metropolitana de Cuautitlán-Texcoco.

El SIMAT está integrado por cuatro subsistemas cuyas características se describen a continuación. De igual modo se describen los objetivos de cada subsistema (Tabla 2.2) y las características de las estaciones del SIMAT ubicadas en el Estado de México (Tabla 2.3).

- Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). Cuenta con 29 estaciones, de las cuales 15 se ubican en la ZMCT. Mide continuamente ozono (O_3), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10}) y partículas menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$); con esta información se genera el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA).
- Red de Meteorología y Radiación Solar (REDMET). Integrada por 19 sitios (12 dentro de la ZMCT) que miden continuamente temperatura (TMP), humedad relativa (HR), dirección (DV) y velocidad (VV) del viento, presión atmosférica, radiación fotosintéticamente activa, radiación global (RADG), radiación solar UV-A (UVA) y UV-B (UVB); con esta última se genera cada hora el Índice UV;
- Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA). Cuenta con 11 sitios de monitoreo, de los cuales 4 se encuentran en la ZMCT. Mide de forma manual las concentraciones de partículas suspendidas (PST, PM_{10} y $PM_{2.5}$) y plomo (Pb).

- Red de Depósito Atmosférico (REDDA). Se compone de 16 sitios de muestreo (4 dentro de la ZMCT). En estos sitios se recolectan muestras de lluvia para determinar volumen, acidez, conductividad y el contenido de nitratos, sulfatos, sodio, calcio, magnesio y potasio.

Tabla 2.2 Objetivos de los subsistemas de monitoreo

Subsistema	RAMA	REDMET	REDMA	REDDA
Objetivo	Registro de la calidad del aire ambiente en la ZM, con métodos de medición automáticos.	Medición de los parámetros meteorológicos que influyen en la dispersión, transporte y transformación de los contaminantes en la atmósfera. Medición de radiación solar para investigación de procesos fotoquímicos e información a la población para prevenir la exposición.	Registro de partículas suspendidas totales con métodos de medición manuales, complementario al registro de la RAMA.	Seguimiento de sustancias que determinan la acidez del agua de lluvia.

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SEDEMA, 2002)

Tabla 2.3 Configuración de las estaciones de monitoreo ZMCT (que se encuentran en el área conurbada del Estado de México con la Ciudad de México)

#	Nombre estación	Clave	Municipio	Tipo	Domicilio	Fecha de inicio	Estatus	Partículas y gases medidos	Parámetros meteorológicos
01	Acolman	ACO	Acolman	Automática	Calzada de los Agustinos s/n, Col. Centro, C.P. 55870	RAMA (2007), REDMET (2011)	Activa	O ₃ , NO _x , NO ₂ , NO, CO, SO ₂ , PM ₁₀	VV, DV, HR
02	Atizapán	ATI	Atizapán de Zaragoza	Automática	Océano Pacífico s/n, Col. Lomas Lindas, C.P. 54947	RAMA (1994)	Activa	O ₃ , NO _x , NO ₂ , NO, CO, SO ₂ , PM ₁₀	DV, HR, TMP, VV
03	Chalco	CHO	Chalco	Automática y manual	Insurgentes s/n, Col. Casco de San Juan, C.P. 56600	RAMA (2007), REDMET (2011)	Activa	O ₃ , NO _x , NO ₂ , NO, CO, SO ₂ , PM ₁₀	VV, DV, TMP, HR
04	Cuautitlán	CUT	Tepotzotlán	Automática y manual	Carretera Circunvalación s/n, Col. El Trébol, C.P. 54600	RAMA (2012), REDMET (2012)	Activa	O ₃ , NO _x , NO ₂ , NO, SO ₂ , PM ₁₀	VV, DV, TMP, HR, PB

05	FES Acatlán	FAC	Naucalpan de Juárez	Automática y manual	Av. Alcanfores y San Juan Totoltepec s/n, Col. Santa Cruz Acatlán, C.P. 53150	RAMA (1986), REDMET (1986)	Activa	O ₃ , NO _x , NO ₂ , NO, CO, SO ₂ , PM ₁₀	VV, DV, TMP, HR
06	Investigaciones Nucleares	INN	Ocoyoacac	Automática y manual	Carretera México-Toluca s/n, La Marquesa, Ocoyoacac, C.P. 52750	RAMA (2015), REDMET (2015)	Activa	O ₃ , CO, SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5}	VV, DV, TMP, HR, PB
07	La Presa	LPR	Tlalnepantla de Baz	Automática y manual	Asociación Mexicana de Excursionistas del D.F. s/n, Col. La Presa, C.P. 54189	RAMA (1986), REDMET (1989)	Activa	O ₃ , NO _x , NO ₂ , NO, CO, SO ₂	DV, HR, TMP, VV
08	Los Laureles	LLA	Ecatepec de Morelos	Automática	Río Piedad esq. Ponce s/n, Col. Fracc. Río Piedras, C.P. 55090	RAMA (1986)	Activa	O ₃ , NO _x , NO ₂ , NO, CO, SO ₂	DV, HR, TMP, VV
09	Montecillo	MON	Texcoco	Automática y manual	Km. 36,5 carretera México - Texcoco, Col. Montecillo, C.P. 56230	RAMA (1994), REDMET (2000), REDDA (1994)	Activa	O ₃ , NO _x , NO ₂ , NO, CO, SO ₂	DV, HR, TMP, VV
10	Nezahualcóyotl	NEZ	Nezahualcóyotl	Mixta	Av. Ángel de la Independencia s/n, Col. Metropolitana 2a sección, C.P. 57740	RAMA (2011), REDMET (2011), REDMA (1989), REDDA (1990)	Activa	O ₃ , NO _x , NO ₂ , NO, CO, SO ₂ , PM _{2.5}	DV, HR, TMP, VV
11	San Agustín	SAG	Ecatepec de Morelos	Mixta	Av. Santa Rita y Sur 92, Col. San Agustín 3a sección, C.P. 55130	RAMA (1986), REDMET (1986), REDMA (2003)	Activa	O ₃ , NO _x , NO ₂ , NO, CO, SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5}	VV, DV, TMP, HR
12	Tlalnepantla	TLA	Tlalnepantla de Baz	Mixta	Glorieta Atlacomulco s/n, Col. Tlalnemex, C.P. 54070	RAMA (1986), REDMET (1986), REDMA (1989), REDDA (1989)	Activa	O ₃ , NO _x , NO ₂ , NO, CO, SO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5}	VV, DV, TMP, HR, PB
13	Tultitlán	TLI	Tultitlán	Automática	Blvd. Lomas de Cartagena s/n, Col. Lomas de Cartagena, C.P. 54943	RAMA (1994)	Activa	O ₃ , NO _x , NO ₂ , NO, CO, SO ₂ , PM ₁₀	DV, HR, TMP, VV
14	Villa de las Flores	VIF	Coacalco de Berriozábal	Automática	Primavera y Palmacristi s/n, Col. Villa de las Flores, C.P. 55710	RAMA (1994), REDMET (2000)	Activa	O ₃ , NO _x , NO ₂ , NO, CO, SO ₂ , PM ₁₀	DV, HR, TMP, VV

15	Xalostoc	XAL	Ecatepec de Morelos	Mixta	Vía Morelos km 12.5, Col. Xalostoc, entre López Rayón y Av. Benito Juárez, C.P. 54190	RAMA (1986), RED-MET (1986), REDMA (1989), RED-DA (1989)	Activa	O ₃ , NO _x , NO ₂ , NO, CO, SO ₂ , PM ₁₀ ¹ , PM _{2.5}	DV, HR, TMP, VV, PB
----	----------	-----	---------------------	-------	---	--	--------	--	---------------------

Fuentes: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2018b) y Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA, 2017)

2.1.4. Cumplimiento de la NOM-156-SEMARNAT-2012

La Norma Oficial Mexicana para el establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire (NOM-156-SEMARNAT-2012) tiene como principal objetivo especificar las condiciones mínimas que deben ser observadas para el establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire (SEMARNAT, 2012). El cumplimiento a esta NOM se evalúa mediante las auditorías realizadas a la red de monitoreo, cuyos resultados se presentan a continuación.

2.1.5. Auditorías del Sistema de Monitoreo Atmosférico

Zona Metropolitana del Valle de Toluca

Durante diciembre de 2016, la Coordinación de Contaminación y Salud Ambiental del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, llevó a cabo una evaluación técnica de desempeño de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico del Valle de Toluca (INECC, 2016). Fueron evaluadas 4 de las 7 estaciones de la Red (57% del total): San Cristóbal Huichochitlán, Oxtotitlán, Ceboruco y Toluca Centro, cuya ubicación se describe en la Tabla 2.1. Cada una de las estaciones auditadas cuenta con la infraestructura necesaria para medir los contaminantes criterio y parámetros meteorológicos.

La evaluación consistió en una inspección física de las estaciones y la determinación de la diferencia entre la respuesta de los instrumentos verificados y concentraciones de gases conocidas que fueron introducidas a través de la toma de muestra, empleando equipo de referencia del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Para la auditoría son aplicados criterios de aceptabilidad de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) y de la Oficina de Recursos del Aire de California (CARB, por sus siglas en inglés).

En general, la auditoría mostró que las estaciones auditadas se encuentran en buenas condiciones de operación y mantenimiento. No se observaron problemas en cuanto al almacenamiento, registro y transmisión de datos. El personal que opera la Red se encuentra capacitado; sin embargo, la cantidad de personal no es suficiente. En 2016 laboraban 2 personas para atender 6 estaciones.

Algunas áreas de oportunidad identificadas durante las auditorías incluyen la capacitación especializada anual del personal técnico. Es importante mencionar que desde el año 2002 se han llevado a cabo auditorías técnicas al sistema de monitoreo y se ha observado una tendencia positiva en el desempeño del sistema; cada vez es mayor el número de equipos que muestran respuestas aceptables ante las pruebas efectuadas. Resulta imprescindible continuar facilitando los elementos para mantener esta tendencia de mejora, lo cual incluye atender la falta de un presupuesto adecuado para garantizar la continua y correcta operación de la Red. Es necesario fortalecer institucionalmente a la RAMA, de tal manera que cuenten con un grado de autonomía que facilite sus actividades. Finalmente, el sistema de monitoreo no cuenta con un laboratorio donde puedan realizarse los mantenimientos y calibraciones.

Es importante mencionar que en auditorías anteriores (INECC, 2013) se identificaron observaciones respecto de la ubicación de las estaciones de monitoreo. Por ejemplo, con el paso del tiempo hay estaciones cuyo entorno ya no permite que se realicen mediciones de forma representativa. La estación Aeropuerto se encuentra a un costado de una zona industrial y de una avenida muy transitada por camiones de carga y autobuses, por lo que sus mediciones se ven directamente afectadas por las emisiones de su entorno cercano; actualmente se encuentra en proceso de reubicación. Es necesario evaluar la ubicación del resto de las estaciones y analizar la posibilidad de reubicación y/o modificación del entorno (poda de árboles, etc.).

Zona Metropolitana de Cuautitlán-Texcoco

A manera de ejemplo, esta sección incluye los resultados de auditoría de las estaciones de monitoreo atmosférico del Estado (EPA Systems, 2017): San Agustín, Xalostoc y Tlalnepantla. Cada sitio fue revisado en lo referente a especificaciones generales, mantenimiento preventivo y correctivo, documentación y operación. No se encuentra disponible la información relacionada con las auditorías de las demás estaciones, por lo que se incluyen en el Capítulo 6 las medidas y acciones necesarias para promover y garantizar el buen funcionamiento y correcta operación de las estaciones de monitoreo atmosférico. Cabe destacar que las estaciones auditadas corresponden al SMCA operado por el Gobierno de la Ciudad de México.

En general, las auditorías siguieron los mismos lineamientos que las de la ZMVT; son las pautas de sistemas de monitoreo de calidad del aire de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), que se encuentran en los siguientes documentos:

- *Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems, Volume II: Part 1, Ambient Air Quality Monitoring Program System Development, EPA-454/B-13-003, May 2013.*
- *Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems, Volume I: A Field Guide to Environmental Quality Assurances, EPA/600/R-94/038a, April 1994.*

Las estaciones presentan un buen mantenimiento y limpieza; los sistemas de plomería y electricidad se encuentran bien diseñados. Los colectores de muestras están libres de suciedad, por lo que se infiere que son limpiados regularmente.

En general, las estaciones están bien operadas y sus técnicos se encuentran bien entrenados; tienen los suficientes conocimientos de procedimientos de control de calidad.

Los resultados de la auditoría indican que todos los parámetros se encuentran dentro de los objetivos de auditoría ($\pm 15\%$ para contaminantes gaseosos y $\pm 10\%$ para material particulado). Estos resultados se muestran en la Tabla 2.4, junto con los referentes a la titulación en fase gaseosa (GPT, por sus siglas en inglés) del convertidor de dióxido de nitrógeno y el error de medición del barómetro.

En conclusión, las estaciones se encuentran construidas, mantenidas y operadas de manera adecuada, por lo que sus datos son confiables.

Tabla 2.4 Diferencia porcentual promedio de los contaminantes

Diferencia porcentual promedio			
Contaminante/Sitio	San Agustín	Xalostoc	Tlalhepantla
Ozono (O ₃)	1.9%	-1.2%	0.1%
Monóxido de nitrógeno (NO)	2.8%	-2.0%	-1.2%
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	2.8%	-0.5%	-1.0%
Dióxido de azufre (SO ₂)	0.4%	-3.7%	-0.8%
Monóxido de carbono (CO)	1.9%	1.6%	-4.1%
Material particulado (PM ₁₀)	-0.3%	-2.7%	0.7%
Material particulado (PM _{2.5})	-1.7%	-4.1%	0.1%

Fuente: EPA Systems
(EPA Systems, 2017)

2.2. Normas de Salud vigentes de Calidad del Aire

Para evaluar el cumplimiento de calidad del aire para la protección de la salud, existen las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), las cuales definen límites máximos permisibles (LMP) para diferentes contaminantes. Hay 6 normas vigentes:

- NOM-020-SSA1-2014⁵. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O₃) en el aire ambiente y criterios para su evaluación.
- NOM-021-SSA1-1993. Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.
- NOM-022-SSA1-2010. Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
- NOM-023-SSA1-1993. Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO₂) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.
- NOM-025-SSA1-2014⁶. Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5} en el aire ambiente y criterios para su evaluación.
- NOM-026-SSA1-1993. Valor normado para la concentración de plomo (Pb) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.

La Tabla 2.5 muestra los criterios de evaluación de las Normas Oficiales Mexicanas, con los que se verifica el cumplimiento de los límites máximos permisibles para cada contaminante criterio en cuanto al dato base, el tipo de exposición, la frecuencia tolerada, el valor límite y el indicador con el que se evalúa y los criterios de suficiencia que se deben de cumplir.

Tabla 2.5 Criterios de evaluación de las Normas Oficiales Mexicanas vigentes

Contaminante	Periodo de evaluación	Exposición	Frecuencia tolerada	Valor límite e indicador con el que se evalúa	Criterio de suficiencia anual	Norma Oficial Mexicana
Partículas PM ₁₀	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	75 µg/m ³ Máximo	Por lo menos tres trimestres con al menos 75% de los promedios de 24 horas válidos (DOF, 2014)	NOM-025-SSA1-2014 (DOF, 2014)
		Crónica	-	40 µg/m ³ Promedio anual		
Partículas PM _{2.5}	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	45 µg/m ³ Máximo		
		Crónica	-	12 µg/m ³ Promedio anual		

5. Anteriormente NOM-020-SSA1-1993. A partir de 2014, se modificaron los límites máximos permisibles de O₃.

6. Anteriormente NOM-025-SSA1-1993. A partir de 2014, se realizaron cambios a los límites máximos permisibles de PM₁₀ y PM_{2.5}.

Ozono (O ₃) ^a	Dato horario	Aguda	No se permite	0.095 ppm Máximo	Al menos 75% de los datos horarios ^a	NOM-020-SSA1-2014 (DOF, 2014)
	Promedio móvil de 8 horas		No se permite	0.070 ppm Máximo anual	Al menos 75% de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 horas (DOF, 2014)	
Dióxido de azufre (SO ₂)	Promedio móvil de 8 horas	Aguda	2 veces al año	0.200 ppm Segundo máximo	Al menos 75% de los promedios móviles de 8 horas	NOM-022-SSA1-2010 (DOF, 2010) ^b
	Promedio 24 horas	Aguda	1 vez al año	0.110 ppm Máximo	Al menos 75% de los promedios de 24 horas	
	Dato horario	Crónica	-	0.025 ppm Promedio anual	Al menos 75% de los datos horarios	
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Dato horario	Aguda	1 vez al año	0.210 ppm Máximo	Al menos 75% de los datos horarios	NOM-023-SSA1-1993 (DOF, 1994) ^b
Monóxido de carbono (CO)	Promedio móvil de 8 horas	Aguda	1 vez al año	11.00 ppm Máximo	Al menos 75% de los promedios móviles de 8 horas	NOM-021-SSA1-1993 (DOF, 1994) ^b

- a. En el caso del ozono en los numerales 5.2.3.1 y 5.2.3.2 de la NOM se especifica que aún en el caso en el que no se cumpla el criterio de suficiencia del 75% de los valores horarios o de los promedios móviles de 8 horas, se incumplirá la norma cuando: al menos uno de los valores horarios sea mayor a 0.095 ppm o al menos uno de los valores de los promedios móviles de 8 horas sea mayor a 0.070 ppm.
- b. En estas NOM no se especifica cómo realizar el manejo de datos y tampoco criterios de suficiencia de información, pero en congruencia con las especificaciones de las NOM de Partículas y Ozono se aplica, en la agregación de cada dato, el criterio de 75% de suficiencia de información para obtener los indicadores.

Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2010, 2018a)

2.3. Indicadores de la calidad del aire

Un indicador es una representación numérica que sintetiza información en un periodo de análisis. Los indicadores de la calidad del aire permiten, entre otras cosas, evaluar el estado de la contaminación atmosférica y comunicar al público cuál es la calidad del aire que respira, así como conocer el estado que guarda la contaminación atmosférica en un lugar determinado.

Para el cálculo de los indicadores de calidad del aire del Estado de México se consideran datos obtenidos durante el periodo comprendido entre 2015 y 2017 para la generación de indicadores primarios y del periodo 2011-2017 para el análisis tendencial. Se evalúa el cumplimiento de las NOM para cada uno de los contaminantes criterio; también se representan las tendencias de la calidad del aire en cuanto a número de días con calidad del aire buena regular y mala. La metodología utilizada se basa en lo establecido por las Normas Oficiales Mexicanas vigentes.

Estos indicadores se calculan con distintos tipos de datos (promedios de una hora, promedios móviles y promedios diarios), según el fenómeno que representan (INECC, 2010):

- El promedio de una hora (también referido como dato horario o concentración horaria) es el promedio de las concentraciones minuto a minuto o de algún intervalo de tiempo dentro de la hora. El promedio se calcula sobre el periodo de tiempo anterior a la hora que se está determinando.
- Los promedios móviles de 8 horas se calculan a partir de las concentraciones horarias, tomando el promedio de la hora seleccionada con las 7 concentraciones registradas en las horas previas. Por ejemplo, para estimar el promedio móvil de 8 horas de las 13:00 horas, se calcula el promedio de las concentraciones registradas para cada hora desde las 06:00 hasta la 13:00 horas.
- El máximo diario se refiere al valor más alto de los 24 valores horarios o promedios móviles registrados durante el día. En caso del segundo máximo, se recupera el segundo valor más alto.
- El promedio diario se refiere al promedio de los 24 valores horarios registrados en el mismo día.
- El Percentil 98 es el valor por debajo del cual se acumula el 98% de los registros dejando arriba de este valor el 2% del total. Este indicador sirve para evaluar el valor límite permisible para la concentración de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$.

A continuación, se presentan los indicadores primarios y secundarios de calidad del aire para la ZMVT y ZMCT. Para el cálculo de los indicadores de ambas zonas metropolitanas se consideraron las mediciones de cada estación de monitoreo atmosférico, las cuales se encuentran publicadas en la página web oficial de cada sistema de monitoreo atmosférico⁷.

Es importante mencionar que al Estado de México le compete la evaluación de la operatividad de la red de la ZMVT, pero no de la ZMCT, que es administrada por el Gobierno de la Ciudad de México.

7. Las páginas web de los Sistemas de Monitoreo Atmosférico son:
RAMA (ZMVT):
<http://rama.edomex.gob.mx>
SIMAT:
<http://www.aire.cdmx.gob.mx>

2.3.1. Indicadores primarios

Los indicadores primarios para cada contaminante criterio permiten evaluar el estado de la calidad del aire, con respecto a eventos específicos de contaminación. Se emplearon indicadores de las concentraciones máximas horarias y promedios diarios y móviles para evaluar el comportamiento de las concentraciones que han presentado los contaminantes criterio y su referencia con las normas de protección a la salud.

La calidad del aire en un día dado se puede clasificar de acuerdo con dos criterios:

1. Según el INECC, la calidad del aire de cada día se puede categorizar como buena, regular o mala, de acuerdo con los límites permisibles indicados en las normas de salud. La distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala se determinó a partir de los datos diarios conforme a lo que se muestra en la Tabla 2.6. Para todos los contaminantes analizados se utilizó el criterio de suficiencia de 75% de los datos y se definió la calidad de aire de acuerdo con los siguientes criterios:
 - Días con calidad del aire buena: el dato diario obtenido se ubicó en el intervalo definido entre cero y la mitad del límite respectivo especificado en la NOM de salud.
 - Días con calidad del aire regular: cuando el dato diario obtenido se ubicó en el intervalo definido entre la mitad del límite respectivo especificado en la NOM de salud y el límite mismo.
 - Días con mala calidad del aire: cuando el dato diario obtenido rebasó el límite especificado en la NOM respectiva.

Tabla 2.6 Datos diarios y criterios de suficiencia para la determinación de la distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala

Contaminante	Dato diario	Criterio de suficiencia de información para el cálculo de los datos diarios
PM ₁₀	Promedio de 24 horas	Al menos el 75% de los datos horarios
PM _{2.5}	Promedio de 24 horas	Al menos el 75% de los datos horarios
O ₃	Máximo horario en un día	Al menos el 75% de los datos horarios
SO ₂	Promedio de 24 horas	Al menos el 75% de los datos horarios
NO ₂	Máximo horario en un día	Al menos el 75% de los datos horarios
CO	Máximo de los promedios móviles de 8 horas	Al menos el 75% de los datos de promedios móviles de 8 horas

Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
(INECC, 2018a)

2. El Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA)⁸ es un indicador que clasifica la calidad de los días en buena, regular, mala, muy mala y extremadamente mala utilizando una escala normalizada obtenida a partir de los límites normados. Este método permite la comparación entre las concentraciones de los contaminantes criterio, siguiendo la siguiente escala de números y colores (véase Tabla 2.7):

- Entre el 0 y 50 le corresponde el color verde referente a la condición recomendable de calidad del aire para que cualquier persona pueda realizar todo tipo de actividades al aire libre.
- Entre el 51 y el 100, la asignación del color amarillo indicará que las condiciones de calidad del aire aún son adecuadas para realizar actividades al aire libre y que pueden causar molestias en la población conforme se incrementan las concentraciones de los contaminantes criterio.
- Conforme se incremente la magnitud de las concentraciones se asignará un número mayor y colores que señalan un aumento del riesgo. En orden creciente los colores son naranja, rojo y morado, este último asociado con los eventos de mayor riesgo.

Tabla 2.7 Escala de números y colores del Índice Metropolitano de Calidad del Aire

Condición	Criterio (IMECA)
Buena	0 – 50
Regular	51 – 100
Mala	101 – 150
Muy mala	151 – 200
Extremadamente mala	>200

Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico ZMVT (RAMA, 2018)

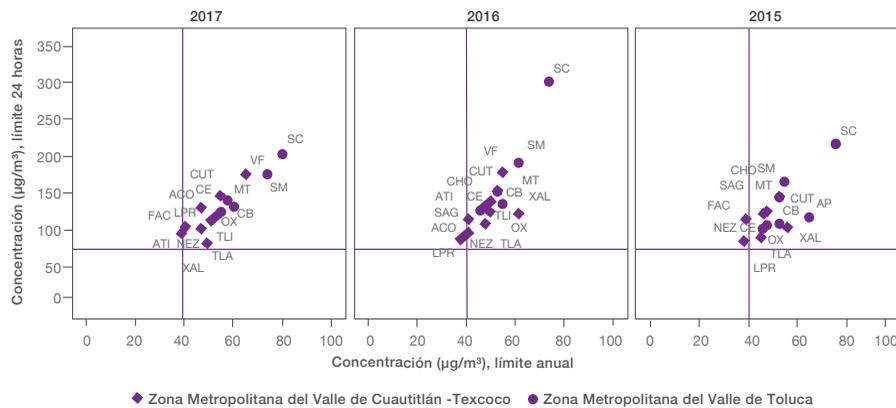
Indicadores primarios de Partículas Suspensas PM_{10}

Evaluación del cumplimiento de la norma de salud vigente

La Gráfica 2.1 muestra los resultados del análisis del cumplimiento de la NOM por estación de monitoreo y límite normado (promedio de 24 horas y promedio anual) para el periodo 2015-2017. Se destaca que ninguna de las estaciones de monitoreo de la ZMVT y ZMCT cumplió con la NOM de PM_{10} en los tres años analizados. Si bien algunas de las estaciones no rebasaron el límite anual, todas rebasaron el límite de 24 horas. Las concentraciones más altas se registran en la estación de monitoreo San Cristóbal (SC) en el municipio de Toluca.

8. Consultar <http://rama.edomex.gob.mx/imeca> para mayor detalle sobre el cálculo del Índice o el Anexo IV de este documento.

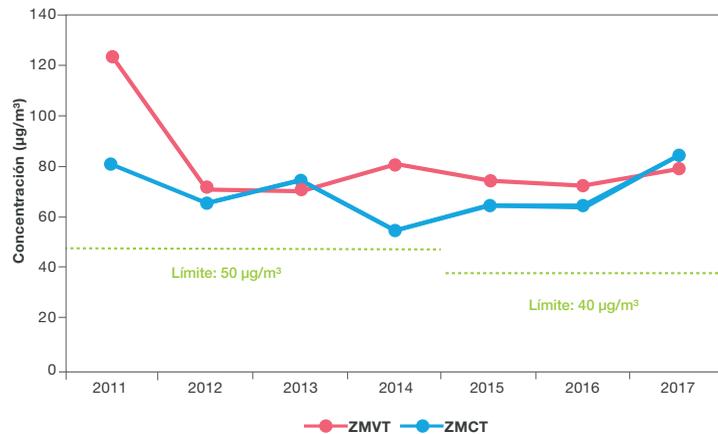
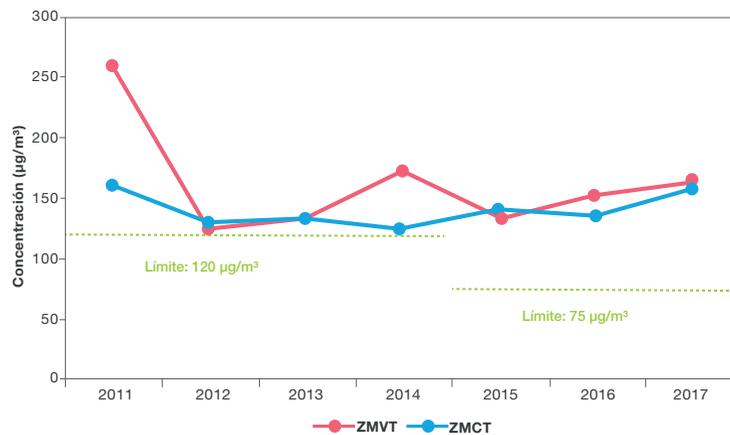
Gráfica 2.1 Evaluación del cumplimiento de la NOM de PM_{10} por estación de monitoreo en el Estado de México (2015 – 2017)



Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2018a)

En la Gráfica 2.2 podemos observar los valores máximos registrados en las dos zonas metropolitanas, durante el periodo 2011-2017, para el promedio anual de PM_{10} . Para ambas zonas metropolitanas los valores superaron los límites normados ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ antes y durante 2014 y $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a partir de 2015) en todos los años. La Gráfica 2.3 muestra el valor máximo registrado en la ZMVT y la ZMCT del percentil 98 para las partículas suspendidas PM_{10} durante el periodo de análisis. En ninguno de los años evaluados (2011-2017) se cumplió con el límite normado ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante los años del 2011 al 2014 y $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a partir de 2015).

Asimismo, en las Gráficas 2.2 y 2.3 también es posible observar que las concentraciones de PM_{10} son ligeramente mayores en la ZMVT en comparación con las concentraciones registradas en la ZMCT, indicando una problemática de este contaminante en la zona. El incumplimiento de esta NOM indica que es necesario realizar acciones para disminuir la concentración de material particulado en el aire ambiente, dado que no se observa que exista una tendencia de disminución en las concentraciones registradas para este contaminante criterio en los últimos años.

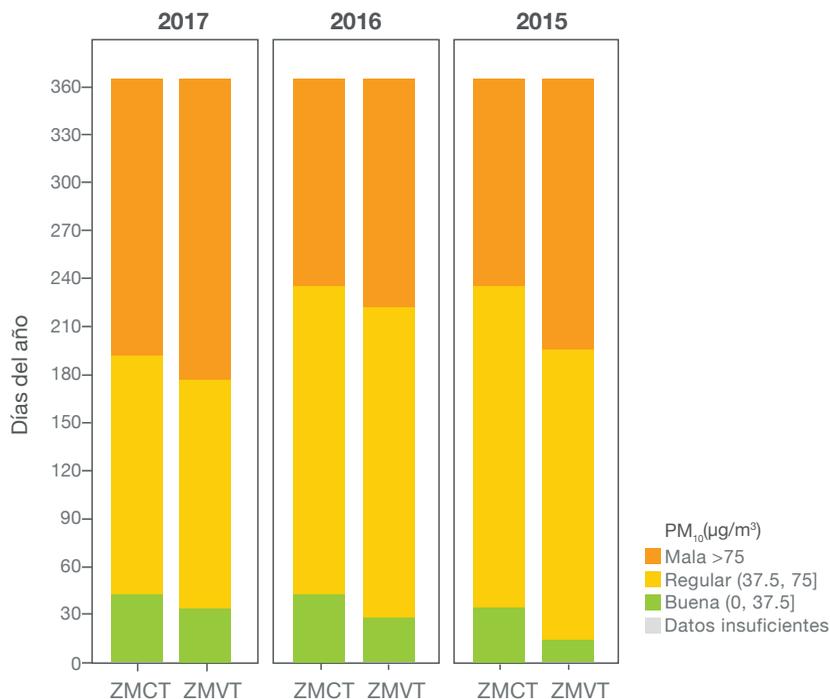
Gráfica 2.2 Promedio anual de PM_{10} en el Estado de México (2011 – 2017)Gráfica 2.3 Percentil 98 de PM_{10} en el Estado de México (2011 – 2017)

Fuente: Elaboración propia con información de la RAMA-ZMVT y el SIMAT-ZMCT

Número de días con calidad del aire buena, regular y mala

La Gráfica 2.4 muestra que en las estaciones que se ubican en la ZMVT se suele registrar una mayor cantidad de días con mala calidad del aire que en las estaciones que se ubican en el ZMCT. Por ejemplo, en 2015 en la ZMVT se presentó un 20% más de días con mala calidad del aire en comparación con la ZMCT; en 2016 fue un 8% mayor; y en 2017, un 6%. En ambas zonas metropolitanas se observa una tendencia en el aumento del porcentaje de días con calidad del aire buena. En cuanto a días con mala calidad del aire, la ZMCT muestra una tendencia de aumento, mientras que la ZMVT se ha mantenido constante. A nivel estatal, alrededor del 50% de los días de cada año alcanzan una mala calidad del aire respecto de las PM_{10} , superando en estos días el límite normado de 24 horas.

Gráfica 2.4 Distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala por PM_{10} en el Estado de México (2015 – 2017)



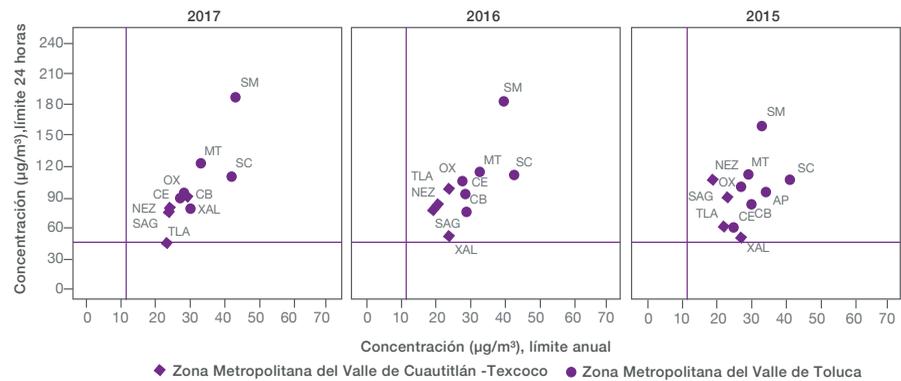
Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2018a)

Indicadores primarios de Partículas Suspendidas $PM_{2.5}$

Evaluación del cumplimiento de la norma de salud vigente

La Gráfica 2.5 muestra los resultados del análisis de cumplimiento de la NOM de $PM_{2.5}$ por estación de monitoreo y límite normado (promedio de 24 horas y promedio anual). Se observa que en ninguna de las estaciones de monitoreo se cumplió con los límites mencionados durante los años evaluados (2015 – 2017). En 2017, solamente la estación Tlalnepantla (TLA), ubicada en la ZMCT, cumplió con el límite normado de 24 horas, mas no con el límite del promedio anual. Las concentraciones más altas de este contaminante se registraron en San Mateo Atenco (SM) y San Cristóbal (SC) en la ZMVT.

Gráfica 2.5 Evaluación del cumplimiento de la NOM de $PM_{2.5}$ por estación de monitoreo en el Estado de México (2015 – 2017)



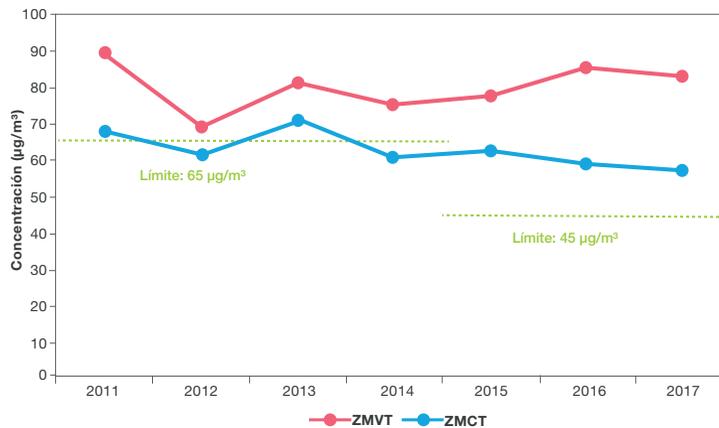
Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2018a)

En la Gráfica 2.6 podemos observar los valores máximos registrados en ambas zonas metropolitanas, durante el periodo 2011-2017, para el promedio anual de $PM_{2.5}$. Los valores superaron los límites normados ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ antes y durante 2014 y $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a partir de 2015) en todos los años. La Gráfica 2.7 muestra el valor máximo registrado en la ZMVT y en la ZMCT del percentil 98 para la fracción de partículas suspendidas $PM_{2.5}$, durante el periodo de análisis. Es posible observar que las concentraciones de $PM_{2.5}$ son mayores en la ZMVT en comparación con las concentraciones registradas en la ZMCT; esta última sí cumplió con el límite del percentil 98 en los años 2012 y 2014, pero ha estado en incumplimiento desde la modificación de la norma. En las dos zonas metropolitanas no se observa que las concentraciones de $PM_{2.5}$ hayan disminuido en los últimos años.

Gráfica 2.6 Promedio anual de $PM_{2.5}$ en el Estado de México (2011 – 2017)



Gráfica 2.7 Percentil 98 de $PM_{2.5}$ en el Estado de México (2011 – 2017)

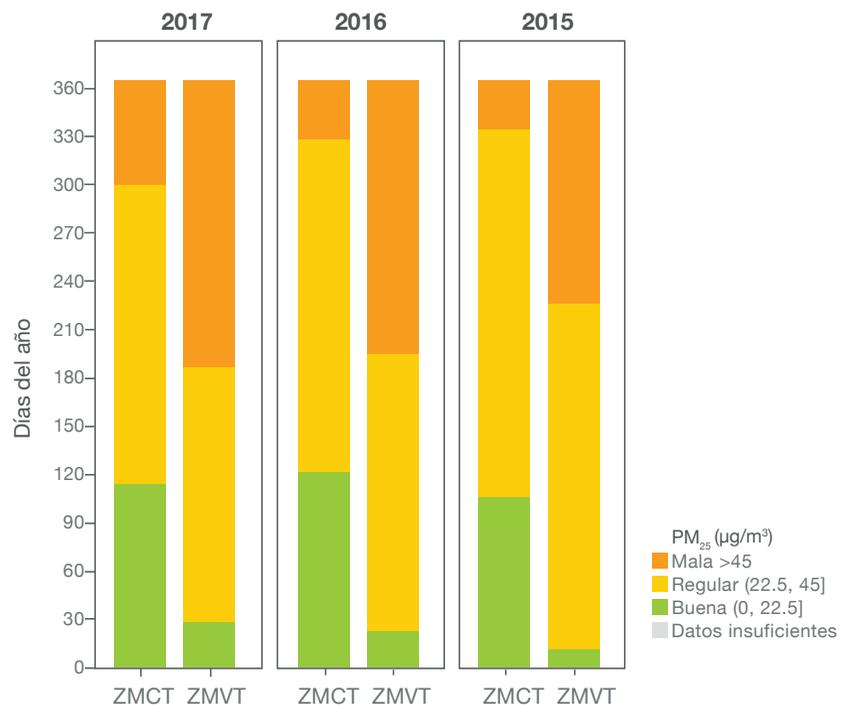


Fuente: Elaboración propia con información de la RAMA-ZMVT y el SIMAT-ZMCT

Número de días con calidad del aire buena, regular y mala

En la ZMVT se observa que en 2016 y 2017 en aproximadamente el 50% de los días de cada año se alcanzaron concentraciones superiores al límite normado de $PM_{2.5}$ (Gráfica 2.8). En comparación, la ZMCT superó el límite normado únicamente en 18% de los días durante 2017. Es digno de resaltar el hecho de que este contaminante tiene un peso relevante en el elevado porcentaje de días con mala calidad del aire que aqueja a la ZMVT.

Gráfica 2.8 Distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala por $PM_{2.5}$ en el Estado de México (2015 – 2017)



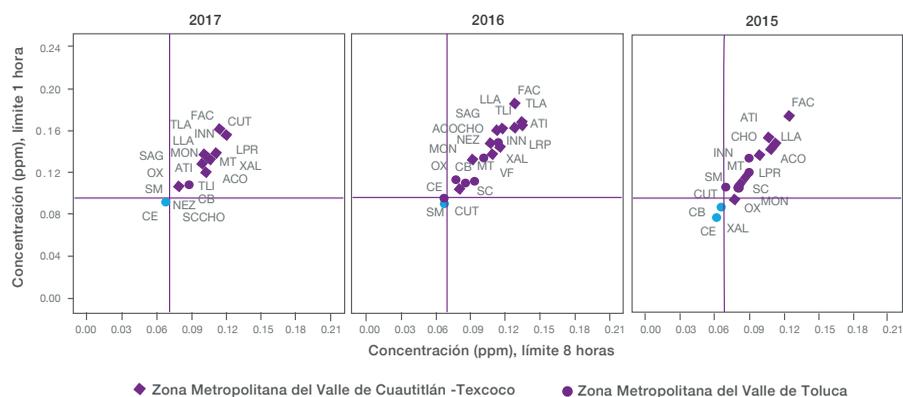
Fuente: Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2018a)

Indicadores primarios de Ozono O₃

Evaluación del cumplimiento de la norma de salud vigente

La NOM para ozono se cumplió en dos estaciones de monitoreo en 2015 (CB y CE) y solamente en una estación en 2016 (SM) y 2017 (CE), todas localizadas en la ZMVT. En cambio, en todas las estaciones ubicadas en la ZMCT se incumplió con los dos límites normados en los tres años analizados: el límite del promedio horario y el límite del promedio móvil de 8 horas (Gráfica 2.9). Se observa que las concentraciones horarias más altas de ozono se registraron en la estación FES Acatlán en el municipio de Naucalpan de Juárez. En la Gráfica 2.9 también se puede observar que para el año 2016 las concentraciones de ozono fueron en general más altas en comparación con los años de 2015 y 2017.

Gráfica 2.9 Evaluación del cumplimiento de la NOM de O₃ por estación de monitoreo en el Estado de México (2015 – 2017)



Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
(INECC, 2018a)

Del análisis de la Gráfica 2.9 se concluye que este contaminante comúnmente rebasa los límites normados tanto en la ZMVT como la ZMCT, siendo esta última zona la que rebasa de manera más frecuente los límites para ozono. En la Gráfica 2.10 podemos observar los valores máximos registrados para los promedios horarios de O₃ en ambas zonas metropolitanas durante el periodo 2011-2017. En la gráfica también se observa que las concentraciones de O₃ son mayores en la ZMCT, en donde la máxima concentración alcanzada en el periodo de análisis se presentó en el año 2016. Este comportamiento indica que es necesario implementar acciones para mejorar la calidad del aire y cumplir con lo establecido por la NOM, al no observarse una tendencia de disminución de las concentraciones máximas alcanzadas en las dos zonas metropolitanas.

Gráfica 2.10 Máximos horarios de O₃ en el Estado de México (2011 – 2017)

Fuente: Elaboración propia con información de la RAMA-ZMVT y el SIMAT-ZMCT

Número de días con calidad del aire buena, regular y mala

Además de presentar las concentraciones más altas de ozono, la ZMCT también presenta la frecuencia más alta con que se registran concentraciones superiores al límite normado de una hora. No obstante, existen variaciones por año en el número de días con mala calidad del aire que deben analizarse con más detalle. Por ejemplo, en 2015, 37% de los días presentaron una mala calidad del aire por O₃ en la ZMCT y 4% en la ZMVT; en 2016 fueron 35% de los días en la ZMCT y 7% en la ZMVT; y en 2017 se registraron 35% de los días en la ZMCT y 12% en la ZMVT. Se puede apreciar que mientras en la ZMCT los días con mala calidad del aire por O₃ se han mantenido estables, la ZMVT registra un incremento en este rubro (Gráfica 2.11).

Gráfica 2.11 Distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala por O₃ en el Estado de México (2015 – 2017)



Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático⁹ (INECC, 2018a)

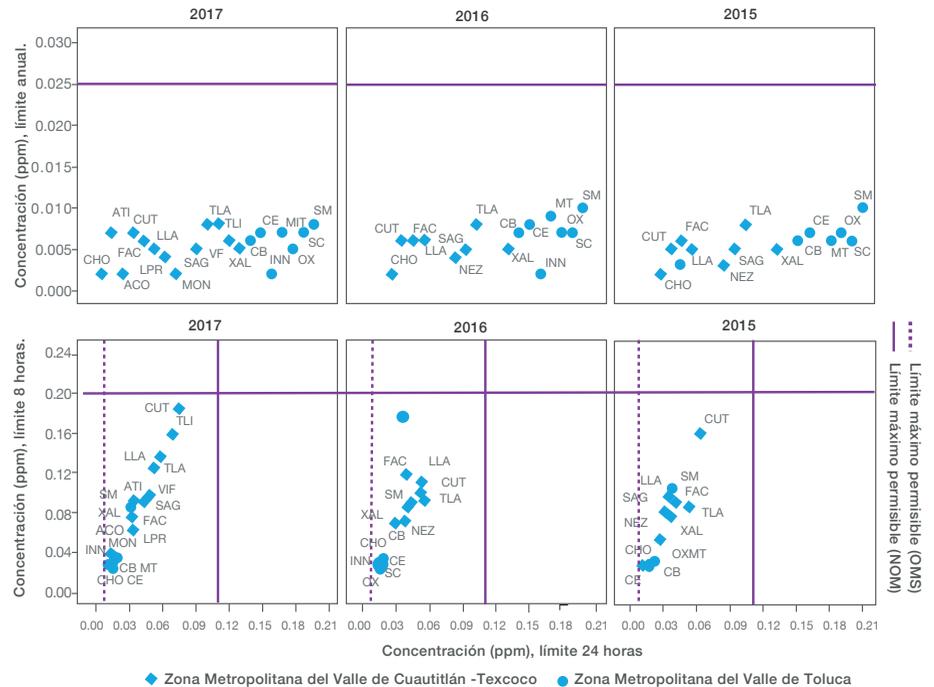
Indicadores primarios de Dióxido de Azufre SO₂

Evaluación del cumplimiento de la norma de salud vigente

La NOM de calidad del aire para SO₂ establece tres diferentes límites a cumplir: 8 horas (promedio móvil), 24 horas (promedio diario) y promedio anual de los datos horarios. La Gráfica 2.12 nos permite ver que, en el periodo de tiempo analizado, en todas las estaciones de monitoreo de ambas zonas metropolitanas donde fue posible evaluar el cumplimiento de esta norma, se registraron concentraciones inferiores a los tres límites. No obstante, en todas las estaciones las concentraciones de este contaminante como promedio diario se ubican por arriba del valor guía recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que es 0.008 ppm (línea vertical punteada). De este análisis se desprende que es necesario seguir trabajando para reducir las concentraciones en el aire de este contaminante en el Estado de México.

9. Para el número de días con calidad del aire mala por ozono en la ZMVT se utilizó la información proporcionada directamente por la RAMA de la SMAGEM.

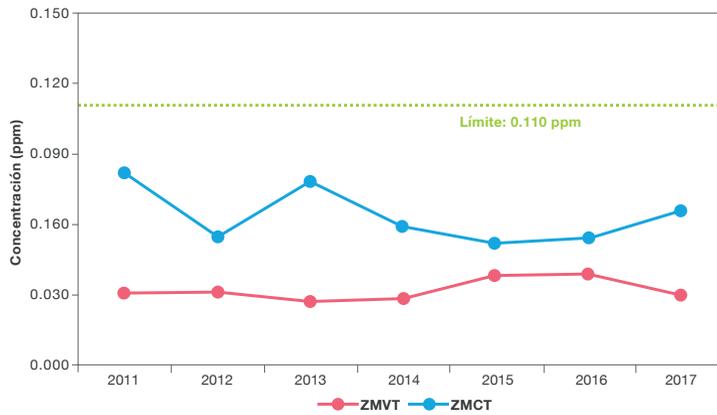
Gráfica 2.12 Evaluación del cumplimiento de la NOM de SO₂ por estación de monitoreo en el Estado de México (2015 – 2017)



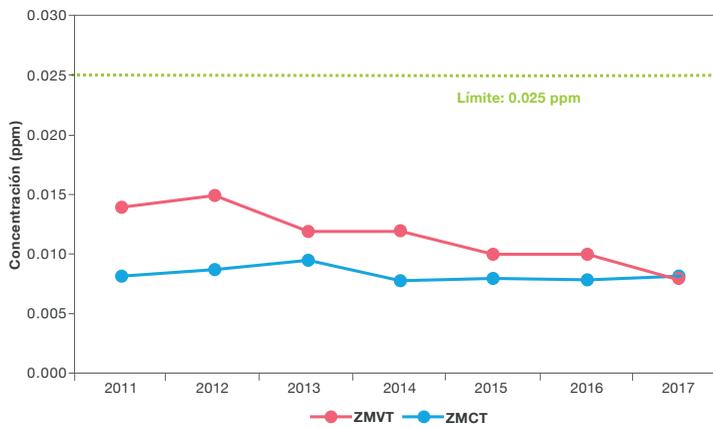
Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2018a)

En la Gráfica 2.13 y la Gráfica 2.14 podemos observar los valores máximos registrados en las estaciones de monitoreo de ambas zonas metropolitanas, para el promedio diario y el promedio anual de SO₂, respectivamente, durante los años 2011-2017. En el periodo de análisis no se han rebasado los límites normados para este contaminante. Se puede destacar que la ZMVT muestra una tendencia de disminución en el valor del promedio anual para dióxido de azufre.

Gráfica 2.13 Promedio diario de SO₂ en el Estado de México (2011 – 2017)



Gráfica 2.14 Promedio anual de SO₂ en el Estado de México (2011 – 2017)

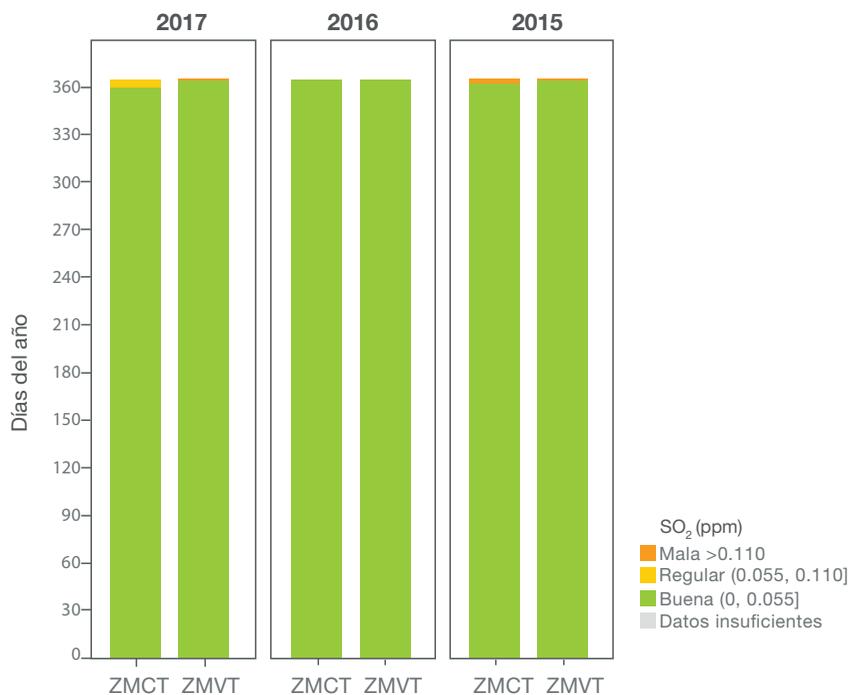


Fuente: Elaboración propia con información de la RAMA-ZMVT y el SIMAT-ZMCT

Número de días con calidad del aire buena, regular y mala

La Gráfica 2.15 muestra que, bajo los criterios de la NOM vigente para SO_2 , son predominantes los días con buena calidad del aire por este contaminante en el Estado de México. En este periodo de tiempo (2015-2017) son prácticamente inexistentes los días con calidad del aire regular (amarillo).

Gráfica 2.15 Distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala por SO_2 en el Estado de México (2015 – 2017)



Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2018a)

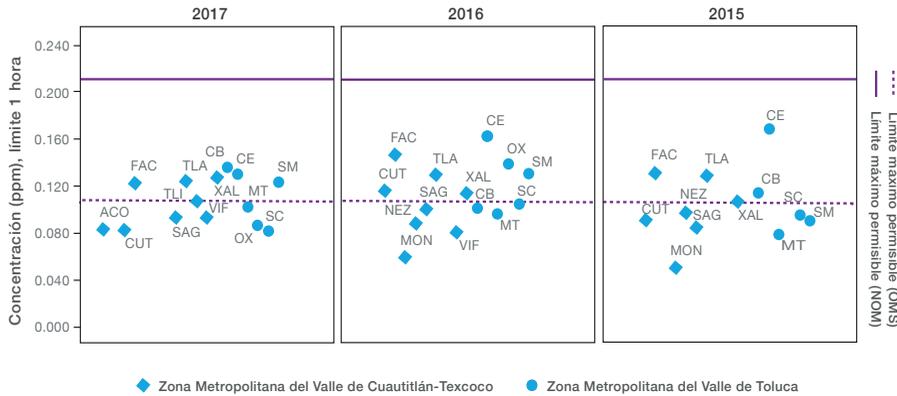
Indicadores primarios de Dióxido de Nitrógeno NO_2

Evaluación del cumplimiento de la norma de salud vigente

La NOM de calidad del aire para NO_2 define que el límite máximo permisible es de 0.210 ppm como promedio horario. Para cumplir con la norma, el límite establecido no debe rebasarse más de una vez al año. En la Gráfica 2.16 podemos observar que en todas las estaciones de monitoreo donde se evaluó esta NOM se registraron concentraciones inferiores al límite durante los tres años analizados (2015 a 2017). Sin embargo, esta NOM no se ha actualizado desde el año 1993 y la OMS recomienda como guía que

el límite del promedio horario para NO₂ se establezca en 0.106 ppm. Si se comparan las concentraciones del segundo máximo de cada estación con este valor guía (línea punteada) se observa que hay varias estaciones donde este valor ha sido superado en ambas zonas metropolitanas.

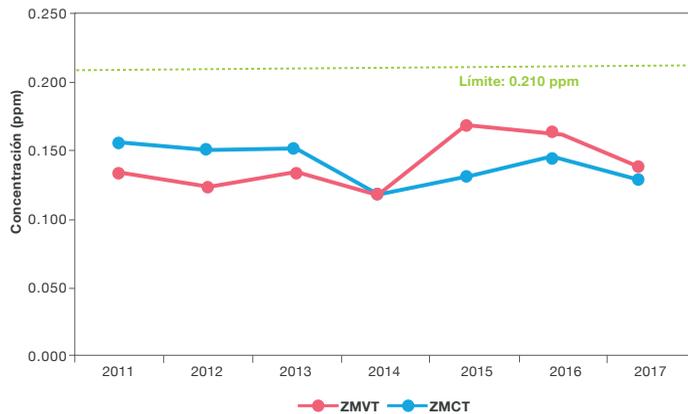
Gráfica 2.16 Evaluación del cumplimiento de la NOM de NO₂ por estación de monitoreo en el Estado de México (2015 – 2017)



Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2018a)

La Gráfica 2.17 muestra los valores máximos registrados para la concentración de NO₂ en cada año desde 2011 hasta 2017; el indicador toma en cuenta el segundo valor máximo del promedio horario de la concentración de NO₂. Podemos observar que desde 2011 no se ha superado el límite establecido en la NOM para NO₂ en las estaciones ubicadas dentro del Estado de México.

Gráfica 2.17 Segundo máximo del promedio horario de NO₂ en el Estado de México (2011 – 2017)

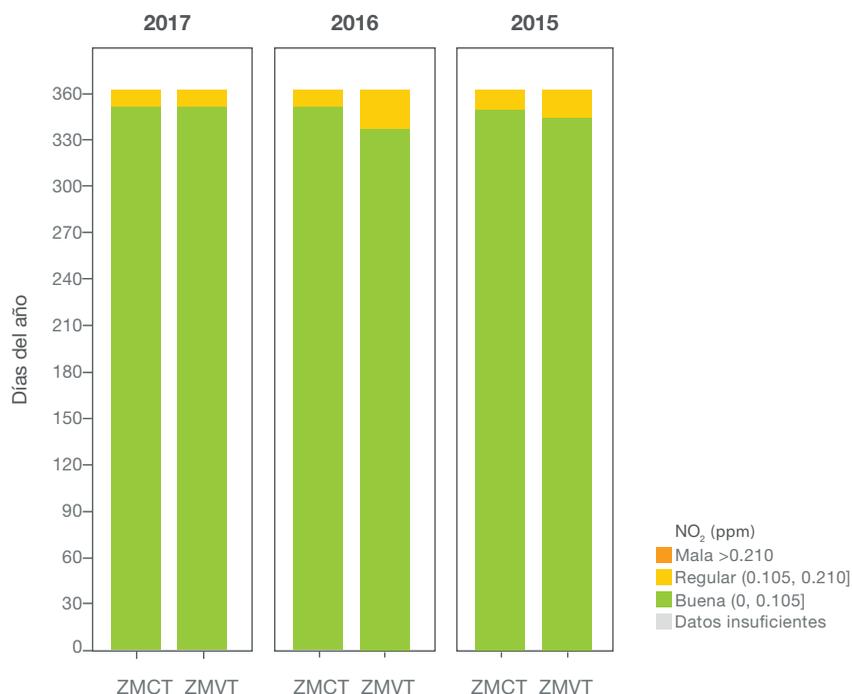


Fuente: Elaboración propia con información de la RAMA-ZMVT y el SIMAT-ZMCT

Número de días con calidad del aire buena, regular y mala

Respecto de la distribución de la calidad del aire por NO_2 , la Gráfica 2.18 permite ver que en todas las estaciones de monitoreo predominaron los días con buena calidad del aire (verde) en el Estado de México durante los tres años analizados. En cada uno de los años más del 90% de los días presentaron buena calidad del aire.

Gráfica 2.18 Distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala por NO_2 en el Estado de México (2015 – 2017)



Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2018a)

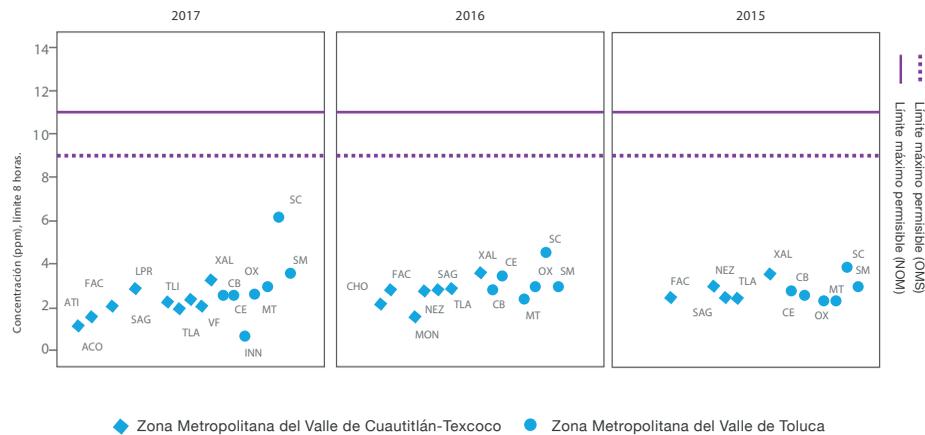
Indicadores primarios de Monóxido de Carbono CO

Evaluación del cumplimiento de la norma de salud vigente

La NOM de calidad del aire para CO establece que el límite máximo permisible es de 11 ppm como promedio móvil de 8 horas. Para cumplir con la norma, el límite establecido no debe rebasarse más de una vez al año. La Gráfica 2.19 muestra el cumplimiento de la NOM para cada estación donde fue posible medir este contaminante. En los tres años analizados (2015-2017) se cumplió en todas las estaciones de monitoreo con el límite normado. Es importante destacar que el CO es el único

contaminante criterio cuyas concentraciones registradas son inferiores al valor guía recomendado por la OMS (9 ppm como promedio de 8 horas), el cual se muestra en la Gráfica 2.19 como una línea punteada.

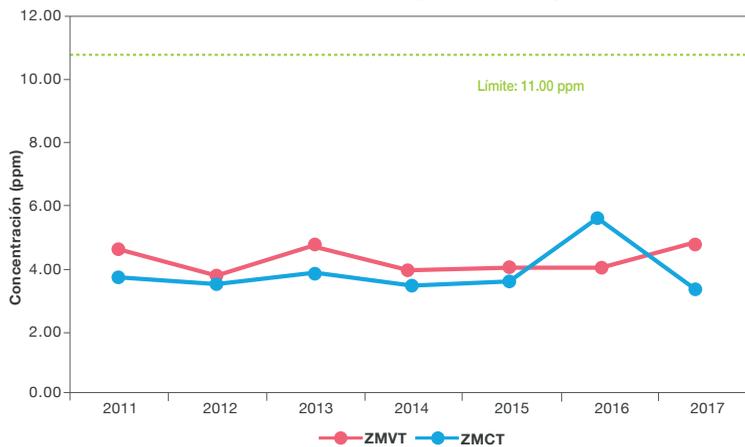
Gráfica 2.19 Evaluación del cumplimiento de la NOM de CO por estación de monitoreo en el Estado de México (2015 – 2017)



Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2018a)

La Gráfica 2.20 muestra los valores máximos registrados en ambas zonas metropolitanas para el segundo máximo del promedio móvil de 8 horas de la concentración de CO, durante el periodo de análisis (2011-2017). Podemos observar que desde 2011 no se ha superado el límite establecido en la NOM para CO en las estaciones ubicadas dentro del Estado de México.

Gráfica 2.20 Segundo máximo del promedio móvil de 8 horas de CO en el Estado de México (2011 – 2017)

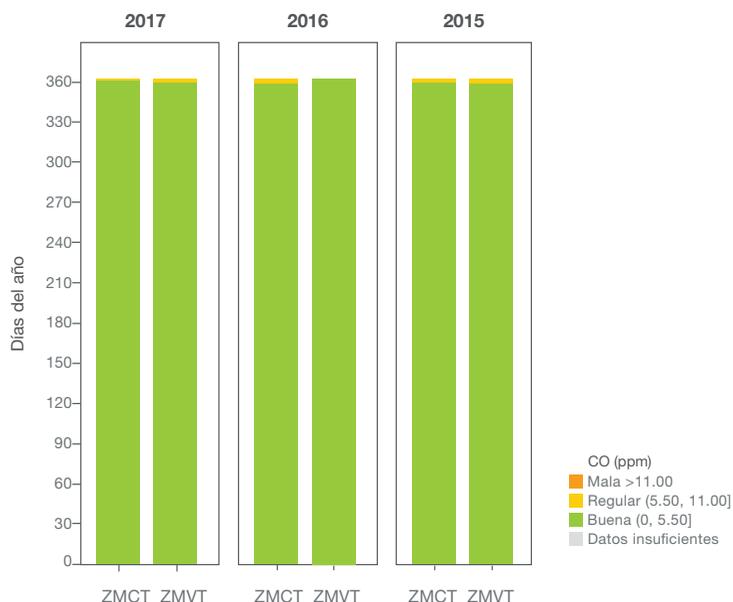


Fuente: Elaboración propia con información de la RAMA-ZMVT y el SIMAT-ZMCT

Número de días con calidad del aire buena, regular y mala

En los tres años analizados predominan los días con buena calidad del aire por monóxido de carbono en todas las estaciones de monitoreo donde fue posible evaluar este contaminante. No se aprecian diferencias significativas con respecto a la distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala entre la ZMVT y la ZMCT (Gráfica 2.21).

Gráfica 2.21 Distribución de días con calidad del aire buena, regular y mala por CO en el Estado de México (2015 – 2017)



Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2018a)

2.3.2. Indicadores Secundarios

Comportamiento de los contaminantes durante el día

El comportamiento diario se obtiene mediante el cálculo del promedio de todas las concentraciones registradas en cada una de las horas del día, considerando todas las estaciones de monitoreo durante el periodo de análisis (2015-2017).

En la Gráfica 2.22 se presenta el comportamiento durante el día de los contaminantes criterio para ambas zonas metropolitanas, las cuales presentan tendencias similares. La principal diferencia que se puede observar es que las concentraciones de los contaminantes son mayores en la ZMVT, a excepción del ozono, que es ligeramente mayor en la ZMCT de 9 a 19 horas. Es decir, el Valle de Toluca presenta tendencias más

elevadas para cinco de los seis contaminantes criterio, en comparación con el Valle de Cuautitlán-Texcoco.

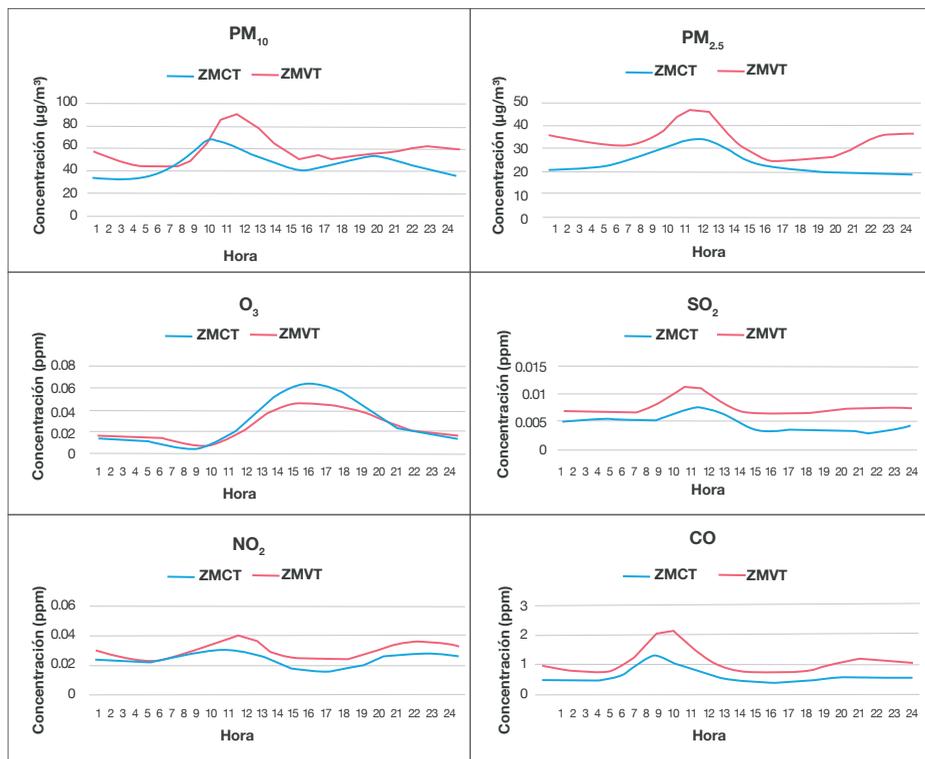
Las concentraciones más altas de todos los contaminantes, a excepción del ozono, se presentan entre las 7 y 11 horas, manteniéndose de esa manera a lo largo del año. Dicho comportamiento coincide con el horario posterior inmediato al periodo de mayor congestión vehicular, que es cuando se trasladan los habitantes para comenzar sus labores educativas, profesionales y cotidianas. Después de este horario se puede observar un decremento, para después volver a incrementar ligeramente alrededor de las 20 a las 22 horas. Dicho comportamiento vuelve a coincidir con el horario posterior inmediato al segundo periodo de mayor congestión vehicular, el cual corresponde al término de las labores cotidianas. Por ende, se puede concluir que, después de las horas de mayor tráfico se presenta una acumulación de los contaminantes, ocasionando altas concentraciones de los mismos.

Del comportamiento de la concentración del ozono se puede observar una tendencia significativa de aumento hacia la tarde, alcanzando los valores máximos entre las 14 y 16 horas y los valores mínimos entre las 7 y 9 horas. El rango entre los niveles máximos y mínimos de ozono presentados es mayor que el de las partículas suspendidas. Esto se debe principalmente a que el ozono se forma a partir de la reacción de sus precursores (COV , NO_x) con la luz solar, por lo que es durante el amanecer cuando comienza a formarse y se va acumulando hasta alcanzar su pico después del mediodía, tras el periodo con mayor incidencia de radiación solar y cuando ya se han acumulado sus precursores en la atmósfera; con la ausencia de luz solar es cuando comienza a descender su concentración.

En el caso del monóxido de carbono y el dióxido de nitrógeno, dos de los principales contaminantes emitidos por los vehículos automotores, se presenta un aumento por la mañana, una disminución alrededor de mediodía y un ligero aumento nuevamente en la tarde-noche; como resultado de la actividad vehicular a lo largo del día. Para el material particulado, las concentraciones atmosféricas más altas se presentan por la mañana, en el caso de las $\text{PM}_{2.5}$, y de manera bimodal (con dos picos, uno por la mañana y otro por la tarde) para las PM_{10} . Específicamente, el comportamiento particular de $\text{PM}_{2.5}$ en la ZMVT presenta un segundo pico de concentración hacia la medianoche, cuyo motivo no es claro. Finalmente, el dióxido de azufre presenta los valores más altos a media mañana para después disminuir a lo largo del día.

Debido a la agudización del fenómeno de inversión térmica durante el invierno y el aumento de la precipitación en el verano, los meses de invierno presentan concentraciones más elevadas de los contaminantes. Por lo tanto, las gráficas respectivas de tendencia horaria por contaminante presentarían valores más altos para el invierno, y en los meses de verano, valores más bajos, pero manteniendo la misma tendencia.

Gráfica 2.22 Comportamiento horario de los contaminantes, ZMVT y ZMCT, 2015-2017



Fuente: Elaboración propia con información de la RAMA-ZMVT y el SIMAT-ZMCT

Comportamiento de los contaminantes durante la semana

En la Gráfica 2.23 se presenta el comportamiento durante la semana de los contaminantes criterio para ambas zonas metropolitanas, las cuales presentan tendencias similares. La principal diferencia que se puede observar es que las concentraciones semanales de los contaminantes son mayores en la ZMVT; a excepción del ozono, que es ligeramente mayor en la ZMCT de viernes a domingo.

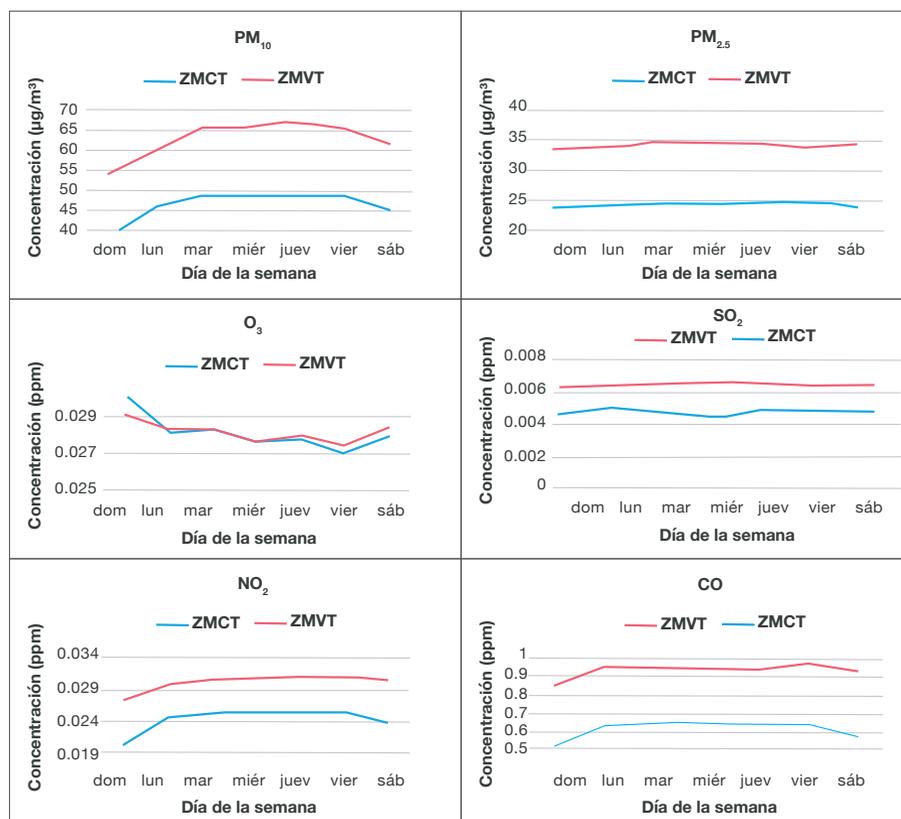
Como es de esperarse, los días de menor contaminación son los fines de semana salvo en el caso del ozono, ya que muchas de las labores se suspenden en sábado y domingo, lo cual representa menor afluencia vehicular. Además, existen ciertas condiciones climáticas que no favorecen la dispersión de contaminantes, provocando que se registren concentraciones más altas.

El aumento en la concentración del ozono observada los días sábados y domingos, tiene que ver principalmente con *el efecto fin de semana*, el cual se presenta cuando, en un régimen sensible a compuestos orgánicos volátiles, la concentración de óxidos de nitrógeno disminuye en mayor

proporción que la concentración de compuestos orgánicos volátiles. Este cambio puede provocar un incremento en la concentración de ozono con respecto a los días laborables. Por otra parte, una reducción en la concentración de óxidos de nitrógeno durante la mañana, disminuye también la disponibilidad de óxido nítrico para la titulación del ozono, provocando que durante la mañana las concentraciones de ozono se incrementen con mayor rapidez que durante el resto de los días de la semana. (SIMAT, 2015)

De igual manera es posible observar que las partículas suspendidas, el monóxido de carbono y el dióxido de nitrógeno presentan un comportamiento similar entre ellos durante los días de la semana, en donde los días de menor concentración ocurren en fin de semana. Este comportamiento va de acuerdo con lo esperado, ya que las emisiones de estos contaminantes dependen directamente de la afluencia vehicular. Por otro lado, el dióxido de azufre se mantiene relativamente constante a lo largo de la semana en ambas zonas metropolitanas, por lo que no se observa una variación de concentraciones entre los días que componen la semana.

Gráfica 2.23 Comportamiento semanal de los contaminantes, ZMVT y ZMCT, 2015-2017



Fuente: Elaboración propia con información de la RAMA-ZMVT y el SIMAT-ZMCT

Comportamiento de los contaminantes durante el año

El comportamiento anual se obtuvo a partir de los promedios de todas las concentraciones diarias durante cada uno de los meses del periodo de análisis (2015-2017).

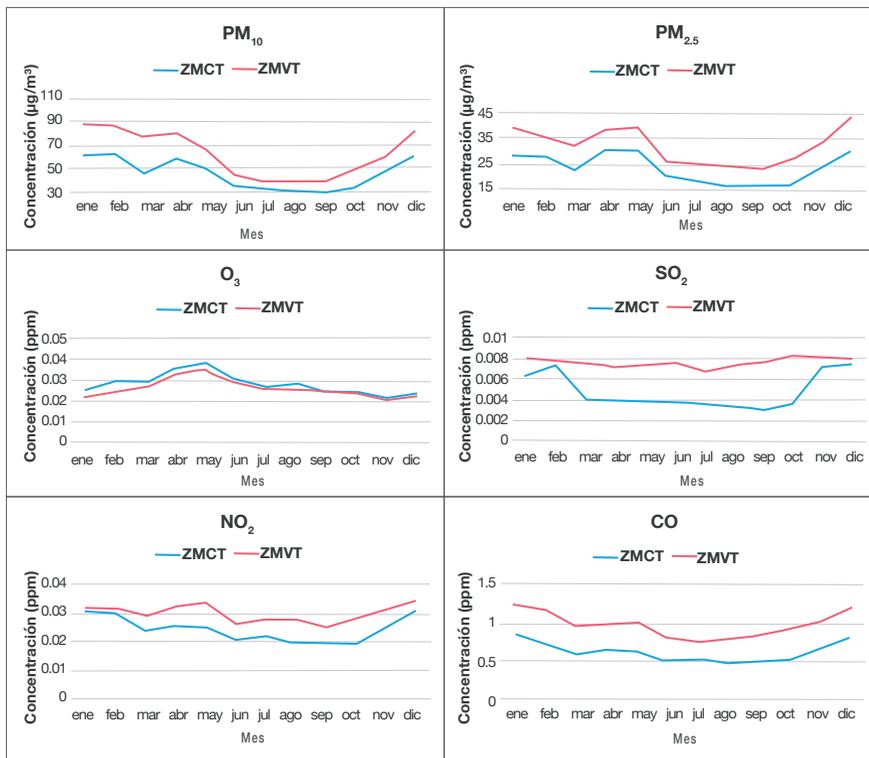
En la Gráfica 2.24 se muestra la tendencia de cada contaminante durante los meses del año para ambas zonas metropolitanas, las cuales presentan similitudes. La principal diferencia que se puede observar es que las tendencias de los contaminantes son mayores en la ZMVT, a excepción del ozono, que es ligeramente mayor en la ZMCT de enero a agosto.

Como se observa, todos los contaminantes, a excepción del ozono, presentan las concentraciones más altas durante los meses de invierno, particularmente en diciembre. Lo anterior se debe a la agudización del fenómeno de inversión térmica. Normalmente, la capa de aire más cercana a la tierra se encuentra debajo de una capa más fría, pero en la inversión térmica ocurre lo contrario, por lo que la convección producida por el calentamiento natural en la capa inferior se ve térmicamente limitado por la capa superior. Este fenómeno atrapa los contaminantes en la parte baja de la atmósfera, evita su dispersión y ocasiona una mayor exposición a la población. Por el contrario, las concentraciones más bajas de contaminantes ocurren en los meses de verano.

Del análisis de la Gráfica 2.24, se desprende que en el mes de mayo se presentan las concentraciones más altas de ozono, lo cual podría deberse al incremento en la incidencia de radiación solar que se registra durante ese mes. En los meses de invierno, en cambio, la cantidad de luz solar que llega a la Tierra es menor, y por lo tanto se presentan las menores concentraciones de este contaminante.

Asimismo, en mayo se presenta un pico para todos los contaminantes. Este fenómeno está asociado a las condiciones que se presentan durante la época seca-caliente. Durante la época de lluvias se presenta un lavado atmosférico que favorece la deposición de contaminantes, por lo que se presentan los niveles más bajos.

Gráfica 2.24 Comportamiento mensual de los contaminantes, ZMVT y ZMCT, 2015-2017



Fuente: Elaboración propia con información de la RAMA-ZMVT y el SIMAT-ZMCT

2.3.3. Evaluación del cumplimiento de las NOM para el año base 2017

Se tomó el año 2017 como periodo de análisis para realizar la evaluación de cumplimiento de las NOM referentes a cada contaminante para cada zona metropolitana¹⁰. Tanto la RAMA (ZMVT) como el SIMAT presentan incumplimiento en varias estaciones para los contaminantes PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ y O_3 . Por otro lado, CO, NO_2 y SO_2 exhibieron valores por debajo de los límites establecidos en las NOM.

Zona Metropolitana del Valle de Toluca

En la Tabla 2.8 se presentan los resultados de la evaluación de la ZMVT, expresados como el máximo valor registrado en la Red y la estación en donde ocurrió; el desglose por estación de monitoreo se puede consultar en la Tabla 2.9

10. Consultar el Anexo IV de este documento para mayores detalles sobre el cálculo de los indicadores de calidad de aire para cada contaminante criterio.

De los resultados presentados en la Tabla 2.8, se puede observar que las concentraciones de partículas suspendidas y ozono se encuentran por encima de los niveles establecidos por sus respectivas NOM. Para las concentraciones de partículas, la ZMVT no se encuentra en cumplimiento en el indicador del percentil 98 ni en el promedio anual. El percentil 98 de PM_{10} se encuentra 116% por encima del límite y para $PM_{2.5}$ 84%. En cuanto al promedio anual, PM_{10} está por encima de lo que indica la NOM en un 101% y $PM_{2.5}$ en 263%.

De la misma manera, el ozono se encuentra en incumplimiento para sus dos indicadores, máximo horario y máximo del promedio móvil. El máximo del promedio móvil se encuentra 43% por encima de lo esperado y el máximo horario un 34%.

Caso contrario, las concentraciones de monóxido de carbono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma durante todo el periodo analizado.

Tabla 2.8 Evaluación del cumplimiento de las NOM (máximos en la RAMA)

Contaminante	Dato	Indicador	Unidades	Resultado máximo	Estación	Límite (NOM)
PM_{10}	Diario (promedio 24 hrs)	Percentil 98 (24 hr)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	162	SC	75
		Promedio anual (1 hr)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	80.4	SC	40
$PM_{2.5}$	Diario (promedio 24 hrs)	Percentil 98 (24 hr)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	83	SM	45
		Promedio anual (1 hr)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	43.5	SM	12
O_3	Diario (promedio móvil 8 hrs)	Máximo (8 hr)	ppm	0.100	MT	0.070
	Horario	Máximo (1 hr)	ppm	0.127	MT	0.095
CO	Promedio móvil (8 hrs)	Segundo máximo (8 hr)	ppm	4.83	SC	11.00
SO_2	Diario (24 hrs)	Máximo (24 hr)	ppm	0.031	SM	0.110
	Horario	Promedio anual (1 hr)	ppm	0.008	SM	0.025
	Promedio móvil (8 hrs)	Segundo máximo (8 hr)	ppm	0.084	SM	0.200
NO_2	Horario	Segundo máximo (1 hr)	ppm	0.136	CB	0.210

Fuente: Elaboración propia con información de la RAMA-ZMVT (SMAGEM, 2018)

En los resultados expresados en la Tabla 2.9 se puede observar la misma tendencia de la Tabla 2.8, donde PM_{10} , $PM_{2.5}$ y O_3 se encuentran fuera de los límites que establece la NOM, a excepción de la estación Toluca Centro (CE) cuyos niveles de ozono sí cumplen con la regulación.

Tabla 2.9 Evaluación de cumplimiento de las NOM por parte de la RAMA ZMVT (por estación)

Contaminante	Dato	Indicador	Unidades	OX	CE	MT	CB	SM	SC	Límite (NOM)
PM_{10}	Diario (promedio 24 hrs)	Percentil 98 (24 hr)	$\mu g/m^3$	102	91	104	110	143	162	75
		Promedio anual	$\mu g/m^3$	54.1	52.0	57.5	60.1	74.4	80.4	40
$PM_{2.5}$	Diario (promedio 24 hrs)	Percentil 98 (24 hr)	$\mu g/m^3$	56	55	65	55	83	79	45
		Promedio anual	$\mu g/m^3$	27.9	27.3	33.3	29.8	43.5	42.0	12
O_3	Promedio móvil (8 hrs)	Máximo (8 hr)	ppm	0.087	0.066	0.100	0.089	0.080	0.086	0.070
	Horario	Máximo (1 hr)	ppm	0.109	0.089	0.127	0.108	0.106	0.105	0.095
CO	Promedio móvil (8 hrs)	Segundo máximo (8 hr)	ppm	2.90	2.80	2.70	2.45	3.24	4.83	11.00
SO_2	Diario (promedio 24 hrs)	Máximo (24 hr)	ppm	0.014	0.016	0.020	0.017	0.031	0.017	0.110
	Horario	Promedio anual	ppm	0.005	0.007	0.007	0.006	0.008	0.007	0.025
	Promedio móvil (8 hrs)	Segundo máximo (8 hr)	ppm	0.022	0.021	0.034	0.027	0.084	0.028	0.200
NO_2	Horario	Segundo máximo (1 hr)	ppm	0.086	0.113	0.102	0.136	0.104	0.082	0.210

Fuente: Elaboración propia con información de la RAMA-ZMVT (SMAGEM, 2018)

Zona Metropolitana de Cuautitlán-Texcoco

En la Tabla 2.10 y la Tabla 2.11 se presentan los diversos indicadores de calidad de aire para los seis contaminantes criterio en cada una de las estaciones de la ZMCT, comparándolos con los límites máximos permisibles establecidos por las NOM para cada contaminante, en el periodo del 1° de enero de 2017 al 31 de diciembre de 2017.

En el caso de PM_{10} , se puede observar que en cinco estaciones de monitoreo se rebasan los límites establecidos por la NOM para el percentil 98 del promedio de 24 horas, mientras que siete estaciones rebasan el límite del promedio anual. Para $PM_{2.5}$, el promedio anual se rebasó en tres estaciones, y el percentil 98 del promedio de 24 horas en dos estaciones. Para el O_3 , los valores medidos rebasaron en todas las estaciones los límites establecidos por la NOM. Para SO_2 , NO_2 y CO no se rebasaron los límites establecidos durante el 2017.

En caso de que las estaciones no cumplieran con los criterios de suficiencia de datos para el cálculo de indicadores según el INECC (al menos el 75% de los minutos, horas o días respectivamente) la casilla se marcó con las siglas NA.

Tabla 2.10 Evaluación del cumplimiento de las NOM por parte del SIMAT de la ZMCT (2017)

Contami-nante	Dato	Indicador	Unidades	ACO	ATI	CHO	CUT	FAC	INN	LLA	Límite (NOM)
PM_{10}	Diario (promedio 24 hrs)	Percentil 98 (24 hr)	$\mu g/m^3$	104	75	106	60	77	NA	NA	75
		Promedio anual	$\mu g/m^3$	47	39	NA	37	40	NA	NA	40
$PM_{2.5}$	Diario (promedio 24 hrs)	Percentil 98 (24 hr)	$\mu g/m^3$	NA	45						
		Promedio anual	$\mu g/m^3$	NA	12						
O_3	Promedio móvil (8 hrs)	Máximo (8 hr)	ppm	0.098	0.098	0.102	0.099	0.114	0.109	0.102	0.070
	Horario	Máximo (1 hr)	ppm	0.123	0.135	0.119	0.139	0.160	0.139	0.133	0.095
CO	Promedio móvil (8 hrs)	Segundo máximo (8 hr)	ppm	1.61	1.63	NA	1.50	2.14	NA	NA	11.00
SO_2	Diario (promedio 24 hrs)	Máximo (24 hr)	ppm	0.014	0.035	0.012	0.021	0.032	0.013	0.052	0.110
	Horario	Promedio anual	ppm	0.002	0.007	0.002	0.004	0.006	0.002	0.005	0.025
	Promedio móvil (8 hrs)	Segundo máximo (8 hr)	ppm	0.039	0.092	0.025	0.055	0.066	0.029	0.125	0.200
NO_2	Horario	Segundo máximo (1 hr)	ppm	0.076	NA	NA	0.105	0.122	NA	NA	0.210

Fuente: Elaboración propia con información del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT, 2018)

Tabla 2.11 Evaluación del cumplimiento de las NOM por parte del SIMAT de la ZMCT (2017 [cont.])

Contaminante	Dato	Indicador	Unidades	LPR	MON	NEZ	SAG	TLA	TLI	VIF	XAL	Límite (NOM)
PM ₁₀	Diario (promedio 24 hrs)	Percentil 98 (24 hr)	µg/m ³	NA	NA	NA	NA	90	104	123	155	75
		Promedio anual	µg/m ³	NA	NA	NA	NA	57	51	65	86	40
PM _{2.5}	Diario (promedio 24 hrs)	Percentil 98 (24 hr)	µg/m ³	NA	NA	56	NA	43	NA	NA	57	45
		Promedio anual	µg/m ³	NA	NA	24	NA	27	NA	NA	34	12
O ₃	Promedio móvil (8 hrs)	Máximo (8 hr)	ppm	0.111	0.100	0.079	0.100	0.100	0.102	0.093	0.106	0.070
	Horario	Máximo (1 hr)	ppm	0.139	0.123	0.107	0.132	0.140	0.122	0.122	0.135	0.095
CO	Promedio móvil (8 hrs)	Máximo (8 hr)	ppm	2.79	NA	NA	2.34	1.90	2.30	1.83	3.25	11.00
SO ₂	Diario (promedio 24 hrs)	Máximo (24 hr)	ppm	0.031	0.012	NA	0.037	0.066	0.054	0.046	0.028	0.110
	Horario	Promedio anual	ppm	0.004	0.002	NA	0.005	0.008	0.008	0.006	0.005	0.025
	Promedio móvil (8 hrs)	Segundo máximo (8 hr)	ppm	NA	0.028	NA	0.098	0.120	0.159	0.090	0.069	0.200
NO ₂	Horario	Segundo máximo (1 hr)	ppm	NA	NA	NA	0.093	0.124	0.107	0.093	0.127	0.210

Fuente: Elaboración propia con información del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT, 2018)

2.3.4. Evaluación de la calidad del aire para el año base 2017 respecto del IMECA

En la Tabla 2.12 se puede consultar el número de días con calidad del aire buena, regular, mala, muy mala y extremadamente mala para la ZMVT y la ZMCT en el 2017 según el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA)¹¹. Se puede apreciar que, en comparación, en la ZMVT existieron 2 días con calidad del aire “extremadamente mala”, cuando en la ZMCT no hubo ninguno. Además, en la ZMVT, no se registraron días con calidad del aire “buena”. En general, la distribución de los días se presenta de manera similar en ambas zonas metropolitanas, con la mayor parte de los días dentro del intervalo de calidad del aire “mala”.

11. Consultar el Anexo IV de este documento para mayores detalles sobre el cálculo del IMECA.

Tabla 2.12 Comparación de calidad del aire entre ZMVT y ZMCT para 2017

Condición	Criterio (IMECA)	Días (ZMVT)	Días (ZMCT)
Buena	0 – 50	0 (0%)	9 (2.4%)
Regular	51 – 100	126 (34.5%)	108 (29.6%)
Mala	101 – 150	232 (63.6%)	243 (66.6%)
Muy mala	151 – 200	5 (1.4%)	5 (1.4%)
Extremadamente mala	>200	2 (0.5%)	0 (0%)

Fuente: Elaboración propia con información de la RAMA-ZMVT y el SIMAT

Es importante mencionar que los días con calidad del aire “extremadamente mala” en la ZMVT ocurrieron durante diciembre. Además, en los meses de enero, febrero y diciembre no se registraron días con valores menores a 100 puntos IMECA (días con calidad del aire “buena” o “regular”). Para la ZMCT la mayoría de los días con calidad “muy mala” también ocurrieron durante la época de invierno, principalmente durante los meses de enero y diciembre, lo cual coincide con la tendencia mensual descrita anteriormente.

2.3.5. Tendencias de los contaminantes para el año base 2017

Percentil 10, 50 y 90 de los contaminantes criterio

Para ambas zonas metropolitanas, tanto el percentil 10, 50 y 90 de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono se ubican por debajo de los límites establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas (Tabla 2.13 y Tabla 2.14). Las partículas suspendidas, en cambio, presentan un percentil 90 por arriba de los límites que establece la NOM tanto en la ZMVT como en la ZMCT; en la ZMVT los percentiles 10 y 50 de las partículas suspendidas se encuentran por debajo de los límites normados, pero en la ZMCT el percentil 50 de PM_{10} sí supera el límite para el promedio de 24 horas, mientras que el percentil 50 de la fracción $PM_{2.5}$ se encuentra por debajo del límite máximo permisible. Para el ozono, en la ZMVT su percentil 90 se encuentra debajo del límite para el promedio horario, mientras que en la ZMCT el percentil 90 no cumple con lo establecido por la NOM. En las Tablas 2.13 y 2.14 se puede inferir que la distribución de concentraciones de O_3 es la más dispersa, pues es el contaminante que presenta el mayor rango entre sus percentiles, seguido de PM_{10} y $PM_{2.5}$. Para SO_2 , NO_2 y CO se omiten los percentiles dado que en el periodo de análisis no se incumplieron los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad.

Tabla 2.13 Percentil 10, 50 y 90 de los contaminantes criterio, ZMVT

Percentil	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2.5} (µg/m ³)	O ₃ (ppm)
10	36	23	0.042
50	72	42	0.069
90	135	66	0.091

Fuente: Elaboración propia con información de la RAMA-ZVMT
(SMAGEM, 2018)

Tabla 2.14 Percentil 10, 50 y 90 de los contaminantes criterio, ZMCT

Percentil	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2.5} (µg/m ³)	O ₃ (ppm)
10	44	18	0.054
50	77	33	0.091
90	125	53	0.127

Fuente: Elaboración propia con información del SIMAT
(SIMAT, 2018)

2.4. Diagnóstico del Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA)

Los programas de contingencias ambientales atmosféricas (PCCA) se han implementado desde hace algunos años en diferentes ciudades del mundo, particularmente en América Latina y Asia. Tienen el propósito de prevenir y/o disminuir el riesgo asociado con la exposición a los contaminantes atmosféricos, mediante la implementación de medidas de carácter temporal que son activadas y desactivadas cuando los niveles de calidad del aire alcanzan ciertos umbrales y/o condiciones meteorológicas. Los programas de contingencias atmosféricas complementan los programas que establecen metas y medidas de mejora de la calidad del aire a mediano y largo plazo.

En América Latina se han desarrollado un mayor número de esfuerzos para aplicar programas de contingencia enfocados en reducir los episodios de alta contaminación. Además de áreas urbanas mexicanas, se han identificado planes existentes vigentes y en preparación para ciudades como Sao Paulo, Santiago de Chile, Bogotá, Quito y Cuenca.

Hoy en día, México tiene el mayor número de planes de contingencia vigentes para reducir la exposición de la población a las altas concentraciones de contaminantes atmosféricos en América Latina. Los antecedentes en la instrumentación de este tipo de programas en México se remontan a 1985. En aquella época, su aplicación estaba a cargo de la Comisión Nacional de Ecología. El primer programa contaba con dos tipos de alerta. La primera era una alerta interna con la que la Comisión vigilaba el comportamiento de los contaminantes atmosféricos. La segunda alerta era externa. Cuando se activaba esta alerta, se aplicaban diversas medidas en las fases de contingencia. El valor máximo de contingencia se declaraba cuando el índice de calidad del aire llegaba a los 500 puntos. Esta situación se consideraba de “emergencia metropolitana”.

Actualmente existen planes de contingencia en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), el estado de Jalisco (que incluye la Zona Metropolitana de Guadalajara) y en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM) (CMM, 2014a).

Las actividades descritas en el Plan de Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA) de la ZMVM son de carácter obligatorio para las dependencias estatales, los 18 municipios¹² directamente conurbados a la Ciudad de México, para los propietarios de vehículos automotores, las industrias, comercios y servicios asentados en el Estado de México. En el Programa se define el mecanismo mediante el cual se activan las Fases de Contingencia a través de la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME), en coordinación con el gobierno federal y los Gobiernos del Estado de México y de la Ciudad de México, así como las acciones a implementar por autoridades locales y federales, propietarios de industrias, comercios, servicios y ciudadanos en general (SMAGEM, 2018b).

Las autoridades mantienen una vigilancia continua sobre el estado de la calidad del aire. En caso de que el pronóstico de calidad del aire¹³ del Sistema de Monitoreo Atmosférico indique riesgo de que al día siguiente la concentración de contaminantes (ozono o partículas) superará los 150 puntos del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire, se informará a la población y a las instancias correspondientes sobre la posibilidad de una activación del Programa de Contingencias Ambientales, antes de las 18:00 horas. El objetivo de este mensaje es que se apliquen acciones preventivas para la protección a la salud y la reducción de emisión de contaminantes para el día siguiente (Gobierno de la República, 2016). La desventaja de este esquema de alertas ambientales es que la población ya estuvo expuesta a los contaminantes y la respuesta tiene como objetivo no prolongar la emergencia. En el futuro sería deseable que estas alertas se comunicaran en tiempo real o se pronosticaran el día anterior.

Las contingencias ambientales tienen diferentes niveles de acciones según la gravedad y persistencia del problema. La Tabla 2.15 muestra los niveles de activación correspondientes a cada fase, según sean las mediciones de ozono o PM_{10} :

12. Los municipios conurbados a la Ciudad de México son los siguientes: Atizapán de Zaragoza, Coacalco, Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Chalco, Chimalhuacán, Ecatepec de Morelos, Huixquilucan, Ixtapaluca, La Paz, Naucalpan de Juárez, Nezahualcóyotl, Chicoloapan, Nicolás Romero, Tecámac, Tlalnepantla de Baz, Tultitlán y Valle de Chalco.

13. Pronóstico de calidad del aire para la activación del programa: Se activa cuando se prevea mediante sistemas de modelación, que al día siguiente se alcanzarán valores superiores a 150 puntos del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire para ozono.

Tabla 2.15 Activación y suspensión de Contingencias Ambientales Atmosféricas

Contingencia	Activación (puntos IMECA)		Suspensión (puntos IMECA)	
	Ozono, promedio en una hora	PM ₁₀ , promedio de 24 horas	Ozono, promedio en una hora	PM ₁₀ , promedio de 24 horas
Fase I	Mayor a 150	Mayor a 150	Igual o menor a 150	Igual o menor a 150
Fase II	Mayor a 200	Mayor a 200		

Fuente: Gobierno de la República
(Gobierno de la República, 2016)

Estos son los valores actuales de activación de contingencias; antes de 2014 los niveles eran mayores, volviéndose más estrictos con el paso del tiempo, como se explicará más adelante. La intención de estos cambios paulatinos en la activación de contingencias es la de mejorar la protección a la salud de la población, mientras se da tiempo a que las políticas públicas surtan efecto y la sociedad se acople a las medidas de emergencia.

La activación de cualquier Fase de Contingencia Ambiental ocurre cuando el valor máximo del índice en una o más estaciones de monitoreo supera los valores límite descritos en la Tabla 2.15 y los pronósticos meteorológicos no favorezcan la dispersión de contaminantes en las siguientes 24 horas. La CAME es quien determina si procede o no la activación de la Fase de Contingencia Ambiental.

El programa de contingencias ambientales aplica de manera parcial en la ZMCT, está vigente para 18 municipios del Estado de México conurbados con la Ciudad de México. En el resto de la Entidad no existen protocolos de comunicación y activación de contingencias que permitan proteger la salud de la población expuesta.

2.4.1. Histórico de contingencias

A continuación se muestra el histórico de contingencias de la ZMVM a partir del año 2000:

Tabla 2.16 Histórico de contingencias

Fase activada	Contaminante	Puntos IMECA registrados	Estación	Fecha activación	Fecha desactivación
Fase I	Ozono	161	Pedregal	06/06/2018	07/06/2018
Fase I (Regional)	PM ₁₀	164	Xalostoc	14/12/2017	15/12/2017
Fase I	Ozono	162	Centro de Ciencias de la Atmósfera	22/05/2017	24/05/2017
Fase I	Ozono	151	Benito Juárez	15/05/2017	21/05/2017
Fase I (Regional)	PM ₁₀	153	Xalostoc	06/01/2017	07/01/2016

Fase I	Ozono	151	Ajusco Medio	11/08/2016	12/08/2016
Fase I	Ozono	152	Santa Fe	08/07/2016	09/07/2016
Fase I	Ozono	155	Santa Fe	31/05/2016	01/06/2016
Fase I	Ozono	165	Gustavo A. Madero	27/05/2016	28/05/2016
Fase I	Ozono	151	Camarones	24/05/2016	24/05/2016
Fase I	Ozono	178	Cuajimalpa	20/05/2016	21/05/2016
Fase I	Ozono	157	Tláhuac	14/05/2016	15/05/2016
Fase I	Ozono	161	Ajusco Medio	02/05/2016	05/05/2016
Fase I	Ozono	156	Ajusco	05/04/2016	06/04/2016
Fase I	Ozono	194	Cuajimalpa	14/03/2016	17/03/2016
Fase I (Regional)	PM ₁₀	181	Villa de las Flores	01/01/2005	02/01/2005
Fase I (Regional)	PM ₁₀	176	Xalostoc	25/12/2003	26/12/2003
Fase I	Ozono	242	Pedregal	18/09/2002	19/09/2002
Fase I (Regional)	PM ₁₀	185	Tláhuac	30/01/2000	01/02/2000

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA, 2018)¹⁴

En la ZMVT no existe un programa para contingencias ambientales atmosféricas; sin embargo, ya existe un estudio del Centro Mario Molina, elaborado a petición del Estado, que propone los lineamientos y sienta las bases para implementar un PCAA en el Valle de Toluca, bajo la condición de que se fortalezca la Red Automática de Monitoreo Atmosférico y se tenga un inventario de emisiones representativo (CMM, 2014a). De haber estado vigentes los mismos criterios de activación que se consideran actualmente en la ZMCT, de 2011 a 2017 se hubieran presentado 52 periodos de contingencia, lo cual equivale a 2% de los días analizados. En la Tabla 2.17 se encuentra la distribución de las posibles contingencias en el periodo analizado:

Tabla 2.17 Posibles contingencias, ZMVT 2011-2017

Año	Fase I	Fase II
2011	27	2
2012	1	1
2013	0	0
2014	0	0
2015	2	1
2016	9	2
2017	5	2

14. <http://www.aire.df.gob.mx/descargas/ultima-hora/calidad-aire/pcaa/pcaa-historico-contingencias.pdf>

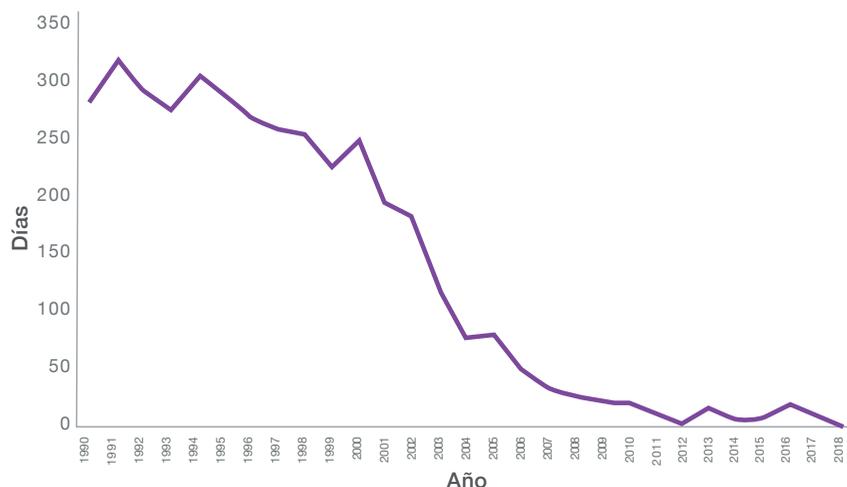
Fuente: Elaboración propia con información de la SMAGEM (SMAGEM, 2018)

2.4.2. Evolución de los criterios de activación del PCAA, ZMVM¹⁵

Desde hace varias décadas se comenzaron a monitorear distintos contaminantes del aire, así como variables meteorológicas, con motivo de desarrollar programas y acciones para disminuir las altas concentraciones de contaminantes que se han presentado a lo largo de los años.

El PCAA define el mecanismo a través del cual se activan las fases de contingencia ambiental atmosférica, con el objetivo de proteger la salud de la población. Durante 2016, este programa se actualizó en cuatro ocasiones y actualmente consta de dos fases y un pronóstico. La activación de la Fase I en 2016 llevó a que la CAME eliminara la fase de precontingencia y redujera el umbral de la Fase I de 175 a 150 IMECA. La efectividad de dicho programa y las acciones que se han implementado se puede corroborar con la Gráfica 2.25, en donde se muestra cómo se ha reducido la cantidad de días al año en donde la calidad del aire supera los 150 puntos IMECA.

Gráfica 2.25 Días al año con más de 150 IMECA en la ZMVM



Fuente: Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA, 2017)

Como cada vez se presentan menores concentraciones de los diversos contaminantes monitoreados, además de que se desea continuar con su disminución, se han debido modificar los valores de activación de las contingencias ambientales atmosféricas. Siendo así, desde 1990 hasta 2016 el valor para activar una contingencia Fase I se ha reducido de 294 a 155 partes por billón (ppb) de ozono.¹⁶

15. En la ZMVT no se tiene PCAA.

16. Fase I = 155 ppb (150 IMECA)

Tabla 2.18 Modificaciones a los valores de activación contingencia Fase I

Periodo (años)	Valor de activación Fase I (O ₃ ppb)	Periodo (años)	Valor de activación Fase I (O ₃ ppb)
1990-1996	294	2009-2010	210
1996-1998	294	2010-2011	205
1998-2006	283	2011-2014	199
2006-2008	221	2014-2016	185
2008-2009	216	2016-actual	155

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA, 2017)

Cabe destacar que según las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), los niveles de activación de una contingencia ambiental deberían estar en 45 puntos IMECA para el ozono y 42 puntos IMECA para PM₁₀. Dado que una ciudad no puede operar adecuadamente si permanece en un estado de emergencia la mayor parte del año, se establecen niveles mayores y se define un objetivo para ir avanzando hacia la meta de la OMS. Esta práctica es común en todo el mundo, pues el proceso de mejora ambiental toma décadas en realizarse. Mantener esta política de activación de contingencias ayudará al Estado de México a ir en la dirección deseada, mientras mantiene a los habitantes sensibilizados sobre la problemática ambiental.

2.5. Programa de Verificación Vehicular Obligatoria (PVVO)

La verificación vehicular es una actividad de evaluación y control de emisión de contaminantes a la atmósfera, a través de la inspección y mantenimiento de los vehículos automotores, y se realiza en diversos países del mundo, como Estados Unidos, Canadá, Japón y países de la Unión Europea y de Sudamérica.

En México, los programas de verificación vehicular tienen como meta principal certificar que los vehículos automotores en circulación se mantengan por debajo de los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas aplicables. Por ello, se ha constituido como una de las principales políticas ambientales en el control de emisiones a la atmósfera provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación.

En nuestro país, los estados de Aguascalientes, Chihuahua, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tlaxcala, Veracruz y Yucatán, así como la Ciudad de México, cuentan con programas de verificación vehicular para prevenir y/o

controlar los índices de contaminación atmosférica. Se trata de una medida necesaria en cuanto al mantenimiento y cuidado de las partes mecánicas de los motores de los automóviles, ya sean públicos o particulares, para fomentar el aprovechamiento óptimo del combustible. La quema ineficiente del combustible incrementa las emisiones de contaminantes atmosféricos, los cuales pueden tener efectos perjudiciales en la salud de las personas expuestas.

2.5.1. Objetivo

El Programa de Verificación Vehicular Obligatorio tiene como objetivo evaluar los niveles de emisiones contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas, diésel o cualquier otro combustible alternativo; que cuenten con placas del Estado de México y que circulen en la Entidad, conforme a lo establecido en las Normas Oficiales Mexicanas en materia de evaluación de las emisiones del escape de los vehículos automotores en circulación.

Este programa constituye uno de los mecanismos de control de emisiones a través de los cuales el Gobierno del Estado de México busca garantizar el derecho de toda persona a vivir en un ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar, así como mantener dentro de la norma los niveles de contaminación atmosférica que permitan preservar la calidad del aire y la salud de los mexicanos.

2.5.2. Alcance

Están obligados a observar las disposiciones del PVVO los usuarios de los vehículos automotores en circulación, matriculados en el Estado de México o que cuenten con permiso para circular por vialidades públicas en la Entidad, así como todos los involucrados directa e indirectamente con el Programa de Verificación. Al momento de la publicación del presente ProAire, el Estado de México está trabajando en la Norma Técnica Estatal Ambiental (NTEA) para la verificación de los límites máximos permisibles de motocicletas. La intención de la NTEA es reglamentar los límites, métodos y equipo de este tipo de movilidad motorizada, regulación que en su oportunidad será incorporada dentro del PVVO.

Los vehículos automotores con placa del Estado de México deben realizar la verificación vehicular y los vehículos matriculados de otras entidades o con placa federal (a excepción de la Ciudad de México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Morelos y Querétaro) pueden realizar la verificación vehicular de manera voluntaria, con el objetivo de regular las emisiones provenientes del escape y circular diariamente en la ZMCT. (SMAGEM, 2018b)

El Programa es instrumentado por la Secretaría del Medio Ambiente a través de la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica; las operaciones se llevan a cabo en los Centros de Verificación

de Emisiones Contaminantes Autorizados (CVECA) de acuerdo con los lineamientos y calendario establecidos en el Programa de Verificación Vehicular Obligatorio, el cual se publica y actualiza de manera semestral a través del periódico oficial “Gaceta del Gobierno”.

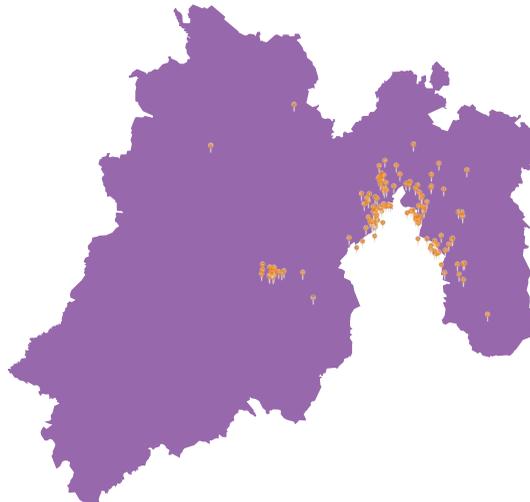
El PVVO en el Estado de México cuenta desde 2013 con un sistema centralizado que permite dar trazabilidad, seguimiento y seguridad a cada una de las pruebas de verificación vehicular realizadas en tiempo real, con apoyo de tecnologías de la información para contar con un expediente electrónico, servicios de autenticación biométrica, circuito cerrado de televisión centralizado y reconocimiento de matrículas de circulación, entre otros. Este sistema centralizado sentó las bases para la elaboración de la NOM-167-SEMARNAT-2017.

2.5.3. Centros de Verificación de Emisiones Contaminantes Autorizados (CVECA)

Un Centro de Verificación es un establecimiento de servicio autorizado por la DGPCCA, en el que se presta el servicio de medición de emisiones contaminantes provenientes de los escapes de vehículos automotores en circulación.

Actualmente el Estado de México cuenta con 110 CVECA en operación, los cuales tienen una infraestructura basada en los requerimientos de las Normas Oficiales Mexicanas que apliquen y que implementan los métodos de prueba señalados en las Normas Oficiales Mexicanas, las cuales señalan la metodología de evaluación, equipamiento y límites máximos permisibles de emisión. Los CVECA se encuentran distribuidos de la siguiente manera en el Estado:

Mapa 2.2 Distribución de CVECA en el Estado de México¹⁷



17. Para mayor detalle sobre la ubicación de cada CVECA consultar siguiente liga: http://sma.edomex.gob.mx/directorio_de_verificentros

El costo por el servicio de verificación vehicular depende del tipo de certificado/constancia que se emite, de conformidad con las tarifas vigentes, las cuales se modifican anualmente de acuerdo con el Código Financiero del Estado de México y se publican en el periódico oficial “Gaceta del Gobierno” de manera semestral en conformidad con el PVVO.

Tabla 2.19 Tarifas verificación vehicular vigentes durante el segundo semestre de 2018

Constancia “E”, “D”, Informe Administrativo e Informe SDB	Autorregulación “A”	Constancia “1”, “2” y Rechazo técnico	Constancia “0”	Constancia “00”
Sin costo	\$925	4 UMA ¹⁸ (\$322.4)	5 UMA (\$403)	10 UMA (\$806)

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM, 2018b)

2.5.4. Pruebas de evaluación de emisiones provenientes del escape de los vehículos automotores y diagnóstico

Las pruebas que se realizan en los CVECA para evaluar las emisiones de los vehículos automotores dependen de la tecnología del vehículo a evaluar y se realizan conforme a los lineamientos establecidos en las NOM. La Tabla 2.20 describe la aplicabilidad de los tipos de pruebas contempladas:

18. Nota: El valor diario de la UMA equivale a \$80.60 en el 2018. Consultar en: <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/uma/>

Tabla 2.20 Métodos de prueba aplicables a los vehículos automotores en circulación para la evaluación de emisiones de contaminantes

Tipo de combustible	Peso Bruto Vehicular (kg)	Año modelo	Métodos de prueba			
			Sistema de Diagnóstico a Bordo (SDB)	Dinámica	Estática	Opacidad
Gasolina o gas natural como combustible original de fábrica	400 – 3,857	Anterior a 2006	N/A	Obligatorio	Por excepción (2)	N/A
		2006 y posteriores (1,3)	Obligatorio	Por excepción (4)	Por excepción (2,4)	N/A
	Mayor a 3,857		N/A	N/A	Obligatorio	N/A
Vehículo convertido para su uso a gas licuado de petróleo, gas natural o que utilicen otro combustible alterno (5)	400 – 3,857	Cualquier año modelo	N/A	Obligatorio	Por excepción (2)	N/A
	Mayor a 3,857		N/A	N/A	Obligatorio	N/A
Diésel	Mayor a 400		N/A	N/A	N/A	Obligatorio

(1) Aquellos vehículos que cuenten con un Sistema de Diagnóstico a Bordo.

(2) La prueba Estática solo deberá ser aplicada a vehículos: con tracción integral, doble tracción, que no se encuentren registrados en el PVVO de la Entidad donde se encuentran matriculado o vehículos con peso bruto vehicular por arriba de 3,857 kilogramos.

(3) La exención a la verificación vehicular se aplicará de acuerdo con lo señalado en el Artículo Transitorio Sexto de la presente Norma Oficial Mexicana.

(4) Aquellos vehículos en los que no pueda aplicarse el método de prueba SDB por las razones señaladas en el Artículo Transitorio Tercero.

(5) Cualquier combustible alterno registrado en los programas de combustibles alternos de la Entidad local correspondiente.

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017
(SEMARNAT, 2017b)

La aplicación de los métodos de prueba señalados en la NOM-167-SEMARNAT-2017 se determina en función de las características del peso bruto vehicular, año modelo y el tipo de combustible empleado, conforme lo señalado en la Tabla 2.20.

- Para el método de prueba Sistema de Diagnóstico a Bordo se aplicará el método descrito en el Anexo normativo I de la NOM-167-SEMARNAT-2017, o la que la sustituya, que establece los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para los vehículos automotores que circulan en las entidades federativas Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala; los métodos de prueba para la evaluación de dichos límites y las especificaciones de tecnologías de información y hologramas.

- Para los métodos de prueba Estática y Dinámica se aplicará el establecido en la NOM-167-SEMARNAT-2017, o la que la sustituya, que establece las características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes, provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos.
- Para el método de prueba de Opacidad se aplicará el establecido en la NOM-045-SEMARNAT-2017, o la que la sustituya, de Protección ambiental: Vehículos en circulación que usan diésel como combustible; Límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de prueba y características técnicas del equipo de medición.

Además de estas pruebas, el Estado de México tiene centralizados los procesos de cómputo relacionados con la recepción, análisis, procesamiento y evaluación de los datos provenientes de la aplicación de los métodos de prueba en tiempo real. La centralización incluye el resguardo, mantenimiento y actualización de las bases de datos utilizadas en la aplicación de dichos métodos de prueba a los vehículos automotores en cada una de las líneas de verificación que se encuentran en la Entidad.

Tipos de constancias

Constancias de verificación vehicular ordinarias

- Doble cero (00). Se otorga a vehículos ligeros o pesados nuevos de uso particular que utilizan gas natural, gasolina o diésel como combustible. Esas unidades de transporte están exentas de la prueba por un periodo de 2 años, en virtud de que sus niveles de contaminantes están garantizados hasta por 100 mil kilómetros.
- Cero (0). Se otorga a vehículos automotores de uso particular o público a gas natural, gas licuado de petróleo u otros combustibles, que pasen la prueba vehicular y cumplan con los límites máximos permisibles para este tipo de constancia. Esta prueba tiene una vigencia de 180 días.

Tabla 2.21 Límites Máximos Permisibles de emisión de contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación para los métodos de prueba Dinámica o Estática (Holograma "0")

Hidrocarburos (HC) mol/mol (ppmh)	Monóxido de Carbono (CO) cmol/mol (%)	Óxidos de Nitrógeno (NO _x) ⁽¹⁾ mol/mol (ppm)	Oxígeno (O ₂) cmol/mol (%)	Dilución (C+CO ₂) cmol/mol (%)		Factor Lambda
				Min.	Máx.	
80	0.4	250	0.4	13.7*	16.5/14.3*	1.03

Nota de equivalencias: ppmh, partes por millón referido al hexano.

(1) Los óxidos de nitrógeno que se señalan en la presente Tabla no aplicarán en la prueba estática.

*Valores aplicados para vehículos automotores a gas.

Los vehículos cuyas características técnicas no hayan sido registradas por parte de las empresas que los fabrican o comercializan en el país, se verificarán con procedimiento estático.

Los límites máximos permisibles se verán modificadas de acuerdo con la actualización del PVVO y al acuerdo modificatorio de la NOM-167 próximo a publicarse en el seno de la CAME.

Fuente: Programa de Verificación Vehicular Obligatorio (SMAGEM, 2018b)

- Uno (1). Se otorga a unidades de transporte de uso particular o público a gas natural, gas licuado de petróleo u otros combustibles, que pasen la prueba vehicular y cumplan con los límites máximos permisibles para este tipo de constancia (pero se pase de los límites de la constancia cero o tengan tecnología vehicular obsoleta). Esta prueba tiene una vigencia de 180 días. (GEM, 2018b)

Tabla 2.22 Límites Máximos Permisibles para vehículos a gasolina con convertidor catalítico (Holograma "1")

Combustible	Prueba	HC (ppm)	CO (% vol)	NO _x (ppm)	CO + CO ₂ (1% vol)		O ₂ (% vol)	(Lambda)
					Min	Max		
Gasolina	Dinámica	100	0.7	700	13.0	16.5	2.0	1.03
	Estática	100	0.5	NA	13.0	16.5	2.0	NA/1.03 Ralenti/ Crucero
Gas ⁽¹⁾	Dinámica	100	1.0	1000	7.0	14.3	2.0	1.05
	Estática	100	1.0	NA	7.0	14.3	2.0	NA/1.05 Ralenti/ Crucero

(1) Incluye vehículos a gas u otros combustibles alternos de fábrica o convertidos con convertidor catalítico.

Los límites máximos permisibles se verán modificadas de acuerdo con la actualización del PVVO y al acuerdo modificatorio de la NOM-167 próximo a publicarse en el seno de la CAME.

Fuente: Programa de Verificación Vehicular Obligatorio (SMAGEM, 2018b)

- Dos (2). Tiene una vigencia de 180 días y se otorga a vehículos automotores de uso particular o público a gas natural, gas licuado de petróleo u otros combustibles. Deberán cumplir mediante una prueba de emisiones con los siguientes límites máximos permisibles:

Tabla 2.23 Límites Máximos Permisibles para vehículos a gasolina que cuentan con carburador (Holograma “2”)

Combustible	Prueba	HC (ppm)	CO (% vol)	NO _x (ppm)	CO + CO ₂ (1% vol)		O ₂ (% vol)	(Lambda)
					Min	Max		
Gasolina	Dinámica	350	2.5	2000	13.0	16.5	2.0	1.05
	Estática	400	3.0	NA	13.0	16.5	2.0	NA/1.05 Ralentí/ Crucero
Otros ⁽¹⁾	Dinámica	200	1.0	1000	7.0	14.3	2.0	1.05
	Estática	200	1.0	NA	7.0	14.3	2.0	NA/1.05 Ralentí/ Crucero

(1) Incluye vehículos a gas u otros combustibles alternos de fábrica y convertidos que cuenten con carburador.

Los límites máximos permisibles se verán modificadas de acuerdo con la actualización del PVVO y al acuerdo modificatorio de la NOM-167 próximo a publicarse en el seno de la CAME.

Fuente: Programa de Verificación Vehicular Obligatorio (SMAGEM, 2018b)

- Rechazo técnico. La constancia técnica de verificación de no aprobación (rechazo técnico) es un documento expedido por el centro de verificación vehicular en el cual se señala que el vehículo rebasó los límites máximos permitidos de emisiones contaminantes establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas.
- Informe administrativo. Será proporcionado a aquellos vehículos que no se encuentren al corriente con los pagos correspondientes a la tenencia o refrendo, derechos de control vehicular, pago de sanciones fiscales o ambientales; o bien por la falta de los documentos necesarios para solicitar el trámite de verificación vehicular. Si se entrega este informe el usuario no podrá iniciar el proceso de verificación.
- Informe SDB. Se otorgará a todo aquel vehículo que no cumpla con alguno de los criterios de aprobación SDB.

Constancias de verificación vehicular extraordinarias

- Exento (E). Se otorga a todos los vehículos del Estado de México eléctricos e híbridos que por su tecnología, no puede ser aplicado el protocolo de pruebas de la verificación vehicular, quedando exentos de la misma y de las limitaciones a la circulación por un periodo de 8 años.

- Autorregulación (A). Se otorga a vehículos de carga o transporte público con placas en el Estado de México y otras entidades federativas que formen parte de flotillas de empresas inscritas en el “Programa de Autorregulación de Vehículos a Diésel”. Contará con la vigencia y beneficios de circulación del holograma que lo identifique y el tipo de Constancia otorgada establecida en el PVVO.
- Capacidades diferentes (D). Los vehículos que transportan personas con alguna discapacidad pueden obtener esta constancia si cumplen con los requisitos de la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica (DGPCCA). Estas unidades quedan exentas de las restricciones del Acuerdo “Hoy No Circula” vigente y del Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas. Esta constancia tiene una vigencia de un año.

2.5.5. Histórico de verificaciones

Desde 2013 se implementó un sistema centralizado de verificación vehicular que permite dar trazabilidad, seguimiento y seguridad a cada una de las pruebas de verificación vehicular realizadas en tiempo real. Dicho sistema se apoyó en el uso de tecnologías de la información para incorporar el uso de un expediente electrónico, servicios de autenticación biométrica, circuito cerrado de televisión centralizado y reconocimiento de matrículas de circulación, por mencionar algunos.

En 2015 el Estado de México fue la primera Entidad a nivel nacional en implementar en su PVVO el método de lectura a través de los Sistemas de Diagnóstico a Bordo (SDB) de los vehículos automotores.

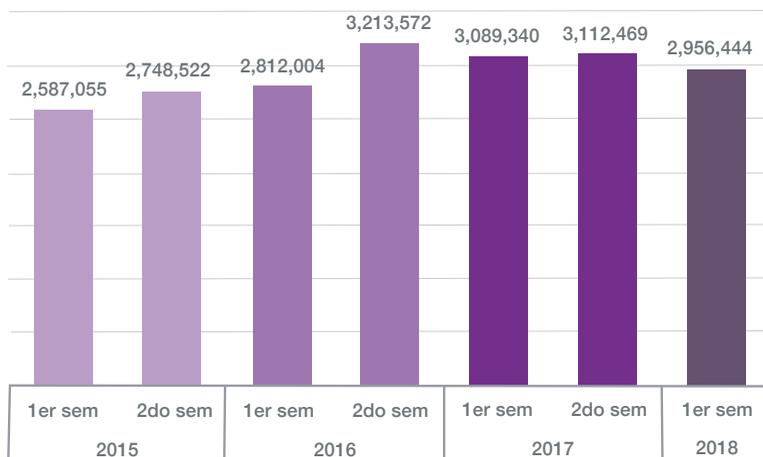
En 2016, estas implementaciones sirvieron de modelo para coadyuvar en las acciones para disminuir las altas concentraciones de ozono en la Zona Metropolitana del Valle de México, zona en la que se observaron las primeras contingencias ambientales con afectaciones al Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla, Tlaxcala, pues debido a su tamaño y cercanía geográfica con dicha zona, comparten población, parque vehicular y actividades económicas. Lo anterior ha propiciado, entre otras consecuencias, la circulación continua y constante de vehículos que aportan emisiones que deterioran la calidad del aire y afectan a la población. Se realizaron acciones conjuntas con el gobierno federal a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME) y gobiernos estatales pertenecientes, dando como resultado la publicación de la Norma Emergente NOM-EM-167-SEMARNAT-2016, que dio lugar a la actual Norma Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017.

Derivado de las acciones y medidas tomadas por las contingencias ambientales durante el primer semestre de 2016, se registró un incremento del 14% entre ese periodo y el inmediato posterior, como se muestra en

la Gráfica 2.26, que es el mayor aumento que se ha presentado en los últimos 4 años.

Derivado de las acciones y medidas tomadas durante el año 2016 por las contingencias ambientales, se ha registrado un incremento en la verificación vehicular considerando el semestre de las contingencias de 2,812,004 (1er semestre 2016) y su correspondiente al primer semestre del año 2018 con 2,956,444 (1er semestre 2018), según la Gráfica 2.26.

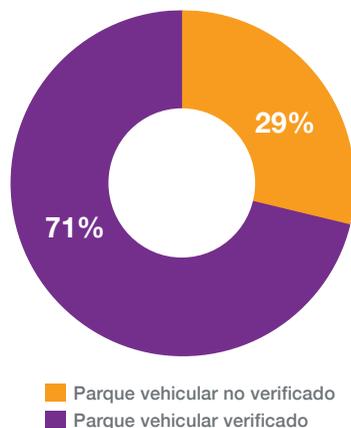
Gráfica 2.26 Cantidad de Verificaciones Vehiculares por Semestre



Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM, 2018a)

De acuerdo con el Inventario de Emisiones de 2016, la cantidad de vehículos automotores en circulación en el Estado de México es de 4,141,295 de los cuales se verificaron 2,956,444 durante el primer semestre 2018, lo cual representa el 71% de la flota vehicular en circulación.

Gráfica 2.27 Verificación vehicular primer semestre 2018



Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM, 2018a)

2.5.6. Auditorías

El Programa de Verificación Vehicular Obligatoria (PVVO) del Estado de México ha sido fundamental para el control de las emisiones vehiculares y, por lo tanto, en el mejoramiento de la calidad del aire en la ZMVM.

En los años 2000 y 2009 se realizó una evaluación a la operación de los PVVO de la ZMVM, detectándose debilidades del programa que aplicaba en aquellos tiempos, mismas que fueron puntualmente atendidas para aumentar la eficiencia de operación de los programas y, con ello, ampliar los beneficios ambientales que se generan por su implementación.

Derivado de ello, y de los cambios en los procesos técnico-administrativos que se han realizado en respuesta a las recomendaciones del Centro Mario Molina por su evaluación realizada en el año 2010, el Gobierno del Estado de México, a través de la Secretaría del Medio Ambiente, realizó en 2015 una evaluación del PVVO. Para esto se contrató a un grupo de investigadores y técnicos de prestigio nacional e internacional, quienes determinaron las fortalezas y debilidades que estos programas presentaban en la operación.

Los resultados de la evaluación del 2015 arrojaron las siguientes recomendaciones:

- Aplicar el PVVO en todos los municipios del Estado de México.
- Que el Sistema Automatizado de Emisiones y Control de Hologramas de Verificación Vehicular (SAECHVV) registre los datos de cada segundo de las pruebas de verificación para detectar posibles anomalías en la medición de contaminantes. Por tanto, se requiere incrementar la capacidad de almacenamiento y transferencia de datos entre los centros de verificación y los servidores de la SMAGEM.
- Realizar campañas permanentes de medición por sensor remoto, de manera semestral, durante los periodos de enero y julio. Lo anterior permitirá evaluar el cumplimiento del PVVO, así como la eficiencia de los CVECA, con respecto a los cambios establecidos por la DGPCCA para el mejoramiento y control de la operación de los mismos.
- Integración de un programa de inspección de condiciones físico-mecánicas de las unidades que circulan en el Estado de México, que forma parte del Programa de Verificación Vehicular Obligatoria.
- Robustecer el programa de sustitución de convertidores catalíticos de repuesto, estableciendo requisitos nuevos para los proveedores de dichos dispositivos que garanticen su eficiencia, así como la profesionalización de los talleres autorizados para la sustitución de estos.

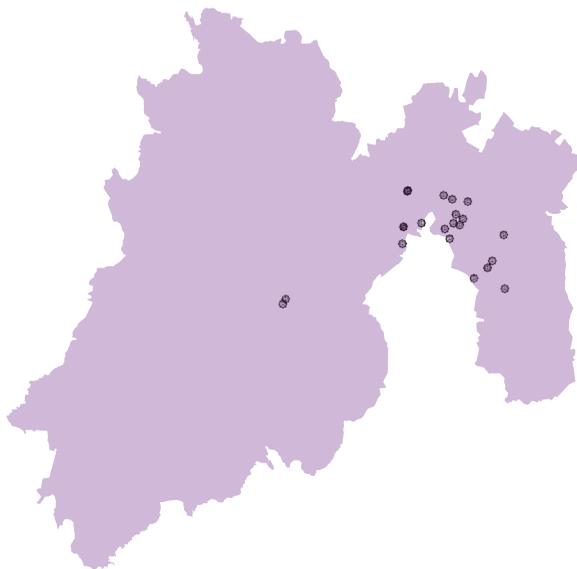
- Establecer en el PVVO la medición de las emisiones contaminantes de las motocicletas con equipo especializado mediante la prueba dinámica.
- Fortalecer a la DGPCCA del Estado de México en la operación, desarrollo, recursos técnicos y humanos del SAECHVV para evitar la dependencia que se tiene con las empresas de desarrollo de software y hardware.

2.5.7. Otros programas de reducción de emisiones de fuentes móviles

Programa Integral de Reducción de Emisiones Contaminantes (PIREC)

El Programa Integral de Reducción de Emisiones Contaminantes (PIREC) es un mecanismo cuyo objetivo es contribuir a la reducción de emisiones contaminantes provenientes de los vehículos a gasolina matriculados en el Estado de México, a través de la sustitución de los convertidores catalíticos que han concluido su vida útil. El Estado de México cuenta con 27 talleres autorizados para la realización del cambio de convertidor catalítico, los cuales se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

Mapa 2.3 Distribución talleres PIREC autorizados¹⁹



Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM, 2018a)

19. Para mayor detalle sobre la ubicación de los talleres PIREC consultar la siguiente liga: http://sma.edomex.gob.mx/directorio_de_talleres_pirec

El convertidor catalítico es capaz de reducir hasta en un 70% las emisiones contaminantes de los vehículos automotores a gasolina. La combustión de la gasolina y diésel es una de las principales fuentes de contaminantes atmosféricos, ya que más del 80% del dióxido de azufre, el 50% de los óxidos de nitrógeno y del 30% al 40% de las partículas en suspensión e hidrocarburos no quemados son emitidas por los motores de los vehículos de autotransporte particular y de uso intensivo, como vehículos de pasajeros o de carga.

El año con mayor instalación de convertidores catalíticos en talleres PIREC fue el 2000, y a partir de entonces ha ido descendiendo continuamente. Debido a esta tendencia, en 2014 el Gobierno de la Ciudad de México estableció un Convenio Específico de Colaboración con el gobierno federal a través de la SEMARNAT, con el objetivo de instalar 103,491 convertidores catalíticos sin costo alguno a vehículos particulares de 4, 6 y 8 cilindros con antigüedad de 1999 y años anteriores. Este programa fue supervisado por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). Aun con este incentivo, se sustituyeron únicamente 30,222 dispositivos, por lo que si bien hubo un incremento en el número de catalizadores instalados, la meta se cumplió únicamente al 29%. (SEMARNAT, 2017a)

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 2.24, se reafirma el hecho de que, como lo señaló el Instituto Mexicano del Petróleo, la sustitución del convertidor catalítico resulta en menores emisiones contaminantes en comparación con vehículos con convertidor catalítico obsoleto o inexistente; permitiendo también concluir que el PIREC es un programa efectivo que complementa al PVVO.

Tabla 2.24 Reducción de emisiones en vehículos a gasolina con convertidor catalítico

Contaminante	Reducción en emisiones al instalar el convertidor catalítico
Hidrocarburos	81.53%
Monóxido de carbono	73.37%
Óxidos de nitrógeno	79.24%
Total	75.33%

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2017a)

De septiembre de 2017 a agosto de 2018 se realizaron 7,972 cambios de convertidores catalíticos en el Estado de México, correspondientes a vehículos rechazados por los CVECA. Los vehículos que reciben la constancia de rechazo técnico se envían a los Talleres PIREC autorizados, en donde se registra el cambio del convertidor catalítico a través del módulo PIREC que opera dentro del Sistema de Emisión y Control de Hologramas de Verificación Vehicular.

Programa de Autorregulación de Vehículos a Diésel

Con este programa, el Estado de México tiene el propósito de llevar a cabo acciones enfocadas a la reducción de emisiones contaminantes provenientes de automotores que utilicen diésel como combustible. Es un programa voluntario y flexible que busca fomentar el uso de tecnologías de alta eficiencia y promover el mantenimiento preventivo y correctivo en empresas mercantiles y transporte público de pasajeros. Los vehículos inscritos en este programa deben mantener niveles de opacidad más estrictos a lo establecido en la NOM-045-SEMARNAT-2006 (DGPCCA, 2016).

La constancia Tipo “A” se otorgará a vehículos de carga o de transporte público con placas en el Estado de México y de otras entidades federativas que formen parte de flotillas de empresas inscritas al “Programa de Autorregulación de Vehículos a Diésel” y contará con la vigencia y beneficios de circulación del holograma que lo identifique. Los beneficios para los participantes de este programa son (SMAGEM, 2018b):

- Reducción de tiempo en verificación y traslado al CVECA, pues se realiza en la propiedad del participante por un agente autorizado.
- Exención de la Verificación Vehicular Obligatoria, cumpliendo con la medición semestral o trimestral de las unidades con empresas autorizadas, sujetándose a las mediciones de opacidad establecidas en el Convenio de Concertación, así como de las restricciones establecidas en el Acuerdo “Hoy no Circula” y el “Programa para Contingencias Ambientales” vigentes, los cuales ofrecen beneficios a los vehículos autorregulados en comparación con los que no participan en el Programa.
- Reducción de consumo de combustible.
- Contribución a la reducción de emisiones contaminantes.

Programa de Combustibles Alternos

Este programa permite al usuario, ya sea persona física o jurídico colectiva, convertir su vehículo de gasolina a gas Licuado de Petróleo (Gas L.P.) con empresas autorizadas por la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México para la instalación del Sistema Integral Certificado de Equipos a Gas L.P. Se realiza una revisión técnica por parte del personal autorizado por la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica (DGPCCA) para la supervisión del Sistema Integral Certificado a Gas L.P. y, si funciona correctamente, se adhiere la constancia Tipo “Gas” al vehículo. Quien porte esta constancia podrá circular todos los días durante dos años, realizando la verificación vehicular semestral.

2.6. Programa de Ciudades Sostenibles

El objetivo 3.5 del Plan de Desarrollo del Estado de México 2017-2023 (GEM, 2018a), el cual se encuentra alineado en su totalidad a la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, busca fomentar la prosperidad de las ciudades y su entorno a través del desarrollo urbano y metropolitano inclusivo, competitivo y sostenible.

Con miras a la consecución de dicho objetivo, contempla las siguientes estrategias:

- Generar un ordenamiento territorial sustentable y un desarrollo urbano enfocado en la accesibilidad.
- Promover un crecimiento urbano compacto que proteja el medio ambiente y articule a las ciudades con su entorno rural y natural.
- Impulsar una política de suelo y habitación incluyente, que atienda a la población más vulnerable y garantice el acceso a servicios básicos.
- Mejorar la oferta de espacio público accesible y fortalecer la identidad de los barrios en las comunidades.
- Consolidar un Sistema Integral de Movilidad Urbana Sustentable en la Entidad.

De acuerdo con un estudio realizado por el Centro Mario Molina, se calculó el Índice de Desempeño Ambiental, en el cual se consideraron seis temas prioritarios en 78 ciudades mexicanas: aire, agua, suelo y áreas verdes, energía, residuos sólidos urbanos y transporte y movilidad; así como su vinculación con dos ejes transversales: cambio climático y calidad de vida. Toluca, que fue una de las ciudades evaluadas en dicho estudio, obtuvo una puntuación final de 51.1 (en una escala del 0 al 100), lo cual posiciona a Toluca en el puesto número 18. En el subíndice “Aire”, obtuvo 66 puntos, lo cual lo posiciona por encima de la media, sin embargo en el subíndice “Transporte y Movilidad” obtuvo 40 puntos, ubicándose así por debajo del promedio de las ciudades evaluadas (CMM, 2015).

2.7. Programas de Movilidad

Es fundamental que cualquier programa para mejorar la calidad del aire vaya de la mano con programas de movilidad, debido al volumen de emisiones contaminantes en el Estado correspondientes a fuentes móviles, como se indicará en el capítulo 3.

El Objetivo 2.5 del Plan de Desarrollo del Estado de México 2017-2023 (GEM, 2018a) busca “Desarrollar Infraestructura con una visión de conectividad integral”, cuya Estrategia 2.5.2 contempla: “Construir infraestructura resiliente para una mayor y mejor movilidad y conectividad.”

En el 2014, el Centro Mario Molina desarrolló un portafolio de recomendaciones en el ámbito normativo, institucional, operativo y de planeación de la movilidad, que integran aspectos urbanos e inciden en todos los modos de transporte (CMM, 2014b). Los ejes propuestos fueron:

- Crear una estructura urbana policéntrica a través de la consolidación de subcentros alternativos.
- Garantizar la accesibilidad, la cobertura, la calidad del servicio y el equilibrio financiero del sistema de transporte.
- Adaptar y dotar de infraestructura vial de calidad que priorice los modos colectivos y de bajo impacto ambiental.
- Crear el marco regulatorio e institucional que transforme y ordene la movilidad hacia la sustentabilidad, apoyado de la participación ciudadana.
- Desincentivar la utilización de modos privados motorizados como forma principal de transporte.

En 2018 se publica el Programa Integral de Movilidad Urbana Sustentable (PIMUS Metepec) (Ayuntamiento de Metepec, 2018), el cual se desarrolló con la finalidad de impulsar un desarrollo urbano integral sustentable para dicho municipio por medio de un sistema de movilidad urbana eficiente, que dé prioridad al peatón, al ciclista y al transporte público, generando diversas opciones de movilidad sustentable. Dentro de sus objetivos particulares se incluyen:

- Proponer un nuevo diseño funcional y operacional del transporte público, así como soluciones viales y de operación del tránsito urbano tanto para el municipio de Metepec como de la ZMCT, incentivando así el uso del transporte público.
- Generar y caracterizar ejes estructuradores de transporte de pasajeros, que permitan al municipio la creación de sistemas de mayor capacidad, que den respuesta a altas demandas de transporte público.
- Centrar el aumento de densidad sobre los corredores troncales de transporte público, de acuerdo con las condicionantes específicas tanto del municipio como de la ZMCT.
- Impulsar la movilidad sustentable, a través de los modos no motorizados de transporte (bicicleta y peatón), mediante la creación de infraestructura, educación y promoción.

A pesar de la importancia de contar con programas de movilidad en las principales zonas metropolitanas y/o municipios en términos de su población, importancia económica, índice de motorización y consolidación urbana, únicamente Metepec posee uno. Además, se hace fundamental que cualquier programa para mejorar la calidad del aire vaya de la mano con un programa de movilidad.

En este sentido, los objetivos de un ProAire se deben alinear con un programa de sostenibilidad que incluya esquemas de coordinación transversal para el desarrollo de políticas sociales, económicas y ambientales que garanticen el crecimiento sustentable y el bienestar de la población, mediante la búsqueda de consensos sociales y la disminución de las brechas.

2.8. Cedula de Operación Integral (COI)

Se trata de un instrumento de regulación ambiental, de seguimiento, actualización y recopilación de información por establecimiento industrial, comercial y de servicios para reportar las emisiones y transferencias de contaminantes al aire, agua y suelo, ocurridas en el año calendario anterior.

Sirve para que las fuentes fijas de jurisdicción estatal, soliciten la actualización o revalidación de la Licencia de Funcionamiento (Registro de Emisiones a la Atmósfera); así como para que el Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (IEECC) mantenga actualizados los inventarios de emisiones estatales (de Gases de Efecto Invernadero y contaminantes criterio para Fuentes Fijas).

Deben reportar la COI todos aquellos establecimientos industriales, comerciales y de servicios que se encuentren ubicados en el territorio del Estado México, que sean de competencia estatal y que cuenten con su Licencia de Funcionamiento en Emisiones a la Atmósfera vigente.

2.9. Campañas de medición y modelación de la calidad del aire

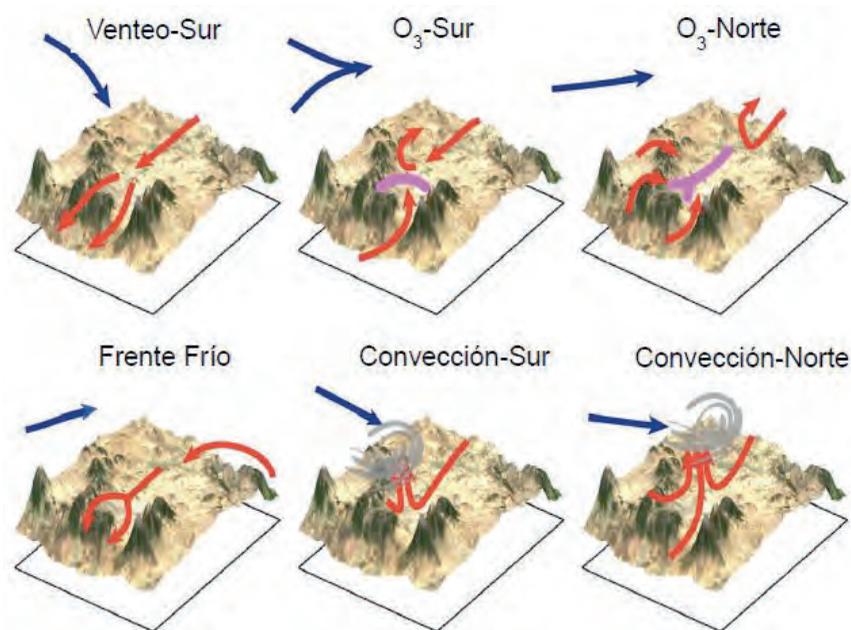
Desde la década de los 90, la ZMVM y la cuenca del Valle de México han sido objeto de varios estudios intensivos de calidad del aire: desde el MARI, realizado en 1996, hasta la campaña MILAGRO, en la cual se realizó un estudio del transporte de contaminantes a gran escala mediante modelos, mediciones de superficie y aeronaves en el año 2006.

Benjamín de Foy *et al* (2005) desarrollaron un modelo conceptual de patrones de flujo meteorológicos para la campaña MCMA-2003 con tres distintos eventos: O₃-Sur, O₃-Norte y Frente Frío. Esto se complementó durante la campaña MILAGRO con eventos tipo Venteo-Sur, Convección-Sur y Convección-Norte (de Foy *et al.*, 2008). A continuación se describen las características de estos seis eventos típicos que se presentan en dicha cuenca:

- Los eventos de frente frío se asociaron con lluvia y aire muy limpio. El frente frío tiene un flujo desacoplado verticalmente, con vientos fuertes, fríos y húmedos provenientes del Golfo de México, atravesando por la Sierra Madre Oriental y descargando la cuenca hacia el sur.

- Eventos tipo venteo-sur también tuvieron fuertes vientos y condiciones limpias, además se asociaron con cielos despejados.
- Eventos tipo O_3 -sur presentaron tiempos de residencia más prolongados y tasas de recirculación más altas promoviendo concentraciones elevadas de ozono en el sur de la ciudad. Estos fueron los episodios clásicos de alta contaminación estudiados antes de la campaña MCMA-2003. Presentando vientos de altura del suroeste, mientras que los vientos de superficie provenientes del norte por las mañanas se encuentran con los vientos que pasan por la brecha o apertura sureste en la tarde, formando una zona de convergencia este-oeste que se mueve hacia el norte conforme avanza el día.
- En contraste, los días con episodios tipo O_3 -norte presentan una mejor ventilación y el pico de ozono ocurre en el norte de la ciudad. Presentando vientos fuertes provenientes del suroeste, que llevan los vientos de superficie sobre la orilla de la cuenca y causan una zona de convergencia norte-sur más estacionaria que la de O_3 .
- La convección ocurre cuando los vientos de altura débiles provenientes del este se combinan con las condiciones húmedas en la cuenca. La convergencia de superficie en la tarde lleva a convección y precipitación en la cuenca. La convección sur ocurre cuando hay vientos de altura débiles provenientes del norte, y lluvia en la parte sur de la cuenca, y la convección norte ocurre cuando se encuentran los vientos de altura débiles provenientes del sur, el flujo de brecha y lluvia en la parte norte de la cuenca.

Figura 2.1 Modelo Conceptual de la Circulación del Viento en la ZMVM



Fuente: B. de Foy et al.
(de Foy et al., 2008)

REFERENCIAS:

- Ayuntamiento de Metepec. (2018). *Programa Integral de Movilidad Urbana Sustentable PIMUS Metepec*. Recuperado de <http://desarrollometepec.net/MetepecenMovimiento/documentos/PIMUS-METEPEC.pdf>
- CMM. (2014a). Diseño de un Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas en los Municipios que conforman la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.
- CMM. (2014b). *Estudio del Sistema Integral de Movilidad Sustentable para el Valle de Toluca*. Recuperado de http://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2015/01/RE_Estudio_Movilidad-sustentable_Toluca_2014_ltx.pdf
- CMM. (2015). *Índice de Desempeño Ambiental Edición 2015*. Recuperado de http://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2015/10/19.-Indice-Desempeno-Ambiental_fin.pdf
- de Foy, B., Fast, J. D., Paech, S. J., Phillips, D., Walters, J. T., Coulter, R. L., ... Molina, L. T. (2008). Basin-scale wind transport during the MILAGRO field campaign and comparison to climatology using cluster analysis. *Atmos. Chem. Phys* (Vol. 8). Recuperado de www.atmos-chem-phys.net/8/1209/2008/
- DGPCCA. (2016). *Replicando Resultados de Autorregulación Ambiental Diésel, Programa*. Recuperado de [https://www.theicct.org/sites/default/files/Estado de México.pdf](https://www.theicct.org/sites/default/files/Estado%20de%20M%C3%A9xico.pdf)
- EPA Systems. (2017). *Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México Reporte de Auditoría*, (December).
- GEM. (2018a). *Plan de Desarrollo del Estado de México 2017-2023*. Recuperado de <http://edomex.gob.mx/sites/edomex.gob.mx/files/files/PDEM20172023.pdf#page=153>
- GEM. (2018b). Verificación Vehicular en Estado de México.
- Gobierno de la República. (2016). *Acuerdo único por el que se establece el Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas en 18 municipios conurbados del Estado de México, de la Zona Metropolitana del Valle de México*.
- INECC. (2010). *Procedimiento para obtener indicadores de la Calidad del Aire*. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/625/procedimiento.pdf>
- INECC. (2013). *Informe sobre la evaluación técnica de desempeño a la red de monitoreo de la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca*. Toluca.

- INECC. (2016). *Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca - Informe de Autoría Técnica*.
- INECC. (2018a). *Estado actual y tendencias de la calidad del aire en el Estado de México*.
- INECC. (2018b). *Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire, SINAICA*. Recuperado el 14 de agosto de 2018, de <http://sinaica.inecc.gob.mx/>
- RAMA. (2018). ¿Qué es el IMECA? Recuperado de <http://rama.edomex.gob.mx/contaminacion-atmosferica/imeca>
- Ramírez Flores, E. (2002). *Estudio para la expansión de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México y Zona Conurbada*. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico11/ca-9.pdf>
- SEDEMA. (2002). *Los Indicadores de la Calidad del Aire*. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/394/cap3.pdf>
- SEDEMA. (2017). *Calidad del aire*.
- SEMARNAT. (2012). *Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012, Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire*. Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/monitoreo/normatividad/NOM-156-SEMARNAT-2012.pdf>
- SEMARNAT. (2017a). *Análisis costo-beneficio Programa PIREC*.
- SEMARNAT. (2017b). *Norma Oficial Mexicana NOM-167-SEMARNAT-2017*.
- SIMAT. (2015). *Informe Anual 2015*. Recuperado de <https://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/informe-2015-calidad-del-aire-en-la-ciudad-de-mexico/mobile/index.html>
- SMAGEM. (2018a). *Directorio de Verificentros y Talleres PIREC*.
- SMAGEM. (2018b). *Programa de Verificación Vehicular Obligatorio Correspondiente al Segundo Semestre del Año 2018. Sección Quinta 200 Ccv 78*. Recuperado de <http://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/gct/2018/jun295.pdf>

CAPÍTULO

03

INVENTARIO DE EMISIONES

03 INVENTARIO DE EMISIONES

El crecimiento de las ciudades en México ha sido determinado por la ubicación de las actividades económicas. Las opciones de vivienda accesible se encuentran cada vez más alejadas de los lugares de trabajo, lo que obliga a las autoridades a enfrentar mayores demandas de equipamiento e infraestructura, tales como la disponibilidad de alimentos, transporte y servicios que permitan una adecuada calidad de vida de los habitantes.

El Estado de México cuenta con tres principales Zonas Metropolitanas: Valle Cuautitlán-Texcoco¹, Valle de Toluca y Santiago Tianguistenco; y otras tres Zonas de Planeación Estatal (COPLADEM): Atlacomulco, Ixtapan de la Sal y Zona Sur. La cantidad de población está directamente asociada a la generación de emisiones, ya que las actividades económicas predisponen también la vivienda, comercios y servicios.

Tabla 3.1 Algunas variables que inciden en la generación de emisiones en el Estado de México

Zona poblacional	Población 2015	Número de establecimientos industriales	Parque vehicular estimado
Valle Cuautitlán- Texcoco	11,854,629	1198	4,141,295
Valle de Toluca	2,202,886	238	
Atlacomulco	1,026,492	22	
Ixtapan de la Sal	659,600	37	
Zona Sur	273,540		
Santiago Tianguistenco	170,461		

Fuente: Elaboración propia con información de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (2016) e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2018)

Una de las principales consecuencias de la contaminación atmosférica ha sido la creciente motorización y la intensidad en el uso del automóvil particular. Entre 2010 y 2016 se estima que en el Estado la flota aumentó casi un 30% y la industria un 6%; lo anterior, impulsado por la inversión en infraestructura vial para el transporte motorizado por parte de los gobiernos federal y estatal. En el Estado de México, el sistema de transporte público estructurado es escaso. Esta situación se refleja en el aumento de la flota vehicular particular, en las condiciones del transporte público y, por

1. Se refiere a los 59 municipios que, junto con la Ciudad de México, forman parte de la Zona Metropolitana del Valle de México.

consecuencia, en los resultados del inventario de emisiones; se estima que, si la política nacional y estatal estuviera enfocada al transporte público estructurado y el movimiento de carga por otros medios, el inventario mostraría menores emisiones en la mayoría de los contaminantes.

3.1. Comportamiento histórico de las emisiones

El Estado de México cuenta con inventarios de emisiones de contaminantes criterio estatales para los años 2006 y 2010 y con inventarios locales para la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) en 2004 y 2008. En el caso de la Zona Metropolitana del Valle Cuautitlán-Texcoco se cuenta con los inventarios desarrollados por la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México para los años 2010, 2012, 2014 y 2016.

3.1.1. Inventario de Emisiones del Estado de México

Año base 2006

En este inventario se estimó que más del 90% de los contaminantes son emitidos por la zona conurbada con la Ciudad de México, es decir la Zona Metropolitana del Valle de Cuautitlán-Texcoco (ZMCT). El 10% restante lo emite principalmente la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) y el resto de los municipios. Lo anterior es resultado del intercambio en movilidad que existe con la Ciudad de México, puesto que son las fuentes móviles los mayores emisores de casi todos los contaminantes.

Tabla 3.2 Inventario de Emisiones del Estado de México, 2006 (ton/año)

Fuente	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃
Fuentes puntuales	1,595	272	15,144	1,131	3,258	4,586	10
Fuentes de área	625	554	5,362	1	5,690	173,900	11,134
Fuentes móviles	2,271	2,040	1,827	1,614,611	373,787	622,219	2,454
Fuentes naturales	4,466	491	-	-	-	-	-
Total estatal	8,957	3,357	22,333	1,615,743	382,735	800,705	13,598

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM, 2007b)

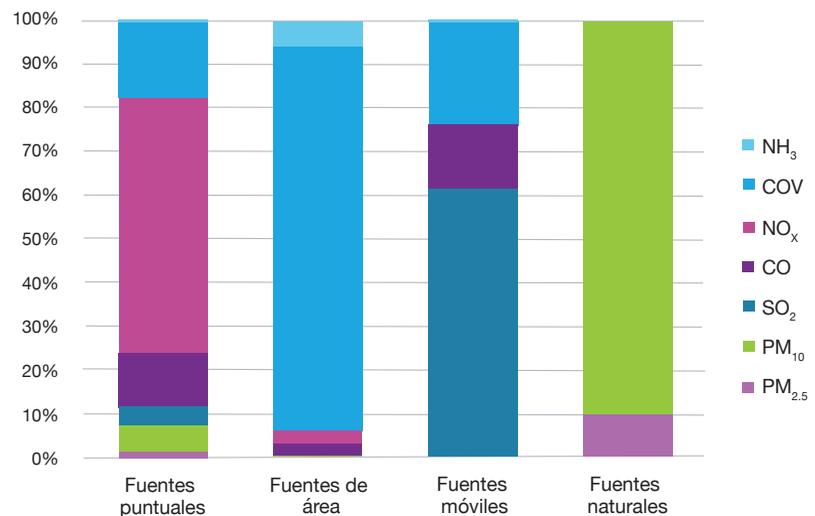
Ese año se estimó una flota de 2,014,916 vehículos automotores, siendo los autos particulares (76%), el transporte pesado (10%), las *pick ups* (7%), los taxis y el transporte de pasajeros (3% cada uno) y en último lugar las motocicletas (1%) la principal contribución de PM₁₀, PM_{2.5}, CO, NO_x y

COV. Está documentado que el uso de gasolinas y diésel provoca emisiones de contaminantes precursores de ozono y de aerosoles secundarios primordialmente, problemas principales de calidad del aire en las zonas metropolitanas del Valle Cuautitlán-Texcoco y de Toluca, respectivamente.

En cuanto a las fuentes puntuales, el principal contaminante emitido es el SO_2 a consecuencia de la persistencia de la quema de combustibles fósiles sulfurados; en 2006 el padrón industrial fue de 1,440 (74% de jurisdicción estatal y el 26% federal).

En cuanto a las fuentes de área, estas se caracterizan por las abundantes emisiones de COV y NO_x provenientes del uso de solventes, además de la combustión doméstica en comercios y servicios. Se señala que las fuentes de área responsables de COV son las relacionadas con la evaporación de solventes; en primer lugar, se encuentra el uso doméstico y comercial de solventes, seguido del recubrimiento de superficies industriales y arquitectónicas y la limpieza o desengrase de superficies.

Gráfica 3.1 Distribución porcentual del Inventario de Emisiones del Estado de México, 2006



Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM, 2007b)

Año base 2010

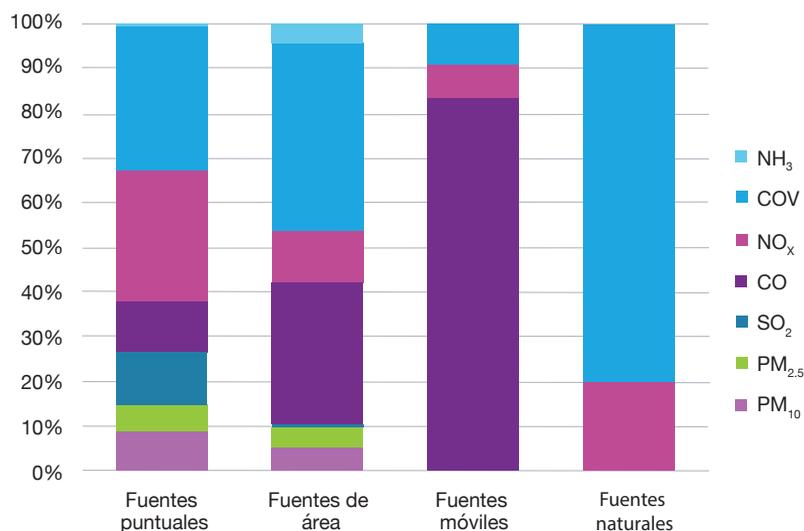
En este inventario, los órdenes de magnitud más grandes los marcan las fuentes móviles y las de área. Las fuentes de área son las principales emisoras de partículas y de COV. Las fuentes móviles dominan las emisiones de CO y NO_x . En cuanto a fuentes puntuales, el mayor aporte de emisiones proviene de la zona conurbada con la Ciudad de México y, al igual que en el inventario anterior, aquí imperan las emisiones del SO_2 debido al uso de combustibles con alto contenido de azufre.

Tabla 3.3 Inventario de Emisiones del Estado de México, 2010 (ton/año)

Fuente	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃
Fuentes puntuales	4,958	3,471	6,850	6,438	16,504	19,008	181
Fuentes de área	52,839	45,145	3,022	345,002	86,923	424,425	47,681
Fuentes móviles	2,710	2,029	292	1,413,122	122,631	156,211	2,867
Fuentes naturales	-	-	-	-	1,879	7,915	-
Total estatal	60,506	50,644	10,165	1,764,561	227,936	607,559	50,728

Fuente: Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático
(IEECC, 2014)

Se señala que este año las emisiones de amoníaco fueron importantes; aumentaron 73% con respecto al inventario anterior. Estas emisiones son procedentes de las fuentes de área, debido tanto al ganado, como al uso de fertilizantes.

Gráfica 3.2 Distribución porcentual del Inventario de Emisiones del Estado de México, 2010

Fuente: Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático
(IEECC, 2014)

Las versiones metodológicas de los inventarios pueden variar considerablemente cada año base, y por ende las emisiones; esto se debe principalmente a las discrepancias en el uso de factores de emisión, metodologías o modelos empleados, la procedencia de la información y las consideraciones. Sin embargo, los órdenes de magnitud deberían conservarse.

Por ejemplo, en el inventario 2010, las fuentes de área ampliaron su información sobre la combustión doméstica de leña (con respecto al inventario año base 2006) lo que generó un aumento significativo en el orden de magnitud de las partículas y el SO₂. Asimismo, en el 2006 las fuentes naturales consideradas correspondieron a la erosión, por lo que se reportaron datos de partículas, mientras que en el 2010 solo se consideraron las emisiones de la vegetación y cultivos.

3.1.2. Inventarios de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle Cuautitlán-Texcoco

La zona conurbada con la Ciudad de México es la Zona Metropolitana del Valle Cuautitlán-Texcoco (ZMCT) y cuenta con inventarios actualizados cada dos años desde finales de los noventa. En este documento se citan los inventarios del 2010, 2012, 2014 y 2016, con la finalidad de conocer la evolución de las emisiones en los últimos años.

Tabla 3.4 Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle Cuautitlán-Texcoco, 2010, 2012, 2014, 2016 (ton/año)

Año inventario	Fuente	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃
2010	Fuentes puntuales	3,510	558	7,098	5,536	11,653	93,078	128
	Fuentes de área	16,119	3,106	23	7,591	7,437	129,073	23,223
	Fuentes móviles	1,458	1,052	193	830,128	75,743	88,337	1,872
	Fuentes naturales	418	88	N/A	N/A	4,648	35,506	N/A
	Total	21,505	4,804	7,314	843,255	99,481	345,994	25,223
2012 ⁽¹⁾	Total	23,335	4,749	1,052	944,674	117,734	314,436	27,799
2014 ⁽²⁾	Fuentes puntuales	2,412	1,651	1,071	5,409	9,336	17,316	157
	Fuentes de área	15,013	3,430	468	10,254	4,072	150,088	30,456
	Fuentes móviles	5,468	2,731	165	379,493	60,131	49,157	986
	Fuentes naturales	620	135	N/A	N/A	1,515	18,881	N/A
	Total	23,513	7,947	1,704	395,156	75,054	235,442	31,599
2016 ⁽³⁾	Fuentes puntuales	1,958	1,620	563	10,382	10,534	6,765	107
	Fuentes de área	21,706	16,904	540	105,553	8,625	187,635	27,867
	Fuentes móviles	4,189	1,951	133	332,020	44,492	47,543	793
	Fuentes naturales	-	-	-	-	25,831	98,186	-
	Total	27,854	20,476	1,235	447,956	89,482	340,129	28,767

(1) Para el año 2012 solo se cuenta con el dato total de la zona metropolitana sin desglose de fuentes.

(2) El inventario 2014 contó con una actualización publicada en el inventario del año 2016 incluida en esta tabla.

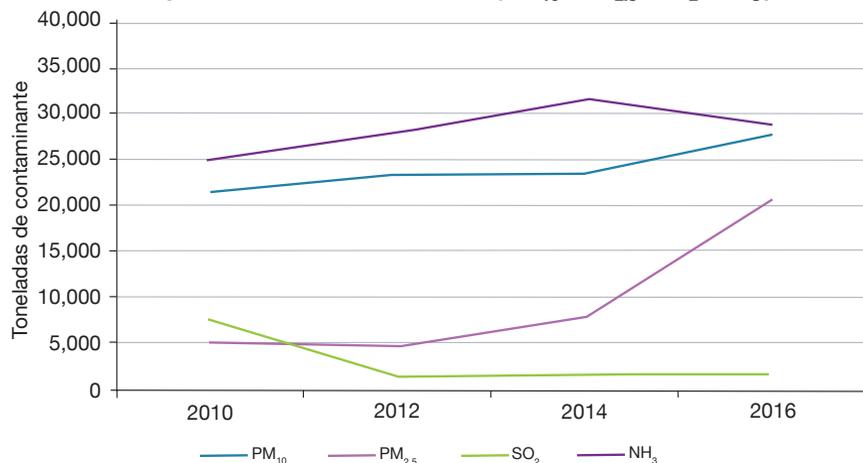
(3) El inventario 2016 corresponde al desarrollado en el presente capítulo.

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA, 2018)

Aun cuando pueden existir diferencias metodológicas en las estimaciones entre inventarios, de manera general se puede decir que la Zona Metropolitana del Valle Cuautitlán-Texcoco ha registrado una notable reducción de contaminantes del 2010 al 2016. En estos años la reducción más relevante es para las emisiones de SO_2 y CO , las cuales se redujeron en 83% y 47%, respectivamente. La categoría más destacada con respecto al dióxido de azufre son las fuentes puntuales, mientras que en el caso del monóxido de carbono son las fuentes móviles; aun cuando este último contaminante registró aumentos moderados en fuentes puntuales y de área. En menor proporción, también hubo reducción en los NO_x y los COV, estos contaminantes se redujeron 10% y 2%, respectivamente. Para ambos contaminantes las fuentes puntuales y móviles presentaron disminuciones, mientras que las fuentes naturales y de área presentaron incrementos. Posiblemente esto se deba a la mejora en la calidad de los combustibles y las políticas para intervenir en la industria de la zona.

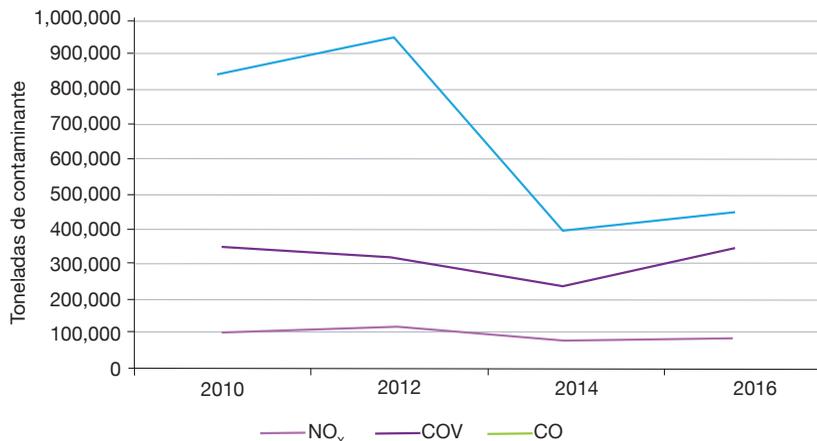
Con respecto a las partículas, no es posible celebrar los mismos avances, puesto que se registró un aumento en las emisiones totales. Se destaca un aumento de casi el 326% en las emisiones de $\text{PM}_{2.5}$. Los aumentos más bruscos se dieron en las fuentes puntuales y de área; con respecto a esta última, es posible que la diferencia provenga del cambio metodológico, ya que se consideran diferentes fuentes y factores de emisión para la elaboración del inventario.

Gráfica 3.3 Comparación histórica del nivel de emisiones de la Zona Metropolitana Cuautitlán-Texcoco (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, SO_2 , NH_3)



Fuente: Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA, 2018)

Gráfica 3.4 Comparación histórica del nivel de emisiones de la Zona Metropolitana Cuautitlán-Texcoco (NO_x, COV, CO)



Fuente: Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA, 2018)

3.1.3. Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca

Año base 2004

En el 2004 el consumo de energía en la ZMVT fue de 65 petajoules (PJ) (12% de lo que consumió la Ciudad de México ese mismo año). Las emisiones con mayor orden de magnitud provinieron de las fuentes móviles como resultado de consumir casi la mitad de la energía de la zona (44.7%). Le siguen en abundancia las emisiones de las fuentes de área (comercios y servicios), las biogénicas y en último lugar las fuentes industriales. Aun cuando las últimas consumen el 37.3% de la energía de la zona, el combustible preferido es el gas natural, mismo que tiene un menor impacto en la generación de partículas e hidrocarburos.

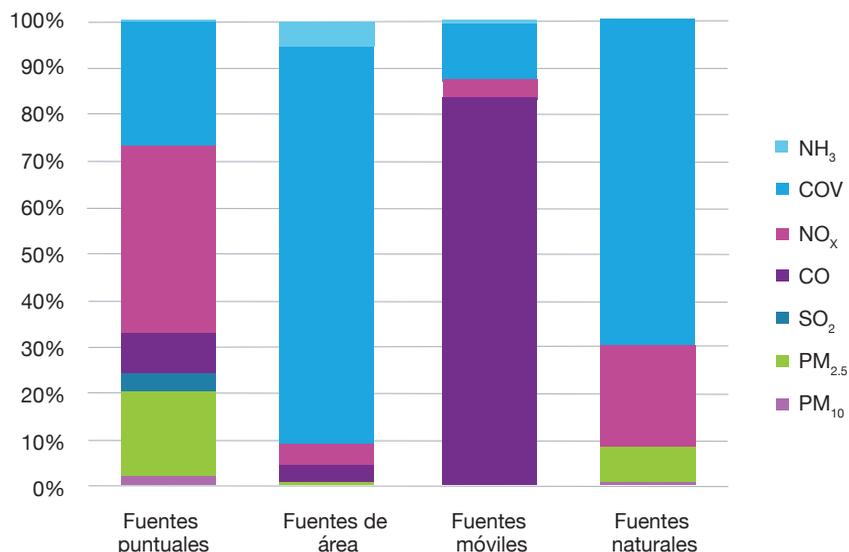
Tabla 3.5 Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, 2004 (ton/año)

Fuente	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃
Fuentes puntuales	225	26	43	118	486	331	5
Fuentes de área	149	52	80	1,048	1,340	25,036	1,709
Fuentes móviles	431	369	829	590,276	30,767	87,988	560
Fuentes naturales	849	93	NA	NA	2,390	7,872	NA
Total ZMVT	1,654	541	952	591,442	34,983	121,227	2,274

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM, 2007a)

Se destaca del inventario que el transporte de carga y los autos particulares fueron los mayores emisores de SO₂, CO, NO_x, COV y NH₃; mientras que el transporte de carga y el de pasajeros fueron los principales responsables de las emisiones de PM₁₀.

Gráfica 3.5 Distribución porcentual del Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, 2004



Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM, 2007a)

Año base 2008

En el inventario 2008 sobresale la participación de las fuentes móviles; nuevamente el transporte pesado y los autos particulares son los que generan la mayor contribución de emisiones contaminantes, siendo en este caso el CO el contaminante con mayor orden de magnitud. En cuanto a partículas PM₁₀ y PM_{2.5}, llama la atención la gran proporción proveniente de fuentes de área, mismas que el inventario indica son resultado de la combustión de leña. Cabe destacar que la combustión de leña no fue estimada en el inventario anterior (2004) por falta de información.

Tabla 3.6 Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, 2008 (ton/año)

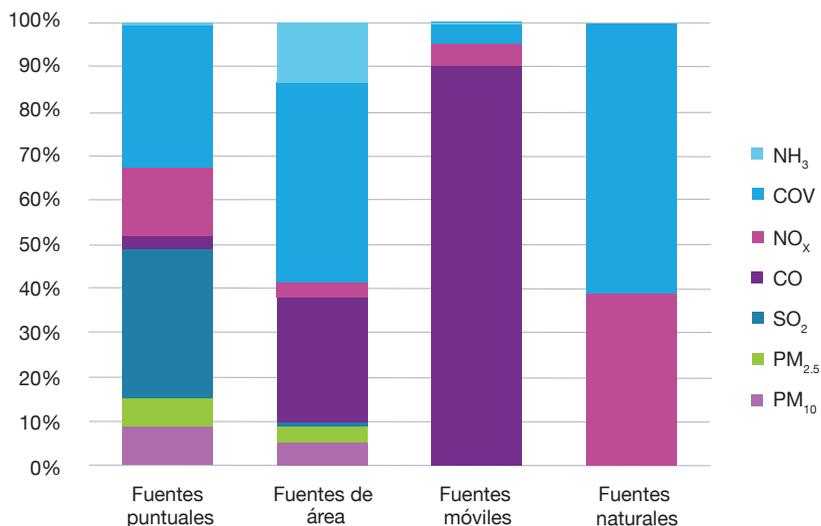
Fuente	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃
Fuentes puntuales	932	678	3,602	373	1,497	3,834	17
Fuentes de área	6,848	5,617	212	39,697	3,963	62,460	19,458
Fuentes móviles	863	674	3,363	1,401,751	73,486	84,120	1,829
Fuentes naturales	NA	NA	NA	NA	194	317	NA
Total ZMVT	8,643	6,968	7,177	1,441,821	79,140	150,730	21,303

Fuente: Programa para Mejorar la Calidad del Aire del Valle de Toluca (2012-2017) (SMAGEM, 2012)

Asimismo, las fuentes de área también fueron causantes de la mayoría de COV, principalmente por la quema de leña, el uso doméstico de solventes y la limpieza de superficies industriales y arquitectónicas.

Al igual que en los inventarios de otras zonas, las emisiones aumentaron considerablemente del 2004 al 2008. El cambio más significativo es el de las fuentes de área, las cuales pasaron de un orden de cientos a miles de toneladas; esto se debe principalmente a la incorporación de nuevas subcategorías consideradas, específicamente la combustión doméstica, lo que provocó el aumento mayor al 50% de emisiones principalmente en partículas PM₁₀ y PM_{2.5}, CO y COV.

Gráfica 3.6 Distribución porcentual del Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, 2008



Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México (SMAGEM, 2012)

3.2. Generalidades del presente inventario de emisiones del Estado de México, año base 2016

Entre los objetivos del presente inventario se tiene el de diagnosticar la generación de emisiones del Estado, pero también el de ser comparable a nivel nacional, ya que los recientes ProAire del país han sido diseñados bajo las mismas características; asimismo, se eligió el año 2016 con el fin de contar con suficiencia de información para estimar un inventario confiable, cuestión que podría ser una limitante para una base más reciente. El inventario fue realizado para los 125 municipios del Estado de México dividido por: Zonas Metropolitanas y Zonas de Planeación Estatal. Los contaminantes estimados fueron:

- Partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$
- Dióxido de azufre (SO_2)
- Monóxido de carbono (CO)
- Óxidos de nitrógeno (NO_x)
- Compuestos orgánicos volátiles (COV)
- Amoníaco (NH_3)

Asimismo, las fuentes evaluadas corresponden a las categorías:

- Fuentes puntuales: industria de jurisdicción federal y estatal.
- Fuentes de área: comercios y servicios con y sin combustión, generadores de emisiones, principalmente de COV.
- Fuentes móviles: fuentes carreteras y no carreteras de combustión.
- Fuentes naturales o biogénicas: emisiones de COV procedentes de la vegetación y los NO_x del suelo.

3.3. Metodología

A grandes rasgos, la metodología utilizada es la recomendada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA) adaptada a la situación en México y al Estado de México. El principal medio de estimación es el uso de factores de emisión provenientes del AP-42: Compilado de Factores de Emisión de Aire (*Compilation of Air Emission Factors*). La ecuación general se muestra a continuación:

$$E = DA \times FE \times \left(1 - \frac{Eq}{100}\right) \quad (1)$$

Donde:

E = Emisiones [ton/año]

DA = Dato de actividad. Describe la intensidad de la actividad (cantidad de

combustible y material utilizado, cultivos, vegetación, actividad ganadera, población, etc.) [ton o m³ / año].

FE = Factor de emisión [ton de contaminante / ton o m³ consumido].

Eq = Eficiencia del equipo de control de emisiones [%].

En todas las fases de estimación del inventario se contó con trabajo de análisis, aseguramiento de calidad y manejo confidencial de la información proporcionada.

3.3.1. Fuentes Puntuales

Para la estimación de las fuentes puntuales se utilizó la herramienta DATGEN (Datos Generales). Esta es una base de datos arrojada en varias hojas de cálculo, que contiene información sobre los procesos de combustión (tipo, equipos y eficiencias) de la industria tanto estatal como federal; a estas hojas les es introducido el consumo de combustibles utilizado por cada establecimiento, así como los factores de emisión actualizados del AP-42 de la EPA, entre otros adaptados a México.

Adicionalmente, aquellos establecimientos que cuentan con un ducto o chimenea, y que generan emisiones contaminantes medibles de acuerdo con la normatividad vigente, deben reportar sus emisiones para ser introducidas al DATGEN. De esta manera, además de hacer estimaciones, el inventario también se alimenta de emisiones resultantes de una medición realizada por un laboratorio de prueba autorizado.

El DATGEN fue desarrollado por la SEMARNAT como herramienta de regulación y se actualiza aproximadamente cada dos años. Con el tiempo, ha sido un instrumento de alta relevancia para dar seguimiento a la gestión de calidad del aire del sector industrial.

3.3.2. Fuentes de Área

Al igual que el resto del inventario, las fuentes de área también se estimaron mediante el uso de factores de emisión, además de realizar balances de combustibles y de solventes cuando fue necesario. En algunos casos, tales como el manejo de residuos, se utilizó el Modelo Mexicano de Biogás como punto de partida y, posteriormente, se procedió a utilizar factores de emisión. Contrario a lo que sucede en otras categorías, las fuentes de área están asociadas a la cantidad de población o número de empleados en establecimientos, por lo que algunas categorías implicaron pasos previos para la generación de los datos de actividad. A continuación, se muestra un resumen de las categorías consideradas y datos utilizados para la estimación de emisiones de dichas fuentes.

Tabla 3.7 Datos de actividad para la estimación de emisiones de fuentes de área, 2016

Subcategoría	Dato de actividad	Fuentes de información
Consumo de combustibles en fuentes estacionarias		
Combustión agrícola, comercial y doméstica	Venta y consumo de combustibles (Gas L.P., Gas Natural y Diésel) en la Entidad para cada categoría.	Petróleos Mexicanos (PEMEX), Secretaría de Energía (SENER), Comisión Reguladora de Energía (CRE)
Almacenamiento y distribución de combustibles		
Almacenamiento y distribución de gas L.P.	Volumen almacenado y distribuido de gas L.P.	Secretaría de Energía (SENER) y Comisión Reguladora de Energía (CRE)
Distribución de combustibles (gasolinas y diésel)	Estaciones de servicio, de distribución y autoconsumo	Petróleos Mexicanos (PEMEX) -Estaciones de distribución y autoabastecimiento
Consumo de solventes		
Artes gráficas	Número de empleados, venta de productos y uso de materiales solventes	Datos Estadísticos Nacionales de Unidades Económicas (DENUE) y Censos de población y vivienda, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)
Lavado en seco de ropa		
Limpieza de superficies industriales		
Talleres de hojalatería y pintura		
Recubrimiento de superficies industriales		
Recubrimiento de superficies arquitectónicas		
Pintura para la señalización vial	Volumen de pintura utilizada para señalización vial	Servicios públicos municipales, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
Asfaltado	Cantidad y tipo de emulsión y carpeta asfáltica	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Secretaría de Energía (SENER)
Uso comercial y doméstico de solventes	Población total en la Entidad y por municipios	Datos Estadísticos Nacionales de Unidades Económicas (DENUE) y Censos de Población y Vivienda, INEGI 2016
Residuos		
Tratamiento de aguas residuales	Volumen de agua residual generada, colectada y tratada	Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)
Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	Rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto	Generación, recolección y disposición de residuos sólidos urbanos, INEGI
Fuentes industriales comerciales ligeras		
Actividades de construcción	Número de licencias de construcción expedidas	Dependencias municipales y Anuarios estadísticos de INEGI
Asados al carbón	Población total en la Entidad y por municipios	Datos Estadísticos Nacionales de Unidades Económicas (DENUE) y Censos de población y vivienda, INEGI. Proyecciones poblacionales de Consejo Nacional de Población (CONAPO)
Panaderías	Número de empleados y venta de productos	Datos Estadísticos Nacionales de Unidades Económicas (DENUE), INEGI 2016
Hornos ladrilleros	Número de hornos existentes y combustibles utilizados	Investigación de campo e información proporcionada por las dependencias municipales

Fuentes de área misceláneas		
Emisiones domésticas de amoníaco	Población total en la Entidad y por municipios	Censos de población y vivienda, INEGI. Proyecciones poblacionales de CONAPO
Esterilización en hospitales	Padrón de hospitales con el número de camas censables y no censables	Secretaría de Salud del Estado de México
Incendios en casas habitación	Número de incendios y superficie siniestrada	Anuarios estadísticos del Estado de México, INEGI
Incendios forestales y quemas agrícolas	Incendios ocurridos y superficie siniestrada	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)-Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentaria (SAGARPA) / Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)
Polvos en caminos no pavimentados	Superficie de caminos no pavimentados	Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
Agropecuarias		
Aplicación de fertilizantes y plaguicidas	Fertilizantes y plaguicidas aplicados	Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de México, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
Corrales de engorda de ganado y emisiones de amoníaco	Número de cabezas producidas en corrales y producidas en otro lugar diferente al corral	
Labranza y cosecha agrícola	Superficie sembrada, cosechada y volumen producido por tipo de cultivo	

Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (2018)

3.3.3. Fuentes Móviles

Se empleó el Modelo de Emisiones de Fuentes Móviles conocido como MOVES (*Motor Vehicle Emission Simulator*), el cual fue desarrollado por la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de América (EPA, 2012). Este modelo incluye todos los vehículos de motor en circulación y realiza una estimación de emisiones para un amplio rango de contaminantes, entre los que se incluyen los contaminantes criterio, gases de efecto invernadero y contaminantes tóxicos.

En general la información requerida para una adecuada modelación necesita de datos específicos de la zona o región de estudio, los cuales se mencionan a continuación:

- Distribución vehicular por año modelo, categoría y tipo de combustible.
- Actividad vehicular: cómo y cuánto circulan los vehículos en un área de estudio, dentro de los cuales se encuentra la velocidad vehicular, la distancia recorrida por categoría y el número de viajes, entre otros.
- Meteorología o condiciones locales (temperatura, humedad relativa, presión barométrica y altura sobre el nivel del mar).

- Las características de combustible en cada área de estudio, donde los parámetros en general son: presión de vapor Reid, contenido de azufre, contenido y tipo de oxigenante, cantidad de aromáticos, etc.
- Tipo de programa de verificación de emisiones vehiculares, así como su cobertura y nivel de cumplimiento.

El modelo MOVES puede modelar diferentes intervalos de tiempo: año, mes, día y hora; asimismo, puede obtener los factores de emisión por categoría vehicular con una antigüedad de hasta 30 años, para un año calendario determinado. La cantidad y nivel de detalle de los parámetros, que alimentarán al modelo, dependerán del grado de dominio o escala, así como del intervalo de tiempo en el que se quiera modelar.

3.3.4. Fuentes Naturales o Biogénicas

La estimación de emisiones de origen biogénico se realizó mediante el uso del Sistema Global de Emisiones de la Biósfera y sus Interacciones (GloBEIS, por sus siglas en inglés), que fue desarrollado por la EPA y el Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas (NCAR, por sus siglas en inglés). Es un modelo de tercera generación basado en un Sistema de Información Geográfica (SIG), que permite estimar emisiones de COV, tales como el isopreno y los monoterpenos (más abundantes), entre otros (OCOV²) que son entregados de manera agregada. Asimismo, permite estimar las emisiones de monóxido de nitrógeno (NO) y amoníaco (NH₃) generadas por la actividad microbiana en los suelos. El modelo GloBEIS es un software de uso libre, que puede ser obtenido gratuitamente y opera bajo el programa de Microsoft Access®.

3.4. Inventario Estatal de Emisiones de Contaminantes 2016

Los resultados del inventario de emisiones del Estado de México arrojan que el contaminante que más se emite es el monóxido de carbono con un orden de magnitud aproximado de 817 mil toneladas al año, seguido de 548 mil toneladas de compuestos orgánicos volátiles. Se señala que, con respecto al último inventario en 2010, tanto el SO₂ como el CO han disminuido sus emisiones hasta en un 50%. Si bien existe la posibilidad de que esta diferencia se deba tanto a la metodología de estimación como a las categorías evaluadas, la tendencia a la disminución de emisiones predomina en todos los contaminantes excepto el amoníaco, que según los datos aumenta un 13%.

No obstante, en cuanto a las emisiones que más dañan a la salud, las partículas PM₁₀ y PM_{2.5}, se estimó una cifra aproximada de 45 y 35 mil toneladas, respectivamente. De acuerdo con el inventario del año 2010, ahora se emiten 22 y 30% menos partículas PM₁₀ y PM_{2.5}, respectivamente.

2. OCOV: otros compuestos orgánicos volátiles

Tabla 3.8 Inventario Estatal de Emisiones de Contaminantes 2016

Fuente	Emisiones (ton/año)						
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃
Puntuales estatales	700	495	81	8,268	3,885	2,803	48
Accesorios, aparatos eléctricos y equipos de generación eléctrica	22	16	1	64	41	87	0.26
Alimentos y bebidas	117	60	14	1,304	823	133	16
Cuero, piel y materiales sucedáneos	1	1	1	87	34	1	0.34
Derivados del petróleo y del carbón	5	4	5	215	98	1	1
Impresión	14	10	0	43	34	191	0.22
Madera	35	25	0	12	17	284	0.11
Manejo de desechos y remediación	17	12	3	67	39	0	1
Metálico	128	95	11	1,325	572	482	6
Mezclas químicas	18	12	4	444	191	179	2
Minerales no metálicos	20	10	1	123	61	5	1
Muebles, colchones y persianas	3	2	<1	9	11	29	<1
Otras industrias	8	6	<1	5	9	<1	<1
Papel y cartón	74	59	4	88	61	192	1
Plástico y hule	108	87	29	3,875	1,514	892	15
Textil	131	96	7	609	381	328	4
Puntuales federales	2,047	1,739	1,717	2,665	8,444	7,486	76
Asbesto	1	1	<1	4	7	<1	<1
Automotriz	259	216	<1	118	93	2,715	3
Celulosa y papel	367	294	1,230	332	656	500	13
Cemento y cal	53	33	431	182	1,302	7	1
Generación de energía eléctrica	556	556	13	1,313	4,360	75	33
Metalúrgica (incluye la siderúrgica)	349	257	33	108	130	331	4
Pinturas y tintas	174	124	2	12	28	3,696	<1
Química	70	42	4	309	422	55	11
Tratamiento de residuos peligrosos	1	1	2	6	11	34	<1
Vidrio	219	215	2	281	1,435	72	11
Fuentes puntuales totales	2,748	2,234	1,798	10,933	12,329	10,289	124
Automóvil particular	2,544	840	108	261,463	26,510	35,021	550
Taxi	109	21	6	6,306	303	718	27
Camioneta particular	492	170	156	80,280	4,977	14,287	606

Camioneta transporte público	9	8	17	5,689	848	388	7
Microbús	26	17	13	9,727	2,503	2,898	-
Tractocamión	311	287	186	2,147	7,858	373	-
Carga ligera y <i>pickups</i>	298	264	418	143,266	23,398	13,647	162
Carga pesada	122	109	61	21,585	2,475	1,895	10
Autobús	1,685	1,550	403	6,198	18,022	990	15
Motocicleta	105	93	239	88,231	3,598	6,919	209
Fuentes móviles totales	5,701	3,360	1,606	624,893	90,491	77,136	1,585
Quema de combustibles en fuentes estacionarias	15,995	15,434	910	113,207	17,859	99,599	<1
Combustión agropecuaria	788	788	735	2,413	11,222	4	-
Combustión comercial	28	28	<1	171	855	16	<1
Combustión doméstica	15,179	14,619	175	110,622	5,782	99,578	<1
Uso de Solventes	-	-	-	-	-	88,600	-
Artes gráficas	-	-	-	-	-	7,845	-
Asfaltado	-	-	-	-	-	438	-
Lavado en seco	-	-	-	-	-	2,292	-
Limpieza de superficies industriales	-	-	-	-	-	11,111	-
Pintado automotriz	-	-	-	-	-	2,438	-
Pintura para señalización vial	-	-	-	-	-	226	-
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	-	-	-	-	-	6,897	-
Uso doméstico de solventes	-	-	-	-	-	54,197	-
Recubrimiento de superficies en la industria	-	-	-	-	-	3,157	-
Almacenamiento y transporte de derivados de petróleo	-	-	-	-	-	60,390	-
Manejo y distribución de combustibles	-	-	-	-	-	7,722	-
Manejo y distribución de gas L.P.	-	-	-	-	-	52,668	-
Fuentes industriales ligeras y comerciales	3,652	1,321		2,725	50	2,263	-
Asados al carbón	1,369	1,092		2,725	50	176	-
Panificación	-	-	-	-	-	2,087	-
Actividades de construcción	2,283	228	-	-	-	-	-
Manejo de Residuos	47	52	1	151	9	1,557	-
Aguas residuales	-	-	-			253	-
Rellenos sanitarios	-	-	-	24		1,291	-
Quema de residuos	47	52	1	127	9	14	-
Fuentes misceláneas	6,632	3,939	318	7,012	328	526	21,030

Incendios forestales	648	550	60	6,426	192	449	64
Esterilización de material hospitalario	-	-	-	-	-	11	-
Incendio de construcciones	1	1	13	<1	<1	1	-
Ladrilleras	2,880	2,637	245	586	135	66	-
Caminos pavimentados y no pavimentados	3,103	751	-	-	-	-	-
Emisiones domésticas de amoníaco	-	-	-	-	-	-	20,966
Agropecuarias	9,862	8,710	273	57,769	2,423	6,286	34,461
Aplicación de fertilizantes	-	-	-	-	-	-	6,101
Aplicación de plaguicidas	-	-	-	-	-	232	-
Corrales de engorda	208	24	-	-	-	-	-
Ganaderas de amoníaco	-	-	-	-	-	-	27,206
Labranza	783	174	-	-	-	-	-
Quemas agrícolas	8,872	8,513	273	57,769	2,423	6,054	1,155
Fuentes de área totales	36,187	29,456	1,502	180,863	20,669	259,222	55,493
Biogénicas	-	-	-	-	52,561	201,178	-
Fuentes naturales totales	-	-	-	-	52,561	201,178	-
Total	44,636	35,050	4,905	816,689	176,050	547,825	57,201

Nota: La suma de las cantidades parciales puede no coincidir con el total debido al redondeo de las cifras.

Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (2018)

Del total del inventario, las fuentes puntuales dominan las emisiones de SO₂ (36.5%), las móviles las de CO (76.5%) y las de NO_x (51%), las fuentes de área las partículas PM₁₀ (81%), las PM_{2.5} (84%), los COV (47%) y el NH₃ (97%). Las fuentes naturales también emiten COV en una proporción considerable (37%), solamente 10% menos que las fuentes de área, cuestión importante de mencionar si se considera que el margen para intervenir en esta fuente es reducido.

Se hace especial señalamiento al CO de las fuentes móviles, ya que los vehículos particulares emiten el 32% de todo el inventario, le siguen con el 17.5% los vehículos de carga ligera y *pickups*. Igualmente, se resalta que las fuentes de área son las mayores aportadoras de partículas, 81% de PM₁₀ y 84% de PM_{2.5} con respecto al total del inventario y, de los cuales, el 34 y el 42%, respectivamente, corresponden a la combustión doméstica.

Adicionalmente, con 47%, las fuentes de área son las principales emisoras de COV, donde los principales aportes son de la combustión doméstica y del uso doméstico de solventes.

Tabla 3.9 Contribución porcentual de las fuentes del Inventario Estatal de Emisiones de Contaminantes 2016

Fuente	Emisiones (contribución porcentual)						
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃
Puntuales estatales	1.57%	1.41%	1.65%	1.01%	2.21%	0.51%	0.08%
Accesorios, aparatos eléctricos y equipos de generación eléctrica	0.05%	0.04%	0.01%	0.01%	0.02%	0.02%	0.00%
Alimentos y bebidas	0.26%	0.17%	0.28%	0.16%	0.47%	0.02%	0.03%
Cuero, piel y materiales sucedáneos	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%	0.00%	0.00%
Derivados del petróleo y del carbón	0.01%	0.01%	0.10%	0.03%	0.06%	0.00%	0.00%
Impresión	0.03%	0.03%	0.01%	0.01%	0.02%	0.03%	0.00%
Madera	0.08%	0.07%	0.01%	0.00%	0.01%	0.05%	0.00%
Manejo de desechos y remediación	0.04%	0.03%	0.07%	0.01%	0.02%	0.00%	0.00%
Metálico	0.29%	0.27%	0.23%	0.16%	0.32%	0.09%	0.01%
Mezclas químicas	0.04%	0.03%	0.08%	0.05%	0.11%	0.03%	0.00%
Minerales no metálicos	0.04%	0.03%	0.02%	0.02%	0.03%	0.00%	0.00%
Muebles, colchones y persianas	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%
Otras industrias	0.02%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	-	0.00%
Papel y cartón	0.17%	0.17%	0.08%	0.01%	0.03%	0.04%	0.00%
Plástico y hule	0.24%	0.25%	0.59%	0.47%	0.86%	0.16%	0.03%
Textil	0.29%	0.28%	0.15%	0.07%	0.22%	0.06%	0.01%
Puntuales federales	4.59%	4.96%	35.00%	0.33%	4.80%	1.37%	0.13%
Asbesto	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	-	0.00%
Automotriz	0.58%	0.62%	0.01%	0.01%	0.05%	0.50%	0.00%
Celulosa y papel	0.82%	0.84%	25.07%	0.04%	0.37%	0.09%	0.02%
Cemento y cal	0.12%	0.09%	8.78%	0.02%	0.74%	0.00%	0.00%
Generación de energía eléctrica	1.25%	1.59%	0.26%	0.16%	2.48%	0.01%	0.06%
Metalúrgica (incluye la siderúrgica)	0.78%	0.73%	0.67%	0.01%	0.07%	0.06%	0.01%
Pinturas y tintas	0.39%	0.35%	0.04%	0.00%	0.02%	0.67%	0.00%
Química	0.16%	0.12%	0.08%	0.04%	0.24%	0.01%	0.02%
Tratamiento de residuos peligrosos	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%
Vidrio	0.49%	0.61%	0.04%	0.03%	0.82%	0.01%	0.02%
Fuentes puntuales totales	6.16%	6.37%	36.65%	1.34%	7.00%	1.88%	0.22%
Automóvil particular	5.70%	2.40%	2.20%	32.02%	15.06%	6.39%	0.96%

Taxi	0.24%	0.06%	0.12%	0.77%	0.17%	0.13%	0.05%
Camioneta particular	1.10%	0.49%	3.18%	9.83%	2.83%	2.61%	1.06%
Camioneta transporte público	0.02%	0.02%	0.35%	0.70%	0.48%	0.07%	0.01%
Microbús	0.06%	0.05%	0.26%	1.19%	1.42%	0.53%	-
Tractocamión	0.70%	0.82%	3.78%	0.26%	4.46%	0.07%	-
Carga ligera y <i>pickups</i>	0.67%	0.75%	8.52%	17.54%	13.29%	2.49%	0.28%
Carga pesada	0.27%	0.31%	1.24%	2.64%	1.41%	0.35%	0.02%
Autobús	3.78%	4.42%	8.21%	0.76%	10.24%	0.18%	0.03%
Motocicleta	0.24%	0.27%	4.87%	10.80%	2.04%	1.26%	0.36%
Fuentes móviles totales	12.77%	9.59%	32.74%	76.52%	51.40%	14.08%	2.77%
Quema de combustibles en fuentes estacionarias	35.83%	44.04%	18.54%	13.86%	10.14%	18.18%	0.00%
Combustión agrícola	1.76%	2.25%	14.98%	0.30%	6.37%	0.00%	
Combustión comercial	0.06%	0.08%	0.01%	0.02%	0.49%	0.00%	0.00%
Combustión doméstica	34.01%	41.71%	3.56%	13.55%	3.28%	18.17%	0.00%
Uso de Solventes	-	-	-	-	-	16.17%	-
Artes Graficas	-	-	-	-	-	1.43%	-
Asfaltado	-	-	-	-	-	0.08%	-
Lavado en seco	-	-	-	-	-	0.42%	-
Limpieza de superficies industriales	-	-	-	-	-	2.03%	-
Pintado automotriz	-	-	-	-	-	0.44%	-
Pintura para señalización vial	-	-	-	-	-	0.04%	-
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	-	-	-	-	-	1.26%	-
Uso doméstico de solventes	-	-	-	-	-	9.89%	-
Recubrimiento de superficies en la industria	-	-	-	-	-	0.58%	-
Almacenamiento y transporte de derivados de petróleo	-	-	-	-	-	11.02%	-
Manejo y distribución de combustibles	-	-	-	-	-	1.41%	-
Manejo y distribución de gas L.P.	-	-	-	-	-	9.61%	-
Fuentes industriales ligeras y comerciales	8.18%	3.77%	-	0.33%	0.03%	0.41%	-
Asados al carbón	3.07%	3.12%	-	0.33%	0.03%	0.03%	-
Panificación	-	-	-	-	-	0.38%	-
Actividades de construcción	5.11%	0.65%	-	-	-	-	-

Manejo de Residuos	0.11%	0.15%	0.03%	0.02%	0.01%	0.28%	-
Aguas residuales	-	-	-	-	-	0.05%	-
Rellenos sanitarios	-	-	-	0.00%	-	0.24%	-
Quema de residuos a cielo abierto	0.11%	0.15%	0.03%	0.02%	0.01%	0.00%	-
Fuentes misceláneas	14.86%	11.24%	6.49%	0.86%	0.19%	0.10%	36.77%
Incendios forestales	1.45%	1.57%	1.22%	0.79%	0.11%	0.08%	0.11%
Esterilización de material hospitalario	-	-	-	-	-	0.00%	-
Incendios en construcción	0.00%	0.00%	0.27%	0.00%	0.00%	0.00%	-
Ladrilleras	6.45%	7.52%	5.00%	0.07%	0.08%	0.01%	-
Camino pavimentados y no pavimentados	6.95%	2.14%	-	-	-	-	-
Emisiones domésticas de amoníaco	-	-	-	-	-	-	36.65%
Agropecuarias	22.09%	24.85%	5.56%	7.07%	1.38%	1.15%	60.25%
Aplicación de Fertilizantes	-	-	-	-	-	0.00%	10.67%
Aplicación de Plaguicidas	-	-	-	-	-	0.04%	-
Corrales de engorda	0.47%	0.07%	-	-	-	-	-
Emisiones ganaderas de amoníaco	-	-	-	-	-	-	47.56%
Labranza	1.75%	0.50%	-	-	-	-	-
Quemas agrícolas	19.87%	24.29%	5.56%	7.07%	1.38%	1.10%	2.02%
Fuentes de área totales	81.07%	84.04%	30.62%	22.15%	11.74%	47.30%	97.01%
Biogénicas	-	-	-	-	29.86%	36.71%	-
Fuentes naturales totales	-	-	-	-	29.86%	36.71%	-
Total	100%						

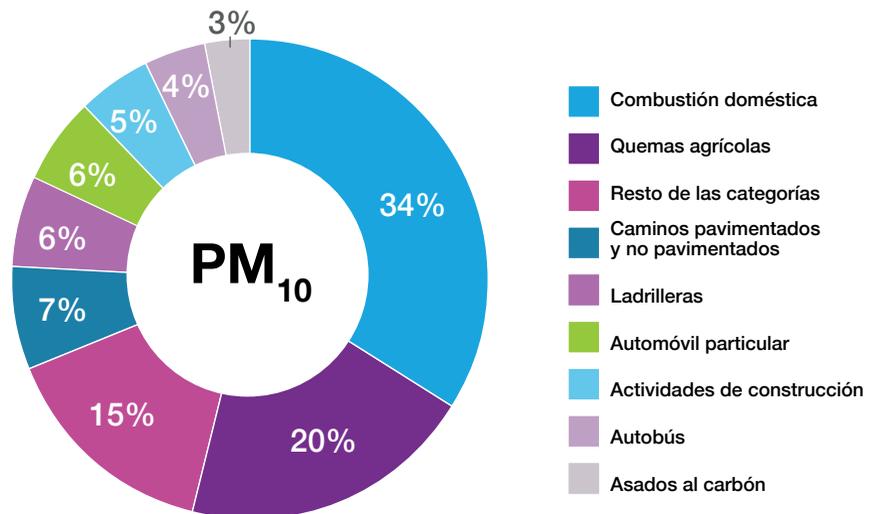
Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (2018)

3.5. Análisis del inventario por contaminante

El análisis por tipo de contaminante indica que la combustión doméstica es la mayor emisora de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$; su contribución se encuentra entre 34% y 42%, respectivamente, con respecto al total del contaminante (ver Gráficas 3.7 y 3.8). Esto se debe a que el combustible evaluado fue la leña principalmente, seguido por el gas L.P. En segundo lugar, encontramos las quemas agrícolas con un 20% para PM_{10} y 24% para $PM_{2.5}$, dado que al igual que la leña, la quema de biomasa de residuos agrícolas emite altas cantidades de partículas de hollín como resultado

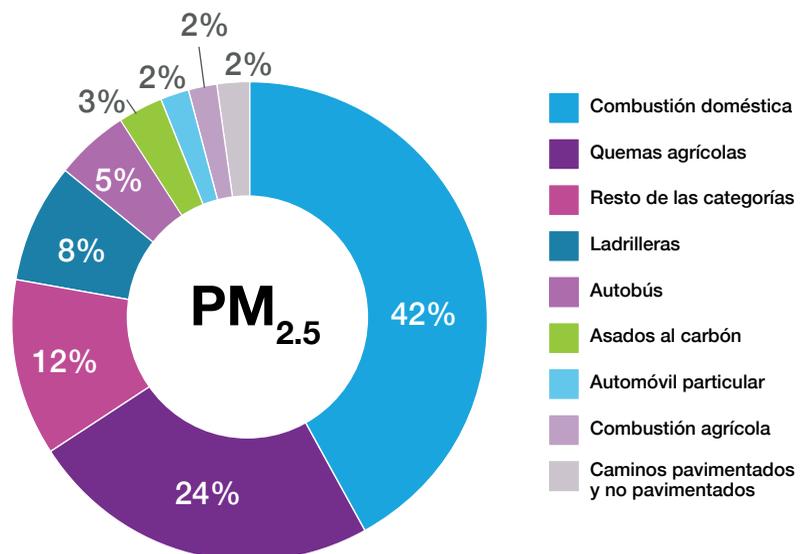
de una combustión incompleta. Asimismo, se señala la importante participación de las ladrilleras en ambos tipos de partículas (7-8%); los caminos no pavimentados también contribuyen a la emisión de PM_{10} y los autobuses en $PM_{2.5}$.

Gráfica 3.7 Distribución porcentual de emisiones de PM_{10} en el Inventario 2016



Fuente: Elaboración propia con información del IEECC (2018)

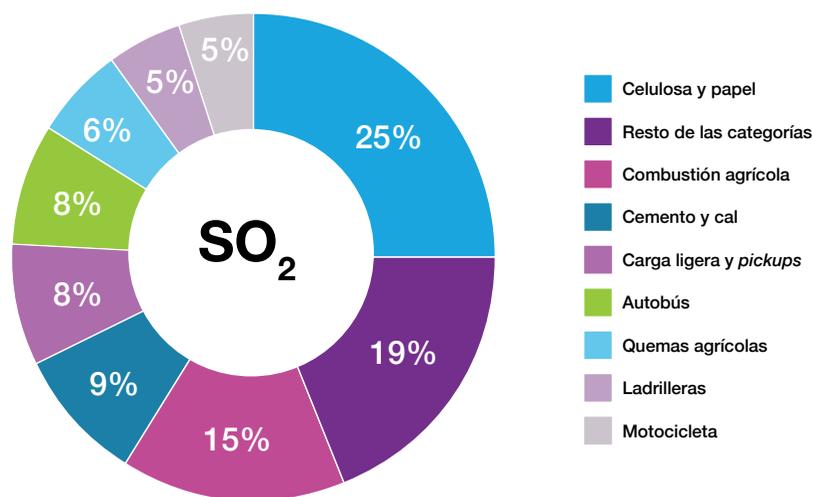
Gráfica 3.8 Distribución porcentual de emisiones de $PM_{2.5}$ en el Inventario 2016



Fuente: Elaboración propia con información del IEECC (2018)

Con respecto al dióxido de azufre, el principal aporte proviene de la industria de la celulosa y el papel con un 25% del total; posiblemente se deba a la persistencia de la quema de combustóleo y diésel. En segundo lugar se ubica la combustión agrícola con un 15%, igualmente por uso de diésel en la maquinaria requerida para llevar a cabo sus actividades productivas (ver Gráfica 3.9). Se subraya la importante participación de la industria cementera (8%) en las emisiones de SO_2 a razón del uso de carbón y coque de petróleo reportado.

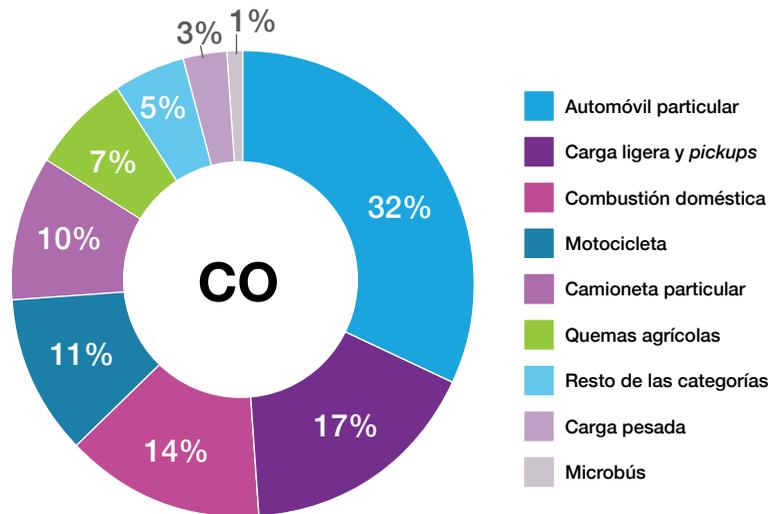
Gráfica 3.9 Distribución porcentual de emisiones de SO_2 en el Inventario 2016



Fuente: Elaboración propia con información del IEECC (2018)

Las emisiones de CO se deben en un 32% a los vehículos particulares y en un 17% a los vehículos de carga ligera y *pick ups* (ver Gráfica 3.10). El tercer lugar lo ocupa la combustión doméstica (14%); el cuarto y quinto lugar también lo ocupan las fuentes móviles, correspondiendo a las motocicletas con un 11%, seguido de las camionetas particulares con un 10%.

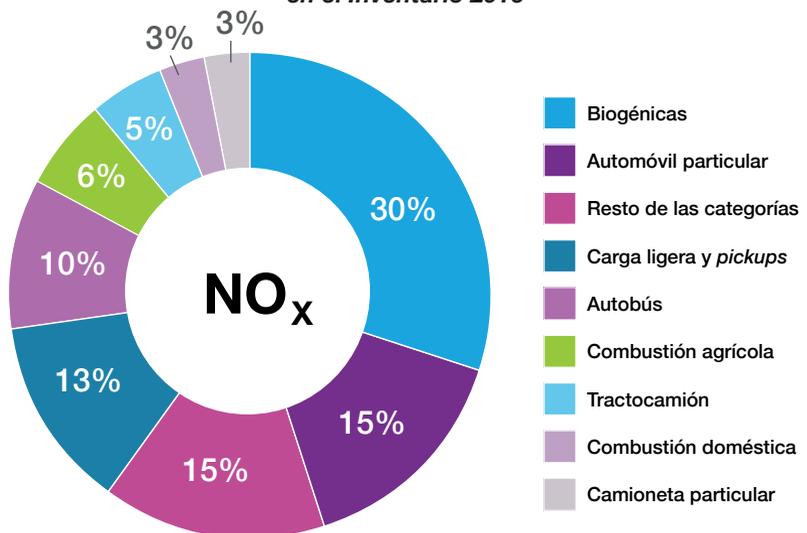
Gráfica 3.10 Distribución porcentual de emisiones de CO en el Inventario 2016



Fuente: Elaboración propia con información del IEECC (2018)

En referencia a los óxidos de nitrógeno, el inventario estimó que la vegetación o las fuentes biogénicas son las culpables del principal aporte, con un 30%, seguido de los vehículos particulares y los de carga ligera y pickups, con un 15% y 13%, respectivamente. Aquí se destaca también la participación de los autobuses y la combustión de maquinaria agrícola (ver Gráfica 3.11).

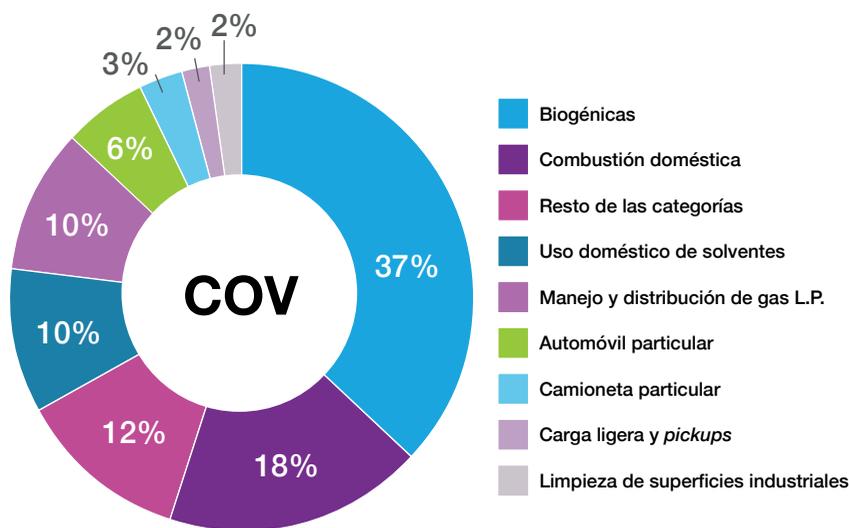
Gráfica 3.11 Distribución porcentual de emisiones de NO_x en el Inventario 2016



Fuente: Elaboración propia con información del IEECC (2018)

Los COV son un conjunto de compuestos emitidos, en primer lugar, por las fuentes biogénicas con una contribución de 37%; sigue en magnitud la combustión doméstica, con un 18%, misma que está dominada por gas L.P. en las zonas urbanas y periurbanas, y por leña en las zonas rurales. Aquí es importante mencionar que el cuarto lugar lo ocupan, en un empate, el uso doméstico de solventes y el manejo y distribución de gas L.P., cada uno con un 10% de aportación (ver Gráfica 3.12). En cuanto a los COV provenientes de las fuentes biogénicas, se resalta que no es posible intervenir para evitarlos, por lo que la atención debe migrar al resto de las fuentes antropogénicas para disminuir la intensidad de emisiones de este contaminante.

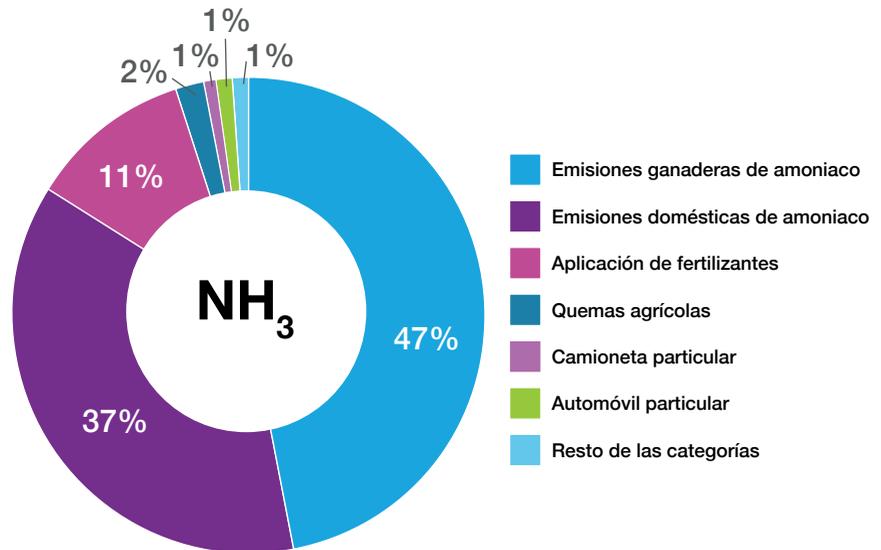
Gráfica 3.12 Distribución porcentual de emisiones de COV en el Inventario 2016



Fuente: Elaboración propia con información del IEECC (2018)

En cuanto al amoníaco, se señala que casi la mitad de las emisiones se deben a la ganadería con un 47%. En segundo lugar, con un 37% se encuentran las emisiones domésticas debido al uso de productos de limpieza; en seguida, se ubica la aplicación de fertilizantes nitrogenados durante las actividades agrícolas con un 11% (ver Gráfica 3.13).

Gráfica 3.13 Distribución porcentual de emisiones de NH_3 en el Inventario 2016



Fuente: Elaboración propia con información del IEECC (2018)

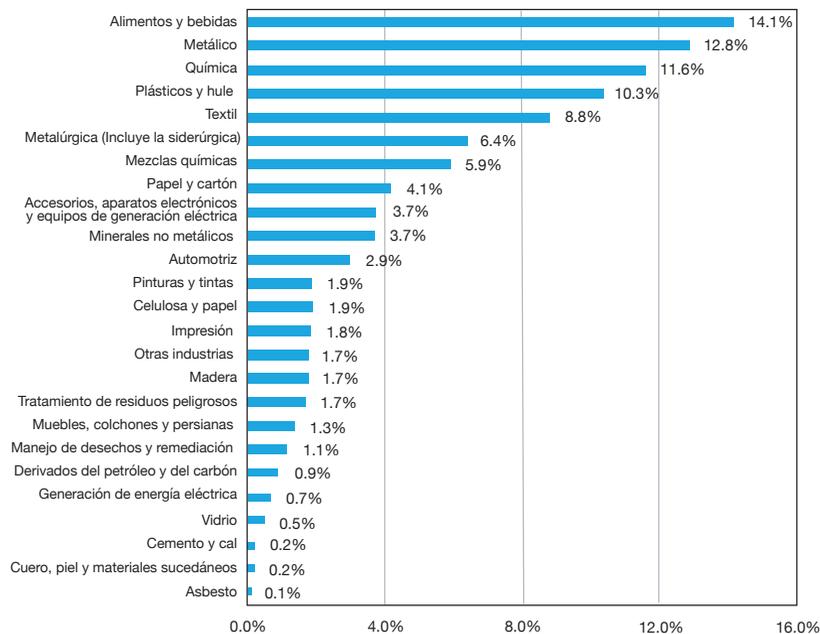
3.6. Análisis del inventario por tipo de fuente

3.6.1. Fuentes Puntuales

Las fuentes puntuales corresponden a las emisiones provenientes de la actividad industrial, tanto de jurisdicción federal como estatal. Históricamente, el Estado de México es uno de los más productivos en este sector. Un total de 1,495 industrias le aportaron al Estado un 26% al PIB en 2016; de estas industrias, 15% son de jurisdicción federal y el 85%, estatal. Se destaca que la industria alimenticia es la más abundante en el Estado con poco más de 200 establecimientos, seguida de la manufactura del sector metálico³ con poco menos de 200, ambas reguladas a nivel estatal. En cuanto a las fuentes federales, es la industria química la que tiene mayor presencia con casi 180 industrias, seguida de la metalúrgica con poco menos de 100. En cuanto a la ubicación, se señala que el 80% de la industria del Estado se encuentra instalada en la Zona Metropolitana del Valle de Cuautitlán – Texcoco.

3. Corresponde al sector no. 23 según la clasificación del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN).

Gráfica 3.14 Distribución porcentual de la industria instalada en el Estado de México, año 2016



Fuente: Elaboración propia con datos de la SEMARNAT y de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (2018)

La fuente de información para estimar el inventario procede de la Cédula de Operación Anual (COA) para el caso de las fuentes federales y la Cédula de Operación Integral (COI) para las fuentes puntuales de jurisdicción estatal; la información requerida es la correspondiente al consumo de combustibles y al consumo de solventes que provoca la emisión de COV.

En materia energética, la industria representa el 23% del consumo total de la energía a nivel estatal. Dado que el gas natural representa el 86% del consumo energético de la industria, uno de los contaminantes más abundantes es el NO_x.

Figura 3.1 Consumo de combustibles del sector industrial 2016

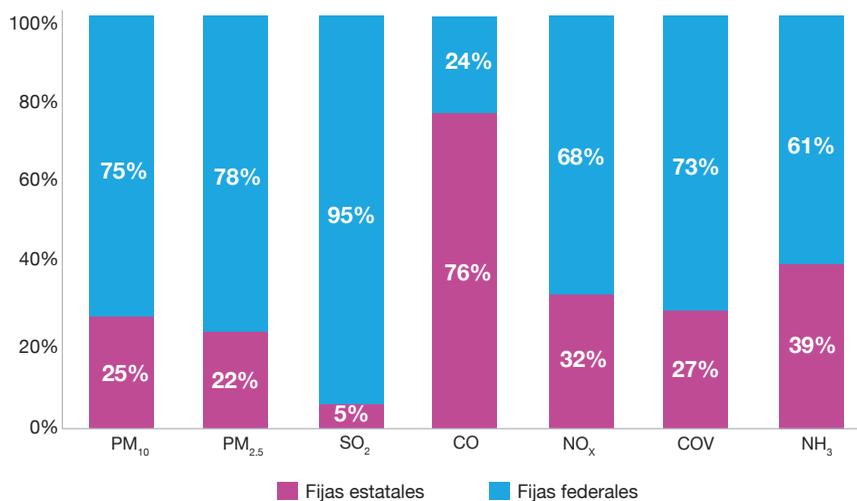


Fuente: Elaboración propia con datos de la SEMARNAT y la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (2018)

El sector industrial del Estado de México abarca casi todos los rubros productivos, entre los cuales se encuentran el de la generación de electricidad, de celulosa y papel, de alimentos y bebidas, de papel y cartón de plástico y hule, así como las industrias automotriz, química y metalúrgica. Estos sectores son los que cuentan con el mayor número de establecimientos y, en consecuencia, son los que aportan la mayor cantidad de emisiones de SO₂ debido al uso de combustibles fósiles.

Para el caso de las emisiones por jurisdicción, se observa que, aunque la industria de jurisdicción federal es menos numerosa, las emisiones de estas son significativamente mayores a las fuentes estatales. Esto se debe tanto al giro, como a la escala de actividades que realizan.

Gráfica 3.15 Contribución de las fuentes puntuales por jurisdicción



Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (2018)

Tabla 3.10 Emisiones provenientes de fuentes puntuales en el Estado de México, año 2016

Sector	Emisiones (ton/año)						
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃
Fuentes estatales	700	495	81	8,268	3,885	2,803	48
Accesorios, aparatos eléctricos y equipos de generación eléctrica	22	16	1	64	41	87	<1
Alimentos y bebidas	117	60	14	1,304	823	133	16

Cuero, piel y materiales sucedáneos	1	1	1	87	34	1	<1
Derivados del petróleo y del carbón	5	4	5	215	98	1	1
Impresión	14	10	<1	43	34	191	<1
Madera	35	25	<1	12	17	284	<1
Manejo de desechos y remediación	17	12	3	67	39	<1	1
Metálico	128	95	11	1,325	572	482	6
Mezclas químicas	18	12	4	444	191	179	2
Minerales no metálicos	20	10	1	123	61	5	1
Muebles, colchones y persianas	3	2	<1	9	11	29	<1
Otras industrias	8	6	<1	5	9	<1	<1
Papel y cartón	74	59	4	88	61	192	1
Plástico y hule	108	87	29	3,875	1,514	892	15
Textil	131	96	7	609	381	328	4
Fuentes federales	2,047	1,739	1,717	2,665	8,444	7,486	76
Asbesto	1	1	<1	4	7	<1	<1
Automotriz	259	217	<1	118	93	2,715	3
Celulosa y papel	367	294	1,230	332	656	500	13
Cemento y cal	53	33	431	182	1,302	7	1
Generación de energía eléctrica	556	556	13	1,313	4,360	75	33
Metalúrgica (incluye la siderúrgica)	349	257	33	108	130	331	4
Pinturas y tintas	174	124	2	12	28	3,696	<1
Química	70	42	4	309	422	55	11
Tratamiento de residuos peligrosos	1	1	2	6	11	34	<1
Vidrio	219	215	2	281	1,435	72	11
Total	2,748	2,234	1,798	10,933	12,329	10,289	124

Nota: La suma de las cantidades parciales puede no coincidir con el total debido al redondeo de las cifras.

Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (2018)

3.6.2. Fuentes de Área

Las fuentes de área son aquellas que individualmente emiten pocos contaminantes, pero que de manera agregada contribuyen significativamente a la calidad del aire, puesto que son muy numerosas. Estas fuentes generalmente hacen referencia a los comercios y servicios, así como a las emisiones domésticas.

Las fuentes de área se caracterizan por ser grandes emisoras de la mayoría de los contaminantes, particularmente en materia de COV. Debido a la combustión y uso de solventes domésticos, además del almacenamiento y transporte de derivados del petróleo. A continuación, se puede encontrar un desagregado de las fuentes de área en el Estado.

Tabla 3.11 Emisiones provenientes de fuentes de área en el Estado de México, año 2016

Fuente	Emisiones (ton/año)						
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃
Quema de combustibles en fuentes estacionarias	15,995	15,435	910	113,206	17,859	99,598	1
Combustión agropecuaria	788	788	735	2,413	11,222	4	-
Combustión comercial	28	28	<1	171	855	16	<1
Combustión doméstica	15,179	14,619	175	110,622	5,782	99,578	1
Uso de Solventes	-	-	-	-	-	88,601	-
Artes gráficas	-	-	-	-	-	7,845	-
Asfaltado	-	-	-	-	-	438	-
Lavado en seco	-	-	-	-	-	2,292	-
Limpieza de superficies industriales	-	-	-	-	-	11,111	-
Pintado automotriz	-	-	-	-	-	2,438	-
Pintura para señalización vial	-	-	-	-	-	226	-
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	-	-	-	-	-	6,897	-
Uso doméstico de solventes	-	-	-	-	-	54,197	-
Recubrimiento de superficies en la industria	-	-	-	-	-	3,157	-
Almacenamiento y transporte de derivados de petróleo	-	-	-	-	-	60,390	-
Manejo y distribución de combustibles	-	-	-	-	-	7,722	-
Manejo y distribución de gas L.P.	-	-	-	-	-	52,668	-
Fuentes industriales ligeras y comerciales	3,652	1,320		2,725	50	2,263	-
Asados al carbón	1,369	1,092		2,725	50	176	-
Panificación	-	-	-	-	-	2,087	-

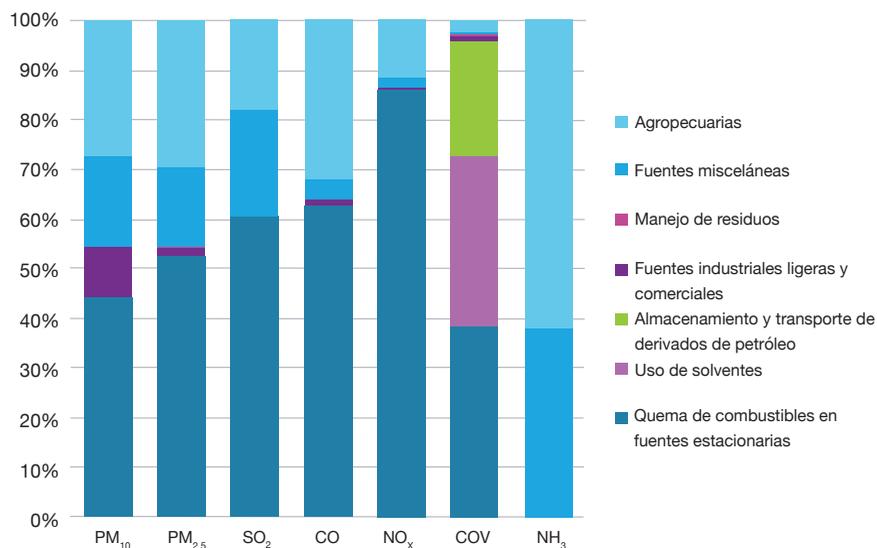
Actividades de construcción	2,283	228	-	-	-	-	-
Manejo de residuos	47	52	1	151	9	1,557	-
Aguas residuales	-	-	-	-	-	253	-
Rellenos sanitarios	-	-	-	24	-	1,291	-
Quema de residuos	47	52	1	127	9	14	-
Fuentes misceláneas	6,632	3,939	318	7,012	327	527	21,030
Incendios forestales	648	550	60	6,426	192	449	64
Esterilización de material hospitalario	-	-	-	-	-	11	-
Incendio de construcciones	1	1	13	<1	<1	1	-
Ladrilleras	2,880	2,637	245	586	135	66	-
Caminos pavimentados y no pavimentados	3,103	751	-	-	-	-	-
Emisiones domésticas de amoníaco	-	-	-	-	-	-	20,966
Agropecuarias	9,863	8,711	273	57,769	2,423	6,286	34,462
Aplicación de fertilizantes	-	-	-	-	-	-	6,101
Aplicación de plaguicidas	-	-	-	-	-	232	-
Corrales de engorda	208	24	-	-	-	-	-
Ganaderas de amoníaco	-	-	-	-	-	-	27,206
Labranza	783	174	-	-	-	-	-
Quemas agrícolas	8,872	8,513	273	57,769	2,423	6,054	1,155
Total de fuentes de área	36,187	29,456	1,502	180,863	20,669	259,222	55,493

Nota: La suma de las cantidades parciales puede no coincidir con el total debido al redondeo de las cifras.

Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (2018)

Se señala que la principal fuente de COV es la combustión doméstica de la categoría de quema de combustibles en fuentes estacionarias, las cuales emiten alrededor del 18% con respecto al total del inventario, seguido del uso de solventes con un 16%. Sobre esta última categoría, son las aplicaciones domésticas e industriales las principales actividades que emiten COV, mientras que en el caso de la combustión doméstica es la quema de leña.

Gráfica 3.16 Distribución porcentual de las emisiones por categoría de área



Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (2018)

En cuanto a las partículas PM₁₀, PM_{2.5} y el SO₂, las emisiones más abundantes son por la quema de combustible en fuentes estacionarias, específicamente la quema de leña, contribuyendo de esta manera al inventario con un 36%, 44% y 16%, respectivamente. No obstante, las emisiones provenientes de quemas agrícolas también son muy importantes, con un 22%, 25% y 6%, correspondientemente. Esto se debe a que la quema de biomasa es, por naturaleza, una fuente importante de ceniza y hollín.

3.6.3. Fuentes Naturales

Las emisiones de fuentes naturales son aquellas que no provienen de actividades humanas, como la actividad volcánica, la fotoquímica de la vegetación, la descomposición de suelo, entre otras que escapan del alcance de un ProAire y del control del mismo. Debido a la disponibilidad de información, en este inventario únicamente se incluyen las fuentes producto de la fotosíntesis de la vegetación, así como la descomposición de la materia orgánica en el suelo. Dichas emisiones están en función de la distribución de la cobertura vegetal en el Estado y la climatología del año base. Para el 2016, la cobertura vegetal evaluada corresponde a 21,355 km² según la Serie VI de las Cartas de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI.

Tabla 3.12 Emisiones provenientes de fuentes biogénicas en el Estado de México, año 2016

Fuente	Emisiones totales de COV (ton/año)			Emisiones de NO _x (ton/año)
	Isopreno	Monoterpenos	Otros COV	
Vegetación y suelos	6,925	59,211	135,042	52,561
	201,178			

Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (2018)

Se señala que el isopreno y los monoterpenos son los COV más abundantes en emisiones procedentes de fuentes naturales; el resto de los compuestos se encuentra agrupado como “otros COV”. Estimar este tipo de COV permite afinar los niveles de hidrocarburos y NO_x a nivel regional, además de seleccionar tipos de fertilizantes y especies de cultivo con menor impacto. Las emisiones estarán dominadas por el tipo y cantidad de vegetación encontrada. Al respecto, los municipios con mayores emisiones de COV en orden de importancia son: Isidro Fabela, Jilotzingo, Tlatlaya, Zumpahuacán y Papalotla. Mayor atención se debe prestar a las zonas colindantes al Valle Cuautitlán-Texcoco, pues al estar cercanos a fuentes antropogénicas podrían presentarse también reacciones secundarias generadoras de ozono. En cuanto a los NO_x, los principales órdenes de magnitud se encuentran en: Papalotla, Nopaltepec, Chiautla, Temascalapa y Polotitlán, cuyas emisiones deben estar marcadas por el tipo de cultivo existente en la zona.

3.6.4. Fuentes móviles

Para la elaboración de este Inventario Estatal de Emisiones, se utilizó una combinación de la información histórica del parque vehicular empleada en los inventarios de emisiones anteriores, información del inventario de emisiones 2015 de la Megalópolis y los datos de actualización del parque vehicular de México que actualmente se encuentran en preparación, cuyo ajuste se realizó en conjunto con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). No obstante, los datos utilizados de algunos municipios fueron los contenidos en el modelo MOVES para el año base. Para el año 2016 se estimó un parque vehicular de 4,141,295 vehículos, casi 30% más que en el año 2010. La desagregación estatal del parque vehicular se presenta a continuación:

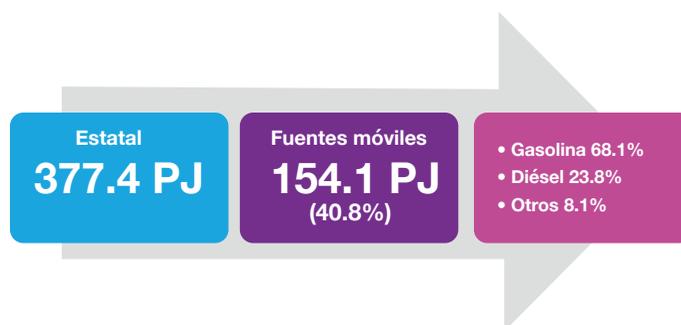
Tabla 3.13 Flota vehicular estimada para el Estado de México y kilómetros recorridos, año 2016

Tipo de vehículo	Número	(km/año)
Motocicleta	309,144	19,369
Automóvil particular	2,481,617	12,917
Taxi	45,102	46,008
Camioneta particular	701,461	13,935
Camioneta de Transporte Público	6,763	51,332
Carga ligera	524,917	24,141
Pickups		12,802
Carga pesada	22,668	22,922
Autobús	18,784	82,198
Tractocamión	22,730	22,995
Microbús	8,109	51,332
Total	4,141,295	-

Fuente: Elaboración propia a partir de comunicación directa con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

El consumo energético del 2016 fue de 377.4 PJ, del cual, el 40.8% corresponde a las fuentes móviles (el doble que el industrial); de este porcentaje, la gasolina representa el 68% del gasto energético y al diésel el 24%.

Figura 3.2 Consumo de combustibles del sector transporte 2016⁴



Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (2018)

4. La categoría de "otros" incluye los siguientes combustibles: gas natural, gas L.P., turbosina y diésel para uso ferroviario.

Los mayores emisores de $PM_{2.5}$, contaminante de mayor preocupación en materia de salud pública, son los autobuses. Las emisiones de los automóviles particulares son la principal fuente de emisión de CO , NO_x , COV y PM_{10} . Por su parte, los vehículos de carga ligera y *pickups* son los principales responsables de SO_2 junto con los autobuses. Finalmente, las camionetas particulares son las que más contribuyen a la emisión de NH_3 .

Tabla 3.14 Emisiones provenientes de fuentes móviles en el Estado de México, año 2016

Tipo de Vehículo	Emisiones (ton/año)						
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_x	COV	NH_3
Motocicleta	105	93	239	88,231	3,598	6,919	209
Automóvil particular	2,544	840	108	261,463	26,510	35,021	550
Taxi	109	21	6	6,306	303	718	27
Camioneta particular	492	170	156	80,280	4,977	14,287	606
Camioneta de transporte público	9	8	17	5,689	848	388	7
Carga ligera y <i>pickups</i>	298	264	418	143,266	23,398	13,647	162
Carga pesada	122	109	61	21,585	2,475	1,895	10
Autobús	1,685	1,550	403	6,198	18,022	990	15
Tractocamión	311	287	186	2,147	7,858	373	<1
Microbús	26	17	13	9,727	2,503	2,898	<1
Total estatal	5,701	3,360	1,606	624,893	90,491	77,136	1,585

Nota: La suma de las cantidades parciales puede no coincidir con el total debido al redondeo de las cifras.

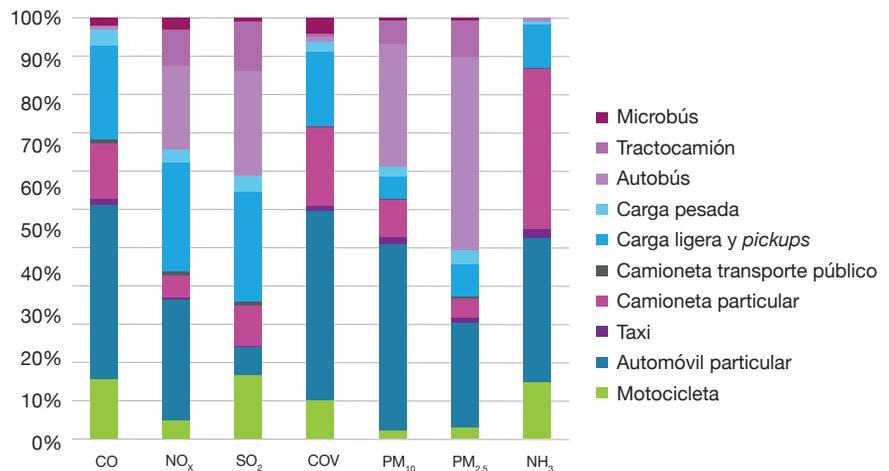
Fuente: Elaboración propia con información de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (2018)

La Gráfica 3.17 muestra la contribución porcentual por tipo de contaminante. Cabe destacar que el CO es el contaminante de mayor orden de magnitud, contribuyendo con un 77% a todo el inventario. Igualmente, el SO_2 de fuentes móviles es muy importante, ya que tiene un aporte de 33%.

En el gráfico se puede observar que los vehículos particulares presentan las emisiones más abundantes, aportando un 45% tanto a las partículas PM_{10} como a los COV con relación a la categoría; en este mismo sentido, un 25% a las $PM_{2.5}$, 42% al CO , 29% a los NO_x y 35% al NH_3 . Con respecto a este último contaminante, se destaca la participación de las camionetas particulares con una contribución de 38% a la categoría.

En segundo lugar, los vehículos de carga ligera y *pickups* presentaron importantes órdenes de magnitud de SO_2 , CO, NO_x y COV, aportando a la categoría 26%, 23%, 26% y 18%, respectivamente. Por último, los autobuses representan un 46% de las partículas $\text{PM}_{2.5}$ y 30% de las PM_{10} .

Gráfica 3.17 Distribución porcentual de las emisiones contaminantes por tipo de vehículo



Fuente: Elaboración propia con base en el modelo MOVES para el año 2016

3.7. Análisis del inventario por Zona Poblacional

El Estado de México cuenta con tres zonas metropolitanas: Valle de Toluca, Santiago-Tianguistenco y Valle de Cuautitlán-Texcoco (esta última corresponde a los municipios que, junto con la Ciudad de México, pertenecen a la Zona Metropolitana del Valle de México), y otras tres Zonas de Planeación Estatal (COPLADEM): Ixtapan de la Sal, Atlacomulco y Zona Sur.

Sin lugar a duda, la Zona Metropolitana del Valle de Cuautitlán-Texcoco (ZMCT) supera con más del 50% (50-62%) la contribución respecto de la mayoría de los contaminantes; únicamente en SO_2 el Valle de Toluca es el principal emisor (40%). Esto se debe principalmente a que aproximadamente el 73% de la población del Estado está ubicada en los municipios de la ZMCT, lo que provoca que la demanda de transporte, servicios e industria se traduzca en una determinante de las emisiones. En segundo lugar se encuentra el Valle de Toluca con 14% de población. Aunado a lo anterior, el 96% de la industria se ubica en estas dos zonas metropolitanas, lo que provoca que el consumo de combustible estatal esté dominado por las actividades económicas y la población que reside en estas dos zonas.

Tabla 3.15 Inventario Estatal de Emisiones de Contaminantes por Zona Poblacional, año 2016

Zona poblacional	Emisiones (ton/año)						
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃
Valle de Cuautitlán- Texcoco	27,854	20,476	1,235	447,956	89,482	340,129	28,767
Área	21,706	16,904	540	105,553	8,625	187,635	27,867
Puntuales	1,958	1,620	563	10,382	10,534	6,765	107
Móviles	4,189	1,951	133	332,020	44,492	47,543	793
Naturales	-	-	-	-	25,831	98,186	-
Valle de Toluca	6,044	5,216	1,954	119,037	25,068	68,070	6,567
Área	4,953	4,271	259	23,993	3,094	36,558	6,316
Puntuales	553	442	1,233	432	1,698	3,011	14
Móviles	538	502	462	94,612	14,737	12,021	236
Naturales	-	-	-	-	5,539	16,480	-
Santiago Tianguistenco	688	485	67	11,038	4,748	13,176	1,199
Área	641	442	26	2,806	360	2,874	1,178
Puntuales	-	-	-	50	4	399	-
Móviles	46	43	41	8,182	1,293	990	21
Naturales	-	-	-	-	3,091	8,914	-
Zona Sur	1,504	1,295	301	45,559	10,126	28,233	5,072
Área	1,106	972	106	7,102	1,357	4,510	4,962
Puntuales	222	160	-	-	-	-	-
Móviles	175	163	195	38,457	6,157	2,936	110
Naturales	-	-	-	-	2,612	20,787	-
Atlacomulco	5,779	5,110	846	120,734	28,359	55,758	10,687
Área	5,277	4,645	353	26,485	4,171	17,258	10,416
Puntuales	14	11	2	69	92	116	2
Móviles	488	454	491	94,180	14,628	8,624	269
Naturales	-	-	-	-	9,467	29,760	-
Ixtapan de la Sal	2,769	2,468	501	72,366	18,267	42,460	4,909
Área	2,504	2,222	218	14,925	3,062	10,386	4,753
Puntuales	-	-	-	-	-	-	-
Móviles	265	247	283	57,441	9,184	5,023	157
Naturales	-	-	-	-	6,022	27,051	-
Total general	44,636	35,050	4,905	816,689	176,050	547,825	57,201

Nota: La suma de las cantidades parciales puede no coincidir con el total debido al redondeo de las cifras.

Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (2018)

Las zonas de Atlacomulco e Ixtapan de la Sal son las que siguen en orden de magnitud, lo que refuerza la necesidad de hacer una gestión que anticipadamente prevenga un crecimiento desordenado de las fuentes de emisión. Esta tendencia de deterioro ambiental ya se percibe en la zona de Atlacomulco, que contribuye entre un 10-19% de aporte a las emisiones del Estado y en la zona de Ixtapan de la Sal, que se encuentra entre un 6-10% de contribución.

Por otro lado, las emisiones reportadas por la Zona Metropolitana de Cuautitlán-Texcoco son consistentes con las reportadas por la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México para el mismo año base; la única discrepancia se encuentra en las partículas, puesto que el presente inventario estima el doble de emisiones de $PM_{2.5}$. Esto se debe probablemente a la incorporación de nuevas subcategorías en las fuentes de área, tales como: las ladrilleras y la combustión doméstica de leña.

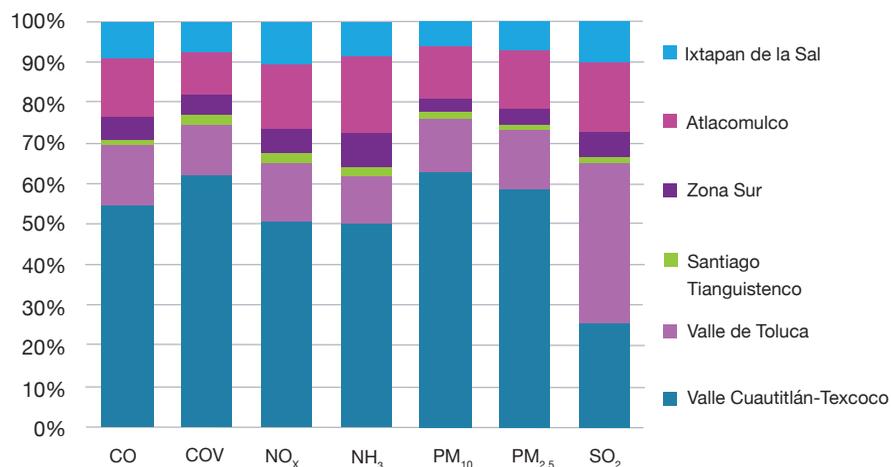
Tabla 3.16 Contribución porcentual de las Zonas Poblacionales en el Inventario Estatal de Emisiones de Contaminantes, año 2016

Zona poblacional	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃
Valle de Cuautitlán-Texcoco	62%	58%	25%	55%	51%	62%	50%
Valle de Toluca	14%	15%	40%	15%	14%	12%	11%
Santiago Tianguistenco	2%	1%	1%	1%	3%	2%	2%
Zona Sur	3%	4%	6%	6%	6%	5%	9%
Atlacomulco	13%	15%	17%	15%	16%	10%	19%
Ixtapan de la Sal	6%	7%	10%	9%	10%	8%	9%

Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (2018)

Ya se ha mencionado que el 80% de la industria está instalada en el Valle de Cuautitlán-Texcoco, y el 16% en el Valle de Toluca. En ambas se han instrumentado Programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire (ProAire) con notables avances ambientales que han logrado disminuir la cantidad de contaminantes que llegan a esas cuencas atmosféricas (ver sección de “Comportamiento histórico de las emisiones”). Sin embargo, todavía existen retos por superar; el análisis muestra que, aunque el combustible mayormente utilizado es el gas natural, el gas L.P. y el diésel siguen teniendo una participación significativa en los procesos industriales, comerciales y domésticos en las dos zonas. Además, todavía se consume coque de petróleo, carbón bituminoso y, en mucho menor proporción, combustóleo.

Gráfica 3.18 Distribución porcentual de las emisiones por Zona Poblacional, año 2016



Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (2018)

Las fuentes móviles y de área siguen un patrón similar a las puntuales. Aunque las emisiones de las fuentes de área y móviles están fuertemente marcadas por la cantidad de población, las estimaciones indican que no siempre las zonas con mayor población son las que presentan más emisión per cápita, puesto que existen algunos sectores como el doméstico, comercial y agropecuario que no han presentado los mismos avances. Por ejemplo, las zonas de Atlacomulco, Ixtapan, Santiago Tianguistenco y Zona Sur presentan mayores emisiones per cápita en la mayoría de los contaminantes, cuestión que indica que una política estatal debe poner atención en estas zonas, principalmente en las fuentes de área.

Tabla 3.17 Emisiones per cápita de contaminantes por Zona Poblacional, año 2016

Zona metropolitana	Población 2015	Emisiones per cápita (kg/año)						
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃
Valle Cuautitlán-Texcoco	11,854,629	2	2	0.1	38	8	29	2
Valle de Toluca	2,202,886	3	2	1	54	11	31	3
Atlacomulco	1,026,492	6	5	1	118	28	54	10
Ixtapan de la Sal	659,600	4	4	1	110	28	64	7
Zona Sur	273,540	5	5	1	167	37	103	19
Santiago Tianguistenco	170,461	4	3	0.4	65	28	77	7

Fuente: Elaboración propia con información de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (2018)

3.8. Proyección de emisiones al año 2030

Con la finalidad de prevenir la generación de emisiones, se proyectó el inventario de emisiones (2016) al año 2030, con base en las perspectivas del consumo de hidrocarburos y energéticos publicados por la Secretaría de Energía (SENER) y a la proyección de población del Consejo Nacional de Población.

Se destaca que no todas las fuentes resultaron con aumento de las emisiones: las biogénicas, al igual que las provenientes del consumo de leña, disminuyeron moderadamente. El balance general indica que el aumento de las emisiones al 2030 se encuentra entre el 7-19% dependiendo del contaminante. Por ejemplo, el de mayor aumento fue el SO₂ con un valor de 19%, seguido del CO y del NO_x, con 18% y 17%, respectivamente. Esto se debe principalmente a que la tasa media de crecimiento anual del consumo de diésel en el sector transporte es del 2.3%, como producto del crecimiento del parque vehicular proyectado para la misma fuente, que es de 4.9% anual hasta 2030; en comparación, la tasa media de crecimiento anual para el consumo de gasolina es de 1.4% (SENER, 2017c). Igualmente, las partículas registraron un aumento de 15% influenciado también por el sector transporte; el amoníaco incrementó un 12% y los COV un 7% como resultado del crecimiento natural de la población.

Tabla 3.18 Proyección del Inventario de Emisiones, año 2030

Fuente	Emisiones (ton/año)						
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃
Puntuales estatales	777	549	90	9,177	4,312	3,111	53
Accesorios, aparatos eléctricos y equipos de generación eléctrica	24	18	1	71	46	97	<1
Alimentos y bebidas	130	67	16	1,447	914	148	18
Cuero, piel y materiales sucedáneos	1	1	1	97	38	1	<1
Derivados del petróleo y del carbón	6	4	6	239	109	1	1
Impresión	16	11	<1	48	38	212	<1
Madera	39	28	<1	13	19	315	<1
Manejo de desechos y remediación	19	13	3	74	43	<1	1
Metálico	142	105	12	1,471	635	535	7
Mezclas químicas	20	13	4	493	212	199	2
Minerales no metálicos	22	11	1	137	68	6	1
Muebles, colchones y persianas	3	2	-	10	12	32	-
Otras industrias	9	7	-	6	10	<1	-
Papel y cartón	82	65	4	98	68	213	1

Plástico y hule	120	97	32	4,301	1,681	990	17
Textil	145	107	8	676	423	364	4
Puntuales federales	2,272	1,930	1,906	2,958	9,373	8,310	84
Asbesto	1	1	<1	4	8	<1	<1
Automotriz	287	240	<1	131	103	3,014	3
Celulosa y papel	407	326	1,365	369	728	555	14
Cemento y cal	59	37	478	202	1,445	8	1
Generación de energía eléctrica	617	617	14	1,457	4,840	83	37
Metalúrgica (incluye la siderúrgica)	387	285	37	120	144	367	4
Pinturas y tintas	193	138	2	13	31	4,103	<1
Química	78	47	4	343	468	61	12
Tratamiento de residuos peligrosos	1	1	2	7	12	38	<1
Vidrio	243	239	2	312	1,593	80	12
Fuentes puntuales totales	3,050	2,480	1,996	12,136	13,685	11,421	138
Automóvil particular	3,002	991	127	308,526	31,282	41,325	649
Taxi	129	25	7	7,441	358	847	32
Camioneta particular	581	201	184	94,730	5,873	16,859	715
Camioneta transporte público	14	12	27	8,875	1,323	605	11
Microbús	31	20	15	11,478	2,954	3,420	-
Tractocamión	485	448	290	3,349	12,258	582	-
Carga ligera y <i>pickups</i>	352	312	493	169,054	27,610	16,103	191
Carga pesada	190	170	95	33,673	3,861	2,956	16
Autobús	2,629	2,418	629	9,669	28,114	1,544	23
Motocicleta	124	110	282	104,113	4,246	8,164	247
Fuentes móviles totales	7,535	4,706	2,150	750,908	117,878	92,406	1,884
Quema de combustibles en fuentes estacionarias	17,914	17,286	1,019	126,792	20,002	111,551	<1
Combustión agropecuaria	883	883	823	2,703	12,569	4	-
Combustión comercial	33	33	<1	202	1,009	19	<1
Combustión doméstica	12,447	11,988	144	90,710	4,741	81,654	<1
Uso de Solventes	-	-	-	-	-	99,232	-
Artes gráficas	-	-	-	-	-	8,786	-
Asfaltado	-	-	-	-	-	491	-
Lavado en seco	-	-	-	-	-	2,567	-
Limpieza de superficies industriales	-	-	-	-	-	12,444	-
Pintado automotriz	-	-	-	-	-	2,731	-
Pintura para señalización vial	-	-	-	-	-	253	-
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	-	-	-	-	-	7,725	-
Uso doméstico de solventes	-	-	-	-	-	60,701	-

Recubrimiento de superficies en la industria	-	-	-	-	-	3,536	-
Almacenamiento y transporte de derivados de petróleo	-	-	-	-	-	67,637	-
Manejo y distribución de combustibles	-	-	-	-	-	8,649	-
Manejo y distribución de gas L.P.	-	-	-	-	-	58,988	-
Fuentes industriales ligeras y comerciales	4,090	1,480	-	3,052	56	2,535	-
Asados al carbón	1,533	1,223	-	3,052	56	197	-
Panificación	-	-	-	-	-	2,337	-
Actividades de construcción	2,557	255	-	-	-	-	-
Manejo de Residuos	53	58	1	169	10	1,744	-
Aguas residuales	-	-	-	-	-	283	-
Rellenos sanitarios	-	-	-	27	-	1,446	-
Quema de residuos	53	58	1	142	10	16	-
Fuentes misceláneas	7,428	4,412	356	7,853	367	589	23,554
Incendios forestales	726	616	67	7,197	215	503	72
Esterilización de material hospitalario	-	-	-	-	-	12	-
Incendio de construcciones	1	1	15	-	-	1	-
Ladrilleras	3,226	2,953	274	656	151	74	-
Caminos pavimentados y no pavimentados	3,475	841	-	-	-	-	-
Emissiones domésticas de amoníaco	-	-	-	-	-	-	23,482
Agropecuarias	11,045	9,755	306	64,701	2,714	7,040	38,596
Aplicación de fertilizantes	-	-	-	-	-	-	6,833
Aplicación de plaguicidas	-	-	-	-	-	260	-
Corrales de engorda	233	27	-	-	-	-	-
Ganaderas de amoníaco	-	-	-	-	-	-	30,471
Labranza	877	195	-	-	-	-	-
Quemas agrícolas	9,937	9,535	306	64,701	2,714	6,780	1,294
Fuentes de área totales	40,531	32,991	1,682	202,567	23,149	290,329	62,152
Biogénicas	-	-	-	-	50,774	194,338	-
Fuentes naturales totales	-	-	-	-	50,774	194,338	-
Total 2030	51,116	40,177	5,828	965,610	205,486	588,493	64,173
Total 2016	44,636	35,050	4,905	816,689	176,050	547,825	57,201

Nota: La suma de las cantidades parciales puede no coincidir con el total debido al redondeo de las cifras.

Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (2018)

Es conocido que las emisiones son dependientes del crecimiento económico y poblacional, puesto que implica incrementar el consumo de energía para satisfacer las nuevas demandas. Al realizarse un análisis por fuente, se observa que el aumento no se da en la misma proporción. Aunado al notable aumento en las emisiones provenientes de fuentes móviles, se presenta un incremento en las emisiones de $PM_{2.5}$, que es de casi un 40% para el 2030. Asimismo, la proyección en las fuentes fijas está dominada por el gas natural, combustible mayormente utilizado por esta fuente, cuyos incrementos en la industria alcanzan una tasa del 1% anual. (SENER, 2017b)

Las fuentes de área mantienen un crecimiento dependiente de la cantidad de población, pero también del consumo de gas L.P. y leña para la combustión comercial y doméstica. En comparación con el 2016, para el 2030 se prevé una disminución de 18% en el consumo residencial de leña (tasa media de crecimiento anual de -1.3%), mientras que para el gas L.P. la disminución es de 7% (tasa media de crecimiento anual de -0.5%); en cambio, el consumo de gas natural residencial aumentará a una tasa anual de 2.3%. En el sector servicios se prevé una tasa media de crecimiento anual en el consumo de gas L.P. de 1.3%, mientras que el consumo de leña disminuye a una tasa de -1.4%; para el gas natural se prevé una crecimiento anual en su consumo del 3.8% anual (SENER, 2017a). Esto se atribuye a que las políticas nacionales apuntan a otorgar opciones de calefacción y para cocinar que no dependan del uso de leña. En la misma línea se encuentran las fuentes naturales, las cuales tienen previstas mejores políticas para el manejo integral de bosques y selvas, así como la protección contra incendios, mismas que provocan una reducción del 3% en esta fuente.

Tabla 3.19 Porcentaje de aumento/reducción de emisiones por fuente, año 2030

Fuente	Porcentaje						
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	NH ₃
Puntuales	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%
Móviles	32%	40%	34%	20%	30%	20%	19%
Área	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%
Naturales	-	-	-	-	-3%	-3%	-
Total	15%	15%	19%	18%	17%	7%	12%

Fuente: Elaboración propia con información de la Secretaría de Energía (SENER, 2017a, 2017b) y el Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (2018)

No obstante, la prioridad es desacoplar el crecimiento económico de la generación de emisiones, para lo cual es necesario el incremento también del uso de energías renovables. A diferencia de las fuentes móviles, se observa que las fuentes puntuales y las de área mantienen incrementos de emisiones conservadores, ya que ambas son más propensas al uso de fuentes energía alternativas en sus procesos y/o actividades, con menores externalidades negativas, cuestión que se ve reflejada en la proyección.

REFERENCIAS:

- IEECC. (2014). *Inventario de Emisiones del Estado de México 2010*. Recuperado de <http://ieecc.edomex.gob.mx/sites/ieecc.edomex.gob.mx/files/files/Investigacionescientificas/EDOMEX-2010-Criterio.pdf>
- SEDEMA. (2018). *Inventarios de Emisiones de la ZMVM*. Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=Z6Bhtml=&dc=Zg==>
- SENER. (2017a). *Prospectiva de Gas L.P. 2017-2031*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/325638/Prospectiva_de_Gas_LP_2017-2031.pdf
- SENER. (2017b). *Prospectiva de Gas Natural 2017-2031*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/325639/Prospectiva_de_Gas_Natural_2017-2031.pdf
- SENER. (2017c). *Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2017-2031*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/325641/Prospectiva_de_Petr_leo_Crudo_y_Petroliferos_2017-2031.pdf
- SMAGEM. (2007a). *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, 2004*.
- SMAGEM. (2007b). *Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, 2006*.
- SMAGEM. (2012). *Programa para Mejorar la Calidad del Aire del Valle de Toluca (2012-2017)*. Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México, *Calidad del Aire*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/69287/8_ProAire_ZMVT.pdf

CAPÍTULO

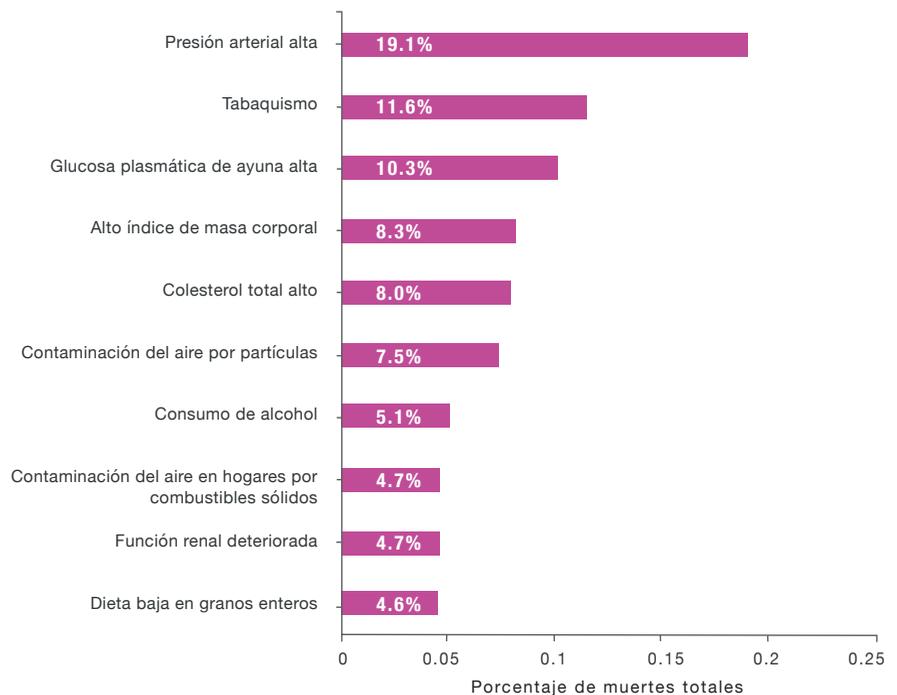
04

IMPACTOS SOBRE LA SALUD

04 IMPACTOS SOBRE LA SALUD

A nivel mundial, la contaminación del aire ocupó en el 2016 el sexto lugar dentro de los principales factores de riesgo a la mortalidad. Así, contribuye con 7.5% de las muertes globales, de acuerdo con el estudio de Carga Total de Enfermedad (GBD, por sus siglas en inglés), el cual evalúa las principales causas de mortalidad y morbilidad a nivel mundial (IHME, 2018). En este contexto, la implementación de medidas para mejorar la calidad del aire se vuelve de vital importancia. No obstante, se debe conocer el estado actual de los efectos en salud a nivel local para establecer un adecuado punto de partida y trazar una ruta hacia la disminución de estos impactos.

Figura 4.1 Diez principales factores de riesgo a la mortalidad mundial en el 2016



Fuente: Elaboración propia con información del Instituto de Métricas y Evaluación de la Salud (IHME, por sus siglas en inglés) (IHME, 2018)

En este capítulo se presenta el análisis realizado a través de una Evaluación de Impactos a la Salud (EIS) a tres contaminantes de amplia importancia para la gestión de la calidad del aire en el Estado de México: $PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3 . Estos contaminantes han sido seleccionados por dos motivos principales: 1) sus efectos acumulan la mayor parte de los impactos sobre la salud de acuerdo con otras evaluaciones efectuadas tanto a nivel nacional como internacional; 2) la evidencia epidemiológica para estos contaminantes es la más sólida para efectuar esta clase de evaluaciones que involucran una cuantificación numérica de los daños a la salud.

De acuerdo con la EPA y su análisis de beneficios de la Ley de Aire Limpio (*Clean Air Act*, en inglés) de los Estados Unidos, los impactos debidos a la mortalidad por partículas y ozono acumulan alrededor del 85% de los beneficios que la implementación de dicha regulación brindaría a la sociedad (EPA, 2011).

Se determinaron en este análisis los principales impactos a la salud pública en cuanto a mortalidad y morbilidad, utilizando como referencia las concentraciones de contaminantes proporcionadas por los sistemas de monitoreo ubicados en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT), así como los correspondientes dentro de la Zona Metropolitana de Cuautitlán-Texcoco (ZMCT). Estos niveles se compararon con dos escenarios de análisis: los estándares indicados por las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y las Guías de Calidad del Aire (GCA) recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Finalmente, se realizó una cuantificación de costos tanto de las muertes como de ciertos efectos en la morbilidad que son atribuibles a la mala calidad del aire. Estos resultados pueden interpretarse como los beneficios que se podrían alcanzar a nivel de sociedad y sistema de salud por mejorar el estado de la calidad del aire.

4.1. Aspectos demográficos y salud pública

En el Estado de México son tres las enfermedades principales que padece la población, englobando el 82% del total de padecimientos del Estado: 60% corresponde a enfermedades respiratorias, 12% a enfermedades intestinales y 10% infección de vías urinarias¹. A continuación, se enlistan estos y otros padecimientos junto con el número de casos registrados y el porcentaje equivalente de cada uno:

1. Datos redondeados al entero más próximo para facilitar la lectura

Tabla 4.1 Padecimientos principales en el Estado de México

Padecimiento	Casos totales	Porcentaje del total
Infecciones respiratorias agudas	3,057,991	59.91%
Infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas	627,522	12.29%
Infección de vías urinarias	493,493	9.67%
Úlceras, gastritis y duodenitis	150,073	2.94%
Conjuntivitis	121,740	2.39%
Vulvovaginitis	86,579	1.70%
Gingivitis y enfermedad periodontal	74,994	1.47%
Obesidad	69,224	1.36%
Diabetes mellitus no insulino dependiente (Tipo II)	53,866	1.06%
Hipertensión arterial	48,844	0.96%
Otitis media aguda	46,859	0.92%
Insuficiencia venosa periférica	30,588	0.60%
Candidiasis urogenital	19,716	0.39%
Mordeduras por perro	17,578	0.34%
Amebiasis intestinal	15,848	0.31%
Asma	15,295	0.30%
Varicela	15,287	0.30%
Violencia intrafamiliar	14,161	0.28%
Otras helmintiasis	13,437	0.26%
Intoxicación por picadura de alacrán	11,561	0.23%
Otras causas	119,513	2.34%
Total	5,104,169	100.00%

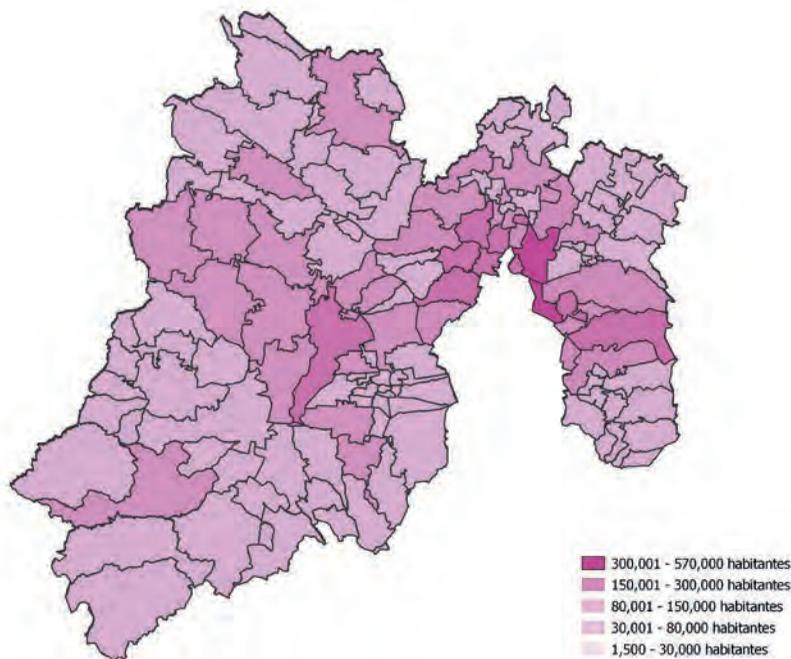
Fuente: Elaboración propia con información de la Secretaría de Salud (SSA, 2017)

Las Infecciones Respiratorias Agudas (IRA), el asma y la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), son considerados como los padecimientos que más se relacionan con la contaminación atmosférica, tanto en el área rural como en la urbana. Durante el 2009 se registraron en el Estado de México 3.6 millones de casos nuevos de IRA, lo que representó 69.6% del total de los diagnósticos clínicos realizados en las instituciones públicas del sector salud. Asimismo, se presentaron 9,268 egresos hospitalarios en instituciones públicas (2.6%) y hubo 822 defunciones por enfermedades del sistema respiratorio (3.5%). (SMAGEM, 2011)

Dentro de la población existen grupos que, por su edad o situación de salud, pueden ser más sensibles a los efectos negativos ocasionados por la contaminación atmosférica; a estos grupos se les llama en conjunto población vulnerable. Tomando en cuenta únicamente la diferencia por edad se puede dividir a la población del Estado de México en tres grupos: el primero incluye a la población con edades entre 0 y 14 años; el segundo abarca a la población que tiene entre 15 y 64 años; el tercero y último engloba a los habitantes mayores de 65 años.

Tomando en consideración que la población vulnerable se encuentra en el primer y último grupo, aproximadamente 5,283,200 niños y adultos mayores que habitan en el Estado de México se consideran parte de este grupo. En otras palabras, alrededor del 33.6% de la población total del Estado de México está en mayor riesgo de padecer enfermedades asociadas a la mala calidad del aire de la región (INEGI, 2017). En el Mapa 4.1 se puede observar la distribución de la población vulnerable en el Estado de México. Las personas con enfermedades de los sistemas respiratorio y cardiovascular también se consideran población vulnerable.

**Mapa 4.1 Distribución de la población vulnerable (2010)
en el Estado de México**

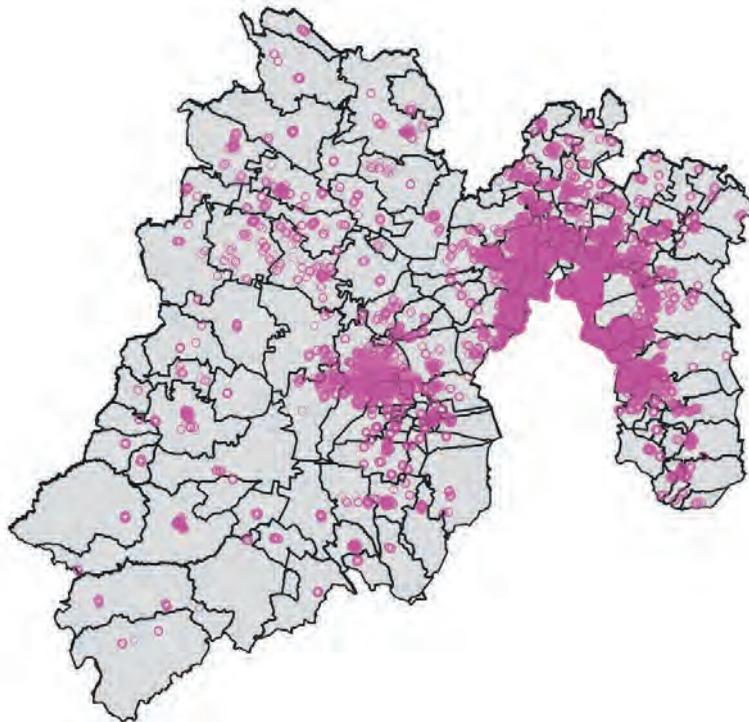


Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010)

En el mapa anterior se puede observar la distribución de la población vulnerable en los municipios del Estado de México. La mayor concentración se encuentra en la Zona Metropolitana de Cuautitlán-Texcoco (municipios que rodean a la Ciudad de México y que, a su vez, forman parte de la Zona Metropolitana del Valle de México) y en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT). La ZMVT² tiene un mayor porcentaje de población vulnerable en comparación con el Estado de México, con 34.4% (INEGI, 2010). En el Valle de Cuautitlán-Texcoco³ 32.3% de población es vulnerable, cifra que se encuentra por debajo del promedio del Estado.

En el Mapa 4.2 se puede constatar que en las zonas de mayor densidad de población vulnerable en el Estado, se encuentra la mayor concentración de centros de servicios para la educación, salud y asistencia social, que es en donde se agrupan principalmente las personas que pertenecen a los grupos vulnerables. Estas regiones también cuentan con estaciones de monitoreo para evaluar constantemente la calidad del aire, y corresponden a la ZMVT y la ZMCT, donde operan la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) de la ZMVT y el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) de la Ciudad de México, respectivamente.

Mapa 4.2 Distribución de servicios de educación, salud y asistencia social



2. Alrededor de 735,000 habitantes que pertenecen al grupo de población vulnerable.
3. Alrededor de 3,800,000 habitantes que pertenecen al grupo de población vulnerable.

Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010)

4.2. Efectos de la contaminación del aire en la salud humana

4.2.1. Partículas suspendidas (PM_{10} y $PM_{2.5}$)

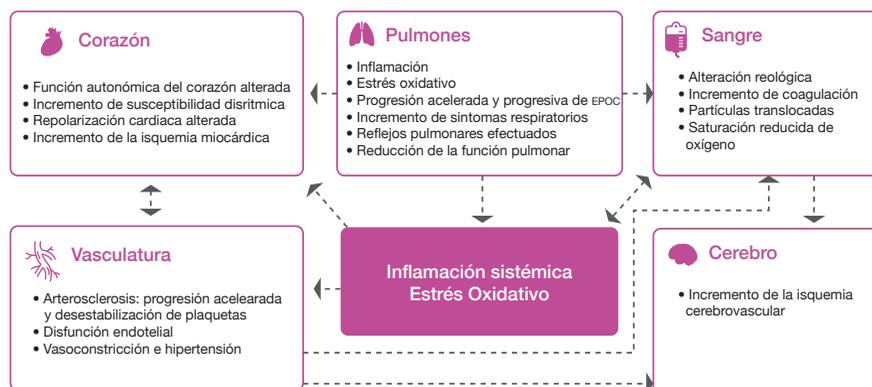
En el contexto de la calidad del aire, la contaminación por partículas suspendidas incluye una gama de partículas respirables compuestas por sulfatos, nitratos, amonio, cloruro de sodio, carbono negro, polvos minerales y agua. Sus fuentes incluyen motores de combustión (a diésel y gasolina), combustibles fósiles (como carbón o biomasa), entre otros procesos industriales diversos (OMS, 2018).

Los efectos a la salud de las partículas son de los más severos y mejor evidenciados que se tienen. El rango de efectos que tienen es amplio, destacando la afectación sobre el aparato respiratorio y el sistema cardiovascular (OMS, 2006). Las partículas de menor diámetro, como las $PM_{2.5}$, y menores, son las que presentan un mayor riesgo a la salud, debido que tienen la capacidad de penetrar a regiones más profundas de los pulmones y del sistema circulatorio.

Las partículas presentan un amplio panorama de síntomas con intensidad variable, desde estornudos, tos y boca seca hasta la limitación de actividades por problemas de respiración. La exposición de largo plazo a partículas finas suele asociarse con una marcada reducción en la esperanza de vida, principalmente por el incremento de la mortalidad cardiopulmonar y por cáncer de pulmón. La reducción en la función pulmonar de niños y adultos origina el desarrollo de bronquitis asmática y Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC). (Ghorani-Azam, et al., 2016)

La afectación causada por las partículas a la salud humana se explica por una serie de mecanismos fisiológicos que actúan en conjunto. El principal mecanismo que se ha evidenciado se conoce como estrés oxidativo y ocasiona una inflamación sistémica que desata múltiples alteraciones en los órganos críticos, como corazón, pulmones, cerebro y sistema vascular. Dicho estrés oxidativo se genera, principalmente, por la exposición crónica de partículas finas, y se especula como uno de los mecanismos que mayor deterioro provoca en el organismo. (Pope III & Dockery, 2006).

Figura 4.2 Mecanismos fisiológicos generales involucrados en la exposición de partículas con la morbilidad y mortalidad cardiopulmonares



Fuente: Elaboración propia con información de Pope & Dockery (2006).

La OMS ha recomendado valores para las Guías de Calidad del Aire (GCA) y Objetivos Intermedios (OI) para ayudar a los países a cumplir paulatinamente con los distintos niveles de protección de la salud. En las Tablas 4.2 y 4.3 se muestran los valores para concentraciones anuales y de 24 horas para PM_{10} y $PM_{2.5}$.

Tabla 4.2 Guías de Calidad del Aire y Objetivos Intermedios recomendados por la OMS para PM_{10} y $PM_{2.5}$: concentraciones promedio anuales

	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Observaciones
Objetivo Intermedio 1	70	35	Estos niveles han sido asociados con aproximadamente 15% mayor riesgo de mortalidad a largo plazo en relación con nivel del lineamiento OMS.
Objetivo Intermedio 2	50	25	Además de otros beneficios en salud, se reduce el riesgo de mortalidad en 6% comparado con el nivel del OI 1.
Objetivo Intermedio 3	30	15	Además de otros beneficios en salud, se reduce el riesgo de mortalidad en 6% comparado con el nivel del OI 2.
GCA OMS	20	10	Niveles más bajos a los que se ha encontrado el aumento de muertes totales, cardiopulmonares y de cáncer de pulmón. Existen efectos inclusive a concentraciones más bajas.

Fuente: Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006)

Tabla 4.3 Guías de Calidad del Aire y Objetivos Intermedios recomendados por la OMS para PM₁₀ y PM_{2.5}: promedios de 24 horas diarios

	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM _{2.5} (µg/m ³)	Observaciones
Objetivo Intermedio 1	150	75	Alrededor de un incremento de 5% de la mortalidad a corto plazo por encima del valor del lineamiento OMS.
Objetivo Intermedio 2	100	50	Alrededor de un incremento de 2.5% de la mortalidad a corto plazo por encima del valor del lineamiento OMS.
Objetivo Intermedio 3	75	37.5	Alrededor de un incremento de 1.2% de la mortalidad a corto plazo por encima del valor del lineamiento OMS.
GCA OMS	50	25	Basado en la relación entre niveles de 24 horas y anuales de partículas.

Fuente: Organización Mundial de la Salud
(OMS, 2006)

Efectos de las PM_{2.5} de acuerdo con su composición

A pesar de la evidencia contundente a favor de la relación causal entre la exposición a partículas finas (PM_{2.5}) y efectos en la mortalidad y morbilidad, se ha establecido gradualmente que no solo las concentraciones del contaminante están vinculadas con el grado de impacto, sino también la composición de estas partículas. Los principales constituyentes de las PM_{2.5} son los sulfatos de amonio, nitratos de amonio, materia orgánica carbonácea, carbono elemental y material de corteza (EPA, 2006).

Las evidencias más recientes apuntan a que las fracciones de carbón elemental y la materia de carbono orgánico generadas por las emisiones de vehículos -gasolina y, especialmente, diésel- y quema de biomasa o madera son las que generan un incremento del riesgo a la mortalidad, así como otros efectos en morbilidad como admisiones hospitalarias por enfermedades cardiovasculares y respiratorias (Robinson, 2017). En particular, las emisiones de gases del escape de motores a diésel, han sido clasificadas por la Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer de la OMS dentro del Grupo 1 de carcinogénicas para los humanos, debido a la evidencia contundente en cuanto a la exposición asociada con incremento en el riesgo de cáncer de pulmón (IARC, 2012). En California, por ejemplo, se ha determinado que cerca del 70% del riesgo total conocido de cáncer por tóxicos del aire es atribuible a las emisiones de partículas del diésel (DPM, *diesel particulate matter*) (CARB, 2018).

En un estudio efectuado por el Instituto de Efectos en la Salud (HEI, por sus siglas en inglés) en China se encontró que la contribución en la mortalidad por las fuentes de emisión de $PM_{2.5}$ se atribuían en 21% a la quema de carbón en industrias, seguido de 19% atribuido a las emisiones del transporte y 19% a la quema de biomasa para calentamiento doméstico (HEI, 2017).

4.2.2. Ozono (O_3)

El O_3 troposférico es un componente del denominado *smog* fotoquímico que se forma por la reacción del monóxido de carbono (CO), metano (CH_4) y otros Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), que son oxidados en presencia de Óxidos de Nitrógeno (NO_x) y radiación solar. Sus principales afectaciones a la salud están vinculadas con problemas de respiración, asma, reducción de la función pulmonar y enfermedades respiratorias (OMS, 2018).

El O_3 es un oxidante potente, por lo que tiene la capacidad de afectar diversas estructuras del tracto respiratorio y membranas celulares, lo que produce radicales libres en sus lípidos y autooxidación de membranas celulares y macromoléculas, así como el incremento del riesgo de daño del ADN dérmico, lo que afecta la función celular (Ghorani-Azam, et al., 2016).

La exposición a ozono resulta más riesgosa para personas con asma, niños, adultos mayores y personas que realizan actividades al aire libre. Al respirar O_3 se presentan síntomas como dolor de pecho, tos, irritación de la garganta e inflamación de las vías respiratorias, mientras que también puede reducir la función pulmonar y dañar el tejido de los pulmones (EPA, 2018). Este contaminante también puede agravar los casos de bronquitis, enfisema y asma. De acuerdo con estudios de series de tiempo, el incremento de la mortalidad a corto plazo se estima en 1-2% para concentraciones de alrededor de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (OMS, 2006).

La OMS ha recomendado valores para las Guías de Calidad del Aire y Objetivos Intermedios para ayudar a los países a cumplir paulatinamente con niveles que proporcionan distintos niveles de protección de la salud y de facilidad de cumplimiento.

Tabla 4.4 Guía de Calidad del Aire y Objetivos Intermedios recomendados por la OMS para concentraciones de 8 horas de O₃

	O ₃ Máximo diario de los promedios de 8 horas (µg/m ³)	Observaciones
Niveles Altos	240	Efectos a la salud para la mayor parte de la población, especialmente para la más vulnerable, incluyendo un incremento de 5-9% de la mortalidad de corto plazo.
Objetivo Intermedio 1	160	Sigue habiendo efectos importantes, incluyendo: <ul style="list-style-type: none"> - Efectos pulmonares fisiológicos e inflamatorios en adultos jóvenes saludables que se ejercitan, expuestos por períodos de 6.6 horas - Efectos a la salud en niños. - Un incremento de entre 3-5% de la mortalidad diaria.
GCA OMS	100	Provee protección adecuada de la salud pública, aunque hay efectos que pueden seguir ocurriendo debajo de este nivel.

Fuente: Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006)

4.2.3. Dióxido de nitrógeno (NO₂)

El NO₂ es generado principalmente por la producción de electricidad, industria y fuentes móviles. La evidencia más reciente sugiere que de manera independiente (es decir, además de en conjunción con otros contaminantes) puede incrementar los síntomas de bronquitis y asma, así como llevar al desarrollo de infecciones respiratorias y reducción del crecimiento de la función pulmonar. También hay evidencia que sugiere que este contaminante podría ser responsable de una parte de la carga de mortalidad y morbilidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares (OMS, 2018).

Entre los efectos a largo plazo, estudios epidemiológicos muestran que se incrementan los síntomas de niños asmáticos y con bronquitis debido a la concentración anual de NO₂, mientras que también se ha identificado la reducción de la función pulmonar en dicha población (OMS, 2006).

Las complicaciones más comunes por la exposición a NO₂ son tos y estornudos, no obstante, otros como irritación de ojos, nariz y garganta, dolor de cabeza, disnea, dolor torácico, diaforesis, fiebre, broncoespasmo y edema pulmonar también pueden ocurrir (Ghorani-Azam, et al., 2016).

En la Tabla 4.5 se muestran las Guías de Calidad del Aire para exposiciones de largo y corto plazo que recomienda la OMS para prevenir efectos en la salud.

Tabla 4.5 Guías de Calidad del Aire de la OMS para exposición de corto y largo plazo de NO₂

	Promedio anual (µg/m ³)	Promedio de 1 hora (µg/m ³)	Observaciones
GCA OMS	40	200	Se ha evidenciado que a niveles por encima de 200 µg/m ³ se incrementa la respuesta de bronquitis entre asmáticos.

Fuente: Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006)

4.2.4. Dióxido de azufre (SO₂)

El SO₂ es producido principalmente por la quema de combustibles fósiles como el carbón, combustóleo o diésel, ciertas actividades industriales, así como por la actividad volcánica. La exposición a SO₂ afecta el sistema respiratorio y la función de los pulmones, y causa irritación de ojos. Además, la inflamación del tracto respiratorio por SO₂ puede agravar casos de asma y bronquitis crónica, así como incrementar el riesgo de infecciones, lo que puede conducir a un aumento en admisiones hospitalarias y visitas a urgencias (OMS, 2006).

Los problemas más graves ocasionados por la exposición a altas concentraciones de SO₂ incluyen disfunción e irritación respiratoria, así como el agravamiento de enfermedades cardiovasculares existentes (Ghorani-Azam, et al., 2016). Al solubilizarse en agua, el SO₂ forma lluvia ácida, la cual es responsable de la acidificación de cuerpos de agua, así como causante de corrosión de estructuras y materiales expuestos al exterior.

La OMS ha recomendado Guías de Calidad del Aire y Objetivos Intermedios para prevenir efectos en la salud por este contaminante, los cuales se muestran en la Tabla 4.6:

Tabla 4.6 Guías de Calidad del Aire y Objetivos Intermedios de la OMS para exposición de corto y largo plazo de SO₂

	Promedio de 24 horas (µg/m ³)	Promedio de 10 minutos (µg/m ³)
Objetivo Intermedio 1	125	-
Objetivo Intermedio 2	50	-
GCA OMS	20	500

Fuente: Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006)

4.2.5. Monóxido de carbono (CO)

El CO es un gas producido principalmente por la combustión incompleta de combustibles, especialmente de tipo sólidos, como el carbón o la biomasa. El CO es tóxico para el cuerpo debido a que compite con la absorción de oxígeno por parte de la hemoglobina. Dependiendo de la duración y concentración de la exposición se pueden dar diferentes grados de envenenamiento. Los síntomas incluyen dolores de cabeza, mareos, debilidad, náusea, vómito y, finalmente, pérdida de conciencia. Se ha encontrado que la reducción de niveles de CO puede reducir el riesgo de infartos al miocardio en personas con predisposición. (Ghorani-Azam, et al., 2016). Aunque las Guías de Calidad del Aire vigentes de la OMS no indican valores de referencia para este contaminante, previamente se han recomendado los siguientes límites: 100 mg/m³ (90 ppm) para 15 minutos, 60 mg/m³ (50 ppm) para 30 minutos, 30 mg/m³ (25 ppm) para una hora y 10 mg/m³ (10 ppm) para 8 horas. Estos valores aseguran que las concentraciones de carboxihemoglobina (COHb) estén por debajo del 2.5%, lo cual se ha demostrado protege la salud de adultos con problemas cardíacos, así como el desarrollo fetal (WHO, 2000).

4.3. Evidencia epidemiológica para la Evaluación de Impactos a la Salud

Las evidencias que a continuación se describen son las que se han utilizado en la evaluación de impactos a la salud del presente análisis, y se derivan de la revisión realizada por el Instituto Nacional de Salud Pública para diversas Evaluaciones de Impactos a la Salud realizadas de manera reciente (Texcalac-Sangrador, et al., 2014; INSP-CMM, 2015; SEMARNAT-INECC, 2017). En todos los casos se trata de estudios de cohorte⁴ o metaanálisis⁵, que son los recomendados por la OMS para este tipo de evaluaciones. No se cuenta en México con ningún estudio de este tipo.

- Los estudios de cohorte se caracterizan por el seguimiento de los sujetos de estudio a través del tiempo de acuerdo con la exposición a la que están sujetos. Existen estudios de cohorte prospectivos, que analizan poblaciones a futuro, así como retrospectivos, que se basan en información existente hacia el pasado. Esta clase de estudios son los más recomendados para evaluar impactos a la salud crónicos o de largo plazo (Lazcano-Ponce, et al., 2000; Texcalac-Sangrador, et al., 2014).
- Los metaanálisis son una metodología que permite analizar de manera sistemática y cuantitativa las evidencias de múltiples estudios epidemiológicos, lo que incrementa su objetividad y facilita su uso en la toma de decisiones (Marín Martínez, et al., 2009).

4.3.1. Evidencia epidemiológica de PM_{2.5}

La evidencia identificada para PM_{2.5} y sus efectos en mortalidad a largo plazo es la más amplia y consistente. En el estudio de Hoek *et al* (2013) se realiza un metaanálisis de los estudios epidemiológicos publicados hasta el 2013 sobre efectos a la mortalidad general, cardiovascular y respiratoria por exposición a largo plazo de PM_{2.5}, incluyendo análisis de la cohorte de la Sociedad Americana contra el Cáncer (ACS, por sus siglas en inglés) y nuevos estudios realizados en regiones como Asia. Los valores promedio y el intervalo de confianza (IC) del metaanálisis indican un incremento de 6% en el riesgo de mortalidad por causas generales (IC 95%: 4-8%) y de 11% (IC 95%: 5-16%) por causas cardiovasculares en la población mayor a 15 años.

En el estudio de Pope *et al* (2004) los autores utilizan los datos de la cohorte de la ACS e información de contaminación atmosférica para áreas metropolitanas en 50 estados de los Estados Unidos. El estudio considera alrededor de 1.2 millones de adultos mayores de 30 años en ciudades con buena calidad de datos de monitoreo. El riesgo relativo de mortalidad por causas específicas se estima por un modelo de regresión de riesgo proporcional de CO_x⁶, controlando por covariables como hábitos de tabaco y alcohol. De este estudio se observó una asociación estadística robusta entre PM_{2.5} y el incremento de mortalidad por enfermedades isquémicas del corazón del 18% (IC 95%: 14-23%) asociado a un cambio de 10 µg/m³ en la concentración del contaminante.

Por su parte, Lepeule *et al* (2012) realiza una revisión del estudio de cohorte *Six Cities* de Harvard, extendiéndole 11 años más y replicando el modelo de regresión de Cox aplicado en el estudio original (Dockery, et al., 1993). Se considera una población de una muestra de 8,096 adultos de entre 25 y 74 años. Los autores encuentran una asociación estadísticamente significativa entre la exposición a PM_{2.5} y distintas causas de mortalidad. En el caso de cáncer de pulmón se encontró que un incremento de 10 µg/m³ en la concentración de PM_{2.5}, incrementaba a su vez 37% (IC 95%: 7-75%) el riesgo de mortalidad por esta causa.

4.3.2. Evidencia epidemiológica de PM₁₀

La evidencia hallada para PM₁₀ es menos amplia y consistente que en el caso de PM_{2.5}. La mayor parte de la evidencia de los efectos de las PM₁₀ se centra en exposiciones de corto plazo. No obstante destacan dos estudios que evalúan la mortalidad en infantes menores de un año (Woodruff, et al., 1997; Woodruff, et al., 2008) y uno que analiza la mortalidad general en adultos (Künzli, et al., 2000).

6. La regresión de Cox es un método para investigar el efecto de diversas variables a través del tiempo en el que ocurre un evento.

En Woodruff *et al* (1997) se analiza la relación entre exposición crónica a partículas suspendidas y mortalidad infantil en Estados Unidos, utilizando una cohorte de cerca de 4 millones de infantes nacidos entre 1989 y 1991 en 86 áreas metropolitanas estadísticas. La mortalidad posneonatal (mayores de un mes y menores de un año) se examina con un modelo de regresión logístico controlado por factores demográficos y ambientales. El estimador resultante para mortalidad posneonatal por causas generales, dado como razón de probabilidades (*Odds Ratio* u OR, por sus siglas en inglés)⁷, es de 1.04 (IC 95%: 1.02-1.07) para un cambio de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el caso de Woodruff *et al* (2008) se brinda un estimador estadísticamente significativo, dado como OR, de 1.18 (IC 95%: 1.06-1.31) para un incremento de 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} para mortalidad por causas respiratorias en población posneonatal.

Por su parte, Künzli *et al* (2000) estiman el impacto en salud pública a una mala calidad del aire en relación con fuentes móviles en Austria, Francia y Suiza. Las Funciones Concentración-Respuesta (FCR) determinadas se estiman a partir de un metaanálisis ponderado por el inverso de la varianza. Este estudio encuentra un incremento del riesgo de mortalidad de 4.3% (IC 95%: 2.6-6.1%) para un aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} en población de adultos mayores a 30 años por causas generales de mortalidad, y controlando por la heterogeneidad entre estudios.

4.3.3. Evidencia epidemiológica de O_3

La evidencia más reciente encontrada para la asociación de la exposición de O_3 y la mortalidad a largo plazo es la del estudio de Turner *et al* (2016), el cual determina que el ozono puede contribuir significativamente al riesgo de mortalidad respiratoria y cardiovascular. El estudio analiza 6,669,046 participantes del Estudio de Prevención de Cáncer II (*Cancer Prevention Study II*) entre 1982 y 2004. Los autores asignaron la concentración de O_3 a nivel de residencia del participante a partir de un modelo espacio temporal jerárquico Bayesiano, mientras que se efectuaron estimaciones de $\text{PM}_{2.5}$ y NO_2 por un modelo de regresión de uso de suelo. Los coeficientes de riesgo se obtuvieron de modelos de regresión proporcionales de Cox ajustado por covariables individuales y ecológicas.

Los resultados del análisis mono-contaminante revelan una asociación positiva significativa entre la exposición a O_3 y la mortalidad por causas generales (1.02; IC 95%: 1.01-1.04), cardiovasculares (1.03; IC 95%: 1.01-1.05), respiratorias (1.12; IC 95%: 1.08-1.16), así como dentro de estas últimas la neumonía e influenza (1.10; IC 95%: 1.03-1.18) y Enfermedad Pulmonar Crónica Obstructiva (EPOC) (1.14; IC 95%: 1.08-1.21), por un incremento en 10 ppb de O_3 .

7. La razón de probabilidades (*Odds Ratio*), también conocida como razón de momios o de probabilidades, es una medida estadística utilizada en estudios epidemiológicos transversales y metaanálisis, y se define como la posibilidad de que un pacto se presente en un grupo de población con respecto al riesgo de que ocurra en otro. Matemáticamente es el cociente entre dos probabilidades, típicamente la de una población expuesta y la de otra que no lo está.

4.4. Caracterización de impactos sobre la salud en el Estado de México

La Evaluación de Impactos a la Salud (EIS) es un procedimiento estandarizado de evaluación de riesgo que permite estimar el número o tasa de incidencias (mortalidad o morbilidad) sobre la salud humana, asociadas a un estado determinado de la calidad del aire. Asimismo, es muy común utilizar los resultados de la EIS como parte de una estrategia de análisis más amplia, tal como la evaluación de beneficios, también llamado análisis costo-beneficio (ACB). Las muertes evitadas se valoran económicamente, siguiendo las recomendaciones de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) (OCDE, 2011; OCDE, 2014), lo cual determina finalmente los beneficios económicos asociados a la mejora de la calidad del aire (MMA, 2013).

En la siguiente sección se presentan los principales supuestos metodológicos y criterios de análisis de la EIS.

4.4.1. Descripción de alcances y supuestos de la Evaluación de Impactos sobre la Salud

La EIS y su valoración económica se realizaron utilizando el software BenMAP-CE, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés)⁸.

La metodología empleada en este análisis consta de cuatro fases primordiales: 1) Identificación de impactos, 2) Evaluación de la exposición a contaminantes, 3) Caracterización de impactos y 4) Valoración económica.

1) Identificación de impactos

La EIS requiere una aproximación sistematizada y trazable, por lo que es necesaria una revisión del estado del arte de la literatura científica sobre efectos a la salud por exposición a contaminantes del aire.

En este análisis se tomaron en consideración las recomendaciones sobre identificación de impactos a la salud y Funciones Concentración-Respuesta (FCR) seleccionadas por el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), y que han sido previamente empleadas en diversas estimaciones y estudios en México, principalmente en cuantificaciones de mortalidad evitable (Texcalac-Sangrador, *et al.*, 2014; INSP-CMM, 2015; INSP, 2016; SEMARNAT-INECC, 2017). Las FCR derivadas de los estudios epidemiológicos correspondientes proporcionan los valores de asociación entre el cambio de concentraciones de contaminantes y el incremento de riesgo del impacto, por lo que son el corazón de la EIS.

8. Disponible de manera gratuita en: <https://www.epa.gov/benmap>.

Cabe destacar que se escogieron FCR provenientes de estudios de cohorte o metaanálisis, debido a que son los más confiables y estadísticamente representativos (Texcalac-Sangrador, et al., 2014). Este tipo de estudios analizan la mortalidad a largo plazo o crónica, y no la que puede surgir como consecuencia de concentraciones agudas o a corto plazo y que son significativamente menores (EPA, 2011).

En la Tabla 4.7 se indican las causas analizadas para cada contaminante del estudio, la clave de la Clasificación Internacional de Enfermedades versión 10 (CIE-10)⁹ y el grupo de edad aplicable en cada caso. En el caso de las PM_{2.5} se incluyen causas generales (que agrupan a todas las causas de mortalidad no externas o, también llamadas, naturales), las cardiopulmonares, cardiovasculares, enfermedades isquémicas del corazón y cáncer de pulmón. Cabe señalarse que los grupos de edad varían para cada causa analizada debido a que la evidencia epidemiológica solo está disponible para dichos grupos, y no se sugiere extenderla a otras poblaciones.

Tabla 4.7 Identificación de impactos vinculados a la mortalidad de largo plazo

Causas	Clave CIE-10	Grupo de edad
PM_{2.5}		
Generales	A00 – R99	> 15 años
Cardiopulmonares	I10 – I70; J00 – J98	> 30 años
Cardiovasculares	I00 – I99	> 30 años
Enfermedades Isquémicas del Corazón (EIC)	I20 – I25	> 30 años
Cáncer de Pulmón (CP)	C33 – C34	25 a 74 años
PM₁₀		
Generales	A00 – R99	> 30 años
Generales	A00 – R99	< 1 año
Respiratorias	J00 – J98	< 1 año
O₃		
Generales	A00 – R99	> 30 años
Cardiovasculares	I20–I25, I30–I51, I60–I69, I70	> 30 años
Respiratorias	J00 – J98	> 30 años
Neumonía e Influenza	J00 – J18	> 30 años
Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC)	J19 – J46	> 30 años

9. Las claves CIE-10 pueden ser consultadas en OPS (2008), disponible en: <https://bit.ly/2GGS4yC>

Además de la selección de impactos ligados a la mortalidad de largo plazo se identificaron, en conjunto con el Centro Estatal de Vigilancia Epidemiológica y Control de Enfermedades (CEVECE), trazadores de impactos a corto plazo sobre los principales efectos sobre la morbilidad, incluyendo información de las bases de egresos hospitalarios, así como de Casos Nuevos de Enfermedades del Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica (SUIVE). Debido a que no se cuenta con FCR previamente sistematizadas, se seleccionaron únicamente los principales padecimientos que, de acuerdo con otros análisis, representan una parte significativa de los impactos y costos totales a la sociedad y al sistema de salud (EPA, 2011).

Los efectos en morbilidad se indican en la Tabla 4.8; se especifican las causas de morbilidad analizadas, las claves CIE-10 correspondientes, así como los grupos de edad aplicables en cada caso. En cuanto a los casos de nuevas enfermedades se identificaron las infecciones respiratorias agudas (IRA), mientras que en el caso de hospitalizaciones se identificaron los egresos por causas cardiovasculares y respiratorias.

Tabla 4.8 Identificación de impactos vinculados a la morbilidad

Causas	Clave CIE-10	Grupo de edad
Casos Nuevos de Enfermedades		
Infecciones Respiratorias Agudas (IRA)	J00-J06; J20; J21, excepto J02.0 y J03.0	7 a 14 años
Egresos Hospitalarios (EH)		
EH Cardiovasculares (CDV)	I20-I15; I60-I69; I70-I79; I50	65 a 75 años
EH Respiratorios (Resp)	J00 – J98	65 a 74 años

Fuente: Elaboración propia con base en CEVECE

2) Evaluación de la exposición de contaminantes

La evaluación de la exposición de contaminantes se realizó en el módulo correspondiente de BenMAP-CE¹⁰, el cual realiza una interpolación de valores de concentración sobre los polígonos deseados, en este caso municipios. Previamente se procesaron los datos de información provenientes de las redes de monitoreo de la calidad del aire, tanto de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT), como de la Zona Metropolitana de Cuautitlán-Texcoco (ZMCT).

10. Interpolación de concentraciones con el método de promedios de vecinos de Voronoi (Voronoi Neighbour Averaging, VNA) con ponderación por inverso de la distancia al cuadrado.

Las concentraciones ponderadas por cada contaminante y para cada municipio en el año 2016 se muestran en la Tabla 4.9. Se aplicaron varios criterios para discriminar los datos representativos, incluyendo el criterio

de suficiencia de información como lo marcan las Normas Oficiales Mexicanas de calidad del aire, así como un criterio de distancia máxima a una estación de monitoreo de 10 km¹¹; es decir, que solo se tomaron en consideración municipios cuya población radicaba a esta distancia o menos de por lo menos una estación.

Debido a estas consideraciones y supuestos, diversos municipios quedaron fuera de la zona de estudio por considerarse que no cumplen con criterios mínimos de representatividad y certidumbre. Cada indicador está calculado como lo requiere la FCR involucrada en el cálculo.

Tabla 4.9 Indicadores de calidad del aire para la Evaluación de Impactos a la Salud en la región de análisis durante 2016 (concentraciones promedio anuales)

Contaminante	O ₃ (ppb)	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2.5} (µg/m ³)
Métrica anual	Promedio Anual		
Métrica diaria	Promedio móvil 8 Horas	Promedio 24 horas	Promedio 24 horas
ZMCT			
Acolman	NA	39.23	NA
Amecameca	NA	NA	NA
Apaxco	NA	NA	NA
Atenco	27.02	46.78	23.55
Atizapán de Zaragoza	27.16	41.99	25.66
Atlautla	NA	NA	NA
Axapusco	NA	NA	NA
Ayapango	NA	NA	NA
Chalco	31.47	49.81	NA
Chiautla	NA	39.23	NA
Chicoloapan	NA	NA	NA
Chiconcuac	NA	39.23	NA
Chimalhuacán	28.65	NA	21.06
Coacalco de Berriozábal	27.54	53.99	NA
Cocotitlán	31.47	49.81	NA
Coyotepec	21.11	52.73	NA
Cuautitlán	22.45	53.2	NA
Cuautitlán Izcalli	23.72	47.95	NA
Ecatepec de Morelos	26.97	53.19	25.13

11. Este criterio se utiliza para asegurar que la información de calidad del aire sea representativa del área de estudio. No obstante, sería conveniente determinar la representatividad con mayor precisión en análisis futuros. El criterio de 10 km ha sido utilizado en otros análisis incluyendo INSP-CMM (2015) y SEMARNAT-INECC (2017).

Ecatzingo	NA	NA	NA
Huehuetoca	NA	NA	NA
Hueyoxtlá	NA	NA	NA
Huixquilucan	37.05	30.76	NA
Isidro Fabela	NA	NA	NA
Ixtapaluca	NA	NA	NA
Jaltenco	27.64	55.03	NA
Jilotzingo	NA	NA	NA
Juchitepec	NA	NA	NA
La Paz	28.65	NA	21.06
Melchor Ocampo	24.4	53.89	NA
Naucalpan de Juárez	29.79	NA	NA
Nextlalpan	27.64	55.03	NA
Nezahualcóyotl	28.53	NA	21.06
Nicolás Romero	NA	NA	NA
Nopaltepec	NA	NA	NA
Otumba	NA	NA	NA
Ozumba	NA	NA	NA
Papalotla	NA	NA	NA
San Martín de las Pirámides	NA	NA	NA
Tecámac	NA	NA	NA
Temamatla	31.47	49.81	NA
Temascalapa	NA	NA	NA
Tenango del Aire	NA	NA	NA
Teoloyucan	21.11	52.73	NA
Teotihuacán	NA	39.23	NA
Tepetlaoxtoc	NA	NA	NA
Tepetlixpa	NA	NA	NA
Tepotztlán	NA	NA	NA
Tequixquiac	NA	NA	NA
Texcoco	NA	NA	NA
Tezoyuca	NA	39.23	NA
Tlalmanalco	NA	NA	NA
Tlalnepantla de Baz	26.84	53.27	25.85
Tonanitla	27.64	55.03	NA
Tultepec	26.91	54.78	NA
Tultitlán	27.64	50.59	NA

Valle de Chalco Solidaridad	33.16	44.82	NA
Villa del Carbón	NA	NA	NA
Zumpango	NA	NA	NA
ZMVT			
Almoleya de Juárez	NA	NA	NA
Calimaya	NA	NA	NA
Chapultepec	25.32	57.19	36.53
Lerma	NA	NA	NA
Metepiec	28.24	54.39	33.43
Mexicaltzingo	28	55.76	33.76
Ocoyoacac	NA	NA	NA
Otzolotepec	NA	NA	NA
Rayón	NA	NA	NA
San Antonio la Isla	NA	NA	NA
San Mateo Atenco	22.56	60.75	39.52
Temoaya	NA	NA	NA
Toluca	21.94	48.08	29.85
Xonacatlán	NA	NA	NA

NA: Información de calidad del aire no disponible para la demarcación, debido a la falta de cobertura de monitoreo o insuficiencia de información de estaciones aledañas.

Fuente: Elaboración propia con información de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) de la ZMVT y del Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) de la Ciudad de México.

En el caso de la evaluación de impactos en morbilidad se utilizó la misma información base de calidad del aire, pero introduciendo a BenMAP-CE las métricas diarias de los promedios de 24 horas, como lo requieren las FCR utilizadas. De igual manera solo se utilizaron datos de aquellas estaciones que cumplen el criterio de suficiencia de información anual mayor al 75% de trimestres válidos. En todos los casos se empleó como referente la concentración de $PM_{2.5}$

La cobertura de población de la EIS en el Estado México se muestra en la Tabla 4.10. Esta se determinó a partir de la información de población que se encontraba dentro del radio de 10 km alrededor de las estaciones con información válida para cada contaminante, misma que proviene de los datos de población por grupos de edad de INEGI proyectados al año 2016. En el caso de $PM_{2.5}$ la cobertura para la población mayor a 15 años es 43% y 58% para las ZMCT y ZMVT, respectivamente. Tomando en cuenta ambas zonas metropolitanas la cobertura general es de 45% y si se compara con la población de todo el Estado (mayor a 15 años) esta

es de 39%. En el caso del análisis de PM_{10} , la cobertura de población para mayores de 30 años es de 53% y 59% para las ZMCT y ZMVT, respectivamente. Considerando ambas zonas metropolitanas la cobertura general es de 54%, mientras que si se compara con la población de todo el Estado (mayor a 30 años) esta es de 48%. Finalmente, en el análisis de O_3 , la cobertura para la población mayor a 30 años es de 75% y 59% para las ZMCT y ZMVT respectivamente. Tomando en cuenta ambas zonas metropolitanas la cobertura general es de 73%, mientras que si se compara con la población de todo el Estado (mayor a 30 años) esta es de 64%. Como se observa, la mayor cobertura de población ocurre para O_3 , debido a que se cuenta con un mayor número de estaciones e información válida. Por su parte, $PM_{2.5}$ es el contaminante con menor cobertura, por disponerse de un menor número de estaciones de monitoreo.

Tabla 4.10 Análisis de cobertura de población de la evaluación de impactos a la salud en 2016

Contaminante		$PM_{2.5}$	PM_{10}	O_3
Grupo de edad del análisis		>15 años	>30 años	>30 años
Cobertura con respecto a la población de ZMCT y ZMVT				
ZMCT	Pob. Total	9,072,552	6,038,936	6,038,936
	Pob. Análisis	3,859,376	3,221,897	4,531,840
	Cobertura	43%	53%	75%
ZMVT	Pob. Total	1,567,650	1,003,355	1,003,355
	Pob. Análisis	909,602	593,072	593,072
	Cobertura	58%	59%	59%
ZMCT + ZMVT	Pob. Total	10,640,202	7,042,291	7,042,291
	Pob. Análisis	4,768,978	3,814,969	5,124,912
	Cobertura	45%	54%	73%
Cobertura con respecto al Estado de México				
ESTADO DE MÉXICO	Pob. Total	12,178,808	7,982,545	7,982,545
	Pob. Análisis	4,768,978	3,814,969	5,124,912
	Cobertura	39%	48%	64%

Fuente: Elaboración propia con información del INEGI

3) Caracterización de impactos

Como se ha mencionado antes, en la presente EIS se utilizó el software *Benefits Mapping and Analysis Program – Community Edition* (BenMAP-CE). La metodología EIS vincula la información epidemiológica y las concentraciones de contaminantes para cuantificar impactos correspondientes a los escenarios de gestión establecidos. BenMAP-CE emplea un modelo que calcula la distribución de la probabilidad de que ocurra el impacto en la salud dada la distribución de cada una de las variables (en este caso de las FCR), de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\Delta Y = (1 - e^{-\beta \cdot \Delta C_i}) \cdot P \cdot Y_0 \quad (1)$$

En donde:

ΔY = Número de muertes evitables correspondientes al escenario de cambio o de gestión de la calidad del aire, para la población expuesta y la causa de muerte analizada.

β = Coeficiente de riesgo unitario, el cual es una representación logarítmica de la relación entre el riesgo relativo y el cambio de concentración del contaminante, los cuales provienen directamente de las FCR de la revisión de literatura epidemiológica.

ΔC_i = Cambio de concentraciones del contaminante i correspondiente al escenario de cambio o de gestión de la calidad del aire (i.e. escenario control – escenario base).

P = Población expuesta analizada del grupo de edad correspondiente.

Y_0 = Tasa de mortalidad basal para el grupo de edad correspondiente y para la causa de mortalidad analizada.

El coeficiente de riesgo unitario se estima como se indica a continuación (ecuaciones 2 y 3):

A partir del riesgo relativo (RR):

$$\beta = \frac{\ln(RR)}{\Delta C} \quad (2)$$

Donde ΔC es el cambio en la concentración del contaminante, o de manera más general, del factor de riesgo que se está evaluando.

En caso de que en el estudio epidemiológico se presente la información en forma de razón de probabilidades (OR, por sus siglas en inglés), el procedimiento para obtener el coeficiente de riesgo unitario es el mismo que para el riesgo relativo, es decir:

$$\beta = \frac{\ln(OR)}{\Delta C} \quad (3)$$

Los escenarios de gestión seleccionados para esta EIS son los determinados por las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) y los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para $PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3 , tal y como se resume a continuación. En el caso de mortalidad evitable se tomaron los límites correspondientes a exposición de largo plazo (anual), excepto en el caso de ozono, en donde se aplicó el criterio máximo a los promedios móviles de 8 horas diarios, y posteriormente se calcularon los promedios anuales correspondientes (Tabla 4.11).

Tabla 4.11 Escenarios de reducción de concentraciones de contaminantes (escenarios de gestión) para el análisis de mortalidad evitable

Contaminante	Métrica de exposición	Valores de referencia		
		Escenario 1) NOM ^a	Escenario 2) OMS ^b	Unidades
$PM_{2.5}$	Promedio anual ^c	12	10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM_{10}	Promedio anual ^c	40	20	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
O_3	Promedio móvil de 8 horas ^d	70	50	ppb

a) Con base en NOM-020-SSA1-2014 y NOM-025-SSA1-2014.

b) Con base en los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006).

c) El valor de referencia se aplica al promedio anual de las concentraciones medias de 24 horas diarias.

d) El valor de referencia se aplica a los promedios móviles de 8 horas máximos diarios. Posteriormente se estima el promedio anual de los promedios de 8 horas máximos diarios, conforme a las FCR utilizadas.

Fuente: Elaboración propia

Los casos de morbilidad se evaluaron con respecto a los estándares o límites correspondientes a exposición de corto plazo para $PM_{2.5}$, como se indica a continuación (Tabla 4.12).

Tabla 4.12 Escenarios de reducción de concentraciones de contaminantes (escenarios de gestión) para el análisis de morbilidad

Contaminante	Métrica de exposición	Valores de referencia		
		Escenario 1) NOM ^a	Escenario 2) OMS ^b	Unidades
$PM_{2.5}$	Promedio de 24 Horas diario	45	25	$\mu\text{g}/\text{m}^3$

a) Con base en NOM-025-SSA1-2014.

b) Con base en los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006).

Fuente: Elaboración propia

4) Valoración económica

En esta etapa se asigna un valor monetario a los impactos estimados en los pasos anteriores de la EIS. La finalidad de asignar un valor económico es hacer factible la comparación entre los costos y beneficios de diversas políticas.

La valoración de la mortalidad se realizó a través del método de disposición a pagar (DAP) o Valor de una Vida Estadística (VVE), el cual consiste en calcular la disposición a pagar de los individuos para asegurar una disminución marginal en el riesgo de una muerte prematura (OMS-OCDE, 2015). El VVE no debe confundirse con un valor asignado a la vida de una persona en específico, se refiere a la suma del valor que cada individuo otorga a pequeños cambios en el riesgo de muerte (OCDE, 2011), lo cual también puede interpretarse como “el valor que le otorga una sociedad a evitar la muerte de una persona no identificada dentro de la misma” (INSP-CMM, 2015).

La valoración de impactos a la morbilidad se realizó a través de la estimación del costo financiero simple que cada padecimiento o impacto tiene sobre el sistema de salud y de la población, la cual debe hacerse cargo de estos costos si no se está inscrito al sistema de salud nacional.

Con estos dos métodos de valoración se obtiene una estimación muy completa y diversa de los beneficios por reducir la contaminación del aire en el Estado. La valoración de mortalidad de largo plazo cuantifica, en general, los beneficios a nivel sociedad (“lo que la sociedad gana en su conjunto”), pero que no es del todo trazable. Mientras que la valoración de costos de la morbilidad cuantifica los posibles beneficios directos al sistema de salud, y parcialmente al gasto o ingresos de la población. Puesto que se trata de dos mediciones con supuestos muy distintos, no deben de sumarse o compararse directamente si no se da el contexto adecuado.

Finalmente, en la valoración de mortalidad se eligieron dos valores de VVE debido a que existe cierto grado de incertidumbre en su determinación, así como escasa información a nivel local o nacional. El valor primario (VVE1) corresponde a un valor de 1.97 millones de pesos (M.N., a precios del 2016), que resulta del estudio de valoración contingente más reciente que se ha realizado en México, llevado a cabo por INECC-LSE (2015). El valor secundario (VVE2) se transfirió al valor determinado en el metaanálisis de Kochi *et al.* (2006), mismo que considera estudios tanto de preferencias reveladas como declaradas, y que se ha usado en diversos análisis de Estados Unidos, México y otros sitios. El valor transferido para México, siguiendo la metodología de INECC (2014), es de 16.08 millones de pesos (M.N.) (a precios del 2016). Estos valores se resumen a continuación.

Tabla 4.13 Resumen de VVE seleccionados (a precios del 2016)

VVE seleccionados	Millones de pesos (M.N.)
VVE ₁ : Estimador primario	1.97
VVE ₂ : Estimador alternativo	16.08

Fuente: INECC-LSE (2015); Kochi et al. (2006)

Tabla 4.14 Costos utilizados en la valoración de incidencias en morbilidad

Parámetros y costos utilizados	Valor	Unidades
Días de hospitalización, Enfermedades Cardiovasculares	5.5	Días promedio por hospitalización
Días de hospitalización, Enfermedades Respiratorias	4.6	Días promedio por hospitalización
Costo Unitario de Hospitalización por día	7,757	Pesos (M.N.)/día
Costo unitario de Consulta en Medicina Familiar	733	Pesos (M.N.) /consulta
Costo EH Cardiovasculares	42,663.5	Pesos (M.N.) /egreso
Costo EH Respiratorios	35,682.2	Pesos (M.N.) /egreso
Costo IRA	733.0	Pesos (M.N.)/IRA

EH: Egresos Hospitalarios; IRA: Infecciones Respiratorias Agudas

Fuente: Elaboración propia a partir de la Secretaría de Salud (SSA, 2018) y del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2018)

4.5. Evaluación de la mortalidad evitable en el Estado de México

Se evaluaron de manera detallada los impactos de los tres contaminantes sobre las diversas causas identificadas, tanto para mortalidad como morbilidad. Esto con la finalidad de tener una visión amplia de los diversos efectos y posibles beneficios que podría tener reducir la concentración de los contaminantes atmosféricos en el Estado de México a niveles indicados por las normas nacionales y los lineamientos de la OMS.

En las siguientes subsecciones se desagregan todos estos resultados por tipo de causa y grupo de edad correspondiente (por ejemplo, adultos, infantes menores de un año, o adultos mayores de 65 años). Los grupos de edad difieren por tipo de impacto debido a que así se ha encontrado la evidencia epidemiológica, y no es recomendable aplicarlo a otros grupos de edad directamente. Asimismo, los resultados se muestran y resumen para cada Zona Metropolitana y municipio incluido en la cobertura de análisis. Finalmente, se comparan los impactos para cada escenario de

análisis (NOM y OMS). Primero se muestran todos los diferentes impactos asociados a la mortalidad evitable, y finalmente a la morbilidad (egresos hospitalarios e IRA).

4.5.1. Análisis de la mortalidad asociada a la exposición a PM_{2.5}

La Tabla 4.15 resume las muertes que se podrían evitar por reducir los niveles de PM_{2.5} a los estándares indicados por las NOM y la OMS. Las causas generales para mayores de 15 años engloban el mayor número de impactos, ascendiendo en total a 2,112 y 2,427, si se cumplieran los escenarios NOM y OMS, respectivamente. La ZMCT registra 76% de estos impactos evitables como consecuencia de agrupar a una mayor población, a pesar de que sus concentraciones de PM_{2.5} son menores, en general, con respecto a las de la ZMVT, en ese año. Se observa también que el cáncer de pulmón representa alrededor del 13% de los impactos, mientras que las enfermedades isquémicas del corazón representan cerca del 11% del total de padecimientos atribuibles a la contaminación en el Estado de México.

Tabla 4.15 Muertes evitables por la reducción de concentraciones de PM_{2.5} conforme a los estándares OMS y NOM durante 2016

	Causas y grupos de edad (años)									
	Todas >15a		CDP >30a		CDV >15a		EIC >30a		CP 25-74a	
	NOM	OMS	NOM	OMS	NOM	OMS	NOM	OMS	NOM	OMS
ZMCT	1,590	1,854	821	953	73	849	161	186	223	254
Atenco	13	16	5	6	4	5	1	1	2	2
Atizapán de Zaragoza	168	192	95	108	85	97	16	18	24	27
Chimalhuacán	121	147	54	65	46	56	10	12	21	25
Ecatepec de Morelos	572	656	295	337	268	305	52	59	83	93
La Paz	52	64	25	31	21	25	4	5	6	8
Nezahualcóyotl	346	421	177	214	158	191	45	55	45	53
Tlalnepantla de Baz	317	361	170	193	150	170	32	37	42	47
ZMVT	522	573	305	334	274	299	66	72	70	75
Chapultepec	6	6	4	4	4	4	1	1	0	0
Metepéc	111	121	63	68	56	60	11	12	16	17
Mexicaltzingo	7	7	4	4	4	4	0	0	2	2

San Mateo Atenco	48	51	28	30	25	26	7	7	3	3
Toluca	350	387	206	227	186	205	47	52	49	53
Total general	2,112	2,427	1,126	1,287	1,006	1,148	227	258	294	330

CDP: Cardiopulmonares; CDV: Cardiovasculares; EIC: Enfermedades Isquémicas del Corazón;
CP: Cáncer de Pulmón.

* La suma de las cantidades parciales puede no coincidir con el total debido al redondeo de las cifras.

Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Análisis de la mortalidad asociada a la exposición a PM_{10}

La Tabla 4.16 resume las muertes que se podrían evitar por reducir los niveles de PM_{10} a los estándares indicados por las NOM y la OMS. El número de muertes prematuras por causas generales que se podrían evitar sería de 1,264 en caso de que se cumplieran los estándares NOM; mientras que si se cumplieran las guías de la OMS esta cifra ascendería a 3,576 muertes evitables. Estos números engloban el mayor número de impactos que se podrían evitar en caso de cumplirse los escenarios de análisis. Estos resultados no deben adicionarse a los mostrados para $PM_{2.5}$ en la sección previa, ya que en general se tratan de los mismos efectos (las PM_{10} incluyen a las $PM_{2.5}$). Debido a que está mejor establecida la causalidad entre exposición a $PM_{2.5}$ que PM_{10} se prefiere usar los resultados de las primeras, a pesar de resultar conservadores. No obstante, es relevante conservar los resultados de PM_{10} debido a que se cuenta con más información de este contaminante, en estudios de calidad del aire, funcionando -simultáneamente- como parámetro de comparación.

Los resultados para todas las causas en menores de un año son relevantes al tratarse de un grupo de población sensible. En este caso los impactos atribuibles son de 50 y 144, para los escenarios NOM y OMS, respectivamente.

Tabla 4.16 Muertes evitables por la reducción de concentraciones de PM₁₀ conforme a los estándares OMS y NOM durante 2016

	Causas y grupos de edad (años)					
	Todas >30a		Todas <1a		Resp <1a	
	NOM	OMS	NOM	OMS	NOM	OMS
ZMCT	1,063	3,006	41	117	5	12
Acolman	0	33	0	1	0	0
Atenco	6	21	<1	1	<1	0
Atizapán de Zaragoza	18	188	1	8	<1	1
Chalco	49	143	2	6	<1	1
Chiautla	0	9	0	<1	0	0
Chiconcuac	0	8	0	<1	0	0
Coacalco de Berriozábal	67	156	2	5	<1	<1
Cocotitlán	3	9	<1	<1	0	0
Coyotepec	10	25	<1	1	0	0
Cuautitlán	23	56	1	3	<1	<1
Cuautitlán Izcalli	71	238	2	7	<1	<1
Ecatepec de Morelos	405	977	17	41	2	4
Huixquilucan	0	42	0	2	0	<1
Jaltenco	5	12	<1	1	<1	<1
Melchor Ocampo	14	34	1	1	0	0
Nextlalpan	6	14	1	1	0	0
Temamatla	2	6	0	<1	0	0
Teoloyucan	19	46	1	2	0	0
Teotihuacán	0	17	0	1	0	0
Tezoyuca	0	11	0	1	0	0
Tlalnepantla de Baz	218	523	6	14	1	2
Tonanitla	2	5	<1	<1	0	0
Tultepec	28	64	1	3	0	0
Tultitlán	84	231	4	10	<1	1
Valle de Chalco Solidaridad	31	135	2	7	<1	1
ZMVT	202	570	10	27	2	4
Chapultepec	3	6	<1	<1	0	0
Metepec	55	125	2	4	<1	<1
Mexicaltzingo	4	8	<1	<1	0	0
San Mateo Atenco	26	49	2	3	1	2
Toluca	115	382	6	19	<1	1
Total general	1,264	3,576	50	144	6	16

Resp: Respiratorias.

* La suma de las cantidades parciales puede no coincidir con el total debido al redondeo de las cifras

Fuente: Elaboración propia

4.5.3. Análisis de la mortalidad asociada a la exposición a O₃

Las muertes que se podrían evitar por reducir los niveles de O₃ a los estándares indicados por las NOM y la OMS se muestran en la Tabla 4.17. Las causas generales para mayores de 30 años engloban el mayor número de impactos, ascendiendo en total a 35 y 164, si se cumplieran los escenarios NOM y OMS, respectivamente. De manera muy notoria se observa que casi la totalidad de efectos recaen en la ZMCT, debido a las concentraciones de O₃ que presenta esta región, y que en el caso de la ZMT no presenta tantos problemas por este contaminante debido al tipo de fuentes y a condiciones meteorológicas predominantes.

En el análisis por causas específicas se observa que las cardiovasculares representan 22 y 101 muertes evitables para NOM y OMS, respectivamente. Asimismo, las causas respiratorias representan 20 y 90 muertes evitables en los mismos escenarios.

Tabla 4.17 Muertes evitables por la reducción de concentraciones de O₃ conforme a los estándares OMS y NOM durante 2016

	Causas y grupos de edad (años)									
	Todas >30a		CDV >30a		EPOC >30a		Neu >30a		Resp >30a	
	NOM	OMS	NOM	OMS	NOM	OMS	NOM	OMS	NOM	OMS
ZMCT	35	164	22	101	8	36	6	26	19	89
Atenco	<1	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Atizapán de Zaragoza	1	7	1	5	<1	2	<1	1	1	4
Chalco	1	7	1	3	<1	1	<1	1	1	4
Chimalhuacán	2	10	1	5	<1	2	<1	1	1	5
Coacalco de Berriozábal	1	4	<1	2	<1	1	<1	1	<1	2
Cocotitlán	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Coyotepec	0	<1	0	<1	0	<1	0	<1	0	<1
Cuautitlán	<1	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cuautitlán Izcalli	<1	3	<1	2	<1	<1	<1	<1	<1	2
Ecatepec de Morelos	7	30	5	20	1	6	1	4	4	16
Huixquilucan	3	9	2	7	1	2	1	2	2	5
Jaltenco	<1	<1	<1	<1	0	<1	0	<1	<1	<1
La Paz	1	4	<1	2	<1	1	<1	1	<1	3
Melchor Ocampo	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Naucalpan de Juárez	6	24	4	16	2	6	1	4	4	14

Nextlalpan	<1	<1	<1	<1	0	<1	0	<1	<1	<1
Nezahualcóyotl	5	29	3	17	1	6	1	4	3	15
Temamatla	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Teoloyucan	<1	<1	0	<1	0	<1	0	<1	0	<1
Tlalnepantla de Baz	4	17	3	11	1	5	1	3	2	10
Tonanitla	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Tultepec	<1	1	<1	1	<1	<1	<1	<1	<1	1
Tultitlán	1	6	1	4	<1	1	<1	1	<1	3
Valle de Chalco Solidaridad	2	9	1	5	<1	2	<1	1	1	5
ZMVT	0	<1	0	<1	0	<1	0	<1	0	<1
Chapultepec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Metepc	0	<1	0	<1	0	<1	0	<1	0	<1
Mexicaltzingo	0	<1	0	<1	0	0	0	0	0	0
San Mateo Atenco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toluca	0	<1	0	<1	0	<1	0	<1	0	<1
Total general	35	164	22	101	8	36	6	26	20	89

DV: Cardiovasculares; EPOC: Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica;

Neu: Neumonía e Influenza; Resp: Respiratorias.

* La suma de las cantidades parciales puede no coincidir con el total debido al redondeo de las cifras.

Fuente: Elaboración propia

4.5.4. Tendencia de los impactos a la salud entre 2012 y 2016 (mortalidad por causas generales)

En esta sección se efectúa un análisis de la mortalidad evitable que se atribuye a la contaminación atmosférica entre 2012 y 2016, lo cual ayuda a comprender si existe una tendencia favorable o no a alcanzar los objetivos de la gestión de la calidad del aire. Asimismo, permite comparar el comportamiento de diferentes regiones y padecimientos trazadores o contaminantes de interés.

Para efectuar una comparación objetiva y estandarizada se seleccionaron impactos cuyas causas (y grupos de edad) no se traslapen para evitar doble conteo. Así, se seleccionaron las siguientes combinaciones contaminante-efecto: PM_{2.5} (todas las causas, >15 años), PM₁₀ (todas las causas, <1 año) y O₃ (todas las causas, >30 años). Estos impactos se muestran de manera desagregada por Zona Metropolitana y escenario de análisis (NOM, OMS) en la Tabla 4.18.

Tabla 4.18 Tendencia de la mortalidad evitable por región y causas principales entre 2012 y 2015

Zona Metropolitana	Número de muertes evitables				
	2012	2013	2014	2015	2016
Escenario: NOM					
ZMCT	1,720	1,844	1,555	1,550	1,793
PM _{2.5} , Todas >15a	1,525	1,600	1,348	1,388	1,588
PM ₁₀ , Todas <1a	83	85	41	45	41
O ₃ , Todas >30a	111	158	165	117	163
ZMVT	392	403	385	430	530
PM _{2.5} , Todas >15a	372	385	374	421	521
PM ₁₀ , Todas <1a	19	18	8	9	10
O ₃ , Todas >30a	1	0	2	0	0
Total general	2,112	2,248	1,939	1,980	2,323
Escenario: OMS					
ZMCT	2,044	2,222	1,930	1,871	3,796
PM _{2.5} , Todas >15a	1,724	1,842	1,605	1,611	1,852
PM ₁₀ , Todas <1a	209	221	160	143	117
O ₃ , Todas >30a	111	158	165	117	163
ZMVT	467	473	450	499	1,129
PM _{2.5} , Todas >15a	415	428	422	469	571
PM ₁₀ , Todas <1a	45	42	25	27	27
O ₃ , Todas >30a	8	3	2	2	<1
Total general	2,512	2,695	2,380	2,370	4,926

* La suma de las cantidades parciales puede no coincidir con el total debido al redondeo de las cifras.

Fuente: Elaboración propia

Debido a que cada año de análisis cuenta con una cobertura de población analizada distinta (ya que el número de estaciones válidas varía cada año y por contaminante, así como ocurre un incremento de la población) los valores arriba mostrados se estandarizaron dividiendo por la población cubierta en el análisis (en los municipios con cobertura de información válida de calidad del aire, y por el grupo de edad correspondiente). Los resultados referenciados por cada 10,000 habitantes se ilustran en la Figura 4.3 y Figura 4.4 para cada escenario (NOM, OMS).

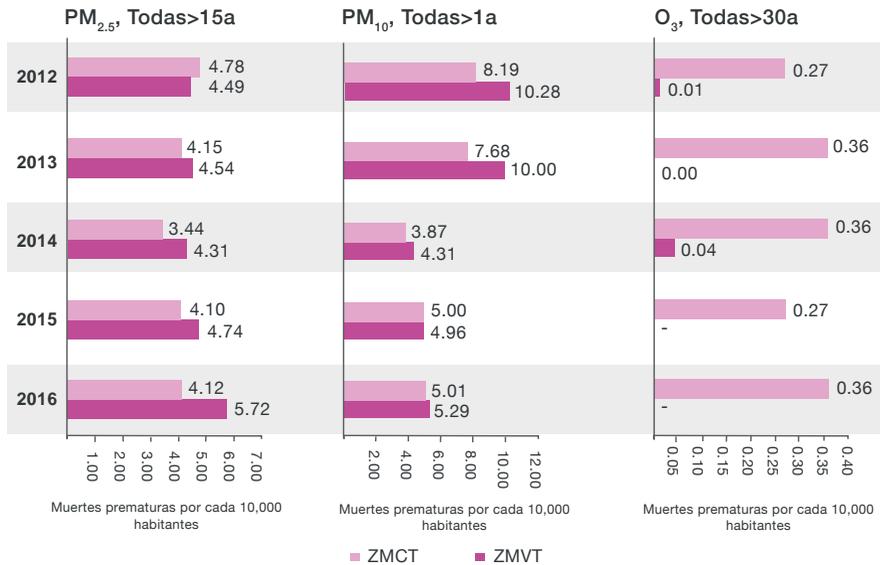
Destaca que en el caso de impactos por PM_{2.5}, la tasa de mortalidad evitable para la ZMVT era menor que la de ZMCT en 2012, no obstante, para 2016 la tendencia se ha revertido, y en el caso de la ZMVT el indicador se ha incrementado significativamente hasta 5.72 casos evitables por cada 10,000 habitantes, mientras que para la ZMCT fue de 4.12 para el

mismo año. Esto está directamente relacionado con el incremento de las concentraciones de este contaminante. Es relevante identificar las fuentes específicas de emisión que están contribuyendo al incremento en las concentraciones y tasas de mortalidad evitable.

Otro caso relevante es el de los efectos en infantes menores de un año por PM_{10} , en los que se observa que en todos los casos la tasa por cada 10,000 habitantes ha sido mayor para la ZMVT. Dicho comportamiento no se observa al analizar los resultados netos (Tabla 4.18) por ser significativamente mayor la población de la ZMCT con respecto a la ZMVT. Esto evidencia que, aunque los impactos evitables son menores para la ZMVT, en realidad hay mayor problemática por este contaminante en esa zona metropolitana.

Finalmente, en el caso de O_3 , es claro que la mayoría de los efectos se concentran solo en la ZMCT por lo cual se deben seguir tomando medidas orientadas a reducir los precursores de este contaminante criterio, sin observarse una tendencia clara a la baja en estos últimos años.

Figura 4.3 Tendencia de la tasa de mortalidad evitable por cada 10,000 habitantes en la zona de cobertura y grupos de edad indicados: Escenario NOM



Fuente: Elaboración propia

En el caso del análisis del escenario OMS se observa una tendencia similar, con un aumento en las tasas de mortalidad evitable por cada 10,000 habitantes, como consecuencia de la aplicación de estándares de calidad del aire más exigentes o restrictivos.

Figura 4.4 Tendencia de la tasa de mortalidad evitable por cada 10,000 habitantes en la zona de cobertura y grupos de edad indicados: Escenario OMS



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para brindar una visión resumen del total de impactos sobre la salud entre 2012 y 2016 se han agrupado los resultados para las 3 causas mencionadas: PM_{2.5} (todas las causas, >15 años), PM₁₀ (todas las causas, <1 año) y O₃ (todas las causas, >30 años), en toda la región de estudio, y para cada escenario de análisis¹². Estos resultados se muestran en la Tabla 4.19, así como de manera gráfica en la Figura 4.5.

Tabla 4.19 Resumen de impactos totales en el Estado de México por escenario analizado entre 2012 y 2016

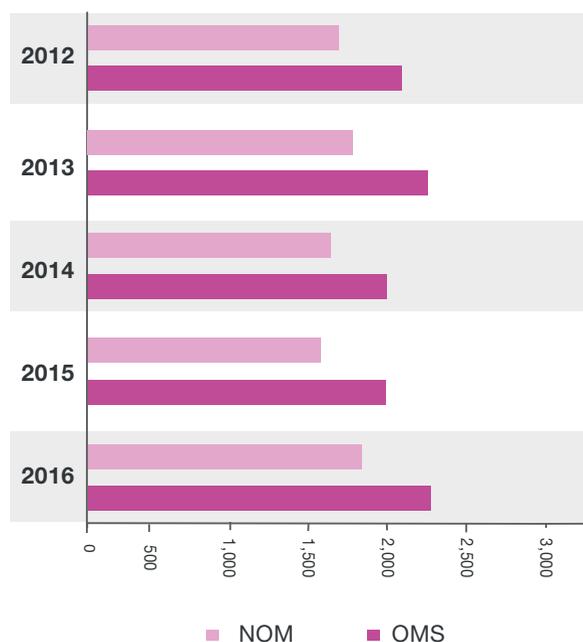
Escenario	Número de muertes evitables				
	2012	2013	2014	2015	2016
NOM	2,017	2,124	1,939	1,881	2,195
OMS	2,512	2,695	2,380	2,370	2,731
Contribución a la mortalidad general de todo el Estado					
Mortalidad general en todo el Estado (INEGI)	62,534	65,379	67,491	68,773	72,467
NOM (%)	3.2%	3.2%	2.9%	2.7%	3.0%
OMS (%)	4.0%	4.1%	3.5%	3.4%	3.8%

Fuente: Elaboración propia

12. Cada causa identificada está asociada con un estudio epidemiológico de referencia. De cada estudio se toma un valor de riesgo relativo sobre una población específica (adultos, niños, etc.) por lo que debe respetarse el grupo de edad. Por ejemplo, si el estudio se hizo con adultos mayores de 30 años, solo se aplica para ese grupo, y no se podría extender, digamos, a menores de edad.

En resumen, si en 2016 se hubieran cumplido los estándares de calidad del aire de las NOM en el Estado de México, se habrían podido evitar aproximadamente 2,200 muertes prematuras. En el caso de haberse cumplido las guías de la OMS las muertes prematuras evitadas habrían sido de alrededor de 2,700. Estas cifras son equiparables con el número de defunciones por homicidio ocurridas durante 2016 en todo el Estado, las cuales son de casi 2,800¹³. Finalmente, si se compara con la mortalidad total de todo el Estado en 2016, que fue cerca de 72,467¹⁴, se estima que la mortalidad por contaminación del aire contribuyó con casi 4% de dichas muertes (escenario OMS). Esta contribución ha variado entre alrededor de 3% y 4% entre 2012 y 2016 (Tabla 4.19).

Figura 4.5 Comparación de muertes evitables de los escenarios NOM y OMS para el Estado de México entre 2012 y 2016



Fuente: Elaboración propia

13. Con información de INEGI. http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/consulta/general_ver4/MDXQuery-Datos.asp?#Regreso&c=28820.

14. Con información de INEGI. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/consulta/general_ver4/MDX-QueryDatos.asp?#Regreso&c=11144.

4.6. Evaluación de las incidencias a la morbilidad por la exposición de corto plazo a contaminantes en el Estado de México

En análisis de incidencias que se podrían evitar en cuanto a la carga de morbilidad se resume en la Tabla 4.20. Los efectos de corto plazo seleccionados son Infecciones Respiratorias Agudas (IRA), Egresos Hospitalarios por causas Cardiovasculares y Respiratorias, debido al consenso que se tiene sobre su causalidad con los contaminantes analizados, y a que se cuenta con información epidemiológica de soporte para el análisis (específicamente FCR de alta representatividad y poder estadístico). No obstante, esto no implica que exista una amplia diversidad de efectos en la morbilidad que no estén siendo tomados en consideración. Por este motivo, la estimación debe tomarse como un mínimo de incidencias (y costos) atribuibles a la contaminación. Se sugiere que, en análisis posteriores, y progresivamente, se vayan incluyendo padecimientos adicionales a la matriz de evaluación. En cualquier caso, esta estimación es de las más completas que se tiene, y es representativa de los beneficios esperados por la implementación de medidas del ProAire.

En el escenario NOM no se encontraron beneficios para la ZMCT, esto debido a que el número de excedencias por encima de la norma es reducido en las estaciones correspondientes, de tal modo que la diferencia entre los promedios de 24 horas del año y el límite de la norma de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tiene un efecto prácticamente insignificante sobre la estimación de impactos. Por el contrario, cuando se aplican los lineamientos de la OMS ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) los efectos son palpables ascendiendo a 72,298 IRA, 2,280 egresos cardiovasculares y 2,255 egresos respiratorios potencialmente evitables. En el caso de la ZMVT se observan impactos evitables tanto en el escenario NOM como OMS, debido a que sus concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ son mayores que para la ZMCT en 2016 (Tabla 4.9).

Para todo el Estado los impactos evitables que se atribuyen a la contaminación atmosférica son de 94,098 IRA, 4,356 egresos cardiovasculares y 4,120 egresos respiratorios. La ZMCT tiene mayores impactos acumulados (en el escenario OMS) debido a que hay una mayor cobertura de población en esta zona metropolitana.

	Incidencias a la morbilidad			
	IRA	EH CDV	EH Resp	Total
Escenario: NOM				
ZMCT	0	0	0	0
ZMVT	10,386	887	801	12,074
Chapultepec	210	0	0	210
Metepiec	831	0	0	831
Mexicaltzingo	114	0	0	114
San Mateo Atenco	1,940	0	0	1,940
Toluca	7,291	887	801	8,979
Total escenario NOM	10,386	887	801	12,074
Escenario: OMS				
ZMCT	72,298	2,280	2,255	76,832
Atenco	1,068	0	0	1,068
Atizapán de Zaragoza	6,583	377	297	7,257
Chimalhuacán	12,615	176	200	12,991
Ecatepec de Morelos	23,901	746	700	25,348
La Paz	5,589	0	0	5,589
Nezahualcóyotl	15,248	765	908	16,921
Tlalnepantla de Baz	7,293	216	149	7,658
ZMVT	21,800	2,076	1,865	25,742
Chapultepec	325	0	0	325
Metepiec	3,624	0	0	3,624
Mexicaltzingo	289	0	0	289
San Mateo Atenco	2,137	0	0	2,137
Toluca	15,425	2,076	1,865	19,367
Total escenario OMS	94,098	4,356	4,120	102,574

IRA: Infecciones Respiratorias Agudas; EH CDV: Egresos Hospitalarios Cardiovasculares; EH Resp: Egresos Hospitalarios Respiratorios.

* La suma de las cantidades parciales puede no coincidir con el total debido al redondeo de las cifras.

Fuente: Elaboración propia

4.7. Valoración económica de los impactos sobre la salud

La valoración económica de los diferentes impactos a la salud determinados en la EIS se resume en la Tabla 4.21. Los costos atribuibles a la contaminación del aire en el Estado de México durante 2016 ascienden a 4,332.9 millones de pesos en el escenario NOM. Mientras que si se consideran los lineamientos OMS los beneficios correspondientes ascenderían a 5,391.6 millones de pesos. Estos resultados corresponden a la valoración con el VVE1 de 1.97 millones de pesos, y que se ha tomado como el rango bajo de beneficios.

Al considerar el VVE2 de 16.08 millones de pesos, los mismos beneficios por mortalidad evitable ascenderían a entre 35 y 44 mil millones de pesos en cada escenario de análisis.

En el otro rubro analizado, el de la morbilidad, los costos (financieros) corresponden a 74.0 y 401.8 millones de pesos para los escenarios NOM y OMS, respectivamente.

Las cifras correspondientes a la valoración de mortalidad expresan los beneficios que se tendrían a nivel de sociedad, lo cual se interpreta como la cantidad monetaria que la sociedad estaría dispuesta a pagar por reducir la probabilidad de morir, y que como tal no es transferible directamente a un costo financiero, pero que sí puede advertirse como la cifra que incluye las principales externalidades asociadas a la contaminación del aire.

Por otra parte, la valoración de beneficios realizada a partir de la información de incidencias en la morbilidad atribuibles a la contaminación del aire, y que se cuantificaron a partir de información del costo real de consultas médicas u hospitalizaciones en México (costos promedio en el sector público, IMSS), brindan en efecto una cuantificación de tipo financiera y que sí puede ser comparable con otros costos como los del sistema de salud o con los del ingreso de las familias. Si bien su magnitud es significativamente menor que la de la valoración de la mortalidad, la información que brinda es relevante para la evaluación de políticas públicas.

Como se dijo en secciones previas, también es importante reconocer que esta cuantificación de impactos en la morbilidad está restringida solo a algunas causas (para las que se encuentra información epidemiológica confiable), y por lo tanto se trata de un mínimo. De tal manera, se recomienda que en EIS posteriores se fortalezca el análisis, agregando paulatinamente efectos para los que se tenga bien establecida una relación causal (contaminante-efecto), se tengan FCR confiables y estadísticamente significativas, y datos actualizados en las bases de información y consulta epidemiológica estatales.

Tabla 4.21 Valoración económica de los impactos a la salud por contaminantes atmosféricos en el Estado de México (MXN 2016)

Impacto	Escenario NOM	Escenario OMS
Mortalidad		
Valoración con VVE 1: 1.97 Millones de pesos (MXN) – Rango bajo		
PM _{2.5} , Todas >15a	\$ 4,164.0	\$ 4,784.1
PM ₁₀ , Todas <1a	\$ 99.3	\$ 284.6
O ₃ , Todas >30a	\$ 69.5	\$ 323.0
Total Mortalidad con VVE 1	\$ 4,332.9	\$ 5,391.6
Valoración con VVE 2: 16.08 Millones de pesos (MXN) – Rango alto		
PM _{2.5} , Todas >15a	\$ 33,952.0	\$ 39,012.5
PM ₁₀ , Todas <1a	\$ 811.0	\$ 2,329.9
O ₃ , Todas >30a	\$ 566.9	\$ 2,633.4
Total Mortalidad con VVE 2	\$ 35,329.9	\$ 43,975.8
Morbilidad		
IRA	\$ 7.6	\$ 69.0
EH CDV	\$ 37.8	\$ 185.8
EH Resp	\$ 28.6	\$ 147.0
Total Morbilidad	\$ 74.0	\$ 401.8

VVE: Valor de una Vida Estadística; IRA: Infecciones Respiratorias Agudas; EH CDV: Egresos Hospitalarios Cardiovasculares; EH Resp: Egresos Hospitalarios Respiratorios.

Fuente: Elaboración propia

REFERENCIAS:

- CARB. (2018). Overview: Diesel Exhaust and Health. [En línea] Recuperado de <https://ww2.arb.ca.gov/resources/overview-diesel-exhaust-and-health>
- Dockery, D. y otros. (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *The New England Journal of Medicine*, 329(24), pp. 1753-1759.
- EPA. (2006). *The Chemical Composition of PM_{2.5} to support PM Implementation*, s.l.: s.n.
- EPA. (2011). The Benefits and Costs of the Clean Air Act from 1990 to 2020, s.l.: U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA. (2018). Basic Information about Ozone. [En línea] Recuperado de <https://www.epa.gov/ozone-pollution/basic-information-about-ozone>
- Ghorani-Azam, A., Riahi-Zanjani, B. & Balali-Mood, M. (2016). Effects of air pollution on human health and practical measures for prevention in Iran. *J Res Med Sci*, 27(65).
- HEI. (2017). State og Global Air 2017. *A special report on global exposure to air pollution and its disease burden*, s.l.: Health Effects Institute.
- Hoek, G. y otros. (2013). Long-term air pollution exposure and cardio- respiratory mortality: a review. *Enviornmental Health*, 12(43), pp. 1-16.
- IARC. (2012). *IARC: Diesel engine exhaust carcinogenic*, s.l.: International Agency for Research on Cancer.
- IHME. (2018). *Global Burden of Disease (GBD) 2016*, s.l.: Institute for Health Metrics and Evaluation.
- IMSS. (2018). *ACUERDO ACDO.AS3.HCT.291117/275.PDF.*, s.l.: s.n.
- INECC. (2014a). *Informe Nacional de Calidad del Aire 2013*, s.l.: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- INECC. (2014). *Valoración económica de los beneficios a la salud de la población que se alcanzarían por la reducción de las PM_{2.5} en tres zonas metropolitanas mexicanas*, s.l.: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- INECC-LSE. (2015). *The value of statistical life in Mexico: a contingent valuation study (Draft)*, s.l.: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático; London School of Economics.
- INEGI. (2017). *Anuario estadístico y geográfico de México 2017*. Recuperado de www.inegi.org.mx
- INSP. (2016). *Estimación de impactos en la salud por contaminación atmosférica en la región centro del país y alternativas de gestión*, s.l.: Instituto Nacional de Salud Pública.
- INSP-CMM. (2015). *Beneficios sociales por mejorar la calidad del aire en México: Impactos a la salud y su valoración económica*, s.l.: Instituto Nacional de Salud Pública y Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente.
- Kochi, I., Hubbel, B. & Kramer, R. (2006). An Empirical Bayes Approach to Combining and Comparing Estimates of the Value of Statistical Life for Environmental Policy Analysis. *Environmental & Resources Economics*, Volumen 34, pp. 385-406.
- Künzli, N. y otros. (2000). Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *The Lancet*, Volumen 356, pp. 795-801.

- Lazcano-Ponce, E., Fernández, E., Salazar-Martínez, E. & Hernández-Ávila, M. (2000). *Estudios de cohorte. Metodología, sesgos y aplicación*. Salud Pública de México, 42(3), pp. 230-241.
- Lepeule, J., Laden, F., Dockery, D. & Schwartz, J. (2012). Chronic Exposure to Fine Particles and Mortality: An Extended Follow-up of the Harvard Six Cities Study from 1974 to 2009. *Environmental Health Perspectives*, 120(7), pp. 965-970.
- Marín Martínez, F., Sánchez Meca, J. & López López, J. A. (2009). El metaanálisis en el ámbito de las Ciencias de la Salud: una metodología imprescindible para la eficiente acumulación del conocimiento. *Fisioterapia*, 31(3), pp. 107-114.
- MMA. (2013). *Guía metodológica para la elaboración de un análisis general de impacto económico y social (AGIES) para instrumentos de gestión de calidad del aire*, s.l.: Ministerio del Medio Ambiente. Gobierno de Chile.
- OCDE. (2011). *Valuing Mortality Risk Reductions in Regulatory Analysis of Environmental, Health and Transport Policies: Policy Implications*, Paris: Organization for Economic Co-operation and Development.
- OCDE. (2014). *The Cost of Air Pollution. Health impacts of road transport*, s.l.: Organization for Economic Co-operation and Development.
- OMS. (2000). *Air Quality Guidelines for Europe 2nd edition*, s.l.: World Health Organization. Regional Office for Europe.
- OMS. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Resumen de evaluación de los riesgos*, s.l.: Organización Mundial de la Salud.
- OMS-OCDE. (2015). *Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth.*, Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- OMS. (2018). Ambient air pollution: pollutants. [En línea]
Recuperado de <https://www.who.int/airpollution/ambient/pollutants/en/>
- OPS. (2008). *Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud*. Décima Revisión. Volumen 1, s.l.: Organización Panamericana de la Salud.
- Pope III, C. A. y otros. (2004). Cardiovascular Mortality and Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution: Epidemiological Evidence of General Pathophysiological Pathways of Disease. *Circulation*, Volumen 109, pp. 71-77.
- Pope III, C. A. & Dockery, D. W. (2006). Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, Issue 56, pp. 709-742.
- Robinson, D. L. (2017). Composition and oxidative potential of PM_{2.5} pollution and health. *Journal of Thoracic Disease.*, 9(3), pp. 444-447.
- SEMARNAT-INECC. (2017). *Programa de Gestión Federal para Mejorar la Calidad del Aire de la Megalópolis. PROAIRE de la MEGALÓPOLIS 2017-2030*, s.l.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SMAGEM. (2011). *Bases de Diagnóstico: Población Vulnerable del Estado de México 2010*. Recuperado de www.edomexico.gob.mx

- SSA. (2017). *Veinte principales causas de enfermedad en el Estado de México, por grupos de edad. Estados Unidos Mexicanos 2017. Población General, 2017.*
- SSA. (2018). Boletín de Información Estadística No. 36, Vol. IV 2016, s.l.: s.n.
- Texcalac-Sangrador, J. L. y otros. (2014). *Evaluación del Impacto en Salud por Exposición a Contaminantes Atmosféricos Criterio en 26 Ciudades de México Informe Final*, s.l.: Instituto Nacional de Salud Pública.
- Turner, M. C. y otros. (2016). Long-Term Ozone Exposure and Mortality in a Large Prospective Study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 193(10), pp. 1134-1142.
- Woodruff, T. J., Darrow, L. A. & Parker, J. D. (2008). Air Pollution and Post neonatal Infant Mortality in the United States, 1999–2002. *Environmental Health Perspectives*, 116(1), pp. 110-115.
- Woodruff, T. J., Grillo, J. & Schoendorf, K. C. (1997). The Relationship between Selected Causes of Post neonatal Infant Mortality and Particulate Air Pollution in the United States. *Environmental Health Perspectives*, 105(6), pp. 608-612.

CAPÍTULO

05

**PARTICIPACIÓN
CIUDADANA,
COMUNICACIÓN Y
EDUCACIÓN AMBIENTAL**

05 PARTICIPACIÓN CIUDADANA, COMUNICACIÓN Y EDUCACIÓN AMBIENTAL

En este Capítulo se presenta el diagnóstico sobre la situación actual del proceso de comunicación y educación ambiental en materia de calidad del aire en el Estado de México. También se aborda a los actores involucrados, la descripción de los portales de Internet activos, las acciones realizadas, la percepción ciudadana y el análisis de su desempeño.

La educación ambiental surge como una respuesta ante las dificultades que se han presentado en los últimos años. Es necesaria para poder generar conciencia y corresponsabilidad en la población, pues fomenta valores y actitudes entre los ciudadanos para utilizar los recursos naturales de manera racional. De igual manera, la educación ambiental busca promover la búsqueda de soluciones factibles para atacar los problemas medioambientales originados por las actividades antropogénicas.

En el Seminario Internacional de Educación Ambiental de Belgrado, se lograron definir seis objetivos principales de la educación ambiental (UNESCO, 1975):

1. Concientizar. Sensibilizar a la población ante los problemas del medio ambiente.
2. Conocimientos. Promover que la población adquiera una comprensión integral del medio ambiente y de sus problemas, así como de las consecuencias de las actividades humanas en el entorno.
3. Actitudes. Fomentar valores sociales e interés por el medio ambiente en la población, para motivar la protección ambiental.
4. Aptitudes. Promover que la población adquiera las capacidades necesarias para cuidar su salud y coadyuvar en las soluciones medioambientales.
5. Capacidad de evaluación. Promover que la población tenga capacidad y acceso para evaluar los programas de educación ambiental y sus medidas.
6. Participación. Fomentar en la población un sentido de responsabilidad sobre la necesidad de acción ante los problemas del medio ambiente.

El ProAire del Estado de México 2018-2030 parte de la propuesta de que tanto la comunicación como la educación ambiental forman una estrategia crucial de la política pública. Es necesario que las medidas y acciones que comprendan esta estrategia vayan ligadas con los seis objetivos propuestos en Belgrado. El logro de las metas establecidas en el ProAire depende principalmente de los recursos técnicos, financieros y humanos con los que cuenta el Estado de México.

5.1 Proceso actual de comunicación y estrategia de participación ciudadana

El objetivo principal del programa de comunicación es impulsar una cultura entre los mexicanos enfocada en valorar y preservar los recursos naturales disponibles. En el Estado de México, la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME), la Secretaría del Medio Ambiente (SMAGEM) y la Secretaría de Salud, son las entidades gubernamentales encargadas de la generación y difusión de la información de calidad del aire, para que la población pueda actuar para proteger su salud y coadyuvar con las políticas de reducción de contaminantes atmosféricos.

La comunicación más relevante en materia de calidad del aire la realiza la SMAGEM a través de sus propios eventos (talleres, conferencias, ferias, etc.) y redes sociales como Facebook y Twitter. Sin embargo, hay diversos medios de comunicación que no se están aprovechando al máximo y que podrían ayudar a generar un mayor impacto en la sociedad si se utilizaran, tales como la radio, la televisión, la prensa, la influencia de líderes de opinión, los espectaculares y medios impresos.

Cabe destacar que la Secretaría tiene dos áreas que podrían ser el medio para instrumentar una estrategia de educación y comunicación ambiental: 1) Comunicación Social y 2) Concertación y Participación Ciudadana. Además, el Gobierno del Estado de México cuenta con un área específica de Mercadotecnia que puede coadyuvar en la elaboración y difusión de contenidos.

Comunicación

Con el fin de informar de manera inmediata a los ciudadanos y establecer espacios de interacción social, la SMAGEM ha optado por los medios de comunicación que ofrecen las tecnologías de la información. Cuenta con una página web oficial (<http://sma.edomex.gob.mx/>), dos páginas de Facebook ([facebook.com/AmbienteEdomex](https://www.facebook.com/AmbienteEdomex) y [facebook.com/ReservaSMA](https://www.facebook.com/ReservaSMA)) y dos cuentas de Twitter (@AmbienteEdomex y @reservaSMA), en donde se publican acciones y recomendaciones relacionadas al medio ambiente.

En la página web oficial de la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México se presentan diversas herramientas que ofrece el Estado para el cuidado del medio ambiente. En el tema de calidad del aire se pueden consultar publicaciones, documentos técnicos, conferencias, talleres, exposiciones, ferias, cursos de formadores ambientales y concursos, con la finalidad de promover la participación de todos los sectores en tareas de prevención y protección del medio ambiente.

Además de las herramientas en línea, el Estado de México cuenta con espacios físicos para la promoción de la cultura ambiental. La Figura 5.1 muestra el Centro de Educación Ambiental y Cambio Climático que inauguró la SMAGEM en Metepec en el 2011, en donde se presentan proyecciones e imparten talleres y conferencias para concientizar a los mexiquenses sobre el cuidado del medio ambiente. Como este centro, hay otros cuatro en el Estado de México, ubicados en San Martín de las Pirámides, Texcoco, Valle de Bravo y Atlacomulco.

Figura 5.1 Centro de Educación Ambiental y Cambio Climático Metepec, Estado de México



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a sus redes sociales, tanto en la página de Facebook como en la cuenta de Twitter de “AmbienteEdomex” se realizan continuamente publicaciones relacionadas con la calidad del aire para informar a la población acerca de: contaminación por quema de basura, uso de la bicicleta, transporte público, funcionamiento de los Centros de Verificación (CVECA), información de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico y cuidado de los bosques, entre otros. Por otro lado, aunque las publicaciones

de la página de Facebook y la cuenta de Twitter de "ReservaSMA" se encuentran enfocadas en el cuidado del agua, el aprovechamiento de la energía y la gestión de residuos, estos espacios también pueden utilizarse para difundir temas relacionados con la calidad del aire, el espacio también puede utilizarse para difundir temas relacionados a la calidad del aire.

A continuación, se presentan algunas infografías publicadas por la Secretaría del Medio Ambiente en sus redes sociales:

Figura 5.2 Infografías publicadas en redes oficiales SMAGEM



Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México (SMAGEM, 2018)

Tabla 5.1 Seguidores en redes sociales

Red social	Cuenta	Seguidores
Facebook	AmbienteEdomex	19,942
Facebook	ReservaSMA	2,144
Twitter	@AmbienteEdomex	14,400
Twitter	@reservaSMA	1,183

Fuente: Información obtenida de cada red social al 19 de septiembre 2018

De la Tabla 5.1 se puede observar que las cuentas de “AmbienteEdomex” tienen aproximadamente 10 veces más seguidores que las de “ReservaSMA”, por lo que la difusión en materia de calidad del aire se está realizando en el canal con mayor impacto. Sin embargo, las publicaciones ambientales en estos canales tienen un auditorio directo de tan solo el 0.25% de la población

estatal. Sería deseable que estos canales se ligaran a otros medios de difusión del Estado de México, de forma que se fortaleciera su poder de influencia y su utilización tenga una mayor alcance. Además, se recomienda que las publicaciones en todos los canales se realicen en espejo, de manera que el contenido sea uniforme a través de las diferentes plataformas.

Participación ciudadana

La Secretaría del Medio Ambiente cuenta con un convenio de colaboración con la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex) y un acuerdo con el Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica (CONALEP) con el fin de consolidar y potenciar esfuerzos en materia de medio ambiente. Estas instituciones invitan a la SMAGEM a participar en distintos foros en donde se pueden exponer temas críticos y generar una mayor conciencia ambiental entre los mexiquenses.

La SMAGEM también cuenta con el programa de Red de Escuelas Acreditadas en el Tema Ambiental (RESCATA) en donde se colabora con escuelas de distintos niveles para ofrecerles apoyo y asesoría en los temas fundamentales de la Secretaría del Medio Ambiente (energía, agua y residuos). Actualmente existen 53 escuelas acreditadas en el Estado de México, de un padrón ligeramente mayor a las 2,000 escuelas. Si bien el objetivo del programa no es la difusión de la cultura del cuidado de la calidad del aire, se ha logrado crear un vínculo entre la Secretaría y el sector educativo que puede aprovecharse para impulsar los objetivos de comunicación y educación ambiental.

Otro de los canales de influencia de la Secretaría es el concurso “Reconocimiento al Mérito Ambiental”, el cual busca premiar la trayectoria de personas, organizaciones e instituciones que hayan realizado acciones ambientalmente relevantes que contribuyan al desarrollo sustentable del Estado de México. Este concurso se instauró en 2016 y otorga a los ganadores de cada una de las siete categorías, un diploma y \$50,000 M.N. Los proyectos que pueden inscribir los concursantes son de índole abierta, siempre y cuando estén relacionados al medio ambiente; por las características propias del Estado, los temas más frecuentes suelen relacionarse con la calidad del aire (cuidados forestales, agricultura sustentable, entre otros).

5.2 Portal de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA)

Dentro de la página de la SMAGEM se encuentra un enlace directo para consultar la página oficial de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico del Valle de Toluca en donde se puede consultar:

- Información general de la Secretaría del Medio Ambiente
- Aspectos generales de la calidad del aire (contaminantes, normatividad, técnicas de medición, entre otros)

- Detalles administrativos, geográficos y técnicos de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico
- Reportes de calidad del aire (diario, mensual, histórico)
- Trámites y servicios

Por su parte, cada reporte presenta un código de identificación de calidad del aire por puntaje para facilitar su lectura, en concordancia con el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) y de acuerdo con la Tabla 5.2:

Tabla 5.2 Código de colores del IMECA

Condición	Índice Metropolitano de la Calidad del Aire
Buena	0 – 50
Regular	51 – 100
Mala	101 – 150
Muy Mala	151 – 200
Extremadamente Mala	>200

Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT (RAMA, 2018c)

A continuación, se enlistan los distintos reportes disponibles en la página oficial de la RAMA y sus características:

- Reporte horario. Se indica, por zona y por contaminante, el IMECA junto con el color de identificación. Se incluye una serie de recomendaciones específicas para cada rango de calidad del aire. También se indica en una sección aparte el índice ultravioleta (UV), junto con un rango de severidad.

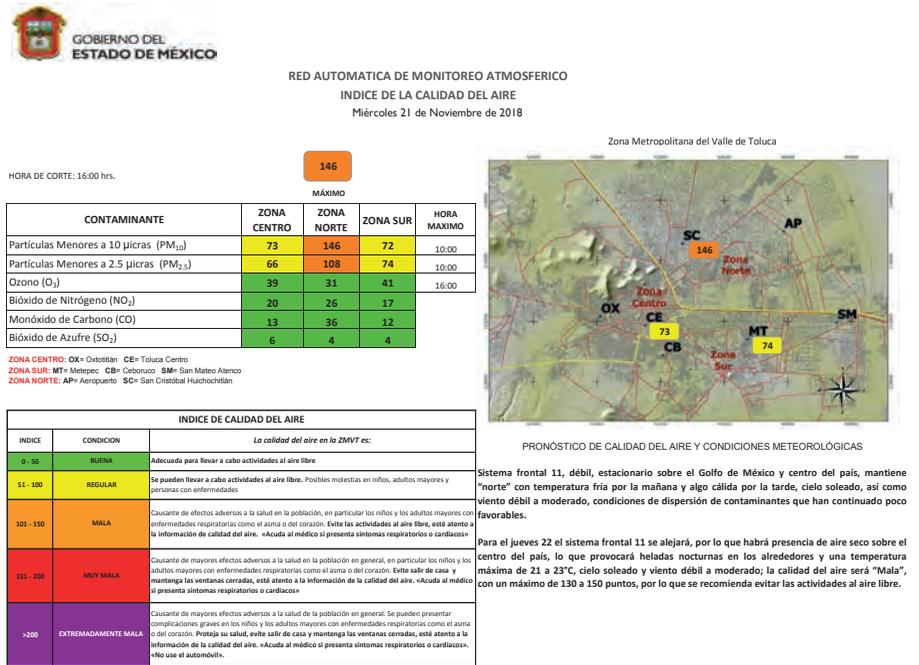
Figura 5.3 Ejemplo del reporte horario (24 noviembre 2018)



Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT (RAMA, 2018)

- Reporte diario. Se indica la fecha, periodo de análisis, concentración máxima, horario en el que se alcanzó la concentración máxima y puntos IMECA para cada contaminante dividido por zona. De igual manera se incluye un mapa de las estaciones de monitoreo, en donde se señalan las estaciones en donde se obtuvieron las concentraciones máximas por zona.

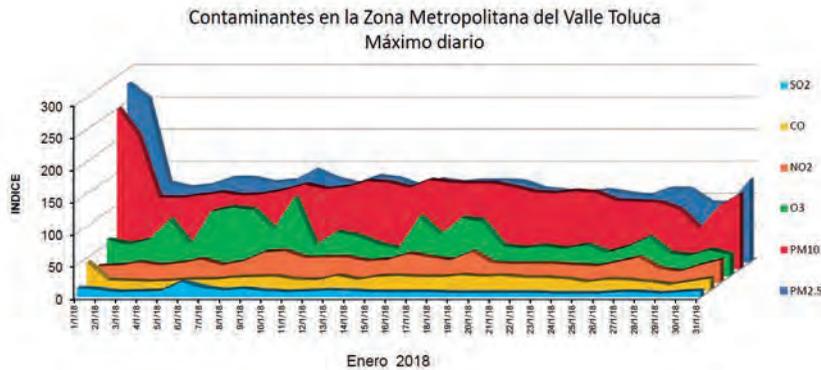
Figura 5.4 Ejemplo del reporte diario (miércoles 21 de noviembre de 2018)



Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT (RAMA, 2018)

- Reporte mensual. Se indica el periodo de análisis y el desglose por cada día del mes, incluyendo: puntos IMECA para cada contaminante (IMECA, contaminante, estación, zona), así como la concentración máxima y promedio de cada contaminante en el mes. De igual manera se incluye un gráfico que muestra la tendencia de cada rubro durante el mes.

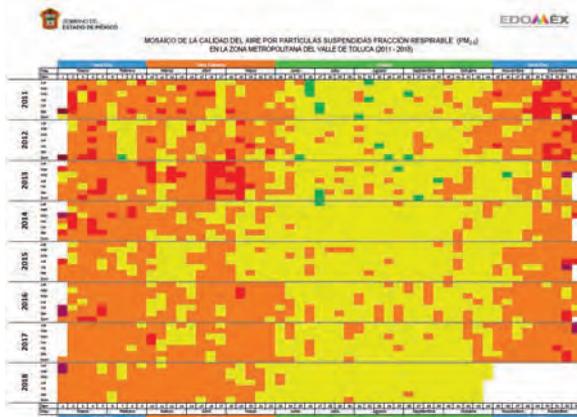
Figura 5.5 Ejemplo del reporte mensual (enero 2018)



Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT (RAMA, 2018)

- Mosaico. Se presenta, mediante el código de colores mencionado, el histórico de calidad del aire para ozono (1994-2018), $PM_{2.5}$ (2011-2018) y PM_{10} (1998-2018). Este se desglosa indicando la calidad del aire de cada día de los años incluidos en el reporte, además de que se muestra la temporada de cada periodo del año (seca fría, seca caliente, lluvias).

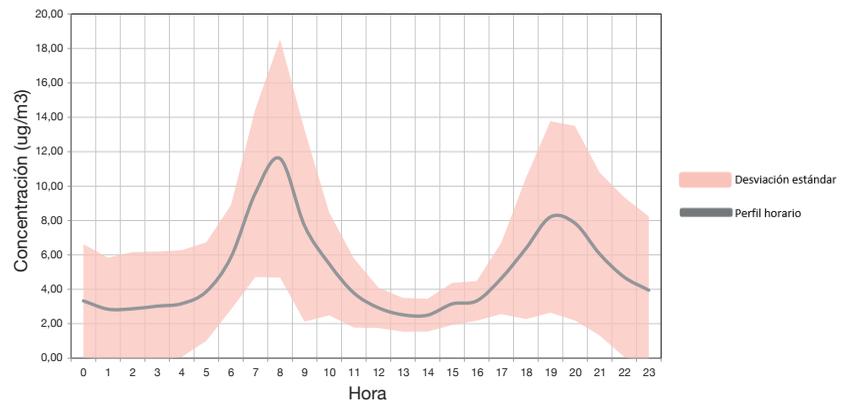
Figura 5.6 Ejemplo mosaico para $PM_{2.5}$ (2011-2018)



Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT (RAMA, 2018)

- Reporte de Red de Carbono Negro. Se presenta mensualmente e indica de manera ponderada la concentración de carbono negro en cada hora del día, junto con la desviación estándar para cada horario. Es importante mencionar que el último reporte disponible en la página es de octubre de 2017, por lo que está pendiente su actualización.

Figura 5.7 Ejemplo del reporte de la Red de Carbono Negro (octubre 2017)



Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT (RAMA, 2017)

Por su parte, en el portal del SIMAT se publica información de la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México en tiempo real, así como diversos reportes para conocer el histórico de cada contaminante. En este sitio web se puede consultar la calidad del aire de los municipios del Valle de Cuautitlán- Texcoco, en donde la Ciudad de México tiene estaciones de monitoreo. Aunque el Estado de México no controle la información presentada en el portal, los mexiquenses que viven en dichos municipios pueden consultar los distintos indicadores de calidad del aire para su zona y mantenerse informados. El SIMAT también cuenta con una cuenta de Twitter, con 294 mil seguidores (al 28 de septiembre de 2018), en donde continuamente se publica información sobre la calidad del aire en distintas zonas del Valle de México. Este número de seguidores se ha alcanzado debido a las campañas publicitarias del Gobierno de la Ciudad de México, y a la relevancia y frecuencia de las publicaciones que se manejan en la cuenta de Twitter. El interés en la cuenta tiene que ver también con la sensibilización que la población tiene con respecto a los problemas de calidad del aire y a la existencia del Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas que establece obligaciones a los ciudadanos.

5.3 Educación ambiental

Existen dos tipos principales de educación ambiental: formal y no formal. La educación formal es aquella contenida en los planes de estudio reconocidos por la Secretaría de Educación Pública (SEP) y demás instituciones de

educación superior del Estado. La educación no formal, en cambio, se refiere a la que es suministrada fuera de los planes de estudio autorizados, como la que se realiza mediante conferencias, ferias u otras actividades.

5.3.1 Educación formal

En 2005, la SEP publicó la Estrategia Nacional de Educación Ambiental, la cual propone el desarrollo e implementación de programas de educación ambiental formales y no formales, tanto en las actividades que se realizan en la escuela como en las actividades extraescolares. De igual manera se plantea que los proyectos de educación ambiental no formal deban trabajar como complemento de la educación formal.

Educación básica

En lo que respecta a la educación básica (preescolar, primaria y secundaria), desde 2006 se ha buscado incorporar la dimensión ambiental en programas y libros de texto. La Secretaría de Educación Pública (SEP) se propuso como una de sus metas prioritarias el fortalecimiento de acciones que fomenten el conocimiento y preservación del ambiente, tanto en la educación básica, como en los programas de formación de los docentes. Las principales acciones que la SEP ha emprendido en materia de educación ambiental son (SEMARNAT, 2006):

- Desarrollo del material de apoyo para los docentes.
- Asesoría por parte de expertos en educación ambiental para la elaboración de los libros de texto que se entregan de manera gratuita en las escuelas.
- Continua revisión y actualización del contenido de sustentabilidad ambiental en educación básica.

El plan y programas de estudio de la educación básica se dividen en tres secciones: Lenguaje y Comunicación, Pensamiento Matemático y Exploración y Comprensión del Mundo Natural y Social. En la tercera sección es en donde se ven reflejadas las acciones que ha emprendido la SEP en relación con la educación ambiental. Dependiendo de la edad de los estudiantes, se plantea alguno de los siguientes enfoques (SEP, 2017):

- Preescolar. El plan está orientado a promover el pensamiento reflexivo mediante la adquisición de actitudes y capacidades positivas hacia el cuidado del medio ambiente.
- Primaria. Se divide en dos áreas principales: Conocimiento del medio, diseñado para 1ro y 2do de primaria y ciencias naturales y tecnologías, para 3ro, 4to, 5to y 6to de primaria. La primera apunta a que los niños sean capaces de reconocer y comprender los diferentes fenómenos naturales y el impacto que tienen sus acciones en dichos eventos y, de esta manera, detonar su

creatividad para proponer acciones de prevención, cuidado y restauración. La segunda busca que los niños comprendan las implicaciones medioambientales de cómo interactúan los sistemas a través de diferentes procesos.

- Secundaria. El plan está orientado a que los jóvenes sean capaces de reconocer qué influencia tienen la ciencia y la tecnología en nuestro entorno.

Educación media superior

La introducción de la educación ambiental en las instituciones educativas mexicanas del nivel medio superior (bachillerato general, bachillerato tecnológico y profesional técnico) ha servido para impulsar el conocimiento ecológico en este nivel. La SEP ha llevado a cabo diversas actividades curriculares y extracurriculares orientadas a soportar y apoyar las estrategias en educación ambiental previamente definidas, las cuales incluyen (SEMARNAT, 2006):

- Programas enfocados en formar a los educadores que se encuentren a cargo de los programas de estudio relacionados con la materia ambiental.
- Cursos de formación (pedagógica y psicológica) compatibles con la metodología establecida en educación ambiental.
- Evaluaciones de calidad de la práctica educativa, de acuerdo con los objetivos establecidos.
- Generación de bibliografía relacionada con el medio ambiente.
- Diseño de programas, planes y acciones, tanto curriculares como extracurriculares, destinadas a mejorar el entorno ambiental.
- Cursos de capacitación sobre gestión ambiental y acceso a la información.

Adicionalmente, y en seguimiento a la Reforma de la Educación Media Superior, la SEP ha impulsado desarrollar las siguientes competencias en los alumnos (SEP, 2016):

- Favorecer al desarrollo sustentable con acciones responsables.
- Buscar soluciones de problemas ambientales en el ámbito local, nacional e internacional.
- Reconocer y comprender las implicaciones del daño ambiental.
- Analizar los impactos ambientales generados por actividades humanas.

Educación superior

La institucionalización de las preocupaciones en torno a temas medioambientales y relativos al desarrollo sustentable en la educación superior es de vital importancia, ya que es necesario formar especialistas que ayuden a resolver los problemas medioambientales desde cualquier

sector. Es por esto por lo que cada vez se ofrecen más programas relacionados con la sustentabilidad ambiental en las universidades del Estado de México. En la Tabla 5.3 se mencionan algunos grados ofrecidos en la Entidad:

Tabla 5.3 Grados en medio ambiente ofrecidos en el Estado de México

Universidad	Grado
Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM)	<ul style="list-style-type: none"> • Licenciatura en Ciencias Ambientales • Licenciatura en Geología Ambiental y Recursos Hídricos • Ingeniería en Sistemas Energéticos Sustentables • Maestría Profesional en Calidad Ambiental • Maestría en Ciencias Ambientales
Instituto Tecnológico Superior de Ixtapaluca (TESI)	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería Ambiental
Universidad Tecnológica del Valle de Toluca (UTVTOL)	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería en Tecnología Ambiental • Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental
Instituto Tecnológico de Toluca (ITTO)	<ul style="list-style-type: none"> • Maestría en Ingeniería del Medio Ambiente
Universidad Tecnológica de Nezahualcóyotl (UTN)	<ul style="list-style-type: none"> • Técnico Superior Universitario en Química, Área Tecnología Ambiental • Ingeniería en Tecnología Ambiental
Universidad Tecnológica Fidel Velázquez (UTFV)	<ul style="list-style-type: none"> • Técnico Superior Universitario en Energías Renovables, Área Solar • Técnico Superior Universitario en Química, Área Ambiental • Ingeniería en Tecnología Ambiental • Ingeniería en Energías Renovables
Universidad Intercultural del Estado de México (UIEM)	<ul style="list-style-type: none"> • Licenciatura en Desarrollo Sustentable

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de las páginas oficiales de cada universidad

5.3.2 Educación no formal

Como parte de la educación no formal impartida por el Estado de México, se encuentran las instituciones y medios específicos a través de los cuales los mexiquenses pueden informarse sobre el tema ambiental, pero que no están directamente dirigidos a la obtención de un grado del sistema educativo institucionalizado. También se cuenta con esfuerzos por parte de la sociedad civil que coadyuvan a las acciones realizadas por el Estado, pero no se encuentran identificados en su totalidad. Se sugiere coordinar acciones gubernamentales y civiles con el fin de evitar esfuerzos aislados y garantizar que la población de todas las edades y grupos sociales cuente con una educación ambiental relevante y de calidad.

En el país se cuenta con 59 Centros de Educación y Cultura Ambiental (CECA) los cuales son centros acreditados por la SEMARNAT a través del Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (CECADESU). Cada centro acreditado en el país atiende a una población entre 5 mil y 600 mil personas anualmente. El más relevante del Estado de México se encuentra en Xochitla, y cuenta con la participación de más de

40 mil niños y jóvenes en programas de educación ambiental y más de 4 mil voluntarios en actividades de conservación. En 2015, las actividades que los voluntarios realizaron fueron: preparación y mejoramiento de suelos, plantación de árboles, siembra y colocación de plantas, cosecha de cultivos, limpieza de semilla y creación de áreas decorativas con plantas, macetas y material reutilizado. En Xochitla también se imparten cursos de capacitación y talleres dirigidos a todo público en temas de sustentabilidad ambiental (Fundación Xochitla, 2015).

Por otro lado, la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México ofrece diversos instrumentos mediante los cuales los mexiquenses pueden educarse en temas medioambientales y fomentar una cultura de conservación de los recursos naturales. En el tema de calidad del aire se pueden encontrar los siguientes:

1. Cuidados al medio ambiente. A través de la Dirección de Concertación y Participación Ciudadana se llevan a cabo conferencias, talleres, exposiciones, cursos y concursos, con el objetivo de involucrar a los diversos sectores en tareas de prevención y protección del medio ambiente.
2. Calidad del aire. Se cuenta con el módulo o *stand* “ProAire”, tres botargas (tierra, agua y $PM_{2.5}$), lotería ambiental, separadores de libros y un taller de huerto orgánico. Lo anterior con la finalidad de involucrar a la población en actividades enfocadas a mejorar la calidad del aire y protección a la salud.

Figura 5.8 Material didáctico (botargas) para programas de educación ambiental



Botargas de izquierda a derecha: $PM_{2.5}$ invitado, Agua, Tierra
Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México

3. Conservación ecológica. Junto con la ciudadanía, la Coordinación General de Conservación Ecológica lleva a cabo acciones de conservación y actividades de educación ambiental dentro de áreas naturales y parques.
4. Centros de Educación Ambiental y Cambio Climático (CEACC). Fueron creados con el objetivo de crear conciencia en los ciudadanos sobre el impacto de la sociedad en el medio ambiente. Estos centros utilizan tecnología avanzada en proyecciones para fomentar un cambio en los hábitos de los mexiquenses de forma que contribuyan al cuidado de los recursos naturales. Los CEACC se encuentran ubicados en los municipios de Atlacomulco, Metepec, Texcoco, San Martín de las Pirámides y Valle de Bravo, y ofrecen una gran variedad de temas dentro de los que se encuentra la contaminación atmosférica.

Figura 5.9 Proyección de 360° de la Tierra



Fuente: Elaboración propia

5. Centro Ecoturístico y de Educación Ambiental (CEEA). Además de atender las temáticas de calentamiento global y especies en peligro de extinción, uno de los objetivos de estos espacios es mostrar cómo opera una estación de monitoreo atmosférico. Estos centros, ubicados en Coacalco, Tepotzotlán y Tlalnepantla de Baz, pueden servir para ampliar la difusión de temas de calidad del aire, y también aprovechar actividades lúdicas como la “rescateclota”¹ para difundir estos temas de manera más atractiva.

Figura 5.10 “Rescatecleta”

Fuente: Centro de Educación Ambiental Tlalnepantla de Baz
(KNAM, 2016)

6. Publicaciones (documentos técnicos). Se encuentran disponibles para consulta y descarga las siguientes publicaciones estatales: Inventario Estatal de Gases de Efecto Invernadero, seguimiento al Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas, Inventario de Emisiones a la Atmósfera, Cuencas Atmosféricas, Incendios Forestales y sus Emisiones a la Atmósfera, Informe sobre la Situación del Recurso Aire y Fuentes de Emisión de Carbono Negro, entre otros.
7. Entrevistas. El área de Comunicación Social de la Secretaría gestiona entrevistas en medios locales (radio, prensa y televisión) para que funcionarios públicos o expertos hablen sobre temas ambientales, incluyendo calidad del aire, y los mexiquenses se mantengan informados.

Por su lado, la Red Automática de Monitoreo Atmosférico del Valle de Toluca ofrece información actualizada sobre calidad del aire y tiene disponibles los siguientes servicios:

- Pláticas a estudiantes sobre contaminación atmosférica, donde también se explica cómo opera la red de monitoreo atmosférico.
- Visitas guiadas a las estaciones de monitoreo para que la población pueda conocer cómo funcionan los equipos de medición de contaminantes y de condiciones meteorológicas.
- Atención por parte de la Unidad Móvil para monitorear la calidad del aire de los municipios que no cuentan con cobertura.
- Acceso a cualquier persona interesada, al histórico de las mediciones de contaminantes criterio y de parámetros meteorológicos.

1. La “rescatecleta” consiste en pedalear de forma coordinada una bicicleta fija para resolver un problema ambiental proyectado en una pantalla.

Adicionalmente, la Coordinación del Programa Aire Limpio desarrolló la página web oficial del ProAire (<http://proaire.edomex.gob.mx>), la cual integra información acerca de la historia de dicho Programa, difusión de actividades que realizan los municipios para mejorar la calidad del aire, tipo de contaminantes, efectos sobre la salud y educación ambiental.

5.4 Percepción ciudadana

Con el objetivo de conocer la percepción que tiene la población en el tema de calidad del aire, se realizó una encuesta a 1,321 mexiquenses de 89 municipios del Estado de México (ver Tabla 5.4). La encuesta se difundió de manera electrónica a través de las redes sociales oficiales del Gobierno del Estado de México, incluidas las redes de la SMAGEM y afines.

Figura 5.11 Difusión de la Encuesta ProAire 2018-2030



Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México

Esta se desarrolló tomando como base encuestas sobre calidad del aire realizadas por Mitofsky², ETC Institute³ y Dinamia⁴, entes expertos en investigación social estratégica. Se tomaron preguntas directamente de las encuestas mencionadas, con motivo de obtener una comparación integral de cómo ha cambiado la percepción de la población mexiquense en los últimos 10 años (Mitofsky) y para contrastar con la percepción social de otros estados y ciudades (ETC Institute y Dinamia).

2. Consulta Mitofsky. Estado de México, Temas ecológicos. Marzo 2008.
3. ETC Institute. 2017 *Annual Air Quality Awareness Survey*. Febrero 2018.
4. Dinamia. Encuesta sobre calidad del aire Monterrey, Nuevo León. Diciembre 2013.

Tabla 5.4 Distribución de encuestados por Zona Poblacional

Zona Poblacional	Encuestados
ZM Valle de Toluca	586
ZM Valle de Cuautitlán-Texcoco	463
Atlacomulco	228
ZM Santiago-Tianguistenco	20
Ixtapan de la Sal	17
Zona Sur	5
Otro	2
Total general	1,321

Fuente: Elaboración propia

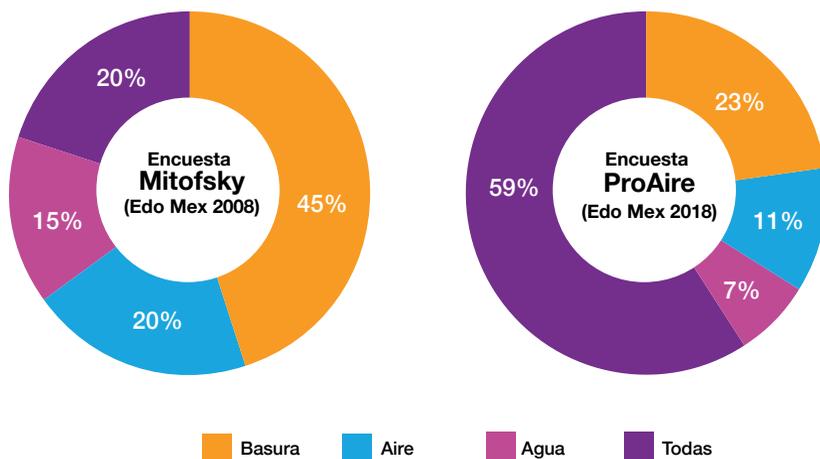
Esta encuesta tiene un valor únicamente cualitativo, debido a la metodología que se siguió, por lo que se sugiere en el futuro realizar un ejercicio presencial con una muestra representativa, para así obtener resultados cuantitativos. Además, se recomienda la realización de un análisis periódico para monitorear el impacto que las actividades de educación y comunicación tienen en la percepción de la población y actuar conforme a ello.

A continuación, se presentan resultados de la encuesta de percepción social realizada para este ProAire y su comparación con los resultados obtenidos en las encuestas de referencia. Cabe destacar que las primeras preguntas tuvieron como fin filtrar las respuestas para delimitar la evaluación a la población mayor a 18 años y que habitara o pasara tiempo considerable en el Estado de México.

Comparación de resultados: Estado de México 2008 contra Estado de México 2018

Las siguientes preguntas se obtuvieron de una encuesta realizada hace 10 años a 3,000 mexiquenses de la ZMVT y la ZMCT, con el objetivo de comparar cómo ha cambiado la percepción de la población en el tema señalado. La principal diferencia entre la aplicación de ambas encuestas es que la anterior se realizó de manera física a personas seleccionadas de distintos grupos y la presente se realizó por medio electrónico a quienes tuvieron acceso a la encuesta y mostraron interés en responderla.

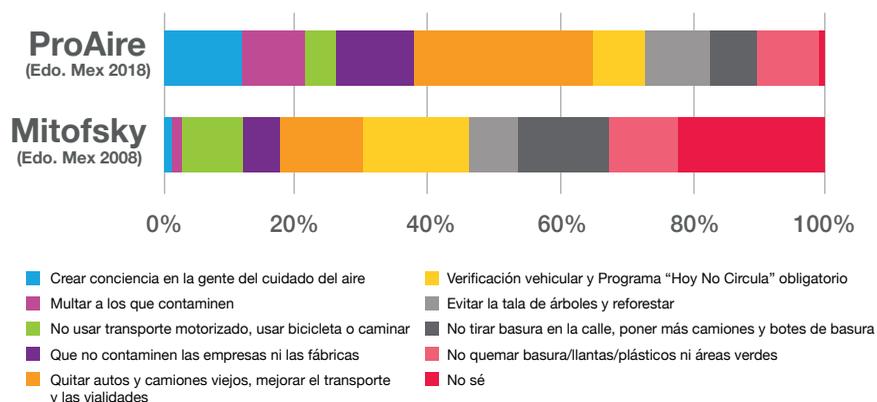
Gráfica 5.1 Resultados de la pregunta: “Para usted, ¿cuál es el problema de contaminación más grave?”



Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica 5.1 se puede observar cómo ha cambiado la percepción de la población en cuanto al problema más grave que presenta el Estado de México. Anteriormente la basura lideraba con el 45% de los votos, pero descendió hasta 23%, y ahora lidera el reactivo que incluye a todos los anteriores, con 59%. Esto podría indicar que: 1) se implementaron medidas efectivas para combatir el problema de basura o 2) los demás problemas se acentuaron, ocasionando que la población perciba que hay un problema general en el Estado, en vez de uno focalizado.

Gráfica 5.2 Resultados de la pregunta: “En su opinión, ¿cuál debería ser la medida prioritaria para reducir la contaminación del aire?”



Fuente: Elaboración propia

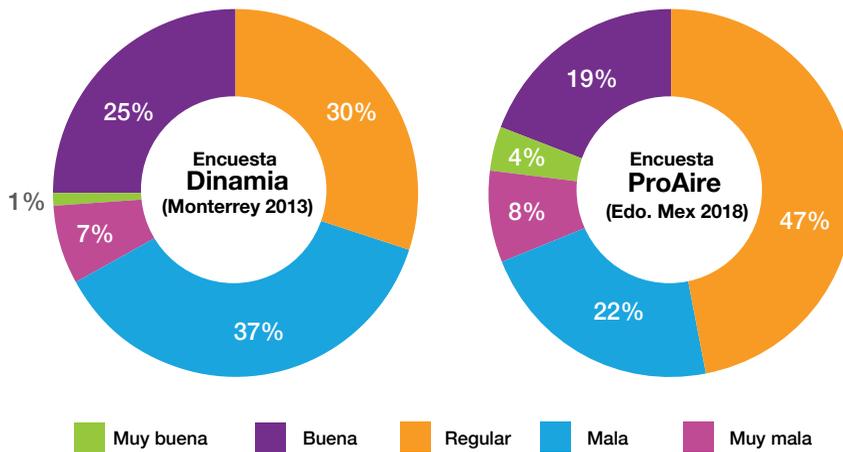
En la Gráfica 5.2 se pueden apreciar diferencias considerables en la percepción de los mexicanos hace 10 años y la actual. En primera instancia, en la encuesta de Mitofsky el 22% de la población encuestada no supo qué contestar, en comparación con la actualidad, donde únicamente el 1% seleccionó la opción de “No sé”. Esto puede significar que la población ahora está más informada en cuanto a qué actividades antropogénicas contribuyen a la contaminación atmosférica o al cambio en el tipo población que respondió a la encuesta, el cual se mencionó anteriormente. Otro aspecto positivo de este cambio es que en la encuesta anterior únicamente 1.3% de los mexicanos consideraron que crear conciencia en la gente sobre el cuidado del aire sería la medida prioritaria para reducir la contaminación del aire, en comparación con la encuesta actual, en donde un poco más del 12% seleccionó esa opción. Otro punto a destacar es el aumento porcentual (a más del doble) de la población que opina que retirar vehículos viejos de circulación y mejorar el transporte y las vialidades sería la opción más efectiva para mejorar la calidad del aire, pasando de 13% en 2008 a 27% en 2018.

Por otro lado, el porcentaje de población que considera que evitar el uso de transporte motorizado y favorecer el transporte no motorizado sería la principal opción para mejorar la calidad del aire se redujo a la mitad, pasando de 10% a 5% en estos 10 años. De igual manera, la percepción de que la verificación vehicular y el Programa “Hoy No Circula” obligatorio serían el medio más efectivo se redujo de 16% a 8%. Ocurrió lo mismo con “No tirar basura en la calle, poner más camiones y botes de basura”, pues pasó de 14% en 2008 a 7% en 2018.

Comparación de resultados: Zona Metropolitana de Monterrey (2013) contra Estado de México (2018)

Las siguientes preguntas se obtuvieron de una encuesta realizada a 1,400 estudiantes regiomontanos hace 5 años con el objetivo de comparar cómo cambia la percepción de la población de diferentes localidades en el tema ambiental. La principal diferencia entre la aplicación de ambas encuestas es que la anterior se realizó de manera física a individuos seleccionados de un segmento en particular y la presente se realizó por medio electrónico a cualquier mexicano que quisiera responderla.

Gráfica 5.3 Resultados de la pregunta: “En su opinión, ¿cómo es normalmente la calidad del aire donde vive?”

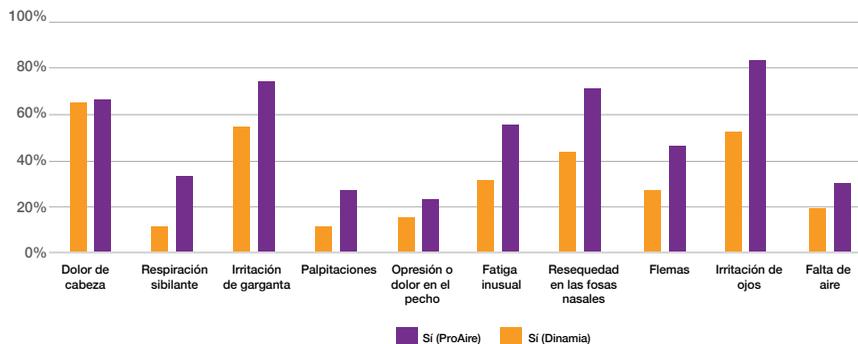


Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica 5.3 se puede observar una tendencia relativamente parecida entre ambas zonas, siendo la diferencia principal que la mayoría de los regiomontanos percibe que tienen una calidad del aire “mala”, mientras que los mexiquenses la perciben como “regular”. Sin embargo, ambos resultados tienden, de manera general, a inclinarse hacia una percepción negativa de la calidad del aire local.

El año de la encuesta de la Zona Metropolitana de Monterrey es el 2013⁵, cuando se presentó en dicha zona un rango de 105-310 en los valores máximos del IMECA (SIMA, 2014), mientras que el año de la encuesta del Estado de México es el 2018, cuando se presentaron valores entre 98-277 IMECA. Lo anterior indica una congruencia de los resultados obtenidos de ambas encuestas, pues los regiomontanos perciben y presentan una peor calidad del aire que los mexiquenses.

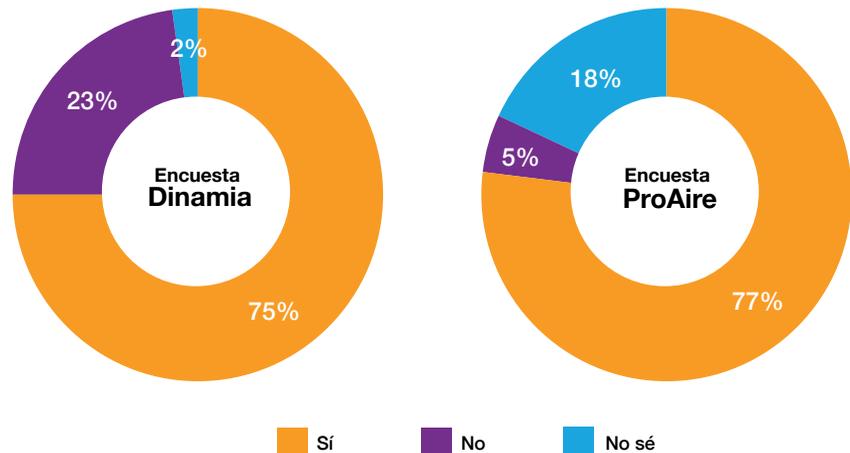
Gráfica 5.4 Resultados de la pregunta: “Durante los últimos meses, ¿ha sentido alguno de estos síntomas al andar en la calle?”



Fuente: Elaboración propia

5. Tomando en cuenta los meses de enero a septiembre, para comparar equitativamente con los valores disponibles del Estado de México en la fecha de análisis.

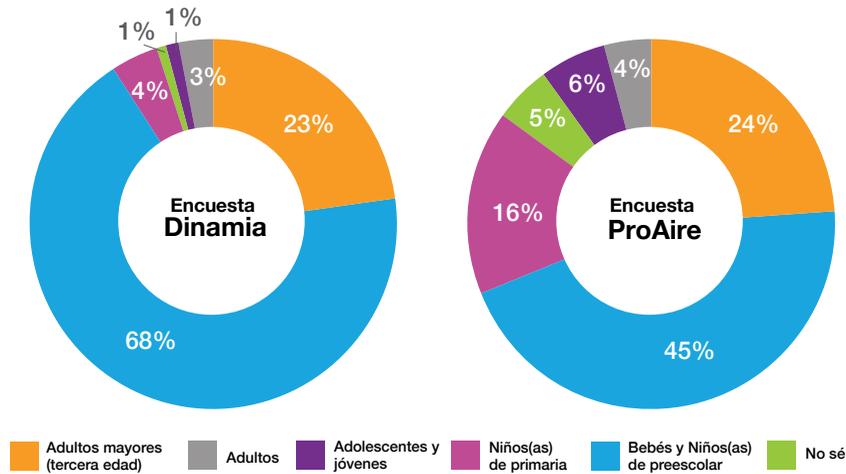
Gráfica 5.5 Resultados de la pregunta: “¿Considera que estos malestares pueden deberse a la contaminación del aire?”



Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica 5.4 se puede observar que es mayor la proporción de mexiquenses que indica haber presentado los síntomas mencionados. En la Gráfica 5.5 se muestra cómo tanto regiomontanos como mexiquenses asocian dichos malestares a la contaminación atmosférica. La principal diferencia entre ambos resultados radica en que el 18% de los mexiquenses no sabe si los malestares presentados pueden deberse o no a la contaminación atmosférica, mientras que en Monterrey el desconocimiento es únicamente del 2%. Esto puede deberse a las campañas de difusión y sensibilización que se realizan en el Estado de Nuevo León, que ayudan a que su población esté más informada en cuanto a los efectos sobre la salud generados por la contaminación atmosférica. Independientemente de lo anterior, se destaca que quienes respondieron la encuesta electrónica del ProAire 2018 reportaron una mayor prevalencia de síntomas asociados a la mala calidad del aire en la Entidad.

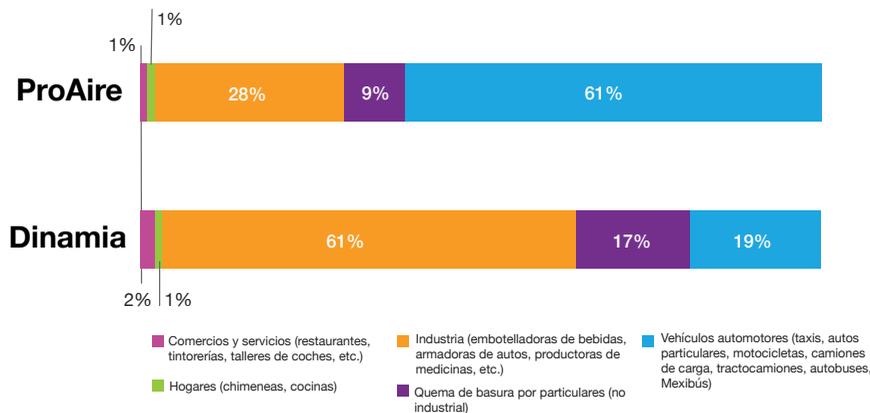
Gráfica 5.6 Resultados de la pregunta: “¿Cuál cree que sea el sector de la población más afectado por la contaminación atmosférica?”



Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica 5.6 se puede observar que la mayor parte de la población, en ambas zonas, percibe a los bebés y niños(as) de preescolar (5 años de edad y menores), seguido de los adultos mayores (65 años de edad en adelante), como el sector de la población más afectado por la contaminación atmosférica; de igual manera, los ciudadanos encuestados creen que los niños(as) de primaria serían el siguiente grupo más vulnerable. En cuanto a los regiomontanos, estos perciben que los adultos son más vulnerables, en comparación con los adolescentes y jóvenes; al contrario de los mexiquenses, quienes creen que los adolescentes y jóvenes serían más vulnerables que los adultos ante la contaminación atmosférica.

Gráfica 5.7 Resultados de la pregunta: “¿Cuál cree que es la principal fuente de contaminación del aire?”

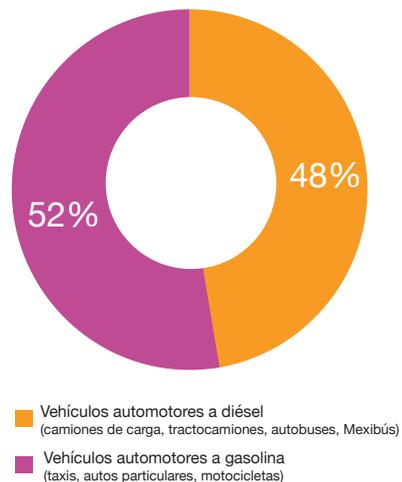


Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica 5.7 se presentan los resultados de la encuesta realizada a habitantes de la Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, por la empresa Dinamía y los de la encuesta realizada para el presente ProAire. Es importante resaltar la diferencia principal entre ambas zonas, pues los regiomontanos perciben a la industria como la principal fuente de contaminación del aire, mientras que los mexiquenses la atribuyen a los vehículos automotores. El porcentaje de la población que considera que los hogares, comercios y servicios son la principal fuente es mínimo en ambas zonas, correspondiendo a los menores porcentajes del total.

Para fines de esta encuesta, se realizó un desglose en una sección de la pregunta anterior, para que los mexiquenses pudieran indicar qué tipo de vehículo –y combustible– creen que es el más contaminante. Del 61% de ciudadanos del Estado de México que contestó que los vehículos automotores son los principales contaminantes, el 52% considera que los vehículos a gasolina contaminan más y el 48% atribuye mayor contaminación a los que utilizan diésel (Ver Gráfica 5.8).

Gráfica 5.8 Percepción de los mexiquenses sobre el tipo de combustible de vehículos automotores que contribuye más a la contaminación atmosférica (Encuesta ProAire 2018)

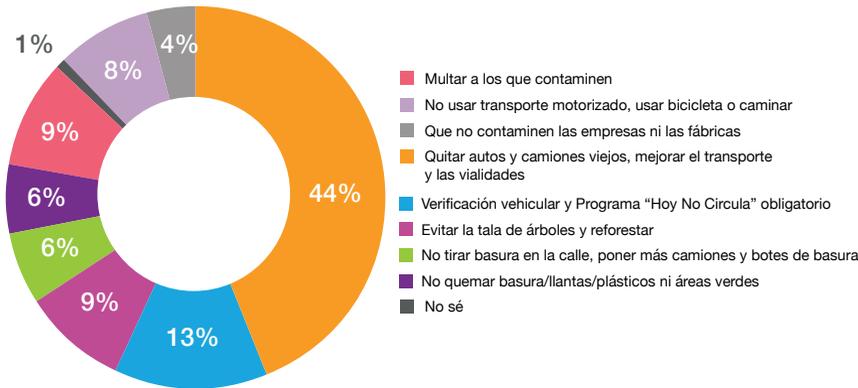


Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que, aun cuando únicamente el 5% de los encuestados respondió que evitar el uso de transporte motorizado y favorecer el transporte no motorizado sería la mejor opción para mejorar la calidad del aire (Ver Gráfica 5.2), el 61% del total seleccionó que los vehículos automotores son la principal fuente de contaminación atmosférica. Debido a esto, se realizó un análisis enfocado en ese 61% de la población (Ver Gráfica 5.7), para evaluar cuáles eran las medidas que consideraron prioritarias en el tema (ver Gráfica 5.9). Se puede observar que el 65% de este subsegmento seleccionó alguna medida relacionada con vehículos automotores⁶.

6. 44% - Quitar autos y camiones viejos, mejorar el transporte y las vialidades; 13% - Verificación vehicular obligatoria y Programa "Hoy No Circula"; 8% - No usar transporte motorizado, usar bicicleta o caminar.

Gráfica 5.9 Desglose de medidas prioritarias para el 61% de la población que considera a los vehículos automotores como la principal fuente de contaminación atmosférica

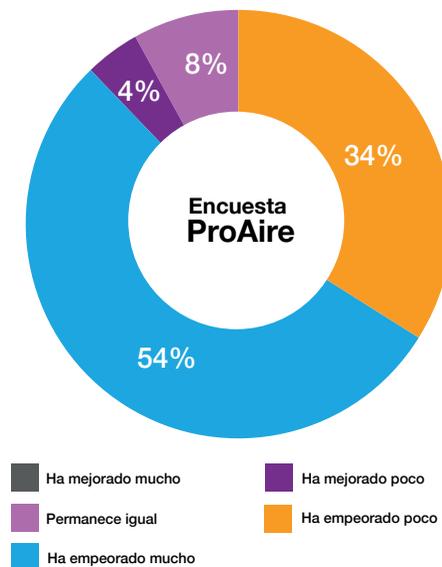


Fuente: Elaboración propia

Resultados individuales - Estado de México 2018

Las siguientes preguntas se realizaron para evaluar independientemente la percepción de los mexiquenses en el año en curso y no se comparan con los resultados de encuestas en otra Zona Metropolitana o levantadas en la misma población, hace 10 años.

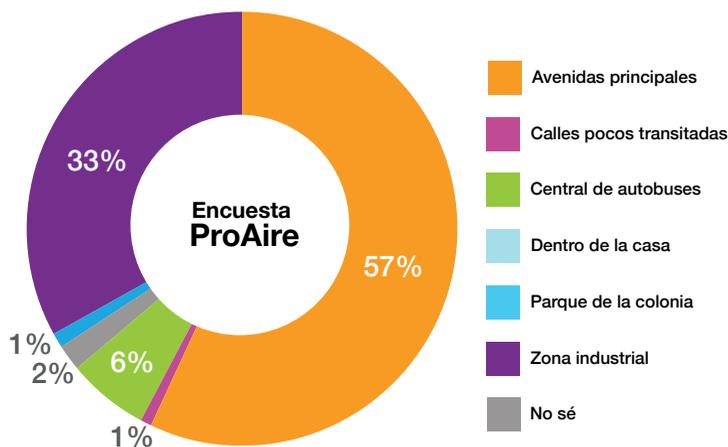
Gráfica 5.10 Resultados de la pregunta: ¿Cómo cree que la calidad del aire ha cambiado en los últimos años?



Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica 5.10 se puede observar que más de la mitad (54%) de los mexiquenses consideran que “ha empeorado mucho” la calidad del aire en los últimos años. En siguiente orden de magnitud, con 34%, seleccionaron la opción “Ha empeorado poco”, por lo que el 88% de la población encuestada opina que ha aumentado la contaminación atmosférica. Si se observan las tendencias presentadas en el Capítulo 2 del presente documento, se puede notar que, si bien la calidad del aire no es la ideal, no se ha presentado aumento en la concentración de ningún contaminante, sino que se ha mantenido estable la calidad del aire en los últimos años. Las respuestas recibidas podrían indicar que la población se encuentra más sensibilizada e interesada que antes con respecto al tema, por lo que ya perciben la mala calidad del aire que se presenta en el Estado de México.

Gráfica 5.11 Resultados de la pregunta: “¿En dónde cree que se corre más riesgo de respirar aire contaminado?”



Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica 5.11 se presenta la distribución de resultados en cuanto al lugar que la población encuestada considera que presenta el mayor riesgo de exposición a la contaminación atmosférica. Las avenidas principales lideran los resultados, al involucrar el 57% de las respuestas de los encuestados. En seguida, con 33%, se encuentra que los mexiquenses consideran que la zona industrial presentaría una mala calidad del aire. Según estos resultados, la población no cree que el interior de las casas sea un lugar en donde pueden estar expuestos a contaminantes atmosféricos, pues 0% de los encuestados seleccionó esta opción. Sin embargo, según los datos del inventario de emisiones del presente programa, casi la mitad de las partículas y de los compuestos orgánicos volátiles que se emiten, proviene de la combustión doméstica de gas L.P., carbón y leña, por lo que dentro de los hogares se esperaría, en general, una mala calidad del aire.

Conclusiones de los resultados de la encuesta ProAire 2018

Es de vital importancia dar atención a la educación y comunicación ambiental, sobre todo porque en los resultados de la encuesta se puede notar que la población mexiquense carece aún de ciertos conocimientos en tema de la contaminación atmosférica. Específicamente, se identificó que la población no conoce qué síntomas o malestares puede generar una mala calidad del aire en su fisiología, a pesar de haberlos percibido de manera consciente. Además, la mayor parte de la población no considera que los hogares o pequeños comercios sean la principal fuente de contaminación, cuando la mayor cantidad de partículas suspendidas (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y de compuestos orgánicos volátiles se emiten por la quema de carbón, leña y gas L.P. en los domicilios y establecimientos comerciales y de servicios. Por otro lado, la encuesta de Mitofsky arrojó que únicamente 1% de los mexiquenses encuestados consideraba que crear conciencia en la gente sobre el cuidado del aire debería ser una medida prioritaria para reducir la contaminación atmosférica; mientras en los resultados de la encuesta ProAire esta cifra aumentó hasta 12%. Lo anterior, aunado a la significativa reducción en la tasa de desconocimiento en este rubro entre ambas encuestas, indica que, en los últimos 10 años, la conciencia y conocimiento ambiental de los mexiquenses ha aumentado significativamente, puesto que consideran que la principal medida para alcanzar la meta y gozar de un aire limpio es a través de la información y sensibilización, así como del actuar de la población en general.

Además, aun si la calidad del aire del Estado de México se ha mantenido relativamente constante durante los últimos años, la población percibe que ahora se presenta mayor contaminación atmosférica. Lo cual encuentra su razón de ser en el aumento en la disponibilidad de información con respecto al tema y en la realización de labores de sensibilización en la población, elementos que otorgan al entorno una posición central entre las preocupaciones de la sociedad en general.

5.5 Análisis de la comunicación y educación de calidad del aire en el Estado

Comunicación

Todo proceso de comunicación implica un intercambio de información; en la comunicación ambiental, la información se utiliza activamente para informar a las personas con el propósito de entablar un diálogo y/o influir en sus conocimientos, actitudes e incluso comportamientos relacionados con el cuidado del medio ambiente, siempre buscando que las discusiones se den de manera bidireccional. Dado lo anterior, la comunicación ambiental se vuelve un instrumento de acción esencial, por lo cual es fundamental que ninguna opinión se marginalice. Además, en todo programa de comunicación ambiental debe existir evaluación continua para determinar si la audiencia está comprendiendo el mensaje de la manera en que este fue planeado, y se debe implementar una retroalimentación que permita mejorar la estrategia de entrega de la información.

En ese sentido, en el Estado de México se deben poner al alcance de la sociedad plataformas de discusión, donde no únicamente se informe sobre calidad del aire a la población, sino también se propicie el diálogo y se fomente la participación pública en el debate político. Estas plataformas podrían ser foros abiertos donde se invite a especialistas, actores involucrados y al público no especializado a participar en debates en los cuales no solamente se informe sobre contaminación atmosférica, los efectos que provoca en la salud humana y las acciones a seguir para protegerse de enfermedades, sino también que los ciudadanos sean conscientes de su contribución al deterioro de la calidad del aire. A través de estas plataformas se promueven cambios conductuales para la reducción de emisiones contaminantes y que la población pueda participar en el diseño conjunto de nuevas alternativas que conduzcan a un aire más limpio. De esta manera, se toman en cuenta distintos contextos y necesidades locales, fomentando así una sociedad más comprometida con su salud y con el medio ambiente.

Se debe garantizar el seguimiento y actualización continua al portal de la RAMA, así como de las redes sociales, de manera que estas páginas muestren información certera en tiempo real. En el caso del portal web, existe información que no se actualiza de manera constante, por lo que se vuelve crucial la publicación de toda información relevante a la medición de la contaminación atmosférica para consulta de la ciudadanía. Un elemento que se podría añadir al portal web es una pestaña con un mapa en tiempo real de incendios forestales, para alertar a la población de posibles fuentes naturales de contaminantes. Dicho mapa también podría mostrar en dónde se encuentran las principales fuentes de contaminación atmosférica, ya sea de manera estática o dinámica, para que los mexicanos puedan tomar acciones informadas.

Se sugiere hacer uso de diversos medios de comunicación como radio, televisión y medios impresos para transmitir mensajes relacionados con la contaminación atmosférica. Aunado a lo anterior, se puede considerar la posibilidad de desarrollar la presencia web de la SMAGEM para ampliar el alcance de la información de calidad del aire, abriendo cuentas en otras redes sociales como Instagram y YouTube, e incluso promocionando ciertas publicaciones relevantes de manera que lleguen a una audiencia más amplia.

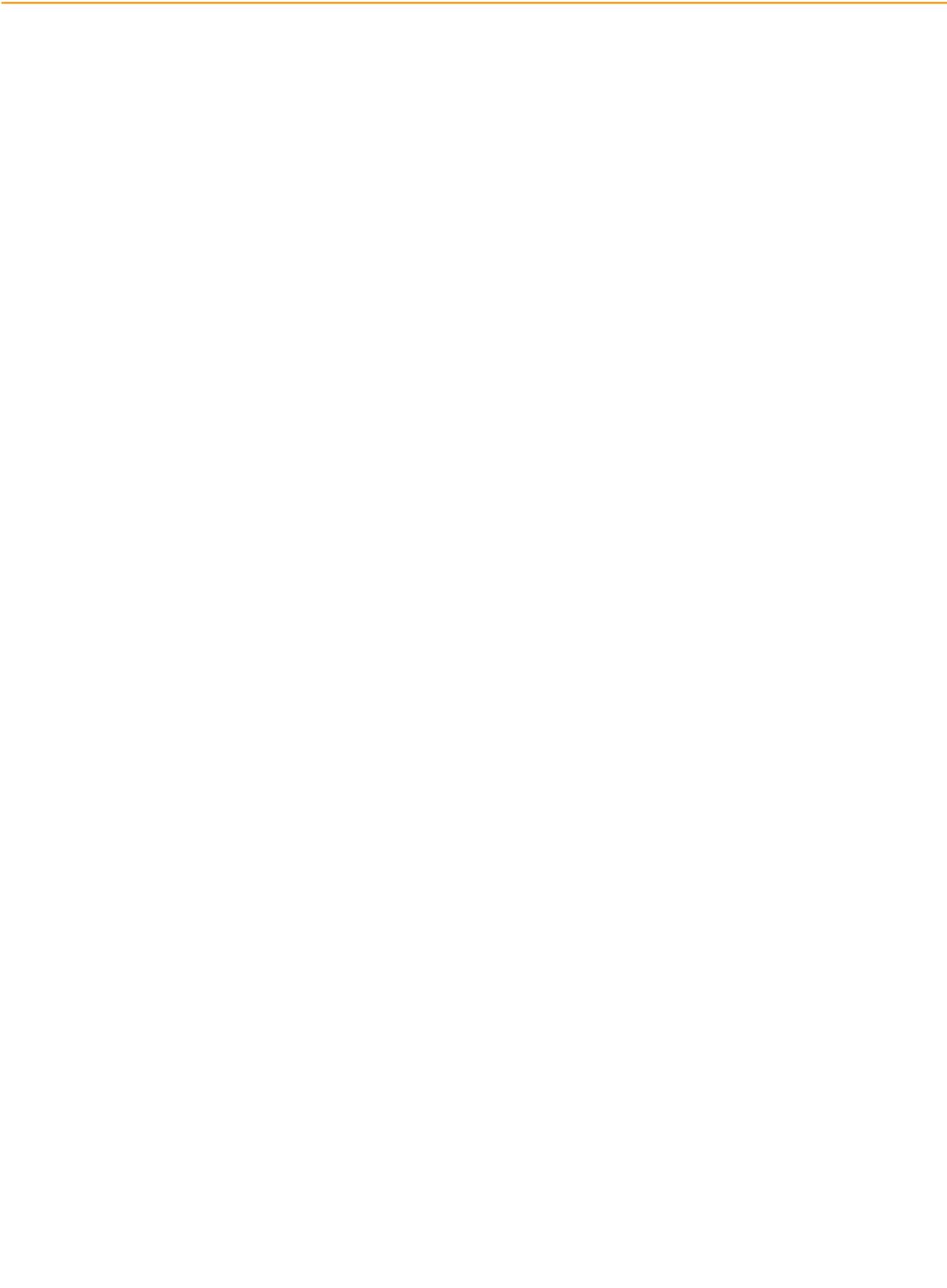
Educación Ambiental

Diversos estudios han sugerido que involucrar a la población en la realización e interpretación de campañas de monitoreo de calidad del aire, así como en proyectos de Ciencia Ciudadana, ayuda a los residentes a mejorar su entendimiento sobre contaminación atmosférica y a desarrollar cambios conductuales como respuesta a esta. Por lo tanto, se vuelve de suma importancia que la educación sea de tipo teórico-práctica, de manera que los alumnos realicen actividades que sean parte de un aprendizaje activo. Se debe promover la participación no únicamente de estudiantes, sino de la población general en este tipo de proyectos, pues, como se mencionó, la forma más efectiva de generar un cambio es involucrar a los propios ciudadanos en las campañas de monitoreo. Además, de manera inevitable, se aumentan los niveles de confianza de la población hacia su gobierno, los científicos especialistas en el tema y los tomadores de decisiones, lo que a su vez fomenta un mayor diálogo y una comunicación más eficaz.

Como se menciona en párrafos anteriores, la aplicación de una encuesta estadísticamente representativa es primordial para la realización de un diagnóstico sobre la percepción que tiene la población en el tema de calidad del aire. A partir de ello, se pueden elaborar medidas y acciones que incidan específicamente en aquellos temas en los cuales la población está menos informada. Posterior a la implementación de medidas dirigidas hacia la mejora en la comunicación y la educación ambiental, deberá llevarse a cabo un proceso de retroalimentación, que implique una continua revisión de los elementos comunicativos y educativos, así como de los resultados obtenidos, con la finalidad de realizar las modificaciones necesarias para el perfeccionamiento de los procedimientos. Para la medición de resultados se deberán aplicar, de manera sucesiva, encuestas a la población para analizar si se ha vuelto más consciente sobre los riesgos de la contaminación atmosférica, así como si ha habido un cambio de hábitos a raíz de las medidas implementadas.

REFERENCIAS:

- Fundación Xochitla. (2015). Educación para la sustentabilidad en Xochitla. Recuperado el 27 de septiembre, 2018, de <https://www.xochitla.org.mx/educacion/>
- KNAM. (2016). Centro de Educación Ambiental Ehecatl. Recuperado el 28 de septiembre, 2018, de <http://www.proyectoknam.com/centro-de-educacion-ambiental-ehecatl/>
- RAMA. (2017). *Reporte de Carbono Negro Octubre 2017*. Recuperado de [http://rama.edomex.gob.mx/sites/rama.edomex.gob.mx/files/files/BC_OCT_17\(1\).pdf](http://rama.edomex.gob.mx/sites/rama.edomex.gob.mx/files/files/BC_OCT_17(1).pdf)
- RAMA. (2018). Calidad del Aire. Recuperado de http://rama.edomex.gob.mx/Calidad_Aire
- SEMARNAT. (2006). *Estrategia de Educación Ambiental para la Sustentabilidad*. Recuperado de www.semarnat.gob.mx
- SEP. (2016). *Programas de Estudio para la Generación 2016 - 2019*. Recuperado de https://www.dgb.sep.gob.mx/informacion-academica/programas-de-estudio/documentobase/DOC_BASE_16_05_2016.pdf
- SEP. (2017). *Aprendizajes Clave para la Educación Integral*. Recuperado de https://www.aprendizajesclave.sep.gob.mx/descargables/APRENDIZAJES_CLAVE_PARA_LA_EDUCACION_INTEGRAL.pdf
- SIMA, N. L. (2014). aire.nl.gob.mx | Reportes Mensuales. Recuperado el 2 de noviembre, 2018, de http://aire.nl.gob.mx/rep_mensual.html
- UNESCO. (1975). *La Carta de Belgrado. Un marco general para la educación ambiental*. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0001/000177/017772sb.pdf>



CAPÍTULO

06

ESTRATEGIAS Y MEDIDAS

06 ESTRATEGIAS Y MEDIDAS

6.1 Introducción

Es necesario contar con una cartera integral de medidas y acciones concretas para mejorar la calidad del aire del Estado de México y revertir las tendencias de deterioro ambiental respecto de la contaminación atmosférica. Estas medidas deben estar enfocadas en reducir las emisiones contaminantes provenientes de las fuentes relevantes, así como en fortalecer las capacidades institucionales y de comunicación para garantizar la protección a la salud pública.

El enfoque propuesto en el Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de México 2018-2030 contempla la implementación de medidas y acciones de corto, mediano y largo plazo. Para que una política pública en materia de calidad del aire sea exitosa, requiere de constancia durante años.

La implementación de las medidas y acciones que se describen en este Capítulo implican un trabajo coordinado entre el gobierno estatal, a través de la Secretaría del Medio Ambiente, con las dependencias federales pertinentes, otras dependencias estatales relevantes y los gobiernos municipales. Del mismo modo se debe incluir la participación del sector privado, la academia, los medios de comunicación, las organizaciones no gubernamentales y la sociedad, para alcanzar las metas establecidas en el alcance del ProAire.

El proceso de diagnóstico y análisis técnico descrito en los Capítulos anteriores deriva en un conjunto de medidas y acciones cuya ejecución permitirá reducir las emisiones contaminantes y así mejorar la calidad del aire en la Entidad. Dichas políticas públicas se dividen en estrategias, medidas y acciones, siendo el principal diferenciador el grado de especificidad y subordinación entre los planteamientos de política pública. A continuación, se presenta una breve descripción de lo que en el presente ProAire se considera como estrategia, medida y acción:

- Estrategia: Eje rector del ProAire que define uno de los enfoques principales que serán tomados en cuenta para mejorar la calidad del aire en el Estado. Cada estrategia se subdivide en diferentes medidas.
- Medida: Planteamiento de política pública que permitirá mejorar la gestión de la calidad del aire dentro del marco definido por la

Estrategia a la cual pertenece. Se caracterizan por ser específicas, medibles y sujetas a un plazo de tiempo determinado. Las medidas pueden pertenecer a una única estrategia o ser transversales (concernir a dos o más estrategias). Cada medida contiene una o más acciones que en conjunto permitirán cumplir el objetivo específico de la misma.

- **Acción:** Es una de las tareas específicas que deberá ejecutarse como parte de la implementación de una medida. A cada acción le corresponde un indicador que permite evaluar su cumplimiento, ya sea cualitativa o cuantitativamente.

6.2 Objetivos y metas del ProAire

6.2.1 Objetivo general

Mejorar la calidad del aire en la Entidad y proteger la salud de los mexiquenses a través de estrategias, medidas y acciones específicas.

6.2.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos del ProAire representan los resultados cuantificables esperados de la ejecución de las medidas que se describen en el Capítulo. Estos objetivos permiten, a su vez, definir las líneas estratégicas y, en un futuro, sentarán las bases para dar seguimiento y evaluar el avance en la mejora de la calidad del aire de la Entidad y la reducción de emisiones. Los objetivos específicos son:

- I. Reducir la emisión de contaminantes a la atmósfera, principalmente de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y precursores de ozono (COV , NO_x), por medio de la implementación de medidas y acciones definidas para cada tipo de fuente emisora.
- II. Robustecer los programas de prevención y protección a la salud pública con el fin de reducir los impactos producidos por la contaminación atmosférica.
- III. Aumentar la disponibilidad y mejorar la certidumbre de la información sobre calidad del aire y emisiones de contaminantes a la atmósfera, que facilite la toma de decisiones y elaboración de políticas públicas.
- IV. Desarrollar las capacidades de gestión de calidad del aire del Estado, proporcionando las herramientas adecuadas para afrontar la problemática en cuestión, mediante la cooperación entre todos los órdenes de gobierno, el sector privado, la academia, organizaciones no gubernamentales y demás actores involucrados.
- V. Fortalecer la comunicación y educación ambiental, así como generar y difundir información relativa a temas de calidad del aire, para que la población en general sea capaz de realizar acciones orientadas a proteger su salud y reducir las emisiones de gases contaminantes.

6.3 Análisis de los ProAire existentes y acciones en curso

Un elemento clave en el planteamiento de medidas y acciones para mejorar la calidad del aire en el Estado de México, es reconocer y aprovechar esfuerzos, concluidos o en curso, realizados en lo que atañe a este tema. Para ello, se revisaron los ProAire existentes que consideraban parcial o totalmente al territorio del Estado de México para su ejecución, que son:

- Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México (2011-2020)
- Programa para Mejorar la Calidad del Aire del Valle de Toluca (2012-2017)
- Programa de Gestión Federal para Mejorar la Calidad del Aire de la Megalópolis (2017-2030)

Las medidas y acciones plasmadas en estos ProAire se han desarrollado a partir del análisis de las principales fuentes de emisión locales y regionales, por lo que resulta primordial considerarlos en la proyección del marco estratégico para mejorar la calidad del aire en el Estado de México. Es necesario identificar qué medidas y acciones previas han sido efectivas y cuáles requieren replantearse para aumentar su efectividad, al igual que las acciones en curso que podrían tener un impacto significativo en años subsiguientes, para retomarlas en el presente Programa. La Tabla 6.1 resume las medidas y acciones de los ProAire anteriores que sirvieron como base para enriquecer la ruta a seguir para mejorar la gestión de la calidad del aire en la Entidad y de esta manera dar seguimiento a los esfuerzos previos.

Tabla 6.1 Medidas previas y en curso retomadas de ProAire existentes

ProAire	Principales medidas retomadas
Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México (2011-2020)	<p>Medida 5. Actualización del Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas.</p> <p>Medida 14. Modernización y homologación del programa de verificación vehicular.</p> <p>Medida 15. Fortalecimiento del programa de sustitución de convertidores catalíticos.</p> <p>Medida 17. Promover el uso de vehículos híbridos y eléctricos para uso particular, de transporte público y de carga.</p> <p>Medida 21. Renovación de vehículos a diésel con sustitución de motores y adaptación de sistemas de control de emisiones.</p> <p>Medida 25. Impulso de los programas de autorregulación para las empresas con flotas de vehículos a diésel.</p> <p>Medida 26. Incremento del uso de energía solar para calentamiento de agua.</p> <p>Medida 30. Planeación de las redes de transporte como un solo sistema metropolitano.</p> <p>Medida 59. Reducción de emisiones por fugas de gas L.P. en actividades de distribución y llenado, así como en instalaciones domésticas, comerciales y en el transporte.</p>

<p>Programa para Mejorar la Calidad del Aire del Valle de Toluca (2012-2017)</p>	<p>Medida 9. Reforzar el Programa de Verificación Vehicular Obligatoria. Medida 11. Modernización, reordenamiento y establecimiento de rutas de transporte público de pasajeros y de carga. Medida 12. Incorporación de vehículos con bajas emisiones en la flota vehicular privada y de uso intensivo. Medida 14. Fortalecer los esquemas de autorregulación, inspección y vigilancia en la industria. Medida 20. Eficientar, mantenimiento y ampliación de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Medida 21. Actualizar el Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Medida 24. Fortalecer la educación ambiental para el desarrollo sustentable en materia de calidad del aire. Medida 27. Fomentar la reducción de emisiones por el uso de leña y carbón, promoviendo el uso de equipos más eficientes para la cocción de alimentos en casas y establecimientos.</p>
<p>Programa de Gestión Federal para Mejorar la Calidad del Aire de la Megalópolis (2017-2030)</p>	<p>Medida 8. Sustituir combustibles fósiles por energías renovables para generación de electricidad. Medida 9. Prohibir el suministro y quema de combustibles líquidos industriales con más de 0.05% de azufre. Medida 10. Reducir las emisiones en las industrias del sector del cemento. Medida 14. Reducir las emisiones en la industria de la celulosa y papel. Medida 22. Requerir a los grandes generadores de viajes la elaboración e implementación de planes de movilidad sostenible. Medida 23. Introducir autobuses urbanos de ultra bajas emisiones y cero emisiones. Medida 26. Armonizar y elevar la efectividad de los programas de verificación vehicular en la Megalópolis. Medida 27. Armonizar y elevar la efectividad de los programas de detección de vehículos altamente contaminantes en vialidad. Medida 29. Reducir el uso y fugas de gas L.P. en el sector doméstico, comercial y de servicios. Medida 30. Reducir el uso de leña y carbón en hogares. Medida 31. Limitar el contenido de COV en recubrimientos arquitectónicos y automotrices, pinturas, tintas y otros productos de consumo residencial, comercial y de servicios. Medida 32. Eliminar la aplicación de pintura automotriz al aire libre. Medida 33. Reducir emisiones en bancos de materiales pétreos. Medida 34. Desarrollar e implementar programas de contingencias ambientales atmosféricas y programas estacionales preventivos. Medida 36. Establecer una agenda normativa prioritaria para actualizar y expedir normas.</p>

Fuente: Elaboración propia a partir de los Programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Valle de Toluca (SMAGEM, 2012), de la Zona Metropolitana del Valle de México (Comisión Ambiental Metropolitana, 2011) y de la Megalópolis (SEMARNAT, 2017)

6.4 Estrategias del ProAire 2018-2030

Con la finalidad de brindar apoyo para la formulación del ProAire y eventualmente apoyar la vigilancia del cumplimiento de las estrategias, medidas y acciones contenidas en el Programa, la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México lideró la conformación de un grupo de trabajo multidisciplinario, denominado Comité Núcleo del ProAire. El Comité Núcleo está integrado por autoridades del gobierno federal, estatal y municipal, así como representantes de la academia e instituciones de investigación, el sector privado y la sociedad civil.

Figura 6.1 Integración del Comité Núcleo del ProAire

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, durante la elaboración del ProAire se realizó un foro de trabajo, en el que intervinieron el Comité Núcleo, dependencias y funcionarios de los tres órdenes de gobierno, especialistas y actores clave de los sectores industrial, comercial y de servicios, institutos de investigación y organizaciones no gubernamentales. La finalidad del foro fue plantear las medidas y acciones tendientes a prevenir, controlar, reducir y mitigar las emisiones contaminantes a la atmósfera de origen antropogénico y natural, tomando en cuenta el diagnóstico generado en los capítulos anteriores. El producto de este trabajo se resume en 13 medidas y 96 acciones, agrupadas en ocho estrategias que representan los ejes rectores del ProAire. También se incluyen una serie de recomendaciones que podrán implementarse a lo largo del periodo de aplicación del Programa, según los avances en la implementación de las medidas y las necesidades del Estado.

Figura 6.2 Foro Estatal de Validación de Estrategias, Medidas y Acciones ProAire Estado de México 2018-2030

Fuente: Elaboración propia

Las estrategias que se enlistan en la Tabla 6.2 se sustentan en el diagnóstico de la calidad del aire, el inventario de emisiones, el análisis de las capacidades institucionales y los impactos a la salud pública por la contaminación del aire. Aunque las medidas estén agrupadas en estas

estrategias, se debe reconocer que la mayoría de las medidas tienen un carácter transversal, por lo que pueden concernir a más de una.

Cada estrategia del ProAire requiere de un esfuerzo en equipo por parte de los diferentes actores involucrados que, en conjunto, serán los responsables de obtener una reducción en las emisiones de fuentes móviles, fijas, naturales y de área, además de fortalecer las capacidades institucionales para la gestión de la calidad del aire y concientizar a la población en general.

Tabla 6.2 Estrategias del ProAire

No.	Estrategia
1	Reducción de emisiones en fuentes móviles
2	Reducción de emisiones en fuentes fijas
3	Reducción de emisiones en fuentes de área
4	Reducción de emisiones en el sector doméstico, comercial y de servicios
5	Desarrollo urbano
6	Protección a la salud
7	Fortalecimiento institucional y financiamiento
8	Comunicación y educación ambiental

Fuente: Elaboración propia

Los elementos que definen a cada una de las estrategias son los siguientes:

Estrategia 1. Reducción de emisiones en fuentes móviles

Tiene como objetivo principal mejorar la eficiencia energética y el control de emisiones en el transporte motorizado, ya sea público o privado, a la vez que se promueven y ofrecen alternativas integrales de transporte no motorizado. Incluye el fortalecimiento de programas enfocados en evaluar, controlar y restringir las emisiones contaminantes de este sector.

Estrategia 2. Reducción de emisiones en fuentes fijas

Busca disminuir el impacto del sector industrial de la Entidad sobre la calidad del aire. La estrategia aspira a encaminar a las fuentes puntuales o fijas hacia el uso de combustibles más limpios y la implementación de tecnologías para el control de emisiones, dentro de un marco de autorregulación, inspección y vigilancia.

Estrategia 3. Reducciones de emisiones en fuentes de área

Propone la implementación de medidas y acciones necesarias para reducir las emisiones provenientes de fuentes de área, las cuales, si bien pueden ser difíciles de controlar, pueden abordarse a través del manejo forestal sustentable, prácticas agrícolas holísticas y la protección y restauración de ecosistemas y suelos degradados, entre otras opciones.

Estrategia 4. Reducción de emisiones en el sector doméstico, comercial y de servicios

La finalidad de la estrategia es reducir las emisiones provenientes de fuentes en el sector doméstico, comercial y de servicios; estas instalaciones emisoras de contaminantes son pequeñas, numerosas y dispersas, por lo que se proponen medidas basadas en la migración a tecnologías más limpias, el manejo integral de las fuentes emisoras y esquemas de autorregulación que permitan controlar las emisiones contaminantes.

Estrategia 5. Desarrollo urbano

Aborda el problema de la calidad del aire en el Estado por medio de medidas y acciones tendientes a favorecer el desarrollo urbano sustentable. La estrategia se basa en una planeación urbana sólida, la compactación de las áreas metropolitanas y la implementación de programas de movilidad que favorezcan el transporte no motorizado y de bajas emisiones, al mismo tiempo que se disminuye el uso de vehículos automotores per cápita.

Estrategia 6. Protección a la salud

Tiene como meta fortalecer, mejorar y ampliar la protección a la salud de los mexiquenses. Se incluyen una serie de medidas y acciones enfocadas en determinar y dar seguimiento a los efectos de la contaminación atmosférica en la salud pública, así como prevenir los riesgos sanitarios asociados a la calidad del aire.

Estrategia 7. Fortalecimiento institucional y financiamiento

Busca fortalecer desde distintas perspectivas a las dependencias involucradas en la ejecución y seguimiento de las medidas del ProAire. A través de esta estrategia es posible aumentar las capacidades técnico-científicas, económicas y legales del personal operativo, para abordar la gestión de calidad del aire con un enfoque actualizado a la situación del Estado.

Estrategia 8. Comunicación y educación ambiental

La estrategia aspira a incrementar la participación social y sensibilizar a la población en general sobre la reducción de la contaminación atmosférica, así como el impacto a la salud pública y la prevención de riesgos sanitarios asociados a la calidad del aire. Es necesario ayudar a la población a modificar sus hábitos y actividades diarias con base en las condiciones de la calidad del aire, mediante la educación formal, programas de educación ambiental no formal y la investigación científica.

6.5 Medidas del ProAire 2018-2030

Es necesario plasmar que algunas medidas tendrán un mayor impacto positivo sobre la calidad del aire del Estado en comparación con otras. Por lo tanto, las medidas se jerarquizaron considerando que, si bien todas son importantes, debe existir un grado de prelación en su ejecución, ya sea por la magnitud que tendrían en la reducción de emisiones contaminantes o porque son medidas fundamentales para la implementación de otras. Es así como se establecen las siguientes categorías:

- **Medidas críticas:** Son aquellas cuya implementación tendrá impactos significativos en la calidad del aire de la Entidad y coadyuvarán al cumplimiento de otras medidas. Estas medidas deberán ser resueltas en el corto plazo, pues son necesarias para satisfacer deficiencias apremiantes presentes en el Estado.
- **Medidas prioritarias:** Se identifican como prioritarias las medidas que siguen a las críticas en orden de importancia. Estas medidas deberán resolverse en el corto y mediano plazo, con el fin de encaminar al Estado de México a una mejora constante de la calidad del aire. Estas medidas buscan reducir las emisiones de fuentes principales de emisiones según el inventario, o atender deficiencias importantes identificadas durante el diagnóstico de la gestión de la calidad del aire en el Estado.
- **Recomendaciones auxiliares:** Se identifican como auxiliares a una serie de recomendaciones que servirán de ayuda o complemento de las medidas críticas y prioritarias para alcanzar los objetivos establecidos. Estas recomendaciones tienen la misma estructura que las medidas críticas y prioritarias, pero cuentan con la flexibilidad necesaria para ejecutarse en el corto, mediano o largo plazo según los avances del ProAire y las necesidades del Estado.

En la Tabla 6.3 se muestran las medidas críticas y prioritarias del ProAire 2018-2030. Esta priorización es resultado del trabajo del “Foro Estatal de validación de estrategias, medidas y acciones del ProAire Estado de México”, así como del análisis técnico y de factibilidad de implementación de las medidas y acciones.

Tabla 6.3 Medidas críticas y prioritarias del ProAire

Medidas críticas	Estrategia
Implementación de mecanismos de financiamiento y estímulos fiscales para las medidas descritas en el ProAire	Fortalecimiento institucional y financiamiento
Ampliación de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) del Estado de México	Fortalecimiento institucional y financiamiento
Fortalecimiento del programa de autorregulación para el transporte de carga ligera y pesada, así como de pasajeros, que utiliza diésel y circula en el Estado de México	Reducción de emisiones en fuentes móviles
Medidas prioritarias	Estrategia
Fortalecimiento del Programa de Verificación Vehicular Obligatoria (PVVO).	Reducción de emisiones en fuentes móviles
Implementación de mejores prácticas, tecnologías para el control de emisiones y acciones de mitigación en fuentes fijas	Reducción de emisiones en fuentes fijas
Fomento de mejores prácticas para la reducción de emisiones en el sector agrícola	Reducción de emisiones en fuentes de área
Impulso de tecnologías alternativas, combustibles más limpios y sistemas eficientes de distribución de combustibles en el sector doméstico, comercial y de servicios	Reducción de emisiones en el sector doméstico, comercial y de servicios
Establecimiento de Zonas de Bajas Emisiones en diferentes áreas metropolitanas dentro de la Entidad	Desarrollo urbano
Mejoramiento de la vigilancia epidemiológica respecto de padecimientos y enfermedades asociadas a la calidad del aire	Protección a la salud
Concertación de convenios de coordinación y colaboración entre los tres órdenes de gobierno y otros actores relevantes para la reducción de emisiones contaminantes	Fortalecimiento institucional y financiamiento
Integración en un único Sistema de Información Geográfica de los datos relevantes para la gestión de la calidad del aire	Fortalecimiento institucional y financiamiento
Implementación de Programas de Reducción de Emisiones Contaminantes	Fortalecimiento institucional y financiamiento
Promoción de temas relacionados a la calidad del aire dentro de los programas estatales de educación ambiental	Comunicación y educación ambiental

Fuente: Elaboración propia

6.5.1 Descripción de las medidas y acciones del ProAire

Para cada una de las 13 medidas críticas y prioritarias se anexa una ficha en donde se especifican: objetivo, justificación, meta e indicador general de la medida, los actores responsables y participantes, los beneficios esperados y algunos desafíos puntuales a considerar en su implementación. Esta información permite que las medidas puedan ejecutarse con base en los recursos técnicos, económicos y legales que las sustentan. Para cada medida se incluye la lista de acciones que la integran, el actor responsable de cada acción y los indicadores que permitirán su evaluación y seguimiento; finalmente, se anticipa un calendario de ejecución. Por condiciones inherentes a los tiempos de elaboración del presente ProAire, no se realizó la estimación de costos para las medidas propuestas.

Además, en las fichas se incorporan dos elementos que tienen como función principal guiar el orden de implementación de las medidas y, en medida de lo posible, definir el alcance o magnitud que tendrían sobre la mejora de la calidad del aire. Estos elementos son: (1) su categoría conforme a la jerarquización descrita anteriormente (medidas críticas o prioritarias); y (2) los prerequisites para la correcta implementación y ejecución de la medida; estos prerequisites corresponden a otras medidas o acciones que deben realizarse antes de que se pueda proseguir con la medida en cuestión.

Estrategia: Fortalecimiento institucional y financiamiento

Medida No.	Nombre de la medida	Categoría
1	Implementación de mecanismos de financiamiento y estímulos fiscales para las medidas descritas en el ProAire	Crítica
Objetivo	Definir estrategias de financiamiento que prioricen no solamente los gastos de inversión, sino también el gasto corriente o de operación del ProAire, y detonen la participación de otros actores en el financiamiento ambiental.	
Justificación	Tanto los fondos externos como los presupuestales tienden a priorizar el gasto de inversión, por lo que resulta imperativo priorizar mecanismos que permitan mantener las inversiones realizadas en el sector. En el año 2018, únicamente se dedicó el 0.46% de los recursos totales del Estado de México al cuidado del medio ambiente, incluyendo los rubros de agua, suelos (residuos sólidos urbanos) y calidad del aire. En el mismo año, el gasto federal en protección ambiental fue equivalente al 0.7% del PIB. Esto indica que hay espacio para incrementar la proporción del gasto público en el sector ambiental a nivel estatal, para así lograr ahorros sociales mayores y disminuir el deterioro ambiental.	
Desafíos por considerar	La magnitud de los recursos que son necesarios para atender la problemática de la calidad del aire, los altos niveles de inversión inicial requeridos y los costos operativos a largo plazo; los lineamientos y procedimientos para implementar los instrumentos económicos y los estímulos fiscales deben estar claramente definidos; asimismo, es necesario considerar que deben implementarse según las diferentes necesidades de cada sector.	
Meta e indicador de la medida	Incrementar el gasto presupuestal proporcional del 0.46% al 0.71% del presupuesto a final del periodo del ProAire.	
Beneficios esperados	Establecimiento de mecanismos y procedimientos claros y bien definidos para financiar las medidas descritas en el ProAire, incluyendo presupuestos federales y estatales, mecanismos de fondeo interno y donaciones/préstamos de organismos internacionales y el sector privado. Incremento en el porcentaje de recursos económicos destinados a la ejecución de programas y medidas para mejorar la calidad del aire. Incremento en el número de establecimientos industriales, comercios y servicios que implementan tecnologías alternativas más limpias y/o que incorporan tecnologías para el control y reducción de emisiones contaminantes dentro de sus procesos productivos y actividades económicas.	
Responsable	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México, a través de la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica	
Participantes	Secretaría de Finanzas; fideicomisos, bancos y organismos tanto nacionales como internacionales que ofrezcan opciones de financiamiento; el sector privado; organizaciones no gubernamentales; establecimientos industriales, comercios y servicios	
Zona de aplicación	Todo el Estado de México	
Prerrequisito	No aplica	

Estrategia: Fortalecimiento institucional y financiamiento

Medida No.	Nombre de la medida	Categoría
2	Ampliación de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) del Estado de México	Crítica
Objetivo	Incrementar la cobertura de la RAMA.	
Justificación	Actualmente el Estado de México cuenta únicamente con un Sistema de Monitoreo Atmosférico para la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Si bien existen estaciones en el área conurbada del Estado con la Ciudad de México, estas estaciones no son operadas por el Gobierno del Estado. Al observar las características del Estado (Capítulo 1) y los criterios de la NOM-156-SEMARNAT-2012, las regiones que deberían ser monitoreadas y no cuentan con ninguna estación son: la Zona Metropolitana de Santiago Tianguistenco, la Zona Sur, la Zona Poblacional de Atlacomulco, la Zona Poblacional de Ixtapan de la Sal y los municipios de Chimalhuacán y Cuautitlán Izcalli, por lo que es necesaria la ampliación de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA).	
Desafíos por considerar	Mantener el gasto corriente asociado a la operación y mantenimiento de las estaciones de monitoreo.	
Meta e indicador de la medida	Triplicar la cobertura de las áreas monitoreadas en el Estado por parte de la RAMA, con información que cumpla los requerimientos de la NOM-156-SEMARNAT-2012.	
Beneficios esperados	Contar con una base de datos de calidad del aire confiable y continua que facilite la toma de decisiones. Ampliar el monitoreo a las zonas del Estado de México que lo requieren y no cuentan actualmente con un sistema de monitoreo. Brindar continuamente información pertinente, confiable y de calidad sobre el estado de la calidad del aire a escala local.	
Responsable	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México, a través de la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica	
Participantes	Instituto Nacional de Energía y Cambio Climático, Red Automática de Monitoreo Atmosférico	
Zona de aplicación	Todos los municipios y Zonas Metropolitanas del Estado que por sus características requieran monitoreo de la calidad del aire	
Prerrequisito	Financiamiento para la operación de la RAMA	
Acción	Responsable	Indicador
2.1 Incrementar la cobertura de la Red, estableciendo Estaciones de Monitoreo en zonas metropolitanas y municipios que, por sus características de población y emisiones, deben contar con uno. Se deberán tomar en cuenta proyecciones de crecimiento de la mancha urbana y de la flota vehicular, junto con los criterios establecidos en la NOM-156-SEMARNAT-2012.	Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica	No. de estaciones en operación
2.2 Garantizar el buen funcionamiento de las estaciones de monitoreo, mediante la asignación de recursos humanos, financieros y tecnológicos suficientes para la operación y mantenimiento de la Red, así como para la validación y análisis de los datos.	Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica	Sistema en operación conforme a la Norma
2.3 Contar con 2 unidades móviles con el fin de brindar información sobre el estado de los contaminantes en sitios que no se encuentren cubiertos por la RAMA, incluyendo zonas rurales, permitiendo dar seguimiento a su evolución.	Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica	No. de unidades móviles operando

Estrategia: Reducción de emisiones en fuentes móviles

Medida No.	Nombre de la medida	Categoría												
3	Fortalecimiento del programa de autorregulación para el transporte de carga ligera y pesada, así como de pasajeros, que utiliza diésel y circula en el Estado de México	Crítica												
Objetivo	Mejorar los procedimientos de autorregulación del transporte de carga y de pasajeros, con la finalidad de reducir las emisiones de los vehículos a diésel que circulan en el Estado de México.													
Justificación	El transporte de carga ligera y pesada es responsable del 20.18% de las emisiones de óxidos de nitrógeno, uno de los precursores del ozono troposférico, en todo el Estado. Asimismo, de acuerdo con el diagnóstico de impactos sobre la salud, cerca del 70% del riesgo total conocido de cáncer por tóxicos del aire es atribuible a las emisiones de partículas del diésel, combustible utilizado por este tipo de transporte. Por lo tanto, se requiere un mecanismo para fomentar la instalación de tecnologías para el control de emisiones, y que los vehículos de carga y pasajeros estén sujetos a límites de emisiones más estrictos.													
Desafíos por considerar	Se debe considerar la complejidad para ejecutar cambios institucionales y la presión social y política que ejerce el sector. Otro factor importante son los obstáculos económicos para que los propietarios del transporte de carga y de pasajeros renueven sus unidades o instalen sistemas de control y reducción de emisiones.													
Meta e indicador de la medida	Incremento del 25% en el número de unidades incorporadas en el Programa de Autorregulación al final del periodo del ProAire.													
Beneficios esperados	<p>Renovación de unidades de transporte de carga y de pasajeros con placas metropolitanas y de otras entidades federativas que participan en el programa de autorregulación.</p> <p>Aumento de la participación de flotillas de transporte de carga y de pasajeros en el programa de autorregulación.</p> <p>Instalación de tecnologías para el control y reducción de emisiones en este tipo de vehículos.</p> <p>Reducción de emisiones previstas para los siguientes contaminantes:</p> <table border="1" data-bbox="526 1062 886 1138"> <thead> <tr> <th>PM₁₀</th> <th>PM_{2.5}</th> <th>SO₂</th> <th>CO</th> <th>NO_x</th> <th>COV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>X</td> <td></td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table>		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	X	X		X	X	X
PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV									
X	X		X	X	X									
Responsable	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México, a través de la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica													
Participantes	Secretaría de Movilidad; empresas propietarias del transporte de carga y de pasajeros; Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de México; Secretaría de Finanzas; empresas de soporte técnico													
Zona de aplicación	Todo el Estado de México													
Prerrequisito	Fortalecer el PVVO													
Acción	Responsable	Indicador												
3.1 Modificar el convenio del programa de autorregulación de vehículos a diésel de tal manera que solo puedan ingresar al programa unidades con menos de 15 años de antigüedad y que cumplan con niveles más estrictos que los especificados en la NOM-045-SEMARNAT-2016, equivalentes o menores a un coeficiente de absorción de luz de 1.2.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Convenio publicado												

<p>3.2 Instrumentar un programa de autorregulación escalonado en el cual las empresas que ya están inscritas y las nuevas, puedan acceder a diferentes beneficios, dependiendo de las acciones que realicen dentro del marco del programa.</p>	<p>Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México</p>	<p>Programa instrumentado</p>
<p>3.3 Implementar sanciones a flotillas de empresas dentro del programa de autorregulación que incumplan con los límites del convenio del programa o la NOM-045-SEMARNAT-2016¹.</p>	<p>Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México</p>	<p>No. de flotillas sancionadas</p>
<p>3.4 Ejecutar un programa de inspección y vigilancia a las Empresas de Soporte Técnico que realizan las verificaciones al transporte de carga dentro del programa de Autorregulación.</p>	<p>Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de México</p>	<p>Porcentaje de empresas inspeccionadas</p>
<p>3.5 Establecer las disposiciones técnicas y jurídicas para que las Empresas de Soporte Técnico de medición de opacidad sean autorizadas por la SMAGEM para participar en el programa de autorregulación; la SMAGEM deberá contar con un listado de las empresas autorizadas.</p>	<p>Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México</p>	<p>No. de empresas autorizadas</p>
<p>3.6 Instrumentar un sistema automatizado que vincule el registro, evaluación y seguimiento de las obligaciones, acciones y grados de cumplimiento a las que se sujetan los participantes en el Programa.</p>	<p>Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México</p>	<p>Sistema automatizado instrumentado</p>
<p>3.7 Promover la renovación del transporte de carga a unidades con tecnologías Euro VI o EPA 2010.</p>	<p>Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México</p>	<p>No. de unidades renovadas con tecnología Euro VI o EPA 2010</p>
<p>3.8 Incentivar la instalación de sistemas de control y reducción de emisiones, como convertidores catalíticos de oxidación, filtros de partículas y escapes ubicados en la parte superior de las unidades.</p>	<p>Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México</p>	<p>No. de sistemas de control y reducción de emisiones instalados dentro del marco del Programa</p>
<p>3.9 Implementar un programa de mecanismos financieros (préstamos a bajas tasas de interés, subsidios, etc.) para apoyar a los propietarios del transporte de carga y pasajeros en la renovación vehicular y la instalación de sistemas de control y reducción de emisiones².</p>	<p>Secretaría de Finanzas</p>	<p>No. de usuarios beneficiados por el programa de mecanismos financieros</p>

1. Por ejemplo, en caso de que una unidad de la flotilla supere en 20% el límite de la NOM o sea identificada como ostensiblemente contaminante, se le retirará la constancia Tipo "A" a toda la flotilla. En casos donde se rebase el límite del convenio pero no se supere el límite de la NOM en 20%, se impondrá una multa proporcional al tamaño de la flotilla si desea conservar el holograma tipo "A".
2. Por ejemplo, a través del programa de chatarrización de la Secretaría de Finanzas del Gobierno del Estado de México.

Calendario de cumplimiento:

Acciones	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
3.1		X										
3.2			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3.3			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3.4			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3.5		X										
3.6					X	X	X	X	X	X	X	X
3.7			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3.8		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3.9			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Estrategia: Reducción de emisiones en fuentes móviles

Medida No.	Nombre de la medida	Categoría												
4	Fortalecimiento del Programa de Verificación Vehicular Obligatoria (PVVO)	Prioritaria												
Objetivo	Garantizar la implementación y efectividad del PVVO para evaluar los niveles de emisiones contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas, diésel o cualquier otro combustible alternativo, que cuenten con placas del Estado de México y que circulen en la Entidad.													
Justificación	Las fuentes móviles son responsables del 51% de las emisiones de óxidos de nitrógeno y 77% de las emisiones de monóxido de carbono en la Entidad, además de contribuir significativamente en las emisiones de material particulado, dióxido de azufre y compuestos orgánicos volátiles. Tan solo se verifican tres millones de vehículos por semestre, por lo que resulta necesario incrementar el porcentaje de vehículos verificados que circulan en la Entidad.													
Desafíos por considerar	Modificación al Código para la Biodiversidad; fortalecimiento institucional para aplicación de las sanciones correspondientes; el incumplimiento a la normatividad vigente por parte de los CVECA, fallas atribuibles a proveedores de equipos; presupuesto disponible para la implementación de nuevas tecnologías y facilidad de migración a estas mismas/facilidad de salida de las tecnologías actuales.													
Meta e indicador de la medida	Incremento del 10% anual en el número de unidades verificadas.													
Beneficios esperados	Reducción de emisiones contaminantes por parte de vehículos automotores en circulación: <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <thead> <tr> <th>PM₁₀</th> <th>PM_{2.5}</th> <th>SO₂</th> <th>CO</th> <th>NO_x</th> <th>COV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table> Garantía de la correcta operación de los CVECA existentes. Mayor certeza y confiabilidad en los resultados que emiten los CVECA. Los vehículos que circulan en el Estado recibirán el mantenimiento preventivo y correctivo adecuado que permita mejorar su desempeño. Restricción efectiva de vehículos contaminantes.		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	X	X	X	X	X	X
PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV									
X	X	X	X	X	X									
Responsable	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México, a través de la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica													
Participantes	Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de México; Secretaría de Movilidad; Secretaría de Finanzas; Centros de Verificación de Emisiones Contaminantes Autorizados; gobiernos municipales													
Zona de aplicación	Todo el Estado de México													

Prerrequisito	No aplica	
Acción	Responsable	Indicador
4.1 Implementar un programa de reingeniería y automatización del software y hardware utilizados en los CVECA para disminuir la intervención humana.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Programa implementado
4.2 Operar una Unidad de Inteligencia Informática que ratifique la regularidad de las pruebas que se realizan en los CVECA. Las pruebas de verificación se realizarán en los CVECA concesionados, pero los datos de las pruebas se transmitirán electrónicamente a la Unidad de Inteligencia Informática, la cual validará y autorizará los resultados de las pruebas.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Porcentaje de pruebas autorizadas por la Unidad de Inteligencia
4.3 Establecer en el Código para la Biodiversidad del Estado de México que los vehículos que no cuentan con verificación vehicular y que sean detectados por las autoridades deberán ser retirados de circulación hasta el pago de la multa correspondiente.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Código para la Biodiversidad modificado
4.4 Establecer operativos en principales vialidades para detectar y sancionar a vehículos que incumplan el PVVO y vehículos ostensiblemente contaminantes cuyas emisiones excedan los límites máximos permisibles.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	No. de vehículos sancionados por incumplimiento el PVVO
4.5 Implementar la verificación obligatoria para todos los vehículos, incluyendo la inspección físico-mecánica y eliminando todas las excepciones del PVVO (excluyendo a vehículos híbridos y eléctricos).	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Porcentaje de vehículos del Estado de México verificados al cierre de cada periodo (semestre)
4.6 Incorporar a las motocicletas en el Programa de Verificación Vehicular Obligatorio (PVVO).	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	No. de motocicletas verificadas
4.7 Incrementar las sanciones correspondientes a los CVECA que incumplan los criterios mínimos de operación.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	No. de CVECA sancionados
4.8 Vigilar el cumplimiento de la normatividad aplicable en los CVECA a través de visitas de inspección y auditoría a los mismos.	Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de México	Porcentaje de los CVECA auditados
4.9 Ejecutar un programa de capacitación a inspectores y auditores.	Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de México	Porcentaje de inspectores y auditores capacitados
4.10 Promover el establecimiento de CVECA en ubicaciones estratégicas para cubrir las necesidades del Estado de México.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Porcentaje de cobertura de los CVECA
4.11 Implementar, en principales vialidades y puntos estratégicos, sensores remotos y sistemas de detección automática de placas para la detección de vehículos que incumplan con el PVVO y sancionar al momento a dichos vehículos.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	No. de vehículos sancionados por sensores remotos o sistemas de detección automática de placas

Estrategia: Reducción de emisiones en fuentes fijas

Medida No.	Nombre de la medida	Categoría												
5	Implementación de mejores prácticas, tecnologías para el control de emisiones y acciones de mitigación en fuentes fijas	Prioritaria												
Objetivo	Fomentar las mejores prácticas, el uso de sistemas de control, así como acciones de mitigación de emisiones para controlar la contaminación atmosférica producto de las actividades industriales, en caso de que las tecnologías de control sean eficientes.													
Justificación	El sector industrial es responsable del 37% de las emisiones de dióxido de azufre en el Estado, siendo relevantes las emisiones de la industria del cemento y la cal, y la industria de la celulosa y papel. Es necesario que las fuentes puntuales implementen tecnologías y mejores prácticas para el control y reducción de emisiones contaminantes y, en caso de continuar aportando significativamente a la contaminación atmosférica, ejecutar acciones de mitigación.													
Desafíos por considerar	Factibilidad técnico-económica para la implementación de los equipos de control de emisiones; renuencia del sector industrial para controlar sus emisiones por debajo de los límites normados o cuando no requieren regularlas.													
Meta e indicador de la medida	Disminución promedio del 30% de las emisiones en el sector industrial.													
Beneficios esperados	Reducción en las emisiones de gases contaminantes mediante la instalación de equipos de control y mejores prácticas, en específico para los siguientes contaminantes:													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PM₁₀</th> <th>PM_{2.5}</th> <th>SO₂</th> <th>CO</th> <th>NO_x</th> <th>COV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	X	X	X		X	
PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV									
X	X	X		X										
Responsable	El sector privado													
Participantes	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (fuentes de jurisdicción federal) Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México (fuentes de jurisdicción estatal)													
Zona de aplicación	Todo el Estado de México													
Prerrequisito	No aplica													
Acción	Responsable	Indicador												
5.1 Implementar un programa de instalación de tecnologías para el control de emisiones en fuentes fijas industriales con las mayores emisiones; incluir un inventario donde se identifiquen empresas y sectores susceptibles de implementar estas tecnologías.	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (fuentes de jurisdicción federal) Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México (fuentes de jurisdicción estatal)	Programa implementado												
5.2 Establecer convenios con sectores industriales clave para la implementación de mejores prácticas y tecnologías para el control y reducción de emisiones, así como para la implementación de acciones de mitigación una vez que cuenten con un elevado nivel de eficiencia en sus procesos de control.	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (fuentes de jurisdicción federal) Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México (fuentes de jurisdicción estatal)	No. de convenios establecidos												
5.3 Capacitar al personal de los establecimientos industriales, en el uso e implementación de tecnologías para el control de emisiones.	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (fuentes de jurisdicción federal) Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México (fuentes de jurisdicción estatal)	Porcentaje de establecimientos con personal capacitado												

Calendario de cumplimiento:

Acciones	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
5.1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5.2		X				X						X
5.3			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Estrategia: Reducción de emisiones en fuentes de área

Medida No.	Nombre de la medida	Categoría												
6	Fomento de mejores prácticas para la reducción de emisiones en el sector agrícola	Prioritaria												
Objetivo	Disminuir las emisiones asociadas a quemas agrícolas a través de la implementación de buenas prácticas.													
Justificación	De acuerdo con el inventario de emisiones, el sector agrícola contribuye con 22% y 25% de las emisiones totales de PM ₁₀ y PM _{2.5} ; la mayoría de estas emisiones proviene de las quemas agrícolas. El material particulado es uno de los principales contaminantes que deteriora la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca y la Zona Metropolitana de Cuautitlán-Texcoco, además de presentar efectos en la mortalidad y morbilidad de la población. Por estas razones es necesario fomentar mejores prácticas para reducir las emisiones en el sector agrícola.													
Desafíos por considerar	Conflictos y resistencia de personas que practican la quema agrícola no controlada.													
Meta e indicador de la medida	Incrementar en un 30% el área (hectáreas) en donde se implementan mejores prácticas en el sector.													
Beneficios esperados	Disminución en las emisiones de los siguientes contaminantes: <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <thead> <tr> <th>PM₁₀</th> <th>PM_{2.5}</th> <th>SO₂</th> <th>CO</th> <th>NO_x</th> <th>COV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>X</td> <td></td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table> Evitar la erosión del suelo, la pérdida de nutrientes y la reducción de la productividad causadas por la quema no controlada de campos agrícolas.		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	X	X		X	X	X
PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV									
X	X		X	X	X									
Responsable	Secretaría de Desarrollo Agropecuario													
Participantes	Agricultores; Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México													
Zona de aplicación	Municipios de las Zonas Metropolitanas del Estado de México con vocación agrícola.													
Prerrequisito	No aplica													
Acción	Responsable	Indicador												
6.1 Desarrollar un Plan de Acción para reducir la quema agrícola en predios cercanos a las zonas metropolitanas en colaboración con organizaciones de agricultores.	Secretaría de Desarrollo Agropecuario	Plan de Acción desarrollado												
6.2 Aplicar el Plan de Acción.	Agricultores	Porcentaje de áreas cubiertas con el plan de acción												
6.3 Implementar un sistema de comunicación para informar y coordinar las quemas controladas y escalonadas dependiendo del comportamiento de vientos.	Secretaría de Desarrollo Agropecuario	Sistema implementado												

6.4 Impartir talleres a agricultores para promover prácticas alternativas a la quema, como una adecuada disposición, aprovechamiento y valorización (composta, alimento para animales, camas en establos, producción de biomasa) de residuos agrícolas.	Secretaría de Desarrollo Agropecuario	No. de talleres de capacitación impartidos										
6.5 Operar un sistema de vigilancia/monitoreo para registrar a quienes reincidan en la quema agrícola no controlada.	Secretaría de Desarrollo Agropecuario	Sistema de vigilancia operando										
Calendario de cumplimiento:												
Acciones	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
6.1	X											
6.2		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6.3		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6.4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6.5		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Estrategia: Reducción de emisiones en el sector doméstico, comercial y de servicios

Medida No.	Nombre de la medida	Categoría
7	Impulso de tecnologías alternativas, combustibles más limpios y sistemas eficientes de distribución de combustibles en el sector doméstico, comercial y de servicios	Prioritaria
Objetivo	Disminuir las emisiones que se generan en los sectores doméstico, comercial y de servicios por las fugas de gas L.P., así como la quema de leña y carbón, a través del uso de tecnologías alternativas, combustibles más limpios y sistemas de distribución de combustibles más eficientes.	
Justificación	La combustión doméstica de gas L.P., leña y carbón genera el 34%, 42% y 18% de las emisiones totales de PM ₁₀ , PM _{2.5} y COV; las elevadas concentraciones de partículas y ozono son una de las principales problemáticas en la ZMVT y la ZMCT. Asimismo, el manejo y distribución del gas L.P. provoca el 10% de las emisiones de COV. En las Zonas Metropolitanas esto cobra relevancia dado que los COV son precursores del ozono, mientras que las partículas son el contaminante con mayor impacto sobre la salud de la población. Es así que es necesario impulsar mejores prácticas para el manejo y distribución de combustibles junto con el uso de tecnologías más limpias.	
Desafíos por considerar	Omisión por parte de las autoridades pertinentes en la implementación de los programas; desconocimiento de la población general de fugas en sus hogares/establecimientos; coordinación con empresas distribuidoras de gas L.P. y fabricantes de estufas / calentadores domésticos; apatía o falta de información de la población, lo cual dificulta la adopción de otras fuentes de energía; resistencia de la industria de gas L.P.	
Meta e indicador de la medida	Reducir en 20% las emisiones asociadas al uso de gas L.P., leña y carbón.	

Beneficios esperados	<p>Disminución de compuestos orgánicos volátiles derivados de fugas de gas L.P., en específico olefinas, que contribuyen a la formación de ozono en la atmósfera.</p> <p>Reducción de emisiones por el uso de combustibles fósiles con menores tasas de emisión de contaminantes en los sectores doméstico, comercial y de servicios.</p> <table border="1" data-bbox="503 357 913 434"> <thead> <tr> <th>PM₁₀</th> <th>PM_{2.5}</th> <th>SO₂</th> <th>CO</th> <th>NO_x</th> <th>COV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>X</td> <td></td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table>		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	X	X		X	X	X
PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV									
X	X		X	X	X									
Responsable	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México, a través de la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica													
Participantes	Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente del sector hidrocarburos; Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático; Secretaría de Desarrollo Urbano y Metropolitano del Estado de México; Secretaría de Desarrollo Social del Estado de México; empresas distribuidoras de gas natural Empresas distribuidoras de gas L.P.; unidad estatal y unidades municipales de Protección Civil; gobiernos municipales													
Zona de aplicación	Todos los municipios del Estado de México													
Prerrequisito	Convenio de colaboración con la ASEA para la gestión de la ampliación de la red de gas natura													
Acción	Responsable	Indicador												
7.1 Ejecutar campañas, en conjunto con empresas distribuidoras, enfocadas en la prevención y control de fugas de gas L.P. en los sectores doméstico, comercial y de servicios.	Protección Civil	Campañas ejecutadas												
7.2 Brindar cursos de capacitación dirigidos al sector de distribución de gas L.P., comercios y servicios para el uso adecuado de gas L.P.	Protección Civil	No. de cursos impartidos												
7.3 Implementar un programa de gran alcance para el calentamiento de agua con energía solar.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Programa implementado												
7.4 Fomentar, mediante incentivos e instrumentos económicos, el uso de calentadores y estufas eléctricas.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	No. de calentadores y estufas eléctricas instaladas												
7.5 Realizar un diagnóstico de factibilidad para determinar las zonas idóneas para ampliar la red de gas natural.	Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente	Diagnóstico realizado												
7.6 Gestionar la ampliación de la red de gas natural para que el servicio se encuentre disponible para un mayor porcentaje de la población, comercios y servicios.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	No. de km instalados de tubería de distribución de gas natural												
7.7 Promover el uso de gas natural en el sector doméstico, comercial y de servicios.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Porcentaje de establecimientos y hogares conectados a la red de gas natural												
7.8 Establecer en el Reglamento de Construcción del Estado de México la prohibición de chimeneas en inmuebles nuevos o adecuaciones a inmuebles existentes.	Secretaría de Desarrollo Urbano y Metropolitano del Estado de México	Reglamento de Construcción modificado												

7.9 Implementar un programa para promover el uso de carbón vegetal por encima de la leña y el carbón mineral mediante el aumento en la oferta del carbón vegetal y/o precios diferenciados entre dichos combustibles.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Programa implementado										
7.10 Ejecutar un programa de instalación de estufas ecoeficientes para reducir el consumo de leña y carbón.	Secretaría de Desarrollo Social del Estado de México	No. de estufas ecoeficientes instaladas										
Calendario de cumplimiento:												
Acciones	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
7.1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7.2		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7.3		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7.4		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7.5		X				X						X
7.6			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7.7			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7.8	X											
7.9		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7.10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Estrategia: Desarrollo urbano

Medida No.	Nombre de la medida	Categoría												
8	Establecimiento de Zonas de Bajas Emisiones en diferentes áreas metropolitanas dentro de la Entidad	Prioritaria												
Objetivo	Mejorar la calidad del aire en zonas específicas de las áreas metropolitanas, denominadas Zonas de Bajas Emisiones, dentro de las cuales se implementarán varias políticas públicas.													
Justificación	Las Zonas de Bajas Emisiones (ZBE) permiten ejecutar una serie de políticas públicas que inciden directamente en la reducción de las emisiones de fuentes móviles y fuentes de área, en particular comercios y servicios, dentro del área delimitada por la ZBE. Indirectamente también fomentan la implementación de mejores prácticas y la instalación de tecnologías para el control de emisiones en vehículos que circulan dentro de las ZBE y establecimientos que operan en su interior.													
Desafíos por considerar	Para que las Zonas de Bajas Emisiones sean efectivas, estas deben abarcar un área considerable respecto del total de la Zona Metropolitana, lo cual implica un reto logístico en materia de monitoreo de vehículos que entran a la ZBE. Es necesaria la colaboración con municipios para la implementación efectiva de las ZBE.													
Meta e indicador de la medida	Establecer Zonas de Bajas Emisiones en 59 municipios al fin del término del ProAire.													
Beneficios esperados	Disminución en las emisiones de contaminantes dentro de las Zonas de Bajas Emisiones: <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>PM₁₀</th> <th>PM_{2.5}</th> <th>SO₂</th> <th>CO</th> <th>NO_x</th> <th>COV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">X</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> </tbody> </table> Protección a la salud de grupos vulnerables.		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	X	X		X	X	X
PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV									
X	X		X	X	X									
Responsable	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México, a través de la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica													

Participantes	Gobiernos municipales; Secretaría de Salud; Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de México; Secretaría de Movilidad; Secretaría de Seguridad del Estado de México; Direcciones de Seguridad y Tránsito municipales	
Zona de aplicación	Zonas Metropolitanas del Estado de México	
Prerrequisito	Fortalecimiento del PVVO y el Programa de Autorregulación; convenios de colaboración con los municipios en los cuales se implementarán las ZBE.	
Acción	Responsable	Indicador
8.1 Desarrollar un estudio de factibilidad para determinar las áreas idóneas dentro de las Zonas Metropolitanas, para la implementación de Zonas de Bajas Emisiones en el Estado.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Estudio de factibilidad desarrollado
8.2 Elaborar un programa que especifique los lineamientos de operación de cada ZBE, incluyendo sanciones y la aplicación gradual y escalonada de las restricciones al acceso de vehículos con base en el color del engomado y su verificación vehicular, así como los lineamientos para la operación de fuentes de área, en específico comercios y servicios, dentro de la ZBE.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Programa elaborado para cada ZBE
8.3 Prohibir al transporte pesado de carga y pasajeros, que no se encuentre dentro del programa de autorregulación, el acceso a las ZBE.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	No. de vehículos de carga y vehículos pesados sancionados
8.4 Restringir el acceso a los vehículos no verificados a la ZBE todos los días de la semana.	Secretaría de Seguridad del Estado de México Direcciones de Seguridad y Tránsito municipales	No. de sanciones a vehículos no verificados
8.5 Ofrecer el ingreso a vehículos no verificados a través de un pase de un día, el cual costará una tercera parte de la verificación vehicular.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	No. de pases otorgados
8.6 Implementar esquemas de vigilancia y sanciones a quien incumpla los lineamientos de las ZBE.	Secretaría de Seguridad del Estado de México Direcciones de Seguridad y Tránsito municipales	No. de sanciones
8.7 Operar un programa de preferencia al peatón, uso de transporte público de bajas emisiones y transporte no motorizado dentro de las ZBE.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Programa de promoción operando
8.8 Expandir gradualmente el polígono de las ZBE.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Incremento en el área de los polígonos de las ZBE

Calendario de cumplimiento:

Acciones	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
8.1		X										
8.2			X									
8.3			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8.4			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8.5			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8.6			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8.7			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8.8							X					X

Estrategia: Protección a la salud

Medida No.	Nombre de la medida	Categoría
9	Mejoramiento de la vigilancia epidemiológica respecto de padecimientos y enfermedades asociadas a la calidad del aire	Prioritaria
Objetivo	Consolidar un sistema de vigilancia epidemiológica para identificar los padecimientos asociados a la contaminación atmosférica en el Estado de México y prevenir a la población, en especial a grupos vulnerables, sobre los riesgos asociados.	
Justificación	Si en 2016 se hubieran cumplido con los estándares de las NOM, se habrían podido evitar 2,200 muertes prematuras, 10,386 Infecciones Respiratorias Agudas y 1,688 egresos hospitalarios asociados a la calidad del aire en la ZMVT y ZMCT. Estos son indicadores de un problema de salud pública que requiere atención a través de un sistema de vigilancia epidemiológica para caracterizar la problemática y prevenir a la población. Estas estimaciones deben tomarse como un mínimo de incidencias atribuibles a la contaminación y es necesario incluir padecimientos y grupos de población adicionales a la evaluación.	
Desafíos por considerar	Necesidad de contar con la información necesaria para la evaluación de impactos a la salud; apatía de la sociedad civil; la diseminación efectiva de la información.	
Meta e indicador de la medida	Estudio bienal que incorpore información respecto de padecimientos y enfermedades asociadas a la calidad del aire.	
Beneficios esperados	Conocimiento profundo de los impactos a la salud por la contaminación del aire, lo que a su vez permite implementar acciones para proteger la salud de la población. Elaboración de estadísticas y análisis de datos sobre la mortalidad y morbilidad asociada al estado que guarda la calidad del aire.	
Responsable	Secretaría de Salud, a través del Centro Estatal de Vigilancia Epidemiológica y Control de Enfermedades	
Participantes	Secretaría de Salud Federal; Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios; Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	
Zona de aplicación	Todo el Estado de México	
Prerrequisito	Contar con información proveniente de la RAMA y otras instituciones relevantes	
Acción	Responsable	Indicador
9.1 Fortalecer las capacidades técnicas y administrativas del Centro Estatal de Vigilancia Epidemiológica y Control de Enfermedades (CEVECE).	Secretaría de Salud	Porcentaje de personal capacitado

Estrategia: Fortalecimiento institucional y financiamiento

Medida No.	Nombre de la medida	Categoría
10	Concertación de convenios de coordinación y colaboración entre los tres órdenes de gobierno y otros actores relevantes para la reducción de emisiones contaminantes	Prioritaria
Objetivo	Mejorar la gestión de la calidad del aire a través de la coordinación entre los tres órdenes de gobierno y los actores relevantes para reducir las emisiones contaminantes y mejorar la calidad del aire.	
Justificación	La implementación de las medidas y acciones del ProAire implican un trabajo coordinado entre el gobierno estatal, a través de la Secretaría del Medio Ambiente, con las dependencias federales pertinentes, otras dependencias estatales relevantes, los gobiernos municipales, el sector privado, la academia, los medios de comunicación, las organizaciones no gubernamentales y la sociedad. Por lo tanto, establecer convenios de colaboración incide en la reducción de emisiones de todos los contaminantes y en todas las fuentes, ya sean fijas, puntuales o de área.	
Desafíos por considerar	Identificar a los actores relevantes que necesitan participar en la gestión para mejorar la calidad del aire en la Entidad; varios de estos actores no pertenecen al rubro de medio ambiente, por lo que debe considerarse su posible falta de interés, así como definir claramente su papel en la implementación de las medidas del ProAire.	
Meta e indicador de la medida	Publicar cinco convenios de coordinación y colaboración con otras dependencias para la implementación de las medidas del ProAire.	
Beneficios esperados	Contar con convenios de coordinación que facilitan la implementación de medidas y acciones tendientes a mejorar la calidad del aire. Tener nexos de comunicación y cooperación para que actores relevantes participen en la gestión de la calidad del aire.	
Responsable	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México, a través de la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica	
Participantes	Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de México; otras dependencias, autoridades y programas federales, estatales y municipales en el rubro de medio ambiente o cuya participación se requiera.	
Zona de aplicación	Todo el Estado de México	
Prerrequisito	No aplica	
Acción	Responsable	Indicador
10.1 Fortalecer a la Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de México para que cuente con los recursos humanos, financieros e institucionales necesarios para que pueda realizar la inspección y vigilancia de fuentes móviles y fijas de jurisdicción federal.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Porcentaje de aumento en inspección y vigilancia respecto al año base
10.2 Celebrar un convenio para la asunción de funciones que ejerce la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) en materia de inspección y vigilancia de fuentes fijas, en específico en la industria del cemento y la cal, y la industria de la celulosa y papel, para que el Estado asuma estas atribuciones.	Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de México	Convenio específico publicado
10.3 Celebrar un convenio para la asunción de funciones que ejerce la SCT en materia de inspección y vigilancia de las emisiones provenientes del autotransporte pesado con placa federal, para que el Estado asuma estas atribuciones.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Convenio específico publicado

10.4 Celebrar un convenio de colaboración con la Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente, para la gestión de la ampliación de la red de gas natural y la ejecución de otras acciones del ProAire.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Convenio de colaboración publicado										
10.5 Establecer convenios de colaboración con gobiernos municipales para la implementación de las medidas del ProAire, proporcionando asesoría y apoyo tanto técnico como económico para la elaboración de planes de acción municipales.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	No. de convenios de colaboración con gobiernos municipales publicados										
10.6 Celebrar convenios de colaboración con los municipios pertinentes para la implementación de las Zonas de Bajas Emisiones.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Convenios de colaboración publicados										
10.7 Celebrar un convenio de coordinación que permita la colaboración entre la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica y PROBOSQUE para la ejecución de acciones tendientes a mejorar la calidad del aire.	Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica	Convenio de coordinación publicado										
Calendario de cumplimiento:												
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
10.1		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10.2			X			X						X
10.3			X			X						X
10.4	X					X						X
10.5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10.6			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10.7			X			X						X

Estrategia: Fortalecimiento institucional y financiamiento

Medida No.	Nombre de la medida	Categoría
11	Integración en un único Sistema de Información Geográfica los datos relevantes para la gestión de la calidad del aire	Prioritaria
Objetivo	Evaluar políticas públicas en materia de calidad del aire a partir de información georreferenciada.	
Justificación	El proceso para la elaboración de políticas públicas en materia de calidad del aire se eficientizará a través del uso e implementación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) único que integre toda la información relevante en materia de calidad del aire, e incorpore la actualización en tiempo real de los datos. De esta manera, el SIG incide en la reducción de emisiones contaminantes en todas las fuentes.	
Desafíos por considerar	La coordinación entre las distintas dependencias que cuentan con información relevante para la elaboración de políticas públicas en materia de calidad del aire.	
Meta e indicador de la medida	Contar con un Sistema de Información Geográfica en operación a partir de 2020.	

Estrategia: Fortalecimiento institucional y financiamiento

Medida No.	Nombre de la medida	Categoría												
12	Implementación de Programas de Reducción de Emisiones Contaminantes Implementación de Programas de Reducción de Emisiones Contaminantes	Prioritaria												
Objetivo	Desarrollar programas estatales enfocados en la atención y regulación de las diversas fuentes de emisión de contaminantes, involucrando a todos los sectores.													
Justificación	De acuerdo con los resultados del diagnóstico, las fuentes emisoras de contaminantes en el Estado son de naturaleza diversa y la reducción de emisiones debe atenderse desde diferentes perspectivas. Es así que se requieren Programas de Reducción de Emisiones Contaminantes integrales que garanticen esta disminución en las emisiones a través de la implementación de tecnologías para el control de emisiones, tecnologías más limpias y buenas prácticas; este tipo de acciones no atañen a una fuente en específico y su implementación debe englobar distintos sectores para potencializar sus beneficios. En específico, los convertidores catalíticos permiten reducir hasta en un 75% las emisiones provenientes de los escapes de vehículos automotores; en el mismo sentido, la instalación de trampas de partículas, la renovación de la flota vehicular, los programas de autorregulación para fuentes de área (comercios y servicios), y el uso de combustibles fósiles con menores tasas de emisiones en fuentes fijas, favorecen la mejora de la calidad del aire.													
Desafíos por considerar	Coordinación entre las dependencias y actores involucrados; determinación de las mejores tecnologías para la reducción de emisiones según el tipo de fuente.													
Meta e indicador de la medida	Implementar al menos cuatro Programas de Reducción de Emisiones Contaminantes en la Entidad para el año 2021.													
Beneficios esperados	Reducción de emisiones contaminantes en todas las fuentes emisoras que sean atendidas por los Programas de Reducción de Emisiones Contaminantes:													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PM₁₀</th> <th>PM_{2.5}</th> <th>SO₂</th> <th>CO</th> <th>NO_x</th> <th>COV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table>		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV	X	X	X	X	X	X
PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COV									
X	X	X	X	X	X									
Responsable	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México, a través de la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica													
Participantes	Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de México, Secretaría de Finanzas, gobiernos municipales, el sector privado, entre otros													
Zona de aplicación	Todo el Estado de México													
Prerrequisito	Fortalecer el PVVO, establecer Zonas de Bajas Emisiones													
Acción	Responsable	Indicador												
12.1 Diseñar mecanismos de profesionalización para los talleres PIREC de acuerdo con la NOM-167-SEMARNAT-2017.	Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica	No. de talleres PIREC profesionalizados												
12.2 Aumentar la cobertura de los talleres PIREC.	Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica	Porcentaje de talleres PIREC respecto al año base												
12.3 Implementar un programa de renovación de convertidores catalíticos en vehículos a través de mecanismos económicos enfocados en apoyar al usuario final para la adquisición de estas tecnologías. Este programa deberá determinar la edad, tipo y tecnología de unidades susceptibles de ser renovadas, así como las disposiciones que obliguen gradualmente a los usuarios a instalar tecnologías de control para la reducción de emisiones contaminantes en sus vehículos.	Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica	No. de convertidores catalíticos instalados												

12.4 Operar un Programa de Autorregulación de comercios y servicios que permita certificar, a través de terceros autorizados por el Estado, que estos establecimientos implementan medidas tendientes a reducir sus emisiones contaminantes. Este programa deberá ser de observancia obligatoria en las ZBE.	Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de México	Programa de Autorregulación para Comercios y Servicios operando											
12.5 Implementar un programa de renovación de la flota de transporte de pasajeros por unidades de bajas emisiones.	Secretaría de Movilidad	Porcentaje de la flota de transporte de pasajeros modernizada											
12.6 Establecer un programa para sustituir el uso de combustóleo, coque, diésel y gas L.P. por energías renovables y combustibles menos contaminantes en las fuentes fijas dentro del Estado de México.	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (fuentes federales) Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México (fuentes estatales)	Porcentaje de reconversión a tecnologías ambientalmente amigables											
Calendario de cumplimiento:													
	Acciones	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	12.1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	12.2		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	12.3			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	12.4			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	12.5			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	12.6		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Estrategia: Comunicación y educación ambiental

Medida No.	Nombre de la Medida	Categoría
13	Promoción de temas relacionados a la calidad del aire dentro de los programas estatales de educación ambiental	Prioritaria
Objetivo	Informar a la sociedad civil sobre las medidas de prevención que pueden implementar para proteger su salud ante la contaminación atmosférica y cómo contribuir a la reducción de emisiones contaminantes.	
Justificación	Según la encuesta de percepción social, 12% de la población consultada considera que crear conciencia en la gente sobre el cuidado del aire sería una medida prioritaria para reducir la contaminación del aire. De la encuesta también se observó un grado de desinformación de la sociedad. La población encuestada no conoce qué síntomas o malestares puede generar una mala calidad del aire en su fisiología, a pesar de haberlos percibido de manera consciente. Asimismo, los encuestados no consideran que los sectores doméstico y comercial sean fuentes significativas de material particulado y compuestos orgánicos volátiles. En este tenor, se concluye que es necesario informar a la población sobre temas relevantes en materia de calidad del aire.	
Meta e indicador de la medida	Incrementar a 30% el porcentaje de población informada sobre la prevención de riesgos asociados a la calidad del aire y reducción de emisiones contaminantes.	

Beneficios esperados	Disminución de la exposición de la población a la mala calidad del aire interior y exterior. Un mayor porcentaje de la población realiza acciones tendientes a reducir sus emisiones contaminantes y evitar acciones que deterioran la calidad del aire.	
Responsable	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México, a través de Concertación y Participación Ciudadana	
Participantes	Secretaría de Educación Pública	
Zona de aplicación	Todo el Estado de México	
Perrequisito	No Aplica	
Acción	Responsable	Indicador
13.1 Firmar convenios y acuerdos de vinculación entre los tres órdenes de gobierno, la academia, el sector privado y la sociedad civil para aumentar el número de programas de educación ambiental y cultura ecológica.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	No. de convenios y acuerdos de vinculación firmados
13.2 Ejecutar programas y talleres de educación no formal sobre temas de calidad del aire en asociación con museos, espacios recreativos, radiodifusoras y cadenas de televisión locales.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	No. de talleres y programas ejecutados
13.3 Desarrollar materiales para la difusión de información que tomen en cuenta las diferencias entre las audiencias a las que están dirigidos y que utilicen un lenguaje claro, sencillo y didáctico.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Cantidad de material desarrollado para cada audiencia
13.4 Lanzar una campaña de difusión de información respecto de temas transversales del ProAire, para informar a la población sobre la gestión de la calidad del aire, incluyendo: prevención de riesgos sanitarios asociados a la contaminación atmosférica; horas, días y zonas apropiadas para realizar actividades al aire libre; prevención y reacción ante incendios forestales; riesgos asociados a la quema doméstica de leña y carbón; y demás medidas que puede implementar la población en su vida cotidiana para mejorar la calidad del aire.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Personas informadas por la campaña
13.5 Implementar un programa de brigadas para difundir información relevante en comunidades rurales, en particular sobre riesgos de salud asociados a la quema doméstica de leña y carbón y el manejo de residuos sólidos.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Reporte de brigadas realizadas
13.6 Implementar campañas de difusión sobre las sanciones a las que serán acreedores quienes realicen actividades en perjuicio de la calidad del aire y del medio ambiente.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	No. de campañas de difusión
13.7 Informar a la población de los resultados obtenidos de la ejecución de las medidas del ProAire y los beneficios que conllevan.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Informe de resultados publicado
13.8 Realizar encuestas de percepción anualmente para evaluar la efectividad de los programas de difusión de información y comunicación.	Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México	Informe de resultados publicado

Calendario de cumplimiento:

Acciones	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
13.1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13.2		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13.3		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13.4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13.5		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13.6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13.7		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13.8	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Para poder dar seguimiento a las medidas y acciones anteriormente descritas, estas se revisarán en conjunto con las recomendaciones que se enlistan más adelante, con base en la reducción de emisiones asociada a la implementación del ProAire. La evaluación será realizada por el Comité Núcleo del ProAire, a través de subgrupos de trabajo y de forma periódica cada dos años, comenzando a partir de enero de 2021. Este proceso permitirá valorar la modificación o inclusión de medidas y acciones para así cumplir con los objetivos enmarcados por el Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de México 2018-2030.

6.5.2 Listado de recomendaciones auxiliares

Estrategia 1. Reducción de emisiones en fuentes móviles

1.A Fomentar el uso de combustibles fósiles menos contaminantes.

- 1.A.1 Gestionar ante la federación la disponibilidad de gasolina y diésel con ultra bajo azufre y con mejores factores de combustión en todo el territorio estatal.
- 1.A.2 Celebrar un convenio de colaboración con la Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA) del sector hidrocarburos, para la supervisión y sanción por incumplimiento a estaciones de servicio que distribuyan combustibles fuera de especificación.
- 1.A.3 Facilitar la construcción de infraestructura para el suministro de gas natural vehicular.
- 1.A.4 Evaluar beneficios y perjuicios ambientales de la conversión de vehículos con motores convencionales de gasolina a motores que funcionan con gas natural.

1.B Impulsar un sistema de transporte público integral y sustentable.

- 1.B.1 Impulsar un sistema de transporte público integral, seguro, de calidad, interconectado, multimodal, accesible, capacitado y eficiente.
- 1.B.2 Elaborar estudios técnicos para la implementación de un sistema integrado de transporte público.
- 1.B.3 Definir e implementar Planes Integrales de Movilidad Urbana Sustentable por zona metropolitana.
- 1.B.4 Optimizar rutas de transporte público, de tal manera que se evite (por su operación o por la ubicación de sus terminales) la afectación a guarderías, escuelas, asilos y hospitales.
- 1.B.5 Ampliar la red y conectividad del Mexibús.
- 1.B.6 Desarrollar programas de capacitación de conducción ecoeficiente a operadores de transporte de pasajeros y de carga.
- 1.B.7 Establecer planes de movilidad para “generadores de tránsito” (centros comerciales, edificios de oficinas, escuelas, etc.)
- 1.B.8 Favorecer la densificación en zonas que ya cuenten con un sistema de transporte público estructurado.
- 1.B.9 Planificar alternativas de transporte no motorizado y priorizar el desarrollo de la infraestructura asociada.
- 1.B.10 Priorizar la implementación de transporte eléctrico y sistemas públicos de bicicleta sobre los que utilizan combustibles fósiles.

1.C Reducir y renovar la flota vehicular estatal.

- 1.C.1 Reducir los vehículos utilitarios gubernamentales.
- 1.C.2 Incentivar la renovación del transporte de pasajeros a través de mecanismos financieros gestionados por el gobierno estatal, limitando la antigüedad de estos vehículos en circulación (autobuses de no más de 15 años de antigüedad, taxis de no más de 10 años de antigüedad).
- 1.C.3 Impulsar la reducción y renovación de las flotas vehiculares municipales, incluyendo la modernización de la flota del servicio de limpia por vehículos con bajas emisiones y/o por flota más nueva.
- 1.C.4 Dar seguimiento a las prácticas de inspección y mantenimiento del transporte público, vehículos utilitarios y la flota del servicio de limpia.

Estrategia 2. Reducción de emisiones en fuentes fijas

2.A Promover la sustitución de combustibles fósiles por energías renovables y/o combustibles alternos en el sector industrial.

- 2.A.1 Elaborar un diagnóstico sobre el uso de combustibles fósiles para la generación de energía y un programa de reconversión a energéticos alternos (renovables o de bajas emisiones) para las fuentes fijas con las mayores emisiones. Se pondrá especial atención en los siguientes sectores: la industria de la celulosa y papel, y la industria del cemento y cal.
- 2.A.2 Promover y fomentar la sustitución del uso de combustóleo, coque, diésel y gas L.P. por gas natural en sitios industriales donde se encuentre disponible.
- 2.A.3 Impulsar el uso de energías renovables, combustibles alternos y/o tecnologías más limpias en las fuentes fijas puntuales dentro del Estado de México.
- 2.A.4 Promover la elaboración de estudios y la implementación de tecnologías tendientes a reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno asociadas a la quema de gas natural.

2.B Fomentar ante la Federación la prohibición en el suministro y quema de combustibles líquidos industriales con más de 0.05% de azufre y hacer cumplir lo dispuesto por la NOM-016-CRE-2016.

- 2.B.1 Proponer ante la Federación la actualización de la NOM-016-CRE-2016 para que todos los combustibles que se comercialicen en el Estado de México y la Megalópolis tengan un contenido de azufre máximo de 0.05% en peso, así como la prohibición del combustóleo.
- 2.B.2 Vigilar el cumplimiento de la calidad de los combustibles distribuidos y utilizados en el sector industrial de la Entidad, de acuerdo con lo establecido en la NOM-016-CRE-2016.

2.C Fortalecer la inspección y vigilancia de fuentes fijas.

- 2.C.1 Establecer y ejecutar un programa de inspección y vigilancia que contemple la coordinación entre autoridades federales y estatales, la homologación de criterios de inspección, el seguimiento a los establecimientos más contaminantes, la capacitación continua del personal de dichas autoridades y la comunicación de los resultados del programa de inspección y vigilancia.
- 2.C.2 Robustecer la regulación de fuentes fijas estatales a través de la información que reportan en la COI, incluyendo el estado y uso de equipos de control de emisiones, validando la veracidad de esta información, con la finalidad de identificar las áreas de oportunidad para la introducción/actualización

de equipos de control de emisiones y monitoreo continuo en sectores clave de la industria del Estado.

2.D Promover la autorregulación en el sector industrial.

- 2.D.1 Realizar un diagnóstico del estado actual del sector industrial mediante el análisis de las cédulas de información.
- 2.D.2 Elaborar e instrumentar un Programa de Autorregulación para el sector industrial.
- 2.D.3 Fomentar la participación en el Programa de Autorregulación para obtener el Certificado de Industria Limpia de la PROPAEM, a través de talleres y pláticas informativas.
- 2.D.4 Gestionar esquemas de financiamiento para las acciones de reducción de emisiones contaminantes a las que se comprometan los establecimientos participantes del Programa de Autorregulación.

2.E Regular emisiones generadas por las industrias cementeras, ladrilleras y de bancos de materiales.

- 2.E.1 Realizar un diagnóstico del impacto a la calidad del aire y a la salud pública por parte de estos sectores.
- 2.E.2 Elaborar e implementar esquemas de regulación y monitoreo para el control de emisiones contaminantes en estos sectores.
- 2.E.3 Revisar y modificar planes municipales de desarrollo urbano respecto de los criterios para instalar este tipo de industrias y su reubicación con el fin de mitigar los efectos de la contaminación atmosférica en las zonas urbanas.
- 2.E.4 Ejecutar auditorías de seguimiento de los planes municipales de desarrollo.

Estrategia 3. Reducción de emisiones en fuentes de área

3.A Combatir incendios forestales.

- 3.A.1 Capacitar y brindar asistencia técnica a ejidatarios, comuneros y propietarios de terrenos forestales y agrícolas en los límites urbanos sobre prácticas para la prevención de incendios forestales.
- 3.A.2 Fortalecer el equipo de combate a incendios forestales para reducir el tiempo de respuesta ante estos fenómenos, especialmente en los que se encuentran cerca de asentamientos urbanos.
- 3.A.3 Utilizar tecnologías de teledetección para la localización y monitoreo oportunos de incendios en las zonas adyacentes a los asentamientos urbanos principales.

3.B Pavimentar calles y vialidades.

- 3.B.1 Realizar un diagnóstico de las vialidades prioritarias a remediar para evitar emisiones de partículas.
- 3.B.2 Pavimentar aquellas vialidades que generen mayor cantidad de partículas por el tránsito vehicular.
- 3.B.3 Rehabilitar vialidades pavimentadas que se encuentren en alto grado de deterioro.
- 3.B.4 Elaborar y mantener actualizado un inventario de vialidades pavimentadas y no pavimentadas.

3.C Proteger y restaurar los ecosistemas naturales para evitar la erosión, los incendios y las tolvaneras.

- 3.C.1 Revisar y actualizar los Planes de Manejo de las Áreas Naturales Protegidas, implementando medidas tendientes a mejorar el manejo del suelo.
- 3.C.2 Fortalecer los programas de reforestación en zonas que permitan mejorar la calidad del aire en asentamientos urbanos; por ejemplo, zonas boscosas que limitan con la mancha urbana y zonas erosionadas.
- 3.C.3 Controlar tolvaneras de la zona de Texcoco, mediante la restauración de las zonas lacustres.

Estrategia 4. Reducción de emisiones en el sector doméstico, comercial y de servicios

4.A Controlar el tipo, contenido y uso de pinturas, tintas, solventes y otros productos de consumo residencial, comercial y de servicios que contribuyen a la emisión de COV.

- 4.A.1 Trabajar con la Federación para establecer las disposiciones técnicas y jurídicas que permitan regular el contenido de COV en pinturas, tintas, solventes y otros productos de consumo residencial, comercial y de servicios.
- 4.A.2 Prohibir la aplicación de pintura automotriz al aire libre, mediante una modificación al Código para la Biodiversidad del Estado de México.

4.B Mejorar el manejo integral de residuos sólidos urbanos para reducir su quema al aire libre.

- 4.B.1 Desarrollar e implementar un plan integral de recolección de residuos sólidos urbanos que permita resolver problemas de acumulación de residuos y aumentar la extensión del servicio.
- 4.B.2 Identificar principales sitios donde se lleva a cabo la quema de residuos sólidos urbanos y residuos de manejo especial al aire libre; de igual modo, caracterizar los residuos que se están incinerado y determinar las emisiones asociadas.

- 4.B.3 Establecer un programa de vigilancia permanente mediante videocámaras en los sitios de disposición final con el fin de evitar la quema de residuos al aire libre.

Estrategia 5. Desarrollo urbano

5.A Establecer una planeación urbana sustentable, compacta y auto-suficiente.

- 5.A.1 Desarrollar un sistema de planeación urbana basado en sistemas de información geográfica y otras tecnologías de información para evaluar los escenarios urbanos de menor intensidad de carbono.
- 5.A.2 Establecer los acuerdos y legislación necesaria, de forma que la planeación urbana siga políticas que fomenten la movilidad no motorizada, la verticalidad, la densificación en corredores de transporte estructurado, las áreas verdes urbanas y la accesibilidad universal.
- 5.A.3 Reforzar el cumplimiento de los Planes Municipales de Desarrollo Urbano en congruencia con el Plan Estatal y el Plan Nacional.

5.B Elaborar una estrategia de electro-movilidad.

- 5.B.1 Promover ante la federación la deducibilidad completa en automóviles híbridos y eléctricos.
- 5.B.2 Implementar la exención completa en tenencia y refrendo para automóviles híbridos y eléctricos para personas morales y físicas.
- 5.B.3 Realizar un diagnóstico para determinar puntos estratégicos para el desarrollo de infraestructura para automóviles eléctricos.
- 5.B.4 Proveer la infraestructura necesaria para automóviles eléctricos en conjunto con la iniciativa privada.
- 5.B.5 Modificar el reglamento de construcción de tal manera que se privilegie la infraestructura para automóviles híbridos y eléctricos.
- 5.B.6 Aplicar incentivos fiscales a estacionamientos comerciales que cuenten con infraestructura suficiente para vehículos híbridos y eléctricos.
- 5.B.7 Implementar descuentos en estacionamientos, parquímetros y casetas a vehículos híbridos o eléctricos.
- 5.B.8 Trabajar en conjunto con empresas de redes de vehículos de transporte con conductor (Uber, Cabify y similares) para que incentiven la incorporación de vehículos híbridos y eléctricos en sus flotillas.
- 5.B.9 Implementar un programa de taxis eléctricos.

5.C Ofrecer beneficios a autos compartidos y rondas.

- 5.C.1 Aplicar tarifas diferenciadas en el peaje de casetas a los vehículos que transporten dos o más pasajeros.
- 5.C.2 Establecer carriles de viaje compartido en principales vialidades y definir los lineamientos para utilizarlos.
- 5.C.3 Establecer e imponer sanciones a quienes utilicen el carril compartido sin cumplir con los lineamientos establecidos.
- 5.C.4 Ejecutar programas para fomentar el uso compartido de vehículos en colaboración con gobiernos locales.

5.D Promover un transporte escolar e institucional de bajas emisiones.

- 5.D.1 Establecer la reglamentación necesaria para que el transporte escolar y de personal cuente obligatoriamente con tecnologías de ultra-bajas emisiones de partículas.
- 5.D.2 Establecer un plazo de dos años para que unidades de transporte escolar y de personal se incorporen al programa de autorregulación.
- 5.D.3 Otorgar permisos para el transporte de pasaje escolar y de personal únicamente a unidades que cumplan con lo establecido en el programa de autorregulación.
- 5.D.4 Fomentar la implementación de programas de movilidad escolar enfocados a la reducción de emisiones generadas por el transporte de los estudiantes.
- 5.D.5 Impulsar programas de transporte de personal en el sector público y privado.
- 5.D.6 Fomentar el teletrabajo, horarios flexibles y horarios escalonados para evitar el congestionamiento vehicular.

5.E Recuperar áreas verdes en zonas urbanas.

- 5.E.1 Crear, ampliar y restaurar áreas verdes urbanas, utilizando las especies adecuadas para mitigar la resuspensión de partículas y emitir la menor cantidad posible de COV.
- 5.E.2 Realizar un estudio para determinar el mejor acomodo de árboles para plantar a lo largo de arterias principales (tomando en cuenta altura, grosor, cobertura, porosidad, densidad y características particulares de las especies, así como dirección del viento), y así evitar un posible efecto de barrera que impida la circulación del aire y atrape los contaminantes.
- 5.E.3 Implementar un programa de reforestación urbana con base en los resultados del estudio mencionado en el punto anterior.
- 5.E.4 Promover azoteas y muros verdes en edificios públicos, y la naturación en inmuebles privados mediante la impartición de talleres y difusión de manuales de procedimientos recomendados.

Estrategia 6. Protección a la salud

6.A Implementar un Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA) por Zona Metropolitana, que priorice la protección a la salud de la población.

- 6.A.1 Realizar un diagnóstico para determinar cuáles Zonas Metropolitanas del Estado de México requieren de un PCAA o, de contar con uno (18 municipios del Estado de México conurbados con la Ciudad de México), determinar si requiere actualización.
- 6.A.2 Establecer un PCAA en las Zonas Metropolitanas que así lo requieran, especificando los criterios y procedimientos de operación, activación y actuación.
- 6.A.3 Definir un protocolo de acciones que describa las medidas preventivas de protección de la salud que deberá seguir la población en general durante una contingencia y las medidas específicas que deberán seguir las principales fuentes de emisiones.
- 6.A.4 Contar con declaratorias de contingencias en tiempo real y la puesta en marcha de un sistema de alerta temprana, considerando un protocolo de caracterización climática (sistema de predicción de concentraciones y condiciones meteorológicas).
- 6.A.5 Definir protocolos claros de declaratoria y desactivación de contingencias junto con la CAME: evaluar el uso del promedio ponderado para la activación de contingencias en los PCAA; para la desactivación, tomar en cuenta, además de las concentraciones, la prevalencia de padecimientos clave en Unidades Centinela que reflejan la tendencia general de los padecimientos en las zonas metropolitanas correspondientes.
- 6.A.6 Implementar monitoreo post-contingencia con objeto de evaluar los daños a la salud pública posteriores al evento.
- 6.A.7 Monitorear y evaluar anualmente a través de un tercero la operación de los PCAA, ajustando y proponiendo criterios que permitan implementar oportunamente las contingencias ambientales atmosféricas.

6.B Establecer un Programa de Prevención para proteger a la población de los riesgos a la salud asociados a la calidad del aire.

- 6.B.1 Establecer un Programa de Prevención en donde se definan los temas prioritarios en materia de riesgos sanitarios asociados a la calidad del aire y los medios a través de los cuales se difundirá continuamente entre la población esta información.

- 6.B.2 Definir recomendaciones puntuales a la población en general sobre las horas, días y zonas apropiadas para realizar actividades al aire libre, así como indicaciones por época del año; en específico, colaborar directamente con autoridades escolares para evaluar horarios alternativos de actividades al aire libre (recreo, clases de educación física) según la severidad de la contaminación.
- 6.B.3 Ligar al IMECA a recomendaciones puntuales para prevenir los riesgos asociados a una mala calidad del aire.
- 6.B.4 Crear una biblioteca digital sobre daños a la salud, que sea de acceso público y con material de fácil asimilación para distintos grupos de población.
- 6.B.5 Publicar periódicamente reportes sobre los impactos a la salud pública asociados a la calidad del aire.

Estrategia 7. Fortalecimiento institucional y financiamiento

7.A Fomentar el uso de tecnologías alternativas con factores de emisión de gases contaminantes más bajos que tecnologías convencionales.

- 7.A.1 Diseñar programas para informar a la población en general sobre el uso de tecnologías alternativas para la reducción de emisiones contaminantes, los costos y beneficios asociados, así como su implementación.
- 7.A.2 Fomentar el uso de energía solar para el calentamiento de agua en los sectores doméstico, comercial y de servicios, e industrial, a través de incentivos económicos o mecanismos financieros.
- 7.A.3 Promover asociaciones público-privadas para detonar los cambios tecnológicos.
- 7.A.4 Establecer apoyos estatales a emprendedores y PyME que impulsen el uso de tecnologías más limpias.

7.B Promover la elaboración, actualización y aplicación efectiva de la normatividad.

- 7.B.1 Fomentar la revisión y actualización constante de las normas existentes en materia de calidad del aire y regulación de fuentes emisoras.
- 7.B.2 Promover un ajuste gradual de los límites normados hacia los estándares de emisiones definidos por la Organización Mundial de la Salud.
- 7.B.3 Promover el desarrollo de una Norma Oficial Mexicana de calidad del aire ambiente para Compuestos Orgánicos Volátiles.
- 7.B.4 Promover ante la federación la elaboración de una NOM que regule el contenido de COV en pinturas, recubrimientos, tintas, adhesivos, selladores, solventes, productos de limpieza,

productos de consumo personal y demás productos de uso doméstico, industrial y comercial o en servicios.

- 7.B.5 Promover ante la federación la actualización de las normas NOM-121-SEMARNAT-1997 y NOM-123-SEMARNAT-2017 para armonizar los límites máximos permisibles de COV en los recubrimientos empleados en el sector automotriz y en la fabricación de pinturas de secado al aire base disolvente para uso doméstico, respectivamente.
- 7.B.6 Proponer la actualización e integración de las Normas Oficiales Mexicanas NOM-048-SEMARNAT-1993 y NOM-049-SEMARNAT-1993 en una misma norma que establezca los límites máximos permisibles de emisión de motocicletas y los métodos de prueba para la evaluación de dichos límites, de acuerdo con la tecnología de las motocicletas nacionales, de manera análoga a la NOM-167-SEMARNAT-2017.
- 7.B.7 Promover la actualización de las NOM correspondientes para establecer límites de emisión más estrictos para vehículos a diésel y gasolina.
- 7.B.8 Promover ante la Federación la actualización de la NOM-040-SEMARNAT-2002, que regula los niveles máximos de emisión a la atmósfera por la fabricación de cemento.
- 7.B.9 Promover ante la Federación la elaboración de una Norma Oficial Mexicana para el control de emisiones de ladrilleras y hornos artesanales de cocción de arcilla.
- 7.B.10 Elaborar las Normas Técnicas Estatales Ambientales referentes a: establecer límites máximos permisibles de emisiones de COV en fuentes fijas de jurisdicción estatal; regular las emisiones provenientes de hornos ladrilleros y de alfarería; regular las emisiones en centros de disposición de residuos de la construcción; y regular las emisiones de establecimientos que queman leña y carbón.
- 7.B.11 Elaboración de una Norma Técnica Estatal Ambiental (NTEA) para la regulación de emisión de dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y material particulado específicamente en las industrias: 1) cemento y cal, 2) celulosa y papel.
- 7.B.12 Promover el fortalecimiento de la legislación municipal para la reducción de emisiones en fuentes de su jurisdicción.

7.C Evaluar y dar seguimiento a las medidas del ProAire.

- 7.C.1 Evaluar semestralmente la aplicación de las medidas y acciones del ProAire.
- 7.C.2 Presentar anualmente los resultados de la ejecución de las medidas y acciones ante el Comité Núcleo, en el marco del Día Interamericano de la Calidad del Aire.
- 7.C.3 Contratar a un ente externo para evaluar cada 3 años los avances en la ejecución del ProAire y que emita posibles recomendaciones. Los resultados de esta evaluación deberán publicarse.

Estrategia 8. Comunicación y educación ambiental

8.A Mantener informada a la población sobre la calidad del aire y la activación de contingencias.

- 8.A.1 Establecer un convenio entre compañías de telefonía y el Gobierno del Estado de México (GEM) para avisar por SMS a todos los mexiquenses cuando la calidad del aire sea muy mala o extremadamente mala, o cuando se active una contingencia.
- 8.A.2 Desarrollar un sistema que administre la comunicación. Este deberá estar ligado a la RAMA y los medios de comunicación electrónica de la SMAGEM.
- 8.A.3 Crear y administrar cuentas en redes sociales específicas para la comunicación en tiempo real sobre la calidad del aire (Facebook, Twitter), aplicando estrategias de difusión que maximicen el alcance a la población.
- 8.A.4 Desarrollar una aplicación para celulares que integre información de calidad del aire, parámetros meteorológicos relevantes y contingencias atmosféricas.
- 8.A.5 Implementar mejoras relativas al diseño de información de la RAMA: mantener actualizada en tiempo real la información presentada en el portal; contar con información relevante al público sobre la calidad del aire, incluyendo como protegerse de la contaminación atmosférica y como reducir la contaminación.
- 8.A.6 Reforzar la concientización de la población sobre temas de calidad del aire mediante eventos y campañas especiales durante el Día Interamericano de la Calidad del Aire.
- 8.A.7 Establecer los acuerdos necesarios para poder reportar información sobre calidad del aire en medios de comunicación masiva (radio, televisión, entre otras).
- 8.A.8 Instalar anuncios de información sobre la calidad del aire en tiempo real, a través de pantallas digitales en lugares públicos.

8.B Educación ambiental a escolares.

- 8.B.1 Establecer convenios con la Secretaría de Educación y escuelas privadas para poder acceder a sus instalaciones para labores de difusión.
- 8.B.2 Firmar convenio con la Universidad Autónoma del Estado de México y establecer un mecanismo de formación para capacitadores de servicio social.
- 8.B.3 Visitas a escuelas por parte de Capacitadores Ambientales.
- 8.B.4 Desarrollar materiales, conferencias, ferias, talleres y demás eventos enfocados en responsabilidad ambiental, incluyendo calidad del aire, adaptándose a cada nivel escolar.

8.B.5 Impulsar la comunicación directa con autoridades escolares para prevenir riesgos durante contingencias atmosféricas, así como para ajustar horarios de recreo y educación física en el nivel de educación básico y medio superior, con el fin de minimizar la exposición de poblaciones vulnerables.

8.C Informar y sensibilizar al sector industrial y comercial en temas relevantes de calidad del aire para fomentar su participación en la mitigación de emisiones contaminantes.

8.C.1 Establecer convenios con la Secretaría de Desarrollo Económico , y Asociaciones Industriales y Comerciales para impartir la capacitación especializada.

8.C.2 Contratar a capacitadores especializados para que asistan a las industrias y comercios.

8.C.3 Realizar cursos, conferencias, campañas de difusión y/o talleres especializados dirigidos a industriales y comercios.

8.D Promover proyectos de investigación y desarrollo de tecnología en materia de calidad del aire.

8.D.1 Identificar temas relevantes en contaminación atmosférica para cada zona metropolitana y establecer proyectos de investigación congruentes con la problemática, dando seguimiento a los mismos.

8.D.2 Promover investigación respecto de los efectos a la salud por la calidad del aire interior y difundir información tendiente a prevenir los riesgos asociados.

8.D.3 Incluir una sección al Reconocimiento al Mérito Ambiental únicamente para proyectos de calidad del aire.

8.D.4 Priorizar apoyos estatales para estudios de investigación que contemplen temas de calidad del aire.

REFERENCIAS:

Comisión Ambiental Metropolitana. (2011). *Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México (2011-2020)*.

SEMARNAT. (2017). *Programa de Gestión Federal para Mejorar la Calidad del Aire de la Megalópolis (2017-2030)*.

SMAGEM. (2012). *Programa para Mejorar la Calidad del Aire del Valle de Toluca (2012-2017)*.

CAPÍTULO

07

OPCIONES DE FINANCIAMIENTO

07 OPCIONES DE FINANCIAMIENTO

7.1. Introducción

El ProAire es un instrumento de gestión que busca mejorar la calidad de vida de los habitantes, a través de la implementación de medidas y acciones que mejoren la calidad del aire. La instrumentación de estas medidas usualmente requiere de recursos económicos significativos para llevar las estrategias a su éxito. Este capítulo permite identificar opciones de financiamiento para fondear los costos de aplicación de las acciones contenidas en el ProAire.

En materia de calidad del aire, la magnitud de recursos que son necesarios para atender la problemática y lograr un ambiente sano para los mexicanos, constituye uno de los retos principales para la operación del ProAire. A este desafío se le adicionan los altos niveles de inversión inicial requeridos y los costos operativos a largo plazo, pues para que una política ambiental sea exitosa requiere de constancia durante años que van más allá del sexenio que dura una administración estatal.

Por ello, las medidas críticas y prioritarias del ProAire requieren ser acciones costo-efectivas y funcionar como catalizadores de cambios sociales profundos. Idealmente deberá buscarse que se puedan soportar en alianzas público-privadas y que permitan detonar la participación de otros actores en el financiamiento ambiental para complementar y combinar recursos provenientes de varias fuentes.

Cabe destacar que tanto los fondos externos como los presupuestales tienden a priorizar el gasto de inversión, limitando las opciones de financiamiento para el gasto corriente o de operación. Por ello, las estrategias de financiamiento deben priorizar mecanismos que logren mantener las inversiones realizadas en el sector.

Una de las mejores opciones para lograr este objetivo es mediante fideicomisos. Estos fideicomisos idealmente deben contar con recursos provenientes de: presupuestos locales asignados por el Congreso Estatal; transferencias federales; recursos autogenerados mediante instrumentos fiscales (derechos, multas y sanciones); y donaciones de organismos internacionales o el sector privado. De las anteriores fuentes de financiamiento se espera que la mayoría provenga del presupuesto local y de recursos autogenerados. Las transferencias federales seguramente tendrán un objetivo específico que limitará su aplicación a las medidas

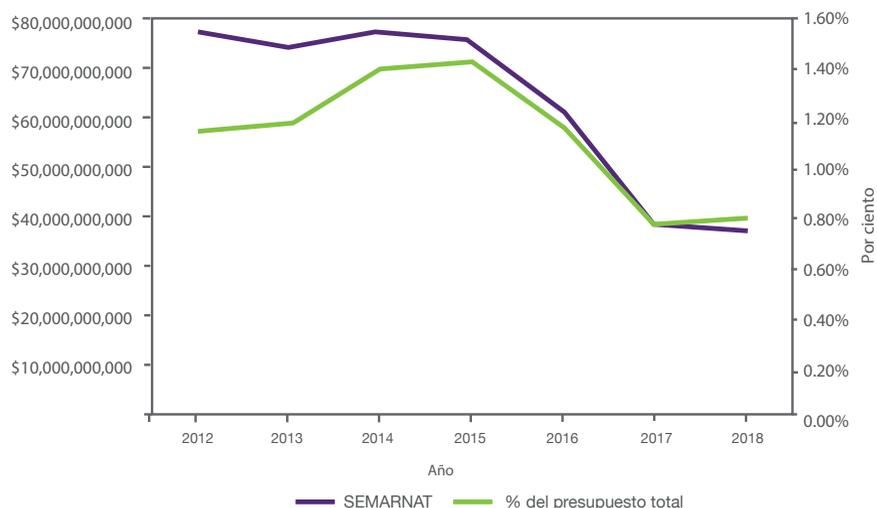
del ProAire y las donaciones internacionales y privadas son inciertas e insuficientes para garantizar el éxito de las estrategias de mejora de la calidad del aire.

7.2. Análisis del presupuesto federal destinado al mejoramiento de la calidad del aire

El gasto neto total del Presupuesto de Egresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal de 2018 importó una cantidad de \$5,279,667 millones de pesos mexicanos, del cual 72.0% se asignó a gastos programables. Uno de los principios que promueve el Presupuesto es la protección tanto de la salud e integridad de las personas, como del medio ambiente. En este tenor, se determinó que la cantidad destinada a los programas de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) sería de 0.71% del total del Presupuesto.

La Gráfica 7.1 muestra el presupuesto de la Federación etiquetado como gasto programable para la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales durante los años 2012 – 2018. Es posible apreciar que durante los últimos seis años ha existido una tendencia en la disminución de recursos destinados a la SEMARNAT.

Gráfica 7.1 Presupuesto del Gobierno de México destinado a la SEMARNAT durante los años 2012-2018



Fuente: Elaboración propia con información del Gobierno Federal

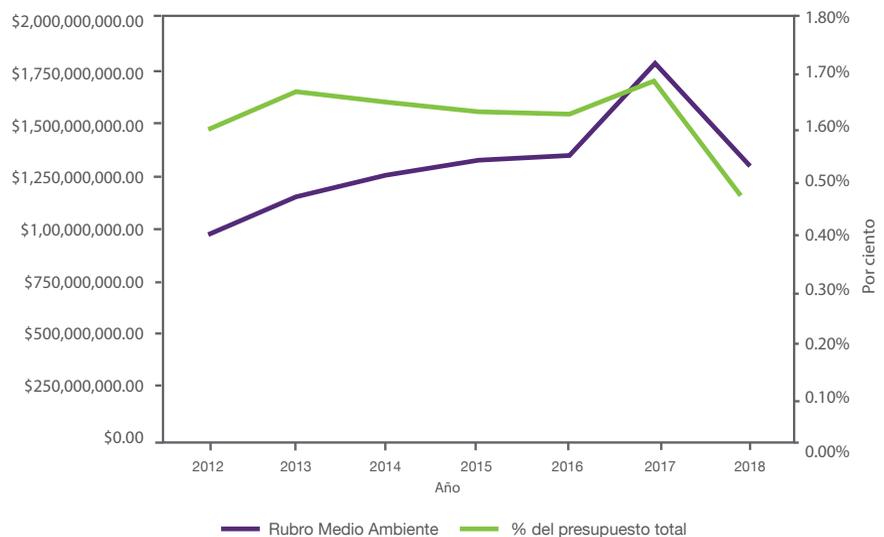
Asimismo, el Presupuesto contempló recursos para la adaptación y mitigación de los efectos del cambio climático, estipulando que para el ramo de Medio Ambiente y Recursos Naturales se destinaría 1.16% del presupuesto federal. De esta cantidad, únicamente el 0.002% sería utilizado en Programas de Calidad del Aire y Verificación Vehicular. (Gobierno de la República, 2017)

7.3. Análisis del presupuesto estatal destinado al mejoramiento de la calidad del aire

De acuerdo con el Decreto Número 268, por el que se aprobó el Presupuesto de Egresos del Gobierno del Estado de México para el Ejercicio Fiscal 2018, el gasto total previsto ascendió a una cantidad de \$280,706,179,011.00 M.N.

La distribución sectorial del Presupuesto asignó 0.46% del total del Presupuesto al rubro de Medio Ambiente. Asimismo, se contempló una erogación para el gasto corriente y de inversión de la Secretaría del Medio Ambiente de 0.28% del total del Presupuesto (GEM, 2017). La Gráfica 7.2 muestra el Presupuesto asignado por el GEM al rubro de Medio Ambiente para los años 2012–2018, así como el porcentaje que representa este monto respecto del presupuesto total para el ejercicio fiscal correspondiente. El 2018 representó la primera ocasión en los últimos seis años en la cual el porcentaje de recursos destinado al rubro de Medio Ambiente cayó por debajo del 0.50%.

Gráfica 7.2 Presupuesto del GEM destinado al rubro de Medio Ambiente para los años 2012-2018



Fuente: Elaboración propia con información del Gobierno del Estado de México

Para el ejercicio fiscal 2018, el presupuesto que se autorizó por objeto de gastos de la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM) fue equivalente al 21.48% del desembolso por parte del Estado hacia la SMAGEM. Resulta pertinente mencionar que en comparación con la cantidad destinada para la misma Dirección durante el ejercicio fiscal 2017, se tuvo una reducción del 15.14% de un año a otro.

Uno de los retos iniciales del ProAire será incrementar la proporción de recursos presupuestales propios que se destinan al sector ambiental, pues en el año 2018 únicamente se dedicó el 0.46% de los recursos totales del Estado de México al cuidado del medio ambiente, incluyendo los rubros de agua, suelos (residuos sólidos urbanos) y calidad del aire (GEM, 2017). Este desafío no es sencillo de superar pues a nivel nacional también se puede observar esta tendencia. En 2018 el gasto en protección ambiental fue equivalente al 0.7% del PIB. Esto indica que hay espacio para incrementar la proporción del gasto público en el sector ambiental a nivel estatal, para así lograr ahorros sociales mayores y disminuir el deterioro ambiental.

7.4. Mecanismos de fondeo interno

El monto para la correcta aplicación de las políticas de calidad del aire deberá provenir principalmente de recursos internos, por lo que se deberá buscar que el gasto presupuestal proporcional incremente gradualmente para evolucionar del 0.46% al 0.71% del presupuesto a final del periodo del ProAire. Sin embargo, asumir que el presupuesto público se incrementará a costa de otros programas o necesidades sociales no es certero, ni permanente. Por ello, deberá establecerse algún mecanismo de fondeo interno que ayude a garantizar la operación de las políticas ambientales en materia de calidad del aire.

El mecanismo que actualmente sigue la Comisión Ambiental de la Megalópolis podría replicarse en el Estado de México, mediante un instrumento dirigido a las fuentes de contaminación según su aportación al problema. El sector que más aporta contaminantes atmosféricos es el sector transporte, por lo que un instrumento ligado a las sanciones, verificación vehicular, las placas o refrendos, los peajes carreteros, y/o a la gasolina tendría un doble impacto positivo: por un lado, desincentivar el crecimiento de emisiones contaminantes en este sector y por el otro garantizar un flujo constante de recursos que lograrían mantener las acciones, infraestructura y políticas en materia de calidad del aire. A manera de ejemplo, un incremento de \$5 pesos en la venta de hologramas de verificación vehicular otorgaría más de 25 millones de pesos anuales para la operación de las estrategias ambientales. El monto que pueda obtenerse por esta vía de autogenerados deberá etiquetarse para gasto corriente o de operación, buscando obtener los gastos de inversión por medio de

otras fuentes. Este criterio ayudará a mantener de manera adecuada las inversiones ya realizadas, como la red de monitoreo atmosférico.

Además de lo anterior, se podrán agregar otras fuentes de recursos adicionales que sirvan para cubrir los costos de las inversiones iniciales asociadas a algunas acciones del ProAire. Estos recursos serán principalmente los derivados del presupuesto estatal o federal, y podrán complementarse con otras nuevas fuentes de recursos, directas (recursos que se reciben en su patrimonio) e indirectas (recursos que reciben las medidas o proyectos del ProAire), provenientes de alianzas con el sector privado u organismos nacionales e internacionales.

7.5. Intervención de gobiernos municipales en el financiamiento del ProAire

El control de la contaminación del aire es también responsabilidad de los gobiernos municipales. Para que los municipios puedan implementar de manera adecuada acciones para mejorar la calidad del aire, es necesario en primer lugar fortalecer las instancias municipales y las áreas de medio ambiente, de tal manera que los municipios tengan la capacidad de gestionar recursos financieros y destinarlos a temas medio ambientales de manera adecuada.

Una vez que se tiene el fortalecimiento institucional de las áreas ambientales municipales, los ayuntamientos deberán procurar recursos financieros que les permitan tomar acciones concretas para mejorar la calidad del aire. Es fundamental que exista comunicación entre las dependencias municipales y los organismos federales y estatales competentes, para así conseguir la asesoría y el apoyo tanto técnico como económico que permita la implementación de las medidas del ProAire.

Las autoridades municipales podrán definir acciones concretas que les permitan atender los problemas de calidad del aire presentes en su demarcación. Algunas acciones que destacan por su importancia son:

- Asignar recursos presupuestales a temas de calidad del aire.
- Identificar posibles fuentes de financiamiento para programas de control de la contaminación ambiental, en particular aquellas que son de su competencia.
- Negociar y convenir asesoría y apoyo técnico con la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México en materia de control de contaminación del aire.
- Concertar con instituciones crediticias y/o fideicomisos el financiamiento de proyectos y obras que permitan mejorar la calidad del aire.

7.6. Fuentes de financiamiento externas

El acceso a las fuentes externas de financiamiento requiere de habilidades y experiencia específica en la materia, además de la disponibilidad de tiempo. Por ello sería deseable establecer una oficina dedicada al fondeo o que se contraten servicios especializados para su gestión. Una oficina de financiamiento permitiría contactar a las fuentes de financiamiento para después poder gestionar y procurar los distintos trámites, licitaciones y procedimientos de aplicación. Esta oficina podría buscar recursos para todas las áreas de la Secretaría del Medio Ambiente e incluso servir como puente con las industrias y agrupaciones de transportistas que busquen cómo mejorar su desempeño ambiental.

Con el objetivo de aprovechar en mayor medida estas nuevas fuentes de captación de recursos, se recomienda estructurar un fideicomiso que cuente con las características y reglas de operación necesarias para recibir transferencias de cualquiera de las fuentes que se mencionan más adelante. Además, cada seis años es recomendable establecer una planeación y programación de los recursos necesarios para aquellas medidas del ProAire que puedan ser cubiertas por este tipo de fuentes, mismas que usualmente requieren de largos procesos de programación y aprobación.

A continuación, se enlistan algunas fuentes de financiamiento externas que comúnmente se encuentran disponibles para esfuerzos ambientales en materia de calidad del aire. Es necesario hacer hincapié en que la obtención de recursos económicos adicionales a los provenientes del presupuesto federal o estatal y los mecanismos de fondeo interno no se limitará al siguiente listado. Más aún, deberá hacerse un esfuerzo continuo por encontrar nuevas fuentes de financiamiento que permitan ejecutar las medidas descritas en el ProAire.

7.6.1. Fuentes de financiamiento nacionales

Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (Banobras)

Banobras es una institución bancaria nacional que busca impulsar la inversión en infraestructura y servicios públicos a través del financiamiento de proyectos a nivel federal, estatal y municipal. El Banco ofrece opciones de crédito, garantías, refinanciamiento y asistencia técnica a dependencias y entidades del sector público. Entre los proyectos que es posible financiar con el apoyo de Banobras están aquellos relacionados a la movilidad urbana, ahorro de energía, equipamiento urbano y residuos sólidos. En materia de medio ambiente y calidad del aire, Banobras ha apoyado proyectos de infraestructura y modernización de sistemas de transporte público.

Para acceder a los créditos del Banco es necesario justificar los proyectos a partir de estudios especializados y de los planes de inversión estatal o municipales, para después presentar la solicitud de financiamiento. Se procede entonces a obtener la autorización del buró de crédito y el congreso local para finalmente presentar un plan de inversión preliminar.

Datos de contacto:

Delegación de Banobras en el Estado de México
Teléfono: +52 1 722 215 9942 / 214 9629
Sitio web: <https://www.gob.mx/banobras>

Fideicomiso Ambiental 1490

Las entidades federativas que componen la Megalópolis celebraron un convenio de coordinación a través del cual se obligaron a entregar recursos económicos en un vehículo fiduciario. Cada año, las entidades federativas que integran la Megalópolis aportan una cantidad equivalente a \$5.00 M.N. por cada verificación vehicular realizada dentro de sus límites territoriales. Dicho instrumento fiduciario corresponde al Fideicomiso No. 1490 “Fideicomiso para Apoyar los Programas, Proyectos y Acciones Ambientales de la Megalópolis”, el cual es administrado por el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (Banobras).

Los recursos entregados a las entidades federativas que integran la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME), incluido el Estado de México, podrán ser aplicados en proyectos, programas y acciones para el estudio, prevención, restauración, conservación y protección al ambiente y el equilibrio ecológico. Los beneficiarios del Fideicomiso incluyen unidades administrativas, organismos públicos descentralizados, empresas del sector privado, organizaciones de la sociedad civil y la academia. Estos beneficiarios reciben el apoyo del Fideicomiso para desarrollar acciones que permitan el cumplimiento de los objetivos de la Megalópolis en materia ambiental, en particular la mejora de la calidad del aire y la reducción de emisiones de contaminantes.

El proceso que debe seguirse para obtener el apoyo del Fideicomiso está descrito en sus Reglas de Operación. En resumen, el Comité Técnico del Fideicomiso, a través de la página electrónica de la CAME o la SEMARNAT, publicará convocatorias para la presentación de propuestas de proyectos donde se especifiquen los requisitos y condiciones que deberán cumplir dichas propuestas, así como los montos de los recursos disponibles. Posteriormente se evaluarán y seleccionarán las propuestas para después asignar los recursos correspondientes.

Datos de contacto:

Coordinación Ejecutiva de la Comisión Ambiental de la Megalópolis
Teléfono: +52 55 5490 0900 Ext. 12389, 12368
Sitio web: <https://www.gob.mx/comisionambiental>

Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN)

Este Fondo es operado por Banobras. El FONADIN permite la coordinación del Gobierno de México para desarrollar proyectos de infraestructura en diferentes sectores, incluyendo transporte y medio ambiente. El fondo puede ser utilizado para la planeación, diseño, construcción y transferencia de proyectos de infraestructura que tengan un beneficio social y sean económicamente rentables.

El objetivo del Fondo es facilitar la movilización de capital a proyectos de infraestructura a través de la participación del sector público, privado y social. En materia de calidad del aire el FONADIN apoyó anteriormente con recursos para la expansión de redes de monitoreo de calidad del aire y proyectos de infraestructura de transporte público.

Las entidades públicas podrán solicitar apoyos recuperables y no recuperables para la realización de proyectos de inversión. En el caso de apoyos no recuperables, el apoyo debe solicitarse antes de que inicie el proceso de licitación del proyecto de infraestructura en cuestión. Del mismo modo, para apoyos recuperables también es preferible que la solicitud de apoyo se ingrese antes de que inicie la licitación.

Datos de contacto:

Director General Adjunto de Banca de Inversión y Delegado Fiduciario del FONADIN
Teléfono: +52 55 5270 1630
Sitio web: <https://www.fonadin.gob.mx/>

7.6.2. Fuentes de financiamiento internacionales y extranjeras**Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA)**

La Agencia es una organización independiente que coordina y ejecuta la asistencia internacional del Gobierno de Japón. La JICA ofrece diferentes tipos de asistencia que incluyen préstamos, donaciones oficiales y asistencia técnica a entidades tanto públicas como privadas. Una de las áreas temáticas que apoya la Agencia es la gestión ambiental y el combate a problemas de contaminación del aire producto de procesos de urbanización, crecimiento poblacional y desarrollo económico.

Los procedimientos para obtener los apoyos antes mencionados están claramente establecidos en las “Directrices de Adquisición para las Donaciones Japonesas” y las “Normas para Adquisiciones Financiadas por Préstamos AOD del Japón”, en donde se especifican las condiciones y requisitos que deben cumplir las licitaciones.

Datos de contacto:

Oficina de la JICA en México
Dirección: Ejército Nacional No. 904, Piso 16B, Col. Palmas Polanco,
Ciudad de México, C.P.11560
Teléfono: +52 55 5557 9995
Sitio web: <https://www.jica.go.jp/spanish/>

Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID)

El Gobierno de los Estados Unidos, a través de su Agencia para el Desarrollo Internacional, administra programas de cooperación y asistencia en países en desarrollo. Una de las áreas temáticas que busca abordar la USAID es la protección del medio ambiente y el abatimiento de la contaminación en un marco de urbanización sustentable.

La Agencia ofrece subvenciones y acuerdos cooperativos, siendo la diferencia entre estos el grado de participación de la USAID en el desarrollo de los proyectos. El proceso de aplicación es variable, dependiendo si es en función de una respuesta a un proceso de solicitud o el sujeto que busca apoyo realiza una propuesta no solicitada.

Datos de contacto:

Dirección de la Misión de USAID en México
Dirección: Embajada de los Estados Unidos de América en México,
Paseo de la Reforma No. 305, Col. Cuauhtémoc, Ciudad de México, C.P. 06500
Teléfono: +52 55 5080 2000
Correo electrónico: usaidmexico@usaid.gov
Sitio web: <https://www.usaid.gov/contact-us>

Agencia Francesa para el Desarrollo (AFD)

La Agencia es una institución pública financiera comprometida con la asistencia a proyectos que permiten mejorar la calidad de vida en países en vías de desarrollo dentro del marco político definido por el Gobierno Francés. La AFD busca desarrollar proyectos sustentables que se encuentren alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de

las Naciones Unidas. La AFD ha trabajado con México para promover el desarrollo urbano sostenible, incluyendo la renovación del sistema del metro de la Ciudad de México para así reducir el número de vehículos privados en la capital. La mejora de la calidad del aire es compatible con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en materia de salud y bienestar (ODS 3), energía asequible y no contaminante (ODS 7) y ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11).

Los tipos de apoyos que se otorgan incluyen subvenciones y préstamos a gobiernos y autoridades locales, compañías y organizaciones no gubernamentales. Los términos del financiamiento dependerán de la naturaleza del proyecto y su entorno político, económico, social y ambiental. Para aplicar al financiamiento, los proyectos deben ser presentados por los órganos de contratación local a las oficinas de la AFD. La Agencia entonces procede a evaluar el proyecto, siendo necesarios estudios técnicos y de factibilidad. Si los resultados son positivos, la oficina local colabora con la sede de la AFD para tomar una decisión final y ejecutar el proyecto en cuestión.

Datos de contacto:

Agencia de la AFD en México

Dirección: Torre Omega, Campos Elíseos No. 345, Piso 5 oficina 501-A, Col. Chapultepec Polanco, Ciudad de México, C.P. 11560

Teléfono: +52 55 5281 1777

Correo electrónico: afd_mexico@afd.fr

Sitio web: <https://www.afd.fr/en/page-region-pays/mexico>

Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (SIDA)

A través de la Agencia, el Ministerio de Relaciones Internacionales de Suecia busca apoyar el desarrollo económico, político y social de países en desarrollo. Uno de los campos de trabajo prioritarios de la SIDA es la sustentabilidad ambiental y la mitigación del impacto generado por la contaminación del aire.

Uno de los métodos de intervención de la Agencia es el financiamiento de proyectos en otros países a través de garantías e instrumentos de financiamiento de programas por resultados. Con la finalidad de implementar las acciones respectivas, la SIDA colabora con organizaciones tanto gubernamentales como no gubernamentales, asociaciones civiles, empresas y cooperativas. La Agencia también busca nuevas maneras de financiar proyectos a través de la búsqueda de actores potenciales que puedan colaborar en el desarrollo global y así movilizar recursos que permitan acelerar la ejecución de los proyectos.

Datos de contacto:

Sede Central de la SIDA
Dirección: Valhallavägen 199, SE-105 25, Estocolmo, Suecia
Teléfono: +46 8 698 5000
Correo electrónico: sida@sida.se
Sitio web: <https://www.sida.se/English/>

Banco de Desarrollo de América Latina (CAF)

El CAF es un banco que promueve el desarrollo sostenible en países de América Latina. A través de sus apoyos financieros aborda temas relacionados con medio ambiente, transporte y movilidad urbana. El Banco ofrece operaciones de crédito, recursos no reembolsables y asesoría técnica y financiera para la estructuración y ejecución de proyectos que abarcan planes de infraestructura relacionados con la vialidad, el transporte, la generación y transmisión de energía y el saneamiento ambiental.

Los servicios que ofrece el Banco son variados e incluyen préstamos, financiamiento estructurado, garantías, cooperación técnica, líneas de crédito y cofinanciamiento; estos servicios están disponibles para el sector privado y público. Para aplicar al financiamiento se deben seguir los lineamientos para la adquisición de bienes, servicios y obras del CAF.

Datos de contacto:

Oficina del CAF en México
Dirección: Avenida Paseo de la Reforma No. 342, piso 23, Colonia Juárez, Ciudad de México, C.P. 06600
Teléfono: +52 55 1102 6911
Sitio web: <https://www.caf.com/>
<https://www.caf.com/es/paises/mexico/contacto/>

Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

El BID es una organización financiera internacional que busca apoyar el desarrollo económico y social de América Latina y el Caribe a través de diferentes mecanismos de financiamiento y garantías. Los instrumentos disponibles incluyen préstamos de inversión para el financiamiento de bienes, obras públicas y servicios. Igualmente se otorgan préstamos de apoyo a ajustes de política pública, los cuales proporcionan un financiamiento flexible y líquido para apoyar reformas y cambios institucionales en determinados sectores, incluyendo medio ambiente y desarrollo urbano.

Uno de los temas transversales prioritarios que busca abordar el BID a través de los proyectos que apoya económicamente es la sostenibilidad ambiental. El Banco también está involucrado en proyectos que permiten mejorar las condiciones de vida y el hábitat urbano para así proteger a la población de los impactos ambientales adversos, además de apoyar la expansión de sistemas de transporte sustentables.

México, al ser país miembro del BID, puede acceder a los préstamos, donaciones y asistencia técnica que ofrece el Banco, siendo elegibles para obtener financiamiento instituciones gubernamentales, la sociedad civil e intermediarios financieros. En México se han llevado a cabo 72 proyectos relacionados a medio ambiente y desastres naturales, con un portafolio activo de préstamos que ascienden a 100 millones de dólares para el sector. La solicitud de financiamiento requiere la presentación de una carta formal donde se soliciten los fondos a la agencia del Banco dentro de México.

Datos de contacto:

Representación del BID en México

Dirección: Avenida Paseo de la Reforma No. 222, Piso 11, Col. Juárez, Ciudad de México, C.P. 06600

Teléfono: +52 55 9138 6200

Correo electrónico: BIDMexico@iadb.org

Sitio web: <https://www.iadb.org/es>

Banco Mundial (BM)

El Banco Mundial es una organización multinacional que supone una de las fuentes de financiamiento más importantes para países en desarrollo. El objetivo principal de la organización es promover el desarrollo sostenible y la reducción de la pobreza a través de las cinco instituciones que lo integran.

En materia de calidad del aire el Banco busca apoyar a países afectados severamente por la contaminación del aire a través de asistencia técnica para el manejo de la contaminación, generación e intercambio de conocimiento y concientización sobre el impacto perjudicial de la mala calidad del aire en el estado de salud de la población. El Banco Mundial ha creado el Programa de Salud Ambiental y de Gestión de la Contaminación, con el objetivo de reducir la contaminación del aire y mejorar la salud de comunidades que puedan verse afectadas por la misma.

Las opciones de financiamiento del Banco Mundial incluyen tres instrumentos principales: financiamiento para proyectos de inversión, financiamiento para políticas de desarrollo y programa por resultados. Estos instrumentos permiten el desembolso por concepto de gastos elegibles, por implementación de medidas de políticas públicas y

resultados alcanzados, respectivamente. Estos apoyos son otorgados a gobiernos o subdivisiones políticas a través de préstamos del BIRF (Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento), créditos/donaciones de la AIF (Asociación Internacional de Fomento) y garantías. El ciclo de préstamo inicia con la identificación y examinación de la idea del proyecto, para después identificar si respalda el Marco de Alianza (CPF por sus siglas en inglés) con el país, en este caso México. Para acceder a recursos del BM es importante identificar el área interna adecuada del Banco, el organismo gubernamental del país que se encargará de instrumentar el proyecto, las partes interesadas y los beneficios que se prevén.

Otra institución afiliada al Banco es la Corporación Financiera Internacional (CFI), que ofrece servicios de financiamiento al sector privado de países en desarrollo. Los proyectos elegibles para el financiamiento deben localizarse en un país miembro de la CFI, pertenecer al sector privado, ser técnicamente sólidos, rentables, beneficiar a la economía local y ser social y ambientalmente amigables. No existe una vía de aplicación estándar para el financiamiento del CFI, pero cualquier empresario o institución privada puede presentar una propuesta de inversión.

Datos de contacto:

Dirección General del Banco Mundial en México
Dirección: Insurgentes Sur No. 1605, Piso 24, Col. San José Insurgentes,
Ciudad de México, C.P. 03900
Teléfono: +52 55 5480 4200
Correo electrónico: bmmexico@worldbank.org
Sitio web: <http://www.bancomundial.org/>

Gerencia de la CFI para México
Dirección: Torre Reforma, Paseo de la Reforma No. 483, Piso 18,
Col. Cuauhtémoc, Ciudad de México, C.P. 06500
Teléfono: +52 55 3098 0130
Sitio web: <https://www.ifc.org/>

Coalición Clima y Aire Limpio

La Coalición Clima y Aire Limpio (CCAC, por sus siglas en inglés) fue fundada en 2012 por los gobiernos de seis países, incluyendo a México. La institución es una asociación voluntaria integrada por gobiernos de distintos países, organizaciones intergubernamentales, el sector privado, instituciones de investigación científica y asociaciones civiles comprometidas con mejorar la calidad del aire a través de acciones que reduzcan contaminantes climáticos de vida corta. Dichos contaminantes incluyen el ozono troposférico, cuyas elevadas concentraciones son uno de los problemas principales en la ZMCT, aunque la ZMVT también presenta concentraciones por encima de los límites máximos permisibles.

Como parte de la Coalición se creó el Fondo Clima y Aire Limpio (*Climate and Clean Air Trust Fund*), el cual es administrado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). El Fondo permite, entre otras actividades, el financiamiento y apoyo de los proyectos aprobados por la Coalición. La Coalición busca ejecutar los proyectos a través de once iniciativas, incluyendo el mejoramiento de la salud de la población respecto de la calidad del aire, reducción de emisiones de carbono por vehículos a diésel, reducción de emisiones de contaminantes de vida corta por quema doméstica de combustibles, evaluación y monitoreo de contaminantes, así como el apoyo a planes de acción nacionales.

El municipio de Toluca forma parte de la Coalición desde el 26 de agosto de 2016. El municipio logró la incorporación gracias a los esfuerzos de la Dirección de Medio Ambiente y continúa trabajando en la reducción de emisiones de contaminantes de vida corta.

La asignación de recursos es aprobada por el grupo de trabajo de la Coalición, siguiendo el proceso descrito en la Guía sobre Funcionamiento de Iniciativas y Proceso de Financiamiento (*CCAC Guidelines on Initiative Functioning and Funding Process*). El proceso consta de dos pasos clave: en primer lugar, la entrega de una propuesta inicial para su aprobación por parte de la Coalición, para después finalizar dicha propuesta y aprobar el presupuesto final.

Datos de contacto:

Sede Central de la CCAC
Dirección: 1 Rue Miollis, Building VII, 75015, París, Francia
Teléfono: +33 1 44 37 14 73
Correo electrónico: secretariat@ccacoalition.org
Sitio web: <http://www.ccacoalition.org/en>

Embajada Británica en México

La Embajada Británica ha implementado en México un programa de asistencia técnica para el financiamiento climático internacional. A través del fondo "*Prosperity Fund*", la Embajada busca apoyar el desarrollo sostenible, el crecimiento económico y la innovación en México. Entre abril de 2016 y marzo de 2017 la Embajada asignó £6 millones de libras que se invirtieron en cinco sectores, incluyendo energía y educación. En la Ciudad de México los recursos proporcionados por la Embajada Británica han sido utilizados en el desarrollo de automóviles con bajas emisiones de carbono y en temas de política climática.

Los representantes de la Embajada Británica han trabajado en conjunto con el Poder Legislativo del país, así como con otros actores del sector público, la iniciativa privada y la sociedad civil. Debido al tamaño del

Fondo y la responsabilidad que conlleva para la Embajada, la asignación de recursos requiere de mecanismos de aprobación y planeación estrictos. Para obtener más información sobre posibles oportunidades de financiamiento a través del fondo “*Prosperity Fund*” es necesario contactar directamente a la embajada.

Datos de contacto:

Embajada Británica en México
Dirección: Río Lerma No. 71, Col. Cuauhtémoc, Ciudad de México, C.P. 06500
Teléfono: +52 55 1670 3200
Correo electrónico: ukinmexico@fco.gov.uk
Sitio web: <https://www.gov.uk/world/organisations/british-embassy-mexico-city>

Fondo de Tecnología Limpia

Este Fondo es operado por el Banco Mundial y es parte de los Fondos de Inversión en el Clima. Con él, se busca promover mecanismos de financiamiento que permitan la transferencia de tecnologías bajas en carbono y que tengan un potencial para la reducción de gases de efecto invernadero y otros contaminantes que deterioran la calidad del aire. Uno de sus principales objetivos es financiar proyectos de bajas emisiones que estén incorporados a los planes y estrategias nacionales. Algunas subcategorías de los proyectos que fomenta el Fondo incluyen el uso de energías renovables, eficiencia energética y transporte sustentable.

El Fondo busca apoyar proyectos y programas sectoriales y sub-sectoriales a gran escala, tanto nacional como local, a través de subvenciones, préstamos concesionales, asistencia técnica, garantías y capital. Las inversiones pueden incluir proyectos de baja emisión de carbono en el sector energético (energías renovables y eficiencia energética), transporte (renovación de sistemas de transporte público y cambio de combustible) y el uso a gran escala de tecnologías que sean energéticamente eficientes, así como apoyos al sector de la construcción.

El proceso de aplicación debe seguir los lineamientos y directrices del fondo, los cuales se encuentran disponibles en su página web. Las subvenciones son ejecutadas por los Bancos Multilaterales de Desarrollo (MDB) y la solicitud de donación debe describir detalladamente el alcance del proyecto, los términos de referencia y un presupuesto para justificar el financiamiento que se solicita.

Datos de contacto:

Dirección del Fondo de Inversión en el Clima
Correo electrónico: CIFAdminUnit@worldbank.org
Sitio web: <https://www.climateinvestmentfunds.org/contact>

Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM)

El FMAM (en inglés Global Environmental Facility o GEF) se estableció en la víspera de la Cumbre de la Tierra de Río para ayudar a combatir los problemas ambientales más apremiantes del planeta. Desde entonces, ha otorgado más de \$17.9 mil millones de dólares en subvenciones y ha movilizado \$93.2 mil millones de dólares adicionales en programas de cofinanciamiento para 4,500 proyectos en 170 países. En materia de calidad del aire el Fondo ha apoyado la implementación de proyectos relacionados a sistemas de transporte sustentables, reducción de gases de efecto invernadero y proyectos de eficiencia energética en diversos sectores industriales.

Los apoyos económicos del FMAM están disponibles para países en desarrollo y con economías transitorias para poder cumplir con los objetivos de convenios y acuerdos ambientales a nivel internacional. Los sujetos a quienes están dirigidos los apoyos pueden ser agencias gubernamentales, organizaciones civiles, compañías del sector privado, institutos de investigación, entre otros socios potenciales, para la implementación de proyectos y programas en los países beneficiarios.

Las agencias implementadoras del Fondo crean propuestas de proyectos para después gestionarlos en campo. De este modo, ayudan a gobiernos elegibles en el desarrollo, implementación y ejecución de los proyectos. Dieciocho instituciones fungen como agencias implementadoras del FMAM, incluyendo la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el BID, el CAF y el Banco Mundial.

Los montos otorgados por el Fondo varían dependiendo del tamaño y alcance de los proyectos. Un primer paso para obtener apoyo del FMAM es contactar al Punto Focal del país en cuestión. Los Puntos Focales proporcionarán información sobre posibles oportunidades y proyectos financiados por el Fondo a través de sus agencias implementadoras.

Datos de contacto:¹

Sitio web: <https://www.thegef.org/contact>

Gobierno Alemán y Corporación Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ)

México ha colaborado activamente con la Corporación Alemana para la Cooperación Internacional, o GIZ, desde 1997. La GIZ proporciona servicios de consultoría al gobierno de México en una variedad de temas, incluyendo política ambiental y eficiencia energética.

1. Los datos de contacto del Punto Focal del FMAM en México se encuentran en la siguiente liga: http://www.thegef.org/focal_points_list

Actualmente el Gobierno Alemán apoya a México en el combate a problemas ambientales relacionados con la contaminación industrial y urbana. Por ejemplo, a través del proyecto de “Gestión Ambiental Urbana-Industrial II” se busca implementar modelos innovadores para la protección ambiental a nivel municipal en seis ciudades o municipios mexicanos, incluyendo Tlalnepantla. También se están implementando proyectos con el Estado de México para fortalecer la cooperación entre comunidades dentro de regiones metropolitanas. Si bien el periodo del proyecto finaliza en 2019, es posible procurar nuevos proyectos dentro del marco de cooperación de los dos países. La GIZ también ofrece acuerdos de financiamiento que incluyen subsidios, subvenciones y donaciones, entre otras opciones.

Datos de contacto:

Dirección de la GIZ en México
Dirección: Torre Hemicor, PH, Av. Insurgentes Sur No. 826,
Col. del Valle, Ciudad de México
Teléfono: +52 55 5536 2344
Correo electrónico: giz-mexiko@giz.de
Sitio web: <https://www.giz.de/en/worldwide/306.html>

7.7. Intervención del sector privado

Las agencias, fondos e instituciones listadas en el apartado anterior representan fuentes de financiamiento a las que, si bien el sector privado también puede acceder, tienen como sujetos principales de apoyo a organismos públicos. No obstante, dado que el involucramiento del sector privado y la industria es indispensable para implementar las medidas del ProAire, es importante identificar instrumentos de financiamiento a los cuales pueden acceder estos sectores. De manera individual las empresas y actores del sector privado podrán acceder a fuentes de financiamiento o programas de incentivos tanto nacionales como internacionales. Algunos ejemplos de organizaciones que otorgan este tipo de apoyos son:

- Corporación Financiera Internacional: organización que forma parte del Banco Mundial, ofrece servicios de financiamiento al sector privado de países en desarrollo.
- Instituto Nacional del Emprendedor: organismo público que otorga apoyos financieros a los emprendedores y a las micro, pequeñas y medianas empresas.
- Fondo para Proyectos de Prevención de la Contaminación (FIPREV): fondo nacional que apoya a empresarios en la detección y puesta en marcha de tecnologías para la prevención de la contaminación a través de mejoras en los procesos productivos y el cambio hacia tecnologías energéticamente eficientes y de mejor desempeño ambiental.

- Nacional Financiera (NAFIN): la banca comercial, en conjunto con NAFIN, ofrece instrumentos de financiamiento a micro, pequeñas y medianas empresas.

Cuando se trate de proyectos que se aplicarán por el sector privado, los apoyos económicos podrán usarse para:

- Apoyar el desarrollo del proyecto (estudios de factibilidad técnica, de impacto ambiental, consultoría, documentación de proyectos, estudios de evaluación, etc.)
- Soporte indirecto para el financiamiento de proyectos (garantías, seguros, fianzas; gestión para la obtención de financiamiento).
- Apoyo para la capacitación y asistencia técnica.
- Subsidiar o fomentar la investigación y desarrollo de tecnologías para mejorar la calidad del aire.

También es importante fomentar el financiamiento de acciones que permitan mejorar la calidad del aire a través de incentivos en el sector privado. Estos incentivos deben estar destinados a internalizar el deterioro de la calidad del aire; es decir, que los agentes económicos privados responsables de la contaminación atmosférica asuman los gastos de subsanar el daño al medio ambiente. Al internalizar los costos ambientales que estos actores privados imponen a la sociedad a través de instrumentos económicos es posible obtener costos sociales. Entre los instrumentos destacan los impuestos por contaminar, el uso de permisos para contaminar, los subsidios, los incentivos fiscales, el sistema de depósito reembolso, entre otros. (CMM, 2011)

Estos instrumentos económicos son una herramienta útil para el gobierno estatal y los ayuntamientos que busquen generar incentivos orientados al logro de objetivos ambientales específicos al menor costo. Además, de esta manera se crean incentivos para que en el corto plazo se busquen soluciones que limiten el impacto negativo de la contaminación del aire. En el largo plazo estos incentivos fomentan inversiones en tecnologías menos contaminantes.

Otras acciones que pueden ser utilizadas para incentivar al sector privado son (Pearce, 1997):

- Incrementar oportunidades de inversión en activos ambientales a través de la creación de mercados. El propósito de esto es convertir los beneficios no comerciales en flujo de capital. Una razón importante por la cual parecen no existir inversiones en el sector es que los beneficios ambientales generados usualmente no tienen un mercado, por lo que resulta imperativa su creación. Esto puede lograrse, por ejemplo, a través de incentivos fiscales obtenidos por la reducción de emisiones o la instalación de tecnologías menos contaminantes.

- Implementación de instrumentos de mercado basados en el principio de "quien contamina paga". Este tipo de instrumentos busca poner un valor a la contaminación emitida, y establecer cuotas intercambiables entre los actores privados, de forma que una industria que tenga la posibilidad de reducir sus emisiones por debajo de su cuota, pueda vender esos "permisos" de contaminación sobrante a otro ente privado que los requiera. Esta política debe estar aparejada por una vigilancia estricta y una multa significativa por cada unidad de contaminantes emitida por arriba de la cuota o "permisos" ambientales entregados. Un ejemplo de ello son los mercados de bonos de carbono que intercambian certificados de gases de efecto invernadero; o los propios certificados de energía limpia que existen en la legislación Mexicana.
- Instrumentos financieros que permitan fondear los costos de tecnologías limpias en sectores donde resultan más caras que las tecnologías convencionales. Este tipo de instrumentos incluyen subsidios, subvenciones e incentivos fiscales (apoyos tributarios, gravámenes ambientales, estímulos). Por ejemplo, tener derecho a un crédito equivalente a un porcentaje específico de la inversión realizada por un agente privado para reducir sus emisiones de gases contaminantes. (Terán Contreras & González Ruiz, 2005)

REFERENCIAS:

- Agence Française de Développement. Who are we? Recuperado de <https://www.afd.fr/en/agence-francaise-de-developpement>
- Agencia de Cooperación Internacional de Japón. Acerca de JICA. Recuperado de <https://www.jica.go.jp/spanish/index.html>
- Banco de Desarrollo de América Latina. Sobre CAF. Recuperado de <https://www.caf.com/es/sobre-caf/>
- Banco Interamericano de Desarrollo. Acerca del BID. Recuperado de <https://www.iadb.org/es/acerca-del-bid/perspectiva-general>
- Banco Mundial. Quienes somos. Recuperado de <http://www.bancomundial.org/es/about>
- Banco Mundial. (2017). *Manual de préstamos para prestatarios del Banco Mundial*. Recuperado de <http://siteresources.worldbank.org/BORROWERPORTAL/Resources/DisbursementHandbookSpanish061107.pdf>
- Banobras. ¿Qué hacemos? Recuperado de <https://www.gob.mx/banobras/que-hacemos>
- British Embassy Mexico City. 2017. Prosperity Fund Programme in Mexico. Recuperado de <https://www.gov.uk/government/news/prosperity-programme-in-mexico>
- CMM. (2011). *Identificación de Mecanismos de Financiamiento para las Estrategias Ambientales del Distrito Federal*.
- Climate and Clean Air Coalition. Funding. Recuperado de <http://www.ccacoalition.org/en/content/funding>
- Climate Investment Funds. Our work. Recuperado de <https://www.climateinvestmentfunds.org/topics/clean-technologies>
- FONADIN. Acerca del Fonadin. Recuperado de <https://www.fonadin.gob.mx/acerca-del-fonadin/>

- GEM. (2017). *Poder Ejecutivo del Estado Decreto Número 268.-Por el que se aprueba el Presupuesto de Egresos del Gobierno del Estado de México para el Ejercicio Fiscal del Año 2018*. Recuperado de <http://transparenciafiscal.edomex.gob.mx/sites/transparenciafiscal.edomex.gob.mx/files/files/pdf/marco-programatico-presupuestal/presupuesto-egresos-2018.pdf>
- GIZ. Governments worldwide. Recuperado de https://www.giz.de/en/workingwithgiz/governments_worldwide.html
- Global Environment Facility. About Us. Recuperado de <https://www.thegef.org/about-us>
- Gobierno de la República. (2017). *Presupuesto de Egresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal de 2018*. Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/PEF_2018_291117.pdf
- Gobierno de la República. *Contrato Fideicomiso Ambiental 1490*. Recuperado de <https://www.gob.mx/comisionambiental/documentos/contrato-fideicomiso-ambiental-1490>
- Pearce, D. (1997). *Incentives for Private Sector Financing of Sustainable Development*. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/508b/db134d0fa7dd415034ecfc919caf6b89aeb.pdf>
- Swedish International Development Cooperation Agency. How we work. Recuperado de <https://www.sida.se/English/how-we-work/>
- Terán Contreras, J. M., & González Ruiz, S. L. (2005). *Instrumentos fiscales en la gestión ambiental*. Recuperado de <https://www.azc.uam.mx/publicaciones/alegatos/pdfs/28/31-05.pdf>
- USAID. Who we are. Recuperado de <https://www.usaid.gov/who-we-are>

CAPÍTULO

08

FUNDAMENTO JURÍDICO

08 FUNDAMENTO JURÍDICO

8.1. Introducción

Este capítulo presenta el marco jurídico vigente en materia de calidad del aire y protección a la atmósfera, con el objetivo de encuadrar el sustento jurídico que justifica al Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire en el Estado de México (ProAire) 2018-2030 y las medidas, estrategias y acciones que propone. Además, el contenido de este apartado ayuda a identificar las áreas de oportunidad en las que se puede mejorar el marco jurídico vigente, considerando los retos actuales de la gestión pública ambiental del Estado de México, y cómo esta repercute en el problema de calidad del aire.

Al analizar el marco jurídico en materia de protección a la atmósfera y calidad del aire se podrá establecer un panorama amplio de las disposiciones aplicables - así como el marco de obligaciones del Estado de México en relación con la nación - a los municipios que lo conforman, y a las fuentes fijas y móviles que generan contaminantes atmosféricos.

La descripción parte de una breve referencia a las disposiciones relativas a la protección de la calidad del aire en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Después se describe el panorama general desde la esfera internacional, especificando los instrumentos de derecho internacional celebrados por México que guardan relación con la protección a la atmósfera. De manera posterior, se relatan las disposiciones jurídicas nacionales a nivel federal, estatal y municipal en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica.

8.2. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) establece los lineamientos de todo el actuar de los Mexicanos y quienes visitan el país. Este ordenamiento jurídico se encuentra por encima de cualquier otro, incluyendo los tratados internacionales descritos subsecuentemente.

En su artículo 4º, párrafo quinto, se expresa en la Constitución de manera literal que *“Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley”*. En otras palabras, se debe mantener un equilibrio sustentable, e invertir en el mismo, de tal manera que el uso de los recursos naturales satisfaga las necesidades actuales sin comprometer las de generaciones futuras.

La Constitución define al aire del país como *“el espacio situado sobre el territorio nacional”*, estableciendo que está sujeto al derecho nacional, a la soberanía de la Nación, y por lo tanto a su régimen democrático y niveles de gobierno. Este “espacio” es considerado, entre otras cosas, como un recurso natural o bien nacional sujeto al régimen de dominio público cuya propiedad pertenece a la Nación, cuya explotación o aprovechamiento por actividades de origen antropogénico deberá de sujetarse a la regulación en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente, la cual establece un marco de concurrencia entre el gobierno federal, las entidades federativas y los municipios. Además de ello, la CPEUM prevé que las personas gozarán de los derechos humanos previstos en ella y en los Tratados Internacionales, señalando al gobierno en todos sus niveles como el protector de los mismos, cuestión que cobra relevancia en materia de calidad del aire y sus efectos sobre las personas y el equilibrio ecológico.

En este sentido, la ley prevé que el aire y la atmósfera se protegen tanto por ser recursos naturales, como elementos indispensables para garantizar el derecho a un medio ambiente sano.

8.3. Marco jurídico internacional

El marco jurídico internacional en materia de calidad del aire proviene principalmente de una visión de protección a los derechos humanos, que se relaciona directamente con la protección a la salud pública y la calidad de vida de la población.

8.3.1. Tratados Internacionales en materia de Derechos Humanos

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece en el artículo primero que todas las personas gozarán de los derechos humanos reconocidos en ella y en los tratados internacionales de los que el Estado Mexicano sea parte. Asimismo, señala que todas las autoridades tienen la obligación de garantizar estos derechos mediante la prevención, la sanción y la reparación de las violaciones a los mismos.

El tema de calidad del aire se constituye como un derecho humano a la vida, a la salud y a un ambiente sano para el bienestar de las personas. Derivado de ello, la comunidad internacional ha acordado el establecimiento de varios instrumentos vinculantes y no vinculantes que buscan la protección al ser humano mediante el cuidado ambiental. En este apartado se mencionan los tratados vinculantes más representativos para este ProAire.

En el Sistema Universal de Derechos Humanos se encuentra el **Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (PIDESC)**, el cual establece en su artículo 12 que los países miembros reconocen el derecho de toda persona al disfrute del más alto nivel posible de salud física y mental. El pacto establece que una de las medidas que deberán de adoptar los países para proteger estos derechos es precisamente el cuidado ambiental. Además de ello, la Observación General #14 del Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas que se encarga de supervisar el PIDESC, señala que la salud es un derecho humano fundamental e indispensable para el ejercicio de los demás derechos humanos.

En el sistema interamericano de derechos humanos del cual México forma parte, el **Protocolo Adicional a la Convención Americana sobre Derechos Humanos en materia de Derechos Económicos, Sociales y Culturales “Protocolo de San Salvador”**, establece en el artículo 11 que toda persona tiene derecho a vivir en un medio ambiente sano, señalando que las naciones parte promoverán la protección, preservación y mejoramiento del medio ambiente.

8.3.2. Instrumentos Internacionales relativos a la calidad del aire

Existen tratados internacionales vinculantes que, pese a tener un objeto que no es propiamente la calidad del aire, sí inciden en la protección a la atmósfera, misma que es impactada por las mismas fuentes de contaminantes que el ProAire busca controlar. En este sentido, el cuidado de este elemento natural genera beneficios que impactan de manera positiva en la calidad del aire y por lo tanto, en la salud de las personas y el equilibrio ecológico.

El **Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes** tiene como objetivo proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los contaminantes orgánicos, en el marco del principio de precaución. El Convenio reconoce que los Contaminantes Orgánicos Persistentes tienen propiedades tóxicas, son resistentes a la degradación, se bioacumulan y son trasladados por diversos medios físicos o biológicos (agua, aire o animales) a través de las fronteras internacionales y depositados lejos del lugar de su liberación. Los países parte de esta

convención deben adoptar medidas jurídicas y administrativas para reducir o eliminar las liberaciones derivadas de la producción y utilización de productos químicos identificados como contaminantes orgánicos persistentes.

Algunos de los contaminantes orgánicos persistentes pueden ser transportados en la atmósfera a lo largo de grandes distancias, por lo que son una fuente de contaminación transfronteriza. Si bien estos contaminantes no están contemplados comúnmente en los Programas de Gestión de la Calidad del Aire, la disminución en su uso que se derivó del Convenio de Estocolmo ha permitido mejorar la calidad del aire y disminuir la contaminación.

Además de los tratados internacionales que son jurídicamente vinculantes para las instituciones mexicanas, existen declaraciones o acuerdos internacionales en donde México se ha comprometido a perseguir ciertos objetivos. Si bien estos no son jurídicamente vinculantes, no dejan de establecer una guía al actuar público.

La **Declaración de Estocolmo sobre el Medio Ambiente Humano** se celebró en el marco de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano en 1972. En su segundo principio, se establece que *“Los recursos naturales de la tierra incluidos el aire, el agua, la tierra, la flora y la fauna y especialmente muestras representativas de los ecosistemas naturales, deben preservarse en beneficio de las generaciones presentes y futuras, mediante una cuidadosa planificación u ordenación, según convenga.”* (ONU, 1972)

La **resolución aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas 66/288 (El futuro que queremos)**, señala en la sección V, apartado A, numeral 135, que los Estados Miembros se comprometen a promover políticas que apoyen una buena calidad del aire. Asimismo, en materia de salud pública, la resolución reconoce la amenaza que representan las enfermedades relacionadas a la contaminación del aire como uno de los principales obstáculos para el desarrollo sostenible. Por ello, establece la intención de reducir la contaminación de la atmósfera.

Las **Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud** son fruto de una larga investigación y fueron presentadas durante la Reunión del Grupo de Trabajo de la Organización Mundial de la Salud (OMS) que se celebró en 2005. Estas Guías ofrecen parámetros o límites máximos de exposición para ciertos contaminantes atmosféricos como son: material particulado (PM), ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂), los cuales tienen impactos o efectos perjudiciales en la salud humana y de los ecosistemas. En ese sentido, los países miembros de las Naciones Unidas deben observar estos parámetros en el desarrollo de los instrumentos normativos destinados a regular la calidad

del aire, así como los límites máximos permisibles de las emisiones de contaminantes a la atmósfera en el desarrollo y operación de fuentes fijas o móviles (Organización Mundial de la Salud, 2006). Estas guías son el instrumento internacional clave para el ProAire, pues definen claramente los niveles de contaminación atmosférica que son aceptables para el bienestar de la población y la protección de su salud. Estos niveles son la base internacional para el establecimiento de los límites máximos permisibles en las normas nacionales, los niveles de activación de contingencias atmosféricas y el diseño de las políticas públicas en la materia. Además de los límites de las Guías de Calidad del Aire (GCA), la OMS también define objetivos intermedios (OI) que los países pueden utilizar para definir el progreso en el proceso de reducir la exposición de la población a los contaminantes atmosféricos. Estos niveles se indican en la Tabla 8.1.

**Tabla 8.1 Guías de Calidad del Aire de la OMS
y objetivos intermedios para contaminantes atmosféricos**

Contaminante criterio	Indicador	GCA y OI de la OMS				Límite NOM
		OI-1	OI-2	OI-3	GCA	
Partículas PM ₁₀	Promedio anual	70 µg/m ³	50 µg/m ³	30 µg/m ³	20 µg/m ³	40 µg/m ³
	Promedio de 24 horas	150 µg/m ³	100 µg/m ³	75 µg/m ³	50 µg/m ³	75 µg/m ³
Partículas PM _{2.5}	Promedio anual	35 µg/m ³	25 µg/m ³	15 µg/m ³	10 µg/m ³	12 µg/m ³
	Promedio de 24 horas	75 µg/m ³	50 µg/m ³	37.5 µg/m ³	25 µg/m ³	45 µg/m ³
Ozono	Promedio móvil de 8 horas	160 µg/m ³ (0.082 ppm)	-	-	100 µg/m ³ (0.051 ppm)	0.070 ppm (137.2 µg/m ³)
Dióxido de nitrógeno	Promedio anual	-	-	-	40 µg/m ³ (0.021 ppm)	-
	Promedio horario	-	-	-	200 µg/m ³ (0.106 ppm)	0.210 ppm (395 µg/m ³)
Dióxido de azufre	Promedio anual	125 µg/m ³ (0.048 ppm)	50 µg/m ³ (0.019 ppm)	-	20 µg/m ³ (0.008 ppm)	0.025 ppm (66 µg/m ³)
	Promedio de 10 minutos	-	-	-	500 µg/m ³ (0.191 ppm)	-

Fuente: Organización Mundial de la Salud
(OMS, 2006)

La comparación anterior muestra cómo nuestra normatividad y política no ha alcanzado los límites deseados; sin embargo, esto no implica que México esté actuando de manera negligente o laxa, sino que se trata de una estrategia de gestión pública para alcanzar gradualmente los niveles de calidad ambiental adecuados. También es importante mencionar que la

normatividad mexicana no considera algunos de los límites establecidos por la OMS para NO_2 y SO_2 . Esta situación debe de considerarse en las revisiones y avance futuro del ProAire, pues algunas de las políticas y normativas deberán modificarse para acercarse a los niveles establecidos por la OMS.

8.3.3. Agenda 2030

La Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) adoptó la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible en 2015. El documento final, titulado “Transformar Nuestro Mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible” representa un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad. La Agenda busca no solamente erradicar la pobreza extrema, sino integrar y equilibrar las tres dimensiones del desarrollo sostenible –económico, social y ambiental– en una visión global e integral que incluye 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), 169 metas y 231 indicadores globales.

Figura 8.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030



Fuente: Organización de las Naciones Unidas
(ONU, 2015)

En particular, el Objetivo de Desarrollo Sostenible 11 se enfoca en las ciudades y comunidades sostenibles. Las ciudades enfrentan un gran número de problemas, como la contaminación, la falta de servicios básicos para muchos ciudadanos y el deterioro de la infraestructura. Dos de las metas del ODS 11 se relacionan con el mejoramiento de la calidad del aire.

- La meta 11.6 plantea reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, lo que incluye prestar especial atención a la calidad del aire.
- La meta 11.7 implica proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres, niños, personas de la tercera edad y personas con discapacidad. Dado que el aire es un elemento que integra a estos espacios públicos, su calidad debe permitir que la población se desarrolle de manera segura.

El Objetivo de Desarrollo Sostenible 13 “Acción por el Clima” también se relaciona con la calidad del aire. La Agenda 2030 busca impulsar la adopción de medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, de tal manera que estas sean adoptadas en políticas, estrategias y planes nacionales¹. Otra de las metas del ODS 13 es mejorar la educación, la sensibilización y las capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él y la reducción de sus efectos². Muchas de las medidas enfocadas a combatir el cambio climático inciden directamente sobre las emisiones de gases contaminantes, existiendo un vínculo entre el mejoramiento de la calidad del aire y las acciones a favor del clima.

Finalmente, el Objetivo de Desarrollo Sostenible 15 dirige su atención hacia la vida en los ecosistemas terrestres. A través de este ODS se promueve el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, toda vez que es necesario frenar la degradación de las tierras y la pérdida de diversidad biológica. Una de las metas establecidas en este Objetivo es luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con efecto neutro en la degradación del suelo³. Los suelos erosionados son una fuente natural de contaminación atmosférica, por lo que su rehabilitación conforme a lo estipulado en el ODS 15 contribuye al mejoramiento de la calidad del aire.

8.3.4. Acuerdos bilaterales y multilaterales celebrados por México en materia de calidad del aire

México también ha suscrito diversos instrumentos internacionales de carácter bilateral y multilateral que tienen cierta implicación en lo que respecta a la calidad del aire, pues buscan controlar emisiones atmosféricas asociadas a los contaminantes criterio que regula el ProAire. En este sentido,

1. Meta 13.2 de la Agenda 2030

2. Meta 13.3 de la Agenda 2030

3. Meta 15.3 de la Agenda 2030

la intención de los tratados es el control de la contaminación transfronteriza. A diferencia de los instrumentos mencionados anteriormente, los acuerdos que se presentan a continuación obligan únicamente a dos o tres países que se comprometen a un objetivo común, siendo su alcance regional en lugar de global. No obstante, estos acuerdos tienen la misma validez y obligatoriedad.

El **Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte** forma parte del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). Este instrumento tiene como algunos de sus objetivos los siguientes:

- Alentar la protección y el mejoramiento del medio ambiente en la región, para el bienestar de las generaciones presentes y futuras.
- Incrementar la cooperación encaminada a conservar, proteger y mejorar aún más el medio ambiente, incluidas la flora y la fauna silvestres.
- Elaborar y mejorar las leyes, reglamentos, procedimientos, políticas, y prácticas ambientales, así como también promover políticas y prácticas para prevenir la contaminación.

En el marco del TLCAN, se creó la Comisión para la Cooperación Ambiental, la cual ha trabajado en rastrear y reducir las emisiones de contaminantes en América del Norte, todo esto con el objetivo de mejorar el medio ambiente y la calidad del aire. Es así que el ProAire ayuda a cumplir con los objetivos establecidos en el Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte. Esto cobra aún más relevancia considerando que el Estado de México es un área prioritaria para mejorar la calidad del aire, toda vez que varios de sus municipios se encuentran conurbados a la Ciudad de México, el centro urbano más importante de México, además de que la ZMVT también presenta una mala calidad del aire.

El acuerdo entre México y los Estados Unidos de América sobre la **Cooperación para la Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México** entró en vigor en 1991 con el propósito de cooperar en la protección, mejoramiento y conservación del medio ambiente en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Específicamente el artículo tercero señala la posibilidad de colaborar en el control de las fuentes de contaminación que tienen un efecto directo o indirecto sobre la calidad del aire ambiental en la zona metropolitana.

El **Acuerdo de Cooperación Ambiental entre el Gobierno Mexicano y el Gobierno de Canadá** también entró en vigor en 1991 para establecer la cooperación bilateral para los aspectos relacionados con el ambiente atmosférico, incluyendo, entre otros, la contaminación del aire, así como también el monitoreo y los métodos de evaluación de la calidad ambiental.

El **Acuerdo de Cooperación en Materia de Medio Ambiente entre el Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos y la República Federativa del Brasil** tiene más de 20 años de vigencia y fue adoptado con el espíritu de establecer un marco de cooperación bilateral; no obstante que se aparta del objetivo transfronterizo, incluye aspectos relacionados con el ambiente atmosférico, la lluvia ácida, la capa de ozono y la calidad del aire, el monitoreo y métodos de evaluación de la calidad ambiental.

El ProAire comparte muchos de los objetivos que se plasman en estos acuerdos bilaterales, por lo que la implementación de las medidas descritas en el presente Programa permitiría dar cumplimiento a dichos acuerdos. Asimismo, estos acuerdos sientan la base para que en un futuro exista cooperación entre México y otros países para implementar las medidas del ProAire.

8.4. Legislación Federal

La **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)**, tiene por objeto establecer las disposiciones referentes a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como la protección al ambiente en el territorio nacional. Específicamente en lo referente a la calidad del aire, el objetivo nacional enmarcado en el artículo 110 de la LGEEPA es reducir y controlar las emisiones contaminantes, para asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población en todos los asentamientos humanos y regiones del país.

En adición a lo anterior, en la LGEEPA se establecen facultades en la materia tanto para la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) como para las entidades federativas. En este sentido, será competencia de la SEMARNAT atender los siguientes⁴ rubros:

- Expedir Normas Oficiales Mexicanas (NOM) sobre calidad ambiental requerida, estableciendo los Límites Máximos Permisibles (LMP) correspondientes.
- Integrar y actualizar el inventario de fuentes de jurisdicción federal, y coordinarse con gobiernos locales para integrar el nacional o regional.
- Expedir programas para reducción de emisiones.
- Promover y apoyar técnicamente a gobiernos locales en la formulación de programas de gestión de calidad del aire.
- Requerir cumplimiento de LMP a fuentes de jurisdicción federal.
- Aprobar los programas de gestión de calidad del aire de los gobiernos locales.
- Expedir en coordinación con la Secretaría de Economía, las NOM que establezcan LMP de emisiones de contaminantes a la atmósfera, provenientes de vehículos en planta y en circulación, considerando los valores de concentración máxima permisible de contaminantes para el ser humano determinados por la Secretaría de Salud.

4. Artículo 111 de la LGEEPA.

- Sancionar administrativamente las violaciones a los preceptos de la ley y sus reglamentos.
- Definir las fuentes que son de jurisdicción federal, estatal y municipal.

Con respecto a las facultades establecidas desde la LGEEPA para las entidades federativas y municipios se dispone que los gobiernos locales deberán:⁵

- Atender las fuentes fijas que funcionen como establecimientos industriales, comerciales y de servicios que no sean de competencia federal.
- Aplicar criterios generales para la protección a la atmósfera en los planes de desarrollo urbano de su competencia.
- Requerir el cumplimiento de los LMP a los responsables de la operación de fuentes fijas, móviles y de área de jurisdicción local.
- Integrar y mantener actualizado el inventario de fuentes de contaminación.
- Establecer sistemas de verificación de emisiones de automotores en circulación.
- Mantener sistemas de monitoreo de la calidad del aire y publicar su información, incluyendo el envío de reportes al Sistema Nacional de Información Ambiental.
- Regular emisiones del transporte público y de carga de su competencia.
- Definir medidas preventivas para evitar contingencias ambientales.
- Imponer y sancionar infracciones a quienes afecten la calidad del aire.
- Formular y aplicar programas de gestión de calidad del aire.

Como su nombre lo indica, el **Reglamento de la LGEEPA en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera (R-LGEEPA-PCCA)** tiene como fin reglamentar la prevención y control de la contaminación de la atmósfera, así como señalar las atribuciones en la materia de la Federación. Así entonces se reconocen como facultades de la Federación, además de las que ya han sido mencionadas, las siguientes:⁶

- Formular criterios ecológicos generales que deberán observarse en la prevención y control de la contaminación de la atmósfera.
- Determinar, en coordinación con las Secretarías de Energía y Economía, la aplicación de métodos, procedimientos, partes, componentes y equipos que reduzcan emisiones de contaminantes a la atmósfera, generados por vehículos automotores.
- Emitir dictámenes técnicos sobre sistemas de monitoreo de calidad del aire a cargo de estados y municipios.
- Vigilar el cumplimiento de la normatividad en las zonas y fuentes de jurisdicción federal.
- Establecer los procedimientos a los que deberá sujetarse el proceso de verificación obligatoria de vehículos destinados al transporte público federal autorizado por la SCT.

5. Artículo 112 de la LGEEPA.

6. Artículo 6 del R-LGEEPA-PCCA.

Aunque la obligación de no exceder los límites máximos permisibles establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas respecto de las emisiones de contaminantes a la atmósfera es una obligación para todas las fuentes fijas, el reglamento considera que los valores pueden ajustarse dependiendo de la antigüedad o ubicación de dichas fuentes de contaminantes.⁷

En cuanto a su rango de aplicación, el reglamento establece que la autoridad federal tendrá rectoría sobre las fuentes fijas en zonas de jurisdicción federal, o directamente en fuentes consideradas como de jurisdicción federal. Las zonas se refieren a sitios ocupados por instalaciones de terminales de transporte público federal, terrestre, aéreo y acuático y los parques industriales localizados en bienes del dominio público de la Federación. Las fuentes federales son instalaciones, obras o actividades que realicen las dependencias de la administración pública federal, aquellas catalogadas en el reglamento⁸, las que causen contaminación transfronteriza, los vehículos automotores en planta, el transporte público federal, y aquellas que por su naturaleza y complejidad requieran la intervención federal.

De lo anterior, se desprenden facultades de la Secretaría que es necesario tener en cuenta, ya que su marco de operación y aplicación no es del todo claro:

- a) Promover –previos estudios correspondientes– ante las autoridades competentes, la reubicación de fuente fijas cuando:
 - Las condiciones topográficas y meteorológicas del sitio en el que se ubican dificulten la adecuada dispersión de contaminantes a la atmósfera.
 - La calidad del aire así lo requiera.
 - Las características de los contaminantes constituyan un riesgo inminente de desequilibrio ecológico.
- b) Promover ante autoridades federales o locales competentes, con base en los estudios que haga para ese efecto, la limitación o suspensión de la instalación o funcionamiento de industrias, comercios, servicios, desarrollos urbanos o cualquier actividad que afecte o pueda afectar el ambiente o causar desequilibrio ecológico.⁹

La gestión de la contaminación atmosférica es un esquema de responsabilidad compartida, es decir, que no solo se prevén obligaciones para la autoridad competente, sino que también para los responsables de fuente fijas, quienes están sujetos al cumplimiento de las obligaciones siguientes¹⁰:

- a) Emplear equipos y sistemas que controlen las emisiones a la atmósfera.

7. Artículo 16 del R-LGEEPA-PCCA.

8. Según el artículo 17 Bis del R-LGEEPA-PCCA, se consideran los siguientes: Sector Hidrocarburos, Industria Química, Industria de Pinturas y Tintas, Industria Metalúrgica, Industria Automotriz, Industria de la Celulosa y el Papel, Industria Cementera y Calera, Industria del Asbesto, Industria del Vidrio, Generación de Energía Eléctrica, y Tratamiento de Residuos Peligrosos.

9. Artículos 14 y 15 del R-LGEEPA-PCCA.

10. Artículo 17 del R-LGEEPA-PCCA.

- b) Integrar un inventario de sus emisiones contaminantes.
- c) Instalar plataformas y puertos de muestreo.
- d) Medir sus emisiones, registrar sus resultados y remitir sus registros.
- e) Llevar a cabo el monitoreo perimetral de sus emisiones, cuando se localice en zonas urbanas o suburbanas, colinde con Áreas Naturales Protegidas o pueda causar deterioro grave a los ecosistemas.
- f) Llevar una bitácora de operación y mantenimiento de sus equipos de proceso y control.
- g) Dar aviso a la Secretaría del inicio de operación de sus procesos y en el caso de falla del equipo de control, de manera anticipada si estos pueden provocar contaminación.

En cuanto a los instrumentos de gestión o autorizaciones para fuentes fijas de jurisdicción federal se determina la licencia de funcionamiento con vigencia indefinida (Licencia Ambiental Única) y la Cédula de Operación Anual (COA), la cual puede ser modificada por la autoridad para efectos de fijar niveles máximos de emisión específicos a aquellas fuentes que por características especiales –construcción o procesos– no puedan encuadrarse en las normas que establezcan límites máximos permisibles de contaminantes.¹¹

En lo que respecta al tema de fuentes móviles, el presente Reglamento determina que el transporte público federal deberá ser sometido a una verificación periódica en los centros de verificación autorizados al respecto y conforme al programa que formule la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Así entonces, se señala la información que deberá contener la constancia expedida por los centros de verificación¹², los requisitos para establecer y operar centros de verificación obligatoria de vehículos de transporte público federal terrestre¹³ y las obligaciones de estos.¹⁴

Otra esfera de regulación de las fuentes móviles se refiere a la obligación de los fabricantes de vehículos automotores de asegurar que no rebasarán los niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes. Por tanto, la Secretaría de Economía únicamente autorizará la fabricación y ensamble de vehículos que no rebasen esos niveles, mientras que la SEMARNAT podrá instaurar el procedimiento de verificación que constate lo anterior.¹⁵

El reglamento también prevé que la SEMARNAT mantendrá actualizado un “Sistema de Información de la Calidad del Aire” el cual se integra con la información de las redes de monitoreo de las entidades federativas, los cuales deben seguir las normas técnicas que expida la SEMARNAT, en coordinación con la Secretaría de Salud.¹⁶ Asimismo, deberá mantener un Inventario de Fuentes de Jurisdicción Federal, así como sus emisiones¹⁷.

11. Artículos 18, 19, 20, 21 y 22 del R-LGEEPA-PCCA.

12. Artículo 34 del R-LGEEPA-PCCA.

13. Artículo 37 del R-LGEEPA-PCCA.

14. Artículo 39 del R-LGEEPA-PCCA.

15. Artículos 29 y 30 del R-LGEEPA-PCCA.

16. Artículos 41, 42 y 43 del R-LGEEPA-PCCA.

17. Artículo 45 del R-LGEEPA-PCCA.

El **Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (R-LGEEPA-RETC)** indica la forma en la que se elaborará la base de datos del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), con los datos contenidos en las diferentes autorizaciones, cédulas, informes, reportes, licencias, permisos y concesiones que en materia ambiental se tramiten ante la SEMARNAT o las autoridades estatales y municipales. Esta base de datos se nutre con la información de las Cédulas de Operación Anual (COA), que incluyen:¹⁸

- Características de la maquinaria, equipo o actividad que genere emisiones.
- Descripción del punto de generación y el tipo de emisión.
- Características de las chimeneas y ductos de descarga.
- Resultados de los muestreos y análisis realizados.

Si bien la **Ley General de Cambio Climático (LGCC)** tiene por objeto atender un problema global y no uno de calidad del aire local, algunos de sus preceptos jurídicos tienen sinergia con los referentes al control de las emisiones de contaminantes locales o criterio. Esta situación permite que la LGCC también pueda utilizarse para fundamentar o ejecutar políticas para controlar contaminantes locales (criterio) y globales (efecto invernadero). Las facultades con que cuenta la Federación, que guardan relación con el tema de calidad del aire, son las siguientes:¹⁹

- Regular e instrumentar las acciones para la mitigación al cambio climático en diversas materias.
- Establecer las bases e instrumentos para promover el fortalecimiento de capacidades institucionales y sectoriales en la mitigación.

En lo que respecta a las entidades federativas²⁰, se deben formular, regular, dirigir e instrumentar acciones de mitigación. Por su parte, los municipios²¹ tienen la obligación de: formular e instrumentar políticas y acciones para enfrentar el cambio climático en congruencia con diversos instrumentos programáticos a través de las áreas de ordenamiento ecológico y desarrollo urbano, recursos naturales, protección al ambiente, manejo de residuos sólidos municipales, transporte público y privado, tanto de carga como de pasajeros, entre otras.

La **Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos** crea la Agencia (ASEA) y le confiere la facultad de proteger el medio ambiente del sector industrial que maneje hidrocarburos como una actividad principal, controlando, entre otras cosas, las emisiones de contaminantes a la atmósfera.²² Asimismo, es competente para expedir, suspender, revocar o negar las licencias, autorizaciones, permisos y registros en materia ambiental, en particular las que se refieren a la emisión de olores, gases o partículas sólidas o

18. Artículo 10, fracción V, del R-LGEEPA-RETC.

19. Artículo 7 de la LGCC.

20. Artículos 8, 11 y 12 de la LGCC.

21. Artículo 9 de la LGCC.

22. Artículo 5, fracción IV de la Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos.

líquidas a la atmósfera por las instalaciones del sector hidrocarburos. Además, puede emitir regulación específica relativa a las previsiones a que deberá sujetarse la operación de fuentes fijas donde se desarrollen actividades del sector que emitan contaminantes atmosféricos, en casos de contingencias o emergencias ambientales.²³

La SEMARNAT diseñó la **Estrategia Nacional de Calidad del Aire** como una herramienta de planeación que orientará y coordinará acciones entre diferentes instancias gubernamentales para controlar y mitigar la emisión de contaminantes a la atmósfera tanto en ambientes rurales como urbanos, con proyección al año 2030. Establece objetivos, estrategias y líneas de acción para mejorar la calidad del aire en el territorio nacional con el objeto de proteger la salud de la población, la flora y fauna de los ecosistemas del país y contribuir al desarrollo sustentable de México. De este proceso surgieron 5 ejes estratégicos, 21 estrategias y 69 líneas de acción que promueven la convergencia de responsabilidades con la finalidad de fomentar medidas de prevención, control y mitigación, desde diferentes sectores e instituciones para que conjuntamente se trabaje a favor de una mejor calidad del aire. La Estrategia está vinculada con la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible de la ONU.

Los programas de gestión de la calidad del aire elaborados por los gobiernos locales deben apegarse también a las disposiciones establecidas en las **Normas Oficiales Mexicanas (NOM)**, en virtud de que el objetivo del ProAire es mejorar la calidad del aire a través del control de las emisiones contaminantes provenientes de fuentes fijas, establecimientos comerciales, industriales y de servicios, así como de fuentes móviles. Las NOM también contemplan los límites máximos permisibles de contaminantes criterio y las características de sistemas de monitoreo de la calidad del aire. En la Tabla 8.2 se enlistan algunas de las Normas Oficiales Mexicanas en materia de calidad del aire y regulación de fuentes móviles.

23. Artículo 6, fracción II, inciso g), de la LANSIPMASH.

Tabla 8.2 Normas Oficiales Mexicanas vigentes en materia de Calidad del Aire

Norma	Título
NOM-020-SSA1-2014	Salud ambiental. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O ₃) en el aire ambiente y criterios para su evaluación.
NOM-021-SSA1-1993	Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.
NOM-022-SSA1-2010	Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO ₂). Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO ₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
NOM-023-SSA1-1993	Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de nitrógeno (NO ₂). Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO ₂) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.
NOM-025-SSA1-2014	Salud ambiental. Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM ₁₀ y PM _{2.5} en el aire ambiente y criterios para su evaluación.
NOM-041-SEMARNAT-2015	Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.
NOM-042-SEMARNAT-2003	Que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales o no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3,857 kilogramos, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diésel, así como de las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos.
NOM-044-SEMARNAT-2017	Que establece los límites máximos permisibles de emisión de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no metano, hidrocarburos no metano más óxidos de nitrógeno, partículas y amoníaco, provenientes del escape de motores nuevos que utilizan diésel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos, así como del escape de vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos equipados con este tipo de motores.
NOM-045-SEMARNAT-2017	Vehículos en circulación que usan diésel como combustible. Límites máximos permisibles de opacidad, procedimiento de prueba y características técnicas del equipo de medición.
NOM-047-SEMARNAT-2014	Que establece las características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes, provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos.

NOM-050-SEMARNAT-2018	Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos.
NOM-076-SEMARNAT-2012	Que establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno provenientes del escape, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y otros combustibles alternos y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos nuevos en planta.
NOM-156-SEMARNAT-2012	Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire.
NOM-167-SEMARNAT-2017	Que establece los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para los vehículos automotores que circulan en las entidades federativas Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala; los métodos de prueba para la evaluación de dichos límites y las especificaciones de tecnologías de información y hologramas.

Fuente: Elaboración propia a partir de información del Diario Oficial de la Federación

El **Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018** fortalece la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono. El Plan busca contribuir a mejorar la calidad del aire y reducir emisiones de gases de efecto invernadero mediante el uso de combustibles más eficientes, programas de movilidad sustentable y la eliminación de apoyos ineficientes a los usuarios de los combustibles fósiles. También se busca lograr un mejor monitoreo de la calidad del aire mediante una mayor calidad de los sistemas de monitoreo existentes y una cobertura más amplia.

A nivel federal es importante hacer mención del **Convenio de Coordinación** por el que se creó la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME), que celebran la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el Gobierno de la Ciudad de México y los estados de Hidalgo, México, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala. Este Convenio tiene por objeto llevar a cabo acciones en materia de protección al ambiente, de preservación y restauración del equilibrio ecológico y mejoramiento de la calidad del aire en la zona conformada por los órganos políticos que integran a la Megalópolis.

En el **Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales** se establece que la SEMARNAT a través de la Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (DGGCARETC), es la autoridad federal

designada en materia de Programas de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire implementados en las entidades federales y a nivel local. El reglamento establece que la DGGCARETC debe:

- Apoyar a los gobiernos locales en la elaboración de los programas de calidad del aire y en la gestión del monitoreo ambiental.
- Realizar el seguimiento y evaluación de los avances en el abatimiento de emisiones de contaminantes a la atmósfera, con la colaboración de las autoridades federales, estatales y municipales competentes.
- Coordinar el diseño e instrumentación de estrategias de gestión de la calidad del aire y su relación con otros sectores.

8.4.1. Legislación Estatal

La **Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México**, en su artículo 18, señala que: *“Las autoridades ejecutarán programas para conservar, proteger y mejorar los recursos naturales del Estado y evitar su deterioro y extinción, así como para prevenir y combatir la contaminación ambiental”*. Además, recupera preceptos de la Constitución Nacional, al señalar en su artículo 18 párrafo 4° que *“Toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar”*. Este ordenamiento jurídico establece la base de la cual se desprende el presente Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire (ProAire) y el resto de la legislación estatal en la materia.

La **Ley de Planeación del Estado de México y Municipios**, en su artículo 5° establece que la planeación democrática tiene por objeto el desarrollo del Estado de México y los municipios que lo integran, respetando la soberanía estatal y la autonomía municipal, en concordancia con fines sociales, económicos, ambientales y políticos que se establecen en la CPEUM y la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México. En el Proceso de Planeación para el Desarrollo, se establecen directrices, estrategias y se seleccionan alternativas y cursos de acción en función de objetivos y metas generales, económicas, ambientales, sociales y políticas, tomando en consideración la disponibilidad de recursos reales y potenciales.

El Sistema de Planeación para el Desarrollo del Estado de México y Municipios, lo conforman el conjunto de articulados, de procesos, planes, programas, proyectos, acciones e instrumentos de carácter social, político, económico, ambiental, legal y técnico, así como de mecanismos de concertación, coordinación y cooperación entre los tres órdenes de gobierno, grupos y organizaciones sociales y privados, que se interrelacionan entre sí, para ejecutar acciones de planeación para el desarrollo integral del Estado y los municipios.

La **Ley Orgánica de la Administración Pública del Estado de México**, en su artículo 32 Bis, establece que la Secretaría del Medio Ambiente es el órgano encargado de la formulación, ejecución y evaluación de la política estatal en materia de conservación ecológica, biodiversidad y protección al medio ambiente para el desarrollo sostenible.

El **Código para la Biodiversidad del Estado de México (CBEM)** es el compendio estatal de la legislación ambiental; en él se establecen las responsabilidades, derechos y obligaciones que tanto la autoridad estatal como las municipales y los actores privados tienen en materia ambiental.

El Libro Segundo del Código se aboca al equilibrio ecológico, la protección al ambiente y el fomento al desarrollo sostenible. En lo referente al tema de calidad del aire, se establece que uno de los objetivos específicos del Código es “*Establecer criterios ambientales (...) para la prevención y control de la contaminación del agua, aire y suelo logrando ordenar ecológicamente el territorio de la Entidad (...)*”²⁴ En el mismo tenor, considera que la prevención y control de la contaminación del aire es un tema de orden público e interés social²⁵, por lo cual es necesario que los instrumentos de política ambiental integren principios para el mejoramiento de la calidad del aire del Estado de México.²⁶

El Capítulo II Título Quinto del CBEM define los principios para la prevención y control de la contaminación atmosférica en un marco de protección ambiental. Es fundamental regular la emisión de contaminantes a la atmósfera que ocasionen o puedan ocasionar daños al ambiente. Por tanto, el Código establece que las emisiones a la atmósfera deberán cumplir lo dispuesto por las NOM, las normas técnicas estatales y demás disposiciones; también se prohíbe la emisión de humos, polvos, gases, vapores y olores en niveles que rebasen los LMP contemplados en estos preceptos legales.

Se considera que la calidad del aire debe ser satisfactoria en los asentamientos humanos y que las emisiones de contaminantes, independientemente de su fuente (natural, fija, móvil, de área), deberán ser controladas y reducidas para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico.²⁷

Es así que es facultad de la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México establecer y aplicar medidas de prevención y control de la contaminación atmosférica que pueda causar daños al medio ambiente o a la salud de la población.²⁸

Respecto de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, la Secretaría, además de las responsabilidades arriba mencionadas, deberá:²⁹

24. Artículo 2.2 fracción II del CBEM

25. Artículo 2.3 fracción VII del CBEM

26. Artículo 2.35 fracción II del CBEM

27. Artículo 2.142 del CBEM

28. Artículo 2.143 del CBEM

29. Artículo 2.144 del CBEM

- Aplicar las NOM, así como los criterios y normas técnicas estatales para la protección de la atmósfera.
- En casos necesarios, requerir la instalación de equipos o sistemas de control de emisiones.
- Vigilar el cumplimiento de los criterios ecológicos en los Planes de Desarrollo Urbano Estatal y Municipales para mejorar la calidad del aire.

En lo que corresponde a las emisiones de fuentes móviles, la Secretaría tiene las siguientes responsabilidades, las cuales podrá cumplir directamente o mediante acuerdos celebrados con las autoridades municipales:³⁰

- Establecer medidas preventivas y correctivas para reducir la emisión de contaminantes a la atmósfera.
- Regular el establecimiento y operación de sistemas de verificación de emisiones de vehículos automotores en circulación.
- Exigir a los propietarios o poseedores de vehículos automotores el cumplimiento de las medidas que así disponga la SMAGEM, y retirar de circulación a aquellas unidades que no acaten la normatividad o que sean ostensiblemente contaminantes.
- Implementar medidas para mejorar la vialidad y el transporte colectivo; en caso necesario para lograr esto, coordinarse con otras dependencias y entidades federales, estatales y municipales.
- Promover el mejoramiento de los sistemas de transporte y solicitar toda clase de medidas en sus vialidades que permitan disminuir las emisiones contaminantes.

Además de las facultades descritas con anterioridad, tanto la Secretaría como los Ayuntamientos del Estado, en el ámbito de sus respectivas competencias, deberán:³¹

- Prevenir y controlar la contaminación del aire en los bienes y zonas o fuentes emisoras, tanto fijas como móviles, de su jurisdicción.
- Aplicar criterios para la protección de la atmósfera en declaratorias y planes de desarrollo urbano de su competencia, definiendo las zonas en las cuales se permite la instalación de industrias contaminantes.
- Requerir a los operadores de fuentes fijas el cumplimiento de los LMP de contaminantes según las disposiciones aplicables.
- Convenir con quienes realicen actividades contaminantes la instalación y operación de equipos de control que permitan controlar, reducir o evitar emisiones a la atmósfera.
- Integrar y mantener actualizados los inventarios de las diferentes fuentes de contaminación del aire.
- Establecer y operar sistemas de monitoreo de la calidad del aire, así como remitir la información de los sistemas a la dependencia pertinente para integrarlos al Sistema Nacional de Información

30. Artículo 2.146 del CBEM

31. Artículo 2.147 del CBEM

Ambiental. Todo esto con el apoyo técnico de la Secretaría del ramo a nivel federal.

- Establecer y operar sistemas de verificación de emisiones de vehículos automotores en circulación y sancionar a aquellos que no cumplan con las medidas de control dispuestas; retirar de la vía pública a los vehículos que rebasen los LMP definidos en las NOM y otras disposiciones aplicables.
- Definir requisitos y procedimientos para regular las emisiones de transporte público, así como las medidas de tránsito respectivas y la suspensión de la circulación de vehículos automotores en casos de contingencia ambiental en las fases de contaminación grave.
- Realizar campañas para racionalizar el uso del automóvil, así como para su afinación y mantenimiento.
- Promover el mejoramiento de los sistemas de transporte urbano y suburbano y la modernización de las unidades.
- Emitir disposiciones y establecer medidas tendientes a evitar la quema de cualquier tipo de residuo sólido o líquido.³²
- Aplicar las medidas preventivas necesarias para evitar contingencias ambientales por contaminación atmosférica.
- Elaborar informes sobre el estado de la calidad del aire en su ámbito jurisdiccional según se convenga con dependencias del ramo a nivel federal.
- Imponer sanciones y medidas correctivas de su competencia por infracciones a la normatividad aplicable.
- Formular y aplicar los programas de gestión de calidad del aire.

Respecto de la aplicación de Programas para la Reducción de Emisiones Contaminantes a la Atmósfera, con base en la calidad del aire, se deberá utilizar un enfoque de Cuencas Atmosféricas que se determine por cada área, zona o región del territorio estatal. Dichos Programas deberán prever los objetivos que se pretenden alcanzar, los plazos correspondientes y los mecanismos para su implementación.

Para efectos del ejercicio de las facultades que corresponden a los Ayuntamientos del Estado de México, en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica, el Código define las fuentes fijas y móviles que se consideran de jurisdicción municipal en su Artículo 2.148.

Considerando que la gestión de la contaminación atmosférica sigue un esquema de responsabilidad compartida, el Código no solo define las facultades de las autoridades estatales y municipales, sino que también describe las responsabilidades que ciertos actores privados tienen respecto de la calidad del aire, incluyendo las siguientes:

- Quienes realicen actividades contaminantes deberán proporcionar toda la información que les sea requerida por las autoridades competentes para la elaboración de inventarios de emisiones de contaminantes.
- Requieren de permiso de la Secretaría quienes realicen quema de materiales a cielo abierto.

32. Incluye basura doméstica, hojarasca, hierba seca, esquilmos agrícolas, llantas, plásticos, lubricantes, solventes y otras, así como las quemadas con fines de desmonte o deshierbe de terrenos.

Las personas físicas o jurídicas colectivas que operen sistemas de producción industrial, comercial, agropecuario o de servicios que tengan fuentes emisoras de contaminantes deberán:³³

- Instalar equipos o sistemas de control de emisiones para cumplir con los niveles permisibles de contaminantes.
- Realizar la medición periódica de sus emisiones a la atmósfera e informar a la Secretaría los resultados de la medición a través del registro de estos.
- Sujetarse a la verificación de la Secretaría o realizar su autorregulación o auditoría ambiental periódicamente en forma voluntaria.

Asimismo, se establece que los propietarios de los vehículos automotores de uso privado o de servicio público tendrán que:³⁴

- Realizar el mantenimiento de sus unidades y observar los límites permitidos de emisiones señalados en la normatividad aplicable.
- Verificar periódicamente las emisiones de contaminantes a la atmósfera de acuerdo con los programas, mecanismos y disposiciones establecidas.
- Observar las medidas y restricciones que las autoridades competentes dicten para prevenir y controlar emergencias y contingencias ambientales.

Considerando que las emisiones de contaminantes atmosféricos no provienen únicamente de fuentes fijas y móviles, sino que existen otros tipos de fuentes que contribuyen al deterioro de la calidad del aire, el CBEM, en su Título Quinto Capítulo III, establece lo siguiente:

- Las emisiones a la atmósfera provocadas por erupciones volcánicas, incendios forestales, tolveneras y otros siniestros serán objeto de programas de emergencia y contingencias ambientales que establezcan las autoridades federales y estatales en materia de protección civil.
- Los propietarios o poseedores de terrenos erosionados, en proceso de erosión o desprovistos de vegetación en concertación con las autoridades competentes ejecutarán las medidas de protección, remediación, rehabilitación, recuperación o restauración de estos según corresponda para su preservación y conservación.

El **Reglamento del Libro Segundo**, tiene como finalidad la protección a la Biodiversidad; prevenir, controlar y revertir la contaminación de aire, agua y suelo, e impulsar el desarrollo sustentable con una decidida participación de la sociedad; regular las acciones a cargo del Estado y los Municipios en materia de conservación, preservación, recuperación, rehabilitación y restauración del equilibrio ecológico, de la protección al ambiente, del uso y aprovechamiento sostenible de los elementos naturales, la prevención y

33. Artículo 2.145 del CBEM

34. Artículo 2.147 del CBEM

control de la contaminación de la atmósfera y así garantizar que la calidad del aire sea satisfactoria en todo el territorio del Estado de México.

El **Plan de Desarrollo Estatal 2017-2023** es el instrumento rector de las políticas públicas que deberá aplicar el Gobierno del Estado de México, incluyendo las políticas públicas en materia ambiental.

La política ambiental respalda el manejo sustentable del territorio y sus recursos naturales. Esto solamente puede lograrse con la participación decidida de la ciudadanía, así como de los diferentes órdenes de gobierno, a través de cuatro vertientes. La primera vertiente requiere transitar aceleradamente a un sistema de generación de energías limpias y no contaminantes. La segunda vertiente vela por acciones encaminadas a la mitigación y adaptación al cambio climático, como mejorar la calidad del aire y manejar adecuadamente los residuos sólidos. La tercera vertiente se relaciona con la sustentabilidad de los ecosistemas y la preservación de la biodiversidad a través de la atención y regulación de las reservas y las Áreas Naturales Protegidas. La cuarta vertiente responde a los retos que representan los asentamientos humanos y la concentración espacial de las actividades productivas. Esta última vertiente es de especial atención, ya que el tamaño de la población urbana del Estado de México representa un enorme reto para lograr un sistema de producción y consumo de bienes y servicios que sea sustentable.

Existen también **Normas Técnicas Estatales Ambientales** en materia de calidad del aire. La Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-007-SMA-DS-2006 establece los requisitos para elaborar el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire. En esta norma se establecen los lineamientos para la obtención, el uso y la comunicación de riesgos a través del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) en los municipios conurbados en las Zonas Metropolitanas de los Valles de México y Toluca. Esta norma es de observancia obligatoria para todos aquellos que obtengan, usen o comuniquen el IMECA en el territorio del Estado de México.

En la **Gaceta del Gobierno del Estado de México** se han publicado decretos que definen qué municipios integran las distintas Zonas Metropolitanas del Estado de México, a las cuales se hace referencia a lo largo del presente ProAire.

En el **Decreto Número 13**, de fecha 19 de noviembre de 2009, se aprueba la declaratoria de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, integrada por los municipios de Almoloya de Juárez, Almoloya del Río, Atizapán, Calimaya, Capulhuac, Chapultepec, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Oztolotepec, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Rayón, Temoaya, Tenango del Valle, Texcalyacac, Tianguistenco, Toluca, Xalatlaco, Xonacatlán y Zinacantepec. En el **Decreto Número 159** se aprueba la declaratoria de Zona Metropolitana de Santiago Tianguistenco integrada por los municipios de Almoloya de Río, Atizapán, Capulhuac, Texcalyacac, Tianguistenco, y Xalatlaco.

El **Reglamento Interior de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México** establece que la Secretaría contará con una o un Secretario, quien deberá dirigir, coordinar, controlar y evaluar las funciones, programas y proyectos en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica³⁵. La o el Secretario tiene la facultad de establecer sistemas de verificación de contaminación atmosférica³⁶ y se auxiliará de la Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica (DGPCCA), la cual, de acuerdo con el Capítulo IV Artículo 10 del Reglamento, tiene las siguientes atribuciones específicas, entre otras:

- Autorizar el establecimiento y operación de centros de verificación de emisiones de vehículos automotores, talleres para la aplicación del Programa Integral de Reducción de Emisiones Contaminantes y de los proveedores de equipo de cómputo especializado en control ambiental, así como vigilar su organización y funcionamiento.
- Expedir licencias de funcionamiento a fuentes fijas generadoras de emisiones de contaminantes a la atmósfera, así como realizar visitas técnicas y de seguimiento a las mismas.
- Establecer y operar, con la participación que corresponda a los municipios, sistemas de monitoreo de la calidad de la atmósfera.
- Formular programas y estrategias para la conservación, protección y restauración de la calidad del aire y la mitigación del cambio climático.
- Establecer y operar sistemas de muestreo, medición y análisis de emisiones contaminantes a la atmósfera.
- Implementar y mantener los mecanismos de supervisión y control del Programa de Verificación Vehicular Obligatoria en el Estado.
- Efectuar la revisión de documentación, papelería, bases de datos, videos y demás información que entregan los verificentros.
- Autorizar el diseño, instalación, operación, mantenimiento, verificación técnica y suministro de equipos y mejoras tecnológicas a los sistemas de recuperación de vapores de gasolina en estaciones de servicio y autoconsumo ubicadas en la Entidad.

8.4.2. Legislación Municipal

Por lo que respecta al ámbito municipal, se encuentran como primer instrumento los **Bandos Municipales**, los cuales contienen normas de primer orden y de observancia general, y son dictados por los 125 municipios de la Entidad. Los Bandos Municipales tienen por objeto regular la estructura orgánica, política y administrativa de los municipios. En alguno de sus apartados se debe establecer la atribución y competencia para llevar a cabo acciones para la protección, conservación y restauración del medio ambiente de conformidad con lo establecido en las leyes federales y estatales.

35. Artículo 7 del Reglamento Interior de la SMAGEM.

36. Artículo 6 inciso XIII del Reglamento Interior de la SMAGEM.

Los **Planes de Desarrollo Municipal** son instrumentos jurídicos que sirven para planear y establecer las políticas públicas, así como las estrategias y objetivos para el desarrollo urbano, y las normas de uso y aprovechamiento de suelo. Los municipios pueden establecer en dichos planes, acciones de conservación y mejoramiento del medio ambiente.

La Ley de Cambio Climático del Estado de México establece que los 125 municipios del Estado de México deberían de emitir su **Programa de Acción Climática Municipal (PACMUN)**, con el objetivo de lograr la adaptación al cambio climático, así como la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero. El carácter transversal de las acciones orientadas a combatir el cambio climático genera que al ejecutarlas también se tengan reducciones en las emisiones de gases contaminantes que deterioran la calidad del aire.

Hay cuatro municipios mexiquenses que ya cuentan con la publicación de sus respectivos PACMUN:

- Plan de Acción Climática Municipal Tlalnepantla de Baz 2012
- Plan de Acción Climática Municipal Toluca 2012
- Programa de Acción Climática del Municipio de Naucalpan de Juárez 2013-2023
- Plan de Acción Climática Municipal Metepec 2017

También es importante que los municipios establezcan **Reglamentos Generales e Internos** en materia ambiental, con el fin de llevar a cabo trabajos municipales para la protección, restauración y conservación del medio ambiente.

Con el objetivo de ilustrar las competencias municipales y la legislación en este nivel de gobierno, se tomaron las siguientes cuatro referencias: Toluca por su ubicación en la ZMVT y su carácter de capital estatal; Huixquilucan por ser un municipio limítrofe entre la ZMVT y la ZMVM; y Naucalpan de Juárez y Nezahualcóyotl por ser municipios de la ZMCT. A continuación, se describen las disposiciones en material ambiental que se establecen en los cuatro municipios tomados como referencia:

El Municipio de **Toluca**, en el Título Décimo Capítulo Tercero del Bando Municipal 2018 (Ayuntamiento de Toluca, 2018), vigente durante la elaboración del presente Programa, aborda las atribuciones en materia de Protección al Medio Ambiente y a la Biodiversidad y de la Sustentabilidad del Agua. Algunas de las disposiciones definidas en este instrumento administrativo atañen directamente al tema de calidad del aire y contaminación atmosférica.

Por ello, es responsabilidad del Municipio de Toluca diseñar e implementar políticas públicas que permitan mejorar la calidad del aire en la demarcación,

así como establecer acciones coordinadas con los municipios que integran la cuenca atmosférica. Otras atribuciones del Municipio incluyen:³⁷

- Participación en acciones para hacer efectiva la prohibición de emisiones contaminantes que rebasen los niveles permisibles de ruido, vibraciones, energía luminosa, gases, humos, olores y otros elementos perjudiciales al equilibrio ecológico o al medio ambiente, de conformidad con las normas oficiales vigentes.
- Emitir dictámenes de opinión para otorgar, negar o revocar las licencias municipales para la realización de obras, actividades y servicios públicos o privados que puedan ocasionar contaminación del aire y suelo, que afecten la flora, fauna, recursos naturales o la salud pública.
- Otorgar, o en su caso, negar o revocar los registros y licencias de funcionamiento para las personas físicas o jurídico colectivas, previa revisión de las disposiciones jurídicas, Normas Oficiales Mexicanas y técnicas estatales de prevención de la contaminación atmosférica de establecimientos mercantiles y de servicios.

De igual manera el documento plasma los derechos y obligaciones que tienen los habitantes del Municipio de Toluca. Una de estas obligaciones es la participación de la ciudadanía en conjunto con las autoridades municipales en la protección del medio ambiente, así como en su preservación y restauración.

El Municipio también contempla acciones o actividades que quedan prohibidas por los efectos que pudieran tener sobre la calidad del aire, incluyendo la quema de todo tipo de plásticos, cables, cauchos, poliuretanos y demás materiales que generan contaminantes a la atmósfera o cualquier otro residuo sólido en la vía pública y aun dentro de los domicilios particulares.

Asimismo, no presentar al momento de alguna visita de inspección el registro y/o licencia de funcionamiento para emisiones a la atmósfera es una infracción a las disposiciones sobre la protección al medio ambiente.

El municipio de **Huixquilucan** también contempla dentro de su legislación municipal disposiciones respecto de la calidad del aire (Ayuntamiento de Huixquilucan, 2018). Todos los vecinos del Municipio tienen el derecho a un territorio municipal limpio y a un medio ambiente sano que garantice el desarrollo, salud y bienestar de la población.³⁸ En específico, el Título Noveno Capítulo IV del Bando Municipal 2018 versa sobre el equilibrio ecológico, la protección al medio ambiente y el fomento al desarrollo sustentable.

37. Artículo 67 del Bando Municipal de Toluca 2018

38. Artículo 17 fracción VII del Bando Municipal de Huixquilucan 2018

Toda vez que el Ayuntamiento se plantea promover la gestión y el fomento de la protección del medio ambiente³⁹, este mismo podrá establecer y aplicar las siguientes acciones en materia de calidad del aire:⁴⁰

- Fomentar la participación corresponsable de la sociedad en actividades para prevenir la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, móviles o de origen natural, propiciando así una cultura de conservación del ambiente en bienes y zonas de jurisdicción municipal en las materias que no estén expresamente atribuidas a la Federación o al Estado.
- Desarrollar campañas de control de la contaminación industrial y de control en la circulación de vehículos automotores contaminantes.

Asimismo, se consideran como faltas e infracciones al Bando Municipal las siguientes acciones que deterioran la calidad del aire:⁴¹

- Quema al aire libre cualquier material o residuo peligroso o altamente contaminante.
- Quema de residuos sólidos o líquidos incluyendo basura doméstica, hojarasca, hierba seca, esquilmos agrícolas, llantas, plásticos, lubricantes, solventes y otras.

De manera análoga a los dos municipios anteriores, el municipio de **Nezahualcóyotl** establece en su Bando Municipal 2018 (Ayuntamiento de Nezahualcóyotl, 2018) que sus habitantes tienen el derecho a vivir en un medio ambiente sano y libre de contaminación, así como la obligación de participar en las acciones y programas que genere el Ayuntamiento para este fin.

Por tanto, uno de los fines del gobierno municipal es impulsar y promover acciones tendientes a proteger, preservar, conservar y mejorar el medio ambiente, así como la prevención de la contaminación, todo esto en coordinación con autoridades del ámbito federal, estatal, entidades municipales, organizaciones de la sociedad civil y empresas relevantes en la materia.⁴²

Con esto en mente, el Ayuntamiento sancionará con amonestación y multas a quienquiera que vierta o abandone sustancias contaminantes que alteren la atmósfera en perjuicio de la salud y de la vida humana.⁴³

El Municipio de **Naucalpan de Juárez** también ha plasmado en su legislación disposiciones para el control de la contaminación atmosférica y el mejoramiento de la calidad del aire (Ayuntamiento de Naucalpan de Juárez, 2018). De manera general, el Ayuntamiento procurará la protección, preservación y restauración del equilibrio ecológico, mediante la concertación de acciones e inversiones entre los sectores público, social y privado y las instituciones académicas, grupos y organizaciones sociales y personas interesadas, de conformidad con la normatividad aplicable.⁴⁴

39. Artículo 136 del Bando Municipal de Huixquilucan 2018

40. Artículo 138 fracciones IV y XIV del Bando Municipal de Huixquilucan 2018

41. Artículo 166 fracciones XIII y XXV del Bando Municipal de Huixquilucan 2018

42. Artículo 8 fracción IX del Bando Municipal de Nezahualcóyotl 2018

43. Artículo 174 fracción V del Bando Municipal de Nezahualcóyotl 2018

44. Artículo 117 del Bando Municipal de Naucalpan 2018

45. Artículo 88 del Bando Municipal de Naucalpan de Juárez 2018
46. Artículo 123 del Bando Municipal de Naucalpan de Juárez 2018
47. Artículo 120 fracción VI del Bando Municipal de Naucalpan de Juárez 2018

En materia de calidad del aire, el Bando Municipal 2018 contempla acciones específicas respecto de la circulación de vehículos contaminantes y el control de emisiones de contaminantes. En específico, el Bando Municipal establece que:

- Todo vehículo que circule en el territorio del Municipio deberá cumplir con las normas del sistema de verificación vehicular para la emisión de contaminantes y demás disposiciones jurídicas aplicables, salvo aquellos que por disposición reglamentaria o bien, por acuerdo del Cabildo, queden exentas de dicha obligación.⁴⁵
- Las emisiones de contaminantes a la atmósfera y la disposición final de residuos sólidos urbanos que provengan de la industria, servicios o comercios, deberán contar con la Licencia Ambiental Municipal y/o en su caso con la Cédula de Operación Integral.⁴⁶
- Queda prohibido quemar a cielo abierto basura, hojas de árboles, llantas o cualquier otro tipo de residuos y objetos que puedan afectar la calidad del aire.⁴⁷

REFERENCIAS:

- Ayuntamiento de Huixquilucan. (2018). *Bando Municipal 2018*. Recuperado de <http://www.huixquilucan.gob.mx/pdf/BANDO.pdf>
- Ayuntamiento de Naucalpan de Juárez. (2018). *Bando Municipal 2018*. Recuperado de <http://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/bdo/bdo2018/bdo060.pdf>
- Ayuntamiento de Nezahualcóyotl. (2018). *Bando Municipal 2018*. Recuperado de <http://www.neza.gob.mx/publicaciones/2018/Bando Municipal Nezahualcoyotl 2018.pdf>
- Ayuntamiento de Toluca. (2018). *Bando Municipal 2018*. Recuperado de http://www.toluca.gob.mx/dependencias/mejoraregulatoria/datos/normateca/10_BMT2018.pdf
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2013). *Guía para la Elaboración de la Matriz de Indicadores para Resultados*. México: Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social.
- Fernández, J. (1997). *Panorama del Derecho Mexicano. Derecho Administrativo*. México: Mc Graw-Hill.
- Forouzanfar, M. H. (2015). Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks in 188 countries, 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *The Lancet*.
- IHME. (2015). Institute for Health Metrics and Evaluation.
- Instituto Nacional de Ecología. (2011). *Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009)*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología.
- López, T. (2008). Las cuencas en el derecho ambiental mexicano. Instrumentos para su gestión integral. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado*, XLI (123), 1260-1290.

- Nava, C. (2011). Debate ambiental y contaminación atmosférica urbana: los casos de Londres y la Ciudad de México. En C. Nava (Ed.), *Estudios Ambientales* (Segunda ed., pág. 21). México: Instituto de Investigaciones Jurídicas.
- Nava, C. (2013). *Ciencia, Ambiente y Derecho*, 1a. Reimp. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Jurídicas.
- ONU. *Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano*, Pub. L. No. A/RES/2994 (1972).
- ONU. (2015). *La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible – Desarrollo Sostenible*. Recuperado el 17 de octubre de 2018, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- OMS. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Actualización mundial 2005. Resumen de evaluación de los riesgos. Ginebra.
- Sánchez y Gándara, A. (2011). *Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Western Governors' Association. (2005). *Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Ziccardi, A. (2004). Claves para el análisis de la participación ciudadana. En A. Ziccardi, *Participación ciudadana y Políticas sociales del ámbito local* (págs. 9-19). México: Instituto de Investigaciones Sociales de la Universidad Nacional Autónoma de México; Instituto Nacional de Desarrollo Social; Consejo Mexicano de Ciencias Sociales.
- Zuk, M., Garibay, V., Iniestra, R., López, M., Rojas-Bracho, L., & Laguna, I. (2006). *Introducción a la evaluación de los impactos de las termoeléctricas de México*. Un estudio de caso en Tuxpan, Veracruz. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Instituto Nacional de Ecología.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

La gestión de la calidad del aire en el Estado de México es una de las más complejas desde el punto de vista de la administración pública. La diversidad geográfica y económica de la Entidad reta al sector público a tomar decisiones basadas en un soporte técnico sólido y en un análisis de factibilidad realista a las condiciones sociales e institucionales de una Entidad que se divide en 125 municipios para atender a más de 16 millones de habitantes.

En el Estado de México se asienta el 13.5% de la población del país y se produce el 8.9% del PIB nacional. En la Entidad se otorgan servicios, se fabrican bienes y se mueven personas y productos en más de 4 millones de vehículos privados, transporte público y unidades de carga. Además, es aquí donde se localizan dos de las principales zonas metropolitanas mexicanas: el Valle de Toluca y el Valle de Cuautitlán-Texcoco. Si bien estas dos metrópolis tienen una presión contaminante constante debido a las actividades industriales, comerciales y movimientos de carga y pasajeros, su problemática se complica por su condición topográfica al encontrarse en valles a más de 2 mil metros de altura. Estas dos condiciones causan que, por un lado, la combustión sea menos eficiente debido a la deficiencia de oxígeno y, por otro, que la dispersión de contaminantes se vea menos favorecida por las barreras físicas y por la presencia de bajas temperaturas y clima de montaña.

Estas condiciones socioeconómicas y topográficas se ven reflejadas en los índices de calidad del aire que miden las redes de monitoreo del Valle de Cuautitlán-Texcoco (operada por el Gobierno de la Ciudad de México) y del Valle de Toluca (operada por el Gobierno del Estado de México). Los indicadores del año 2017 mostraron que una tercera parte del año se presentó una calidad del aire buena o regular. Cabe destacar que los episodios de mayor contaminación atmosférica detonaron cuatro contingencias en el Valle Cuautitlán-Texcoco, debido principalmente a ozono y material particulado.

Las altas exposiciones a estos contaminantes afectan a la salud pública de manera significativa, estimándose que los costos de no cumplir con la normatividad mexicana en materia de calidad del aire ascienden a por lo menos 4 mil millones de pesos. En comparación con el gasto de protección ambiental en el Estado de México, las afectaciones a la salud pública son 2.2 veces mayores al presupuesto disponible. Por ello, el gasto público que requiere la gestión de calidad del aire se justifica por el costo social que se atribuye al problema. De hecho, la principal causa de morbilidad en el Estado de México corresponde a las infecciones respiratorias agudas, padecimiento que se encuentra estrechamente ligado a la calidad del aire que las personas respiran.

Cada contaminante atmosférico presenta diferentes problemáticas de salud pública, sin embargo destaca la evidencia epidemiológica de las partículas suspendidas, en especial aquellas de menor tamaño ($PM_{2.5}$). Estos contaminantes son los que mayores efectos de mortalidad y morbilidad tienen a largo plazo, datos sustentados en diversos estudios publicados sobre el tema, como el análisis de cohorte de la Sociedad Americana de Cáncer. Debido a esta evidencia científica es que deben priorizarse aquellas acciones y medidas que reduzcan la emisión de material particulado a las cuencas atmosféricas del Estado de México.

Con el objetivo de ubicar cuáles son las fuentes con mayor aportación de contaminantes que menoscaban la calidad del aire en la Entidad, se realizó un inventario de emisiones contaminantes. Este análisis identificó que hacia el año 2030 el sector que mayor aportará a la producción de partículas serán las fuentes de área, mientras que las fuentes móviles serán las que mayor aportarán a óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, monóxido de carbono y amoníaco. El ozono es un contaminante secundario producido fotoquímicamente en la atmósfera a partir de los compuestos orgánicos volátiles y los óxidos de nitrógeno. Dado que las fuentes de área serán el principal emisor de compuestos orgánicos volátiles al 2030, las medidas de control relacionadas con el ozono deberán abordar tanto a fuentes móviles como de área.

Considerando que la mayor cantidad de población se ve expuesta a las altas concentraciones de contaminantes mientras se encuentra en el exterior, este análisis de emisiones producidas por sector indica que los esfuerzos de la gestión pública deberían estar enfocados primordialmente en fuentes de área y fuentes móviles. Por ello, las tres medidas críticas y las diez medidas prioritarias del ProAire se enfocan principalmente en estas dos categorías.

La instrumentación de las estrategias ambientales debe soportarse en una base institucional sólida que permita la ejecución, seguimiento y mejora de las mismas. Por ello, en las medidas propuestas también se incluyen acciones de fortalecimiento institucional. Dado que las mejoras de la calidad del aire toman décadas en lograr sus objetivos, estas políticas públicas requerirán de una mayor inversión de recursos para iniciar, y de un flujo presupuestal constante, pues los programas ambientales que no se mantienen a lo largo de los años no alcanzan sus objetivos. Por ello, se requieren mecanismos propios para la generación de recursos destinados a los programas de calidad del aire que estén ligados a impuestos, sanciones y cobro de derechos; estos deberán garantizar en el corto y largo plazo los insumos necesarios para instrumentar de manera adecuada las políticas planteadas. Estos recursos propios podrían complementarse con apoyos económicos y técnicos de las múltiples agencias de cooperación internacional que trabajan actualmente -o podrían hacerlo- en México.

Las políticas ambientales de las últimas décadas han logrado contener el problema y han mejorado paulatinamente las condiciones de calidad del aire para la mayoría de los mexicanos. Sin embargo, como cualquier otra política pública, los cambios sociodemográficos, tecnológicos y económicos que suceden en el Estado obligan a las autoridades a replantear y ajustar los programas para impulsar mayores beneficios en materia de calidad ambiental y salud pública.

Es por ello que, el Gobierno del Estado de México ha optado por enfocarse en aquellas medidas de mayor impacto en la calidad del aire para los próximos años. Las medidas de fortalecimiento institucional como: el fortalecimiento de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico; los mecanismos de financiamiento; los sistemas de información geográfica; la vigilancia epidemiológica; y los convenios de coordinación, servirán para crear una base que permita ejecutar eficientemente las medidas pues se contará con información de mayor calidad y recursos suficientes para instrumentar las acciones propuestas. Simultáneamente, las medidas de control como: la implementación efectiva de la verificación vehicular; el control de quemas agrícolas; la reducción de emisiones derivadas de gas L.P., leña y carbón; y la mejora del desempeño ambiental del sector de carga, servirán para atender los principales generadores de aquellos contaminantes que mayor preocupación presentan en materia de salud pública. Finalmente, se establecerá una estrategia de comunicación y educación para informar y hacer partícipe a la población de los esfuerzos llevados a cabo en materia ambiental.

Dado que estas preocupaciones son transversales a todos los actores, los escenarios de la vida en sociedad y las condiciones presentes y futuras de su desarrollo y bienestar, más allá de constituir una tarea pública, estas estrategias y medidas se constituyen como una necesidad generalizada que requiere el involucramiento y la observancia de todos los sectores.

GLOSARIO

Aerosol. Conjunto de partículas microscópicas, sólidas o líquidas, que se encuentran en suspensión en un gas.

Antropogénico. Producido o modificado por la actividad humana.

Año base. Es el año que sirve de referencia para el cálculo de los elementos necesarios y para conocer la cantidad de emisiones generadas en dicho periodo.

Atmósfera. Masa de aire que circunda la Tierra. Está formada por una mezcla de 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de otros gases, como el argón, el neón, el dióxido de carbono y vapor de agua, entre otros compuestos inorgánicos.

Autorregulación. Medidas voluntarias encaminadas a una mejora en el desempeño ambiental, enfocadas a fuentes fijas y/o móviles.

Biomasa. Materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen. Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

Carbono negro. Material producido por diferentes actividades antropogénicas, en particular la combustión incompleta de combustibles fósiles como el diésel y el combustóleo, así como por la quema de leña y carbón.

Combustión incompleta. Ocurre cuando no hay suficiente suministro de aire u oxígeno para permitir que el combustible reaccione completamente para producir dióxido de carbono y agua. Igual que durante la combustión completa, el agua se produce por combustión incompleta. Sin embargo, el monóxido de carbono y otros compuestos orgánicos distintos al dióxido de carbono son los productos principales; durante una combustión incompleta se libera una menor cantidad de energía que durante la combustión completa.

Combustión interna. Proceso en el cual parte de energía química liberada al quemar un combustible en el interior del cilindro de un motor se transforma en energía mecánica.

Compuestos orgánicos volátiles. Incluye un amplio grupo de sustancias individuales como los hidrocarburos (alcanos, alquenos y aromáticos), compuestos halogenados (por ejemplo, tricloroetileno) y compuestos oxigenados (alcoholes, aldehídos y cetonas). Todos son compuestos orgánicos a base de carbono y poseen una volatilidad suficiente para existir como vapores en la atmósfera en condiciones estándar de presión y temperatura.

Compuestos traza. Se refiere a aquellos gases que se encuentran presentes en la atmósfera en muy bajas concentraciones.

Contaminantes criterio. Contaminantes conocidos como dañinos para la salud humana, presentes en el aire y cuyas concentraciones constituyen los principales parámetros para determinar la calidad del aire ambiente. En el ámbito nacional se reconocen seis contaminantes criterio: ozono (O_3), monóxido de carbono (CO), material particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 y 2.5 micras (PM_{10} y $PM_{2.5}$, respectivamente), dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2).

Convertidor catalítico. Es un dispositivo ubicado en el sistema de escape de los autos, que consiste en una malla de cerámica con canales revestidos de metales que catalizan reacciones para transformar las emisiones que pasan a lo largo del escape, convirtiendo gases tóxicos producidos en la combustión interna (como hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno), en dióxido de carbono, vapor de agua y nitrógeno molecular.

Cuenca atmosférica. Espacio físico diferenciado en el que se encuentra confinada la capa de la atmósfera más inmediata a su superficie interior y delimitada por un patrón meteorológico de pequeña a mediana escala y uniforme en ella.

Cuenca hidrológica. Es el área geográfica por donde transita el agua hacia una corriente principal y luego hacia un punto común de salida. Es también el territorio en el que ocurre el ciclo hidrológico. Por lo anterior, se considera la cuenca como la unidad geográfica más funcional para administrar el agua.

Efecto invernadero. Proceso en el que la radiación térmica emitida por la superficie planetaria es absorbida por los gases de efecto invernadero (GEI) atmosféricos y es irradiada en todas las direcciones. Como parte de esta radiación es devuelta hacia la superficie y la atmósfera inferior, esto resulta en un incremento de la temperatura superficial media respecto a lo que habría en ausencia de los GEI.

Energía cinética. Energía que posee un cuerpo por razón de su movimiento.

Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC). Enfermedad pulmonar caracterizada por una reducción persistente del flujo de aire. Los síntomas empeoran gradualmente y la dificultad en la respiración, que es persistente y al principio se asocia al esfuerzo, aumenta con el tiempo hasta aparecer en reposo. Es una enfermedad que no siempre se llega a diagnosticar y puede ser mortal. A menudo, también se utilizan los términos “bronquitis crónica” y “enfisema” para referirse a ella. Aunque la principal causa de la EPOC es la exposición al humo del tabaco, otros factores de riesgo son la contaminación del aire (interiores y exteriores) y exposición a polvos y productos químicos.

Estomas foliares. Abertura microscópica en la epidermis de las partes verdes de las plantas superiores que permite el intercambio de gases y líquidos con el exterior.

Fideicomiso. Contrato mediante el cual un individuo (el fideicomitente) encomienda dinero o bienes de su propiedad a otra persona jurídica o física (el fiduciario) para que los administre en beneficio de un tercero (el beneficiario).

Foto-reactividad. Característica de algunos contaminantes del aire que tienen la capacidad de reaccionar en presencia de luz solar.

Fracciones de partículas. Las convenciones de muestreo de partículas se han definido en términos de penetración de partículas a diferentes regiones del sistema respiratorio, como se indica a continuación. *Fracción inhalable:* fracción másica del aerosol total que se inhala a través de la nariz y la boca. *Fracción torácica:* fracción másica de las partículas inhaladas que penetran más allá de la laringe. *Fracción respirable:* la fracción másica de las partículas inhaladas que penetran en las vías respiratorias no ciliadas.

Fuentes de área. Fuentes emisoras de contaminantes que son pequeñas, numerosas y dispersas, pero que en conjunto pueden ser significativas. Incluyen las emisiones domésticas, así como de comercios y servicios no regulados, de combustibles, de solventes, residuos, agrícolas y ganaderas.

Fuentes fijas. También denominadas fuentes puntuales, son instalaciones con una ubicación fija, que generan emisiones contaminantes a la atmósfera como parte de sus operaciones o procesos industriales. Las fuentes fijas pueden ser de jurisdicción federal o estatal.

Fuentes móviles. Abarcan todas las formas de transporte y los vehículos automotores que generan emisiones por la quema de combustibles.

Fuentes naturales. Fuentes y procesos naturales que generan emisiones, incluyendo procesos biogénicos, erosión del suelo, volcanes y océanos.

Gravámenes ambientales. Son impuestos cuyo principal objetivo es desincentivar el uso de ciertos objetos o la realización de actividades perjudiciales para el medio ambiente, así como para desarrollar y aplicar tecnologías de ahorro.

Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA). Unidad adimensional que permite comparar las magnitudes de los diversos contaminantes en una escala homogénea que va de cero a 500. Los 100 puntos del índice corresponden al valor límite de la Norma Oficial Mexicana respectiva para cada uno de los contaminantes.

Infecciones Respiratorias Agudas. Son enfermedades que afectan desde oídos, nariz y garganta, hasta los pulmones, que no suelen durar más de 15 días; sin embargo, en algunos casos pueden resultar en complicaciones como neumonía. Son ocasionadas en su mayoría por virus, aunque también pueden ser por bacterias o parásitos que se transmiten de persona a persona a través de las gotas de saliva que se expulsan al toser o estornudar, o por contacto con superficies contaminadas.

Inversión térmica. Es un fenómeno que ocurre cuando la disminución normal en la temperatura del aire con el aumento de la altitud se invierte, y el aire a mayor temperatura sobre el suelo se torna más cálido que el aire debajo de él; el aire frío que se encuentra más cercano a la superficie posee una mayor densidad, por lo que no puede subir, mientras que la capa superior de aire caliente y menos denso queda atrapada entre dos capas de aire frío, impidiendo así el flujo normal que ocurre en la atmósfera. Una inversión térmica atrapa la contaminación atmosférica cerca del suelo, y suprime la convección actuando como una «tapadera» en los valles de escasa circulación.

Mastofauna. La fauna comprendida por mamíferos que habitan en cierta región.

Nubes atmosféricas café. Acumulaciones atmosféricas de partículas de aerosol carbonoso, que inciden en la calidad del aire regional y afectan negativamente la salud humana. Estas nubes afectan los ciclos biogeoquímicos e influyen profundamente en la cantidad de radiación solar que es absorbida y reflejada por la Tierra, lo que produce consecuencias climáticas. Las partículas de aerosol carbonoso se generan principalmente mediante procesos de combustión, incluida la quema de biomasa y combustibles fósiles, y las emisiones naturales a la atmósfera.

Nubes cumulonimbos. Nubes de gran desarrollo vertical, suelen producir precipitaciones intensas y tormentas eléctricas.

Nubes cúmulos. Tipo de nube que exhibe considerable desarrollo vertical, tiene bordes claramente definidos y un aspecto que a menudo se describe como algodinoso.

Nubes estratos. Nubes caracterizadas por capas horizontales con una base uniforme.

Nubes estratocúmulos. Nubes grandes, de masas redondeadas, en grupos, alineadas, o en ondas.

Ornitofauna. La fauna comprendida por aves que habitan en una determinada región.

Oxigenante. Aditivo que se le agrega a la gasolina con la finalidad de volver más limpio el combustible, reduciendo la cantidad de monóxido de carbono y hollín que se producen durante la combustión.

Perenne. Continuo, incesante, que no tiene intermisión.

Pie de monte. Punto donde nace una montaña.

Presión de vapor Reid. Medida de la volatilidad de la gasolina u otros derivados del petróleo.

Producto Interno Bruto. Se trata del valor monetario que totaliza la producción de bienes y servicios generados por una economía en un período determinado.

Rocas ígneas (intrusivas y extrusivas). Las rocas ígneas son aquellas que se forman cuando el magma (roca fundida) se enfría y se solidifica. Si el enfriamiento se produce lentamente bajo la superficie, se forman rocas con cristales grandes denominadas rocas intrusivas, mientras que si el enfriamiento se produce rápidamente sobre la superficie, se forman rocas con cristales indistinguibles a simple vista conocidas como rocas extrusivas.

Rocas metamórficas. Son rocas formadas por la modificación de otras preexistentes en el interior de la Tierra mediante procesos de calor, presión y/o fluidos químicamente activos.

Rocas sedimentarias. Son rocas que se forman por acumulación de sedimentos, los cuales son partículas de diversos tamaños que son transportadas por el agua, el hielo o el viento, y son sometidas a procesos físicos y químicos.

Sistema ciclónico. Zona de baja presión del aire, alrededor de la cual el viento sopla en dirección contraria a las manecillas del reloj en el hemisferio norte.

Sistema anticiclónico. Se trata de una circulación de vientos a gran escala alrededor de una región central de alta presión atmosférica, en el sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio norte.

Subvención. Transferencia de dinero o bienes y servicios del sector público al privado con el objetivo de llevar a cabo una actividad considerada de interés público.

Tropósfera. Capa de la atmósfera terrestre que está en contacto con la superficie de la Tierra y tiene un espesor de entre 5 mil y 15 mil metros de altura.

Turbulencia. Movimiento desordenado de un fluido (como los líquidos y los gases) en el cual las moléculas, en vez de seguir trayectorias paralelas, describen trayectorias sinuosas y forman torbellinos.

Vehículos Ostensiblemente Contaminantes. Aquellos vehículos que superen las emisiones contaminantes permitidas.

Zona Metropolitana. Extensión territorial en la que se encuentra la unidad político-administrativa de la ciudad central y localidades contiguas que comparten características urbanas comunes, tales como sitios de trabajo, lugares de residencia, espacios para labores agrícolas e industriales y que mantienen una relación socioeconómica directa, constante, intensa y recíproca con la ciudad central.

Zona rural. Localidades donde habitan poblaciones menores de 2 mil 500 personas.

Zona urbana. Urbana baja: localidades de 2,500 a 14,999 habitantes. Urbana media: localidades de 15,000 a 99,999. Áreas más urbanizadas: localidades de 100,000 y más habitantes.

Anexo I. Población por municipio al 2015

Tabla I.1 Población del Estado de México por municipio al año 2015

Municipio	Población total	Municipio	Población total
Acambay de Ruíz Castañeda	66,034	Ecatepec de Morelos	1,677,678
Acolman	152,506	Ecatzingo	9,414
Aculco	49,026	Huehuetoca	128,486
Almoloya de Alquisiras	14,846	Hueyoxtlá	43,784
Almoloya de Juárez	176,237	Huixquilucan	267,858
Almoloya del Río	11,126	Isidro Fabela	11,726
Amanalco	24,669	Ixtapaluca	495,563
Amatepec	26,610	Ixtapan de la Sal	35,552
Amecameca	50,904	Ixtapan del Oro	6,791
Apaxco	29,347	Ixtlahuaca	153,184
Atenco	62,392	Xalatlaco	29,572
Atizapán	11,875	Jaltenco	27,825
Atizapán de Zaragoza	523,296	Jilotepec	87,927
Atlacomulco	100,675	Jilotzingo	19,013
Atlautla	30,945	Jiquipilco	74,314
Axapusco	27,709	Jocotitlán	65,291
Ayapango	9,863	Joquicingo	13,857
Calimaya	56,574	Juchitepec	25,436
Capulhuac	35,495	Lerma	146,654
Coacalco de Berriozábal	284,462	Malinalco	27,482
Coatepec Harinas	39,897	Melchor Ocampo	57,152
Cocotitlán	14,414	Metepec	227,827
Coyotepec	41,810	Mexicaltzingo	12,796
Cuautitlán	149,550	Morelos	29,862
Chalco	343,701	Naucalpan de Juárez	844,219
Chapa de Mota	28,289	Nezahualcóyotl	1,039,867
Chapultepec	11,764	Nextlalpan	39,666
Chiautla	29,159	Nicolás Romero	410,118
Chicoloapan	204,107	Nopaltepec	8,960
Chiconcuac	25,543	Ocoyoacac	66,190
Chimalhuacán	679,811	Ocuilan	34,485
Donato Guerra	34,000	El Oro	37,343

Municipio	Población total	Municipio	Población total
Otumba	35,274	Tequixquiac	36,902
Otzoloapan	3,872	Texcaltitlán	19,206
Otzolotepec	84,519	Texcalyacac	5,246
Ozumba	29,114	Texcoco	240,749
Papalotla	3,963	Tezoyuca	41,333
La Paz	293,725	Tianguistenco	77,147
Polotitlán	13,851	Timilpan	15,664
Rayón	13,261	Tlalmanalco	47,390
San Antonio la Isla	27,230	Tlalnepantla de Baz	700,734
San Felipe del Progreso	134,143	Tlatlaya	34,937
San Martín de las Pirámides	26,960	Toluca	873,536
San Mateo Atenco	75,511	Tonatico	12,324
San Simón de Guerrero	6,010	Tultepec	150,182
Santo Tomás	9,682	Tultitlán	520,557
Soyaniquilpan de Juárez	13,290	Valle de Bravo	65,703
Sultepec	26,832	Villa de Allende	52,641
Tecámac	446,008	Villa del Carbón	47,151
Tejupilco	77,799	Villa Guerrero	67,929
Temamatla	12,984	Villa Victoria	104,612
Temascalapa	38,622	Xonacatlán	51,646
Temascalcingo	63,721	Zacazonapan	4,137
Temascaltepec	31,631	Zacualpan	14,958
Temoaya	103,834	Zinacantepec	188,927
Tenancingo	97,891	Zumpahuacán	16,927
Tenango del Aire	12,470	Zumpango	199,069
Tenango del Valle	86,380	Cuautitlán Izcalli	531,041
Teoloyucán	66,518	Valle de Chalco Solidaridad	396,157
Teotihuacán	56,993	Luvianos	27,860
Tepetlaoxtoc	30,680	San José del Rincón	93,878
Tepetlixpa	19,843	Tonanitla	9,728
Tepetzotlán	94,198	POBLACIÓN TOTAL	16,187,608

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía
(INEGI, 2015)

REFERENCIAS:

INEGI. (2015). *Encuesta Intercensal de Población y Vivienda 2015*. Principales resultados., 1–96.
<https://doi.org/304.601072>

Anexo II. Actividades económicas

Tabla II.1 Aportación de actividades económicas al Producto Interno Bruto (PIB)

Sector	Actividad económica	PIB del 2016 a precios constantes del 2013 (Millones de pesos)	Porcentaje del PIB estatal (%)
Sector económico primario	Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza	22,973	1.55
Sector económico secundario	Minería	4,729	0.32
	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final	21,924	1.48
	Construcción	74,331	5.02
	Industrias manufactureras	277,312	18.73
Sector económico terciario	Comercio al por mayor	162,475	10.97
	Comercio al por menor	183,079	12.36
	Transportes, correos y almacenamiento	90,323	6.10
	Información en medios masivos	12,959	0.88
	Servicios financieros y de seguros	49,253	3.33
	Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles	286,584	19.35
	Servicios profesionales, científicos y técnicos	14,887	1.01
	Corporativos	1,004	0.07
	Servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos y servicios de remediación	35,539	2.40
	Servicios educativos	73,752	4.98
	Servicios de salud y de asistencia social	41,290	2.79
	Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	5,721	0.39
	Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	20,316	1.37
	Otros servicios excepto actividades gubernamentales	37,882	2.56
	Actividades legislativas, gubernamentales, de impartición de justicia y de organismos internacionales y extraterritoriales	64,550	4.36

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2018)

Tabla II.2 Industria manufacturera

Actividad Económica	Unidades económicas (2014)	Personal ocupado total (2014)	Producto interno bruto en millones de pesos (2016, base 2013)
311 Industria alimentaria	23,044	111,058	84,338.147
312 Industria de las bebidas y del tabaco	3,456	17,495	9,933.28
313 Fabricación de insumos textiles y acabado de textiles; 314 Fabricación de productos textiles, excepto prendas de vestir	781	24,132	6,381.067
315 Fabricación de prendas de vestir; 316 Curtido y acabado de cuero y piel, y fabricación de productos de cuero, piel y materiales sucedáneos	3,317	44,106	8,648.674
321 Industria de la madera	1,834	5,626	1,353.096
322 Industria del papel; 323 Impresión e industrias conexas	2,469	35,318	12,902.131
324 Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón; 325 Industria química; 326 Industria del plástico y del hule	1,509	98,768	50,839.545
327 Fabricación de productos a base de minerales no metálicos	2,392	23,638	7,672.687
331 Industrias metálicas básicas; 332 Fabricación de productos metálicos	7,875	55,364	17,049.18
333 Fabricación de maquinaria y equipo; 334 Fabricación de equipo de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos; 335 Fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y equipo de generación de energía eléctrica; 336 Fabricación de equipo de transporte	664	79,290	64,538.853
337 Fabricación de muebles, colchones y persianas	3,166	19,340	5,140.798
339 Otras industrias manufactureras	1,535	18,710	8,514.703
Total Industria Manufacturera del Estado de México	52,042	532,845	277,312.161

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía
(INEGI, 2014, 2016)

REFERENCIAS:

INEGI. (2014). Censos Económicos. Recuperado el 28 de agosto de 2018, de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/saic/>

INEGI. (2016). Banco de Información Económica (BIE). Recuperado el 28 de agosto de 2018, de <http://www.inegi.org.mx/Sistemas/BIE/>

INEGI. (2018). Producto interno bruto. Recuperado el 14 de agosto de 2018, de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/CuadrosEstadisticos/GeneraCuadro.aspx?s=est&nc=2097&e=15&c=32090>

Anexo III. Climas

A continuación se describe información climatológica para los principales municipios del Estado de México en términos de población:

- Ecatepec: Con un rango de temperatura que oscila entre los 12°C y los 18°C, y un rango de precipitación entre 500 y 700 mm, este municipio presenta un clima seco con lluvias en verano, semiseco (66.41%) y templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (33.59%).
- Nezahualcóyotl: Presenta un rango de temperatura entre 14°C y 18°C, un rango de precipitación entre 500 y 700 mm y un clima seco con lluvias en verano, semiseco (100%).
- Toluca: Su rango de temperatura va desde los 2°C hasta los 16°C, la precipitación entre 700 y 2000 mm y un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (73.91%), semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (23.11%) y frío de altura con marcado invierno (2.98%).
- Naucalpan de Juárez: Con un rango de temperatura entre 8°C y 18°C, y de precipitación entre 600 y 1300 mm, su clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (44.46%), templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (41.07%) y semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (14.47%).
- Tlalnepantla de Baz: Presenta un rango de temperatura entre 12°C y 18°C, un rango de precipitación entre 500 y 800 mm y clima templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (83.29%) y templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (16.71%).
- Chimalhuacán: Su rango de temperatura oscila entre 14°C y 18°C, con un rango entre 500 y 700 mm de precipitación y un clima seco con lluvias en verano, semiseco (99.15%) y templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad (0.85%).

Anexo IV. Descripción del cálculo de los indicadores de calidad del aire

IV.1 Indicadores primarios de la calidad del aire

A fin de contextualizar los resultados que se presentan en el ProAire respecto del diagnóstico de la calidad del aire en el Estado de México, en el presente anexo se describe la metodología empleada para el cálculo de los indicadores de la calidad del aire. Los cálculos aquí mostrados se basan en el Procedimiento para obtener indicadores de la Calidad del Aire (INECC, 2010) y en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de Calidad del Aire.

Los indicadores que a continuación se describen se basan en los datos horarios, en los promedios móviles de 8 horas y en los promedios de 24 horas, dependiendo de lo que especifican las correspondientes normas. Para el cálculo de todos los indicadores se tomó en cuenta un criterio de suficiencia de al menos 75% de datos válidos. Es decir, para una hora, un día y un mes o un trimestre, son necesarios al menos el 75% de los minutos, horas o días, respectivamente.

La Tabla IV.1 resume los indicadores con los que se evaluó el cumplimiento de las NOM para cada uno de los contaminantes criterio. Se indican el tipo de dato base que se utilizó en el cálculo y el tiempo para calcular la métrica, el tipo de exposición, la frecuencia tolerada, los valores límite, los criterios de suficiencia de información y la NOM que corresponde a cada contaminante.

Tabla IV.1 Criterios de evaluación de las Normas Oficiales Mexicanas vigentes

Contaminante	Periodo de evaluación	Exposición	Frecuencia tolerada	Valor límite e indicador con el que se evalúa	Criterio de suficiencia anual	Norma Oficial Mexicana
Partículas PM ₁₀	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	75 µg/m ³ Máximo	Por lo menos tres trimestres con al menos 75% de los promedios de 24 horas válidas (DOF, 2014)	NOM-025-SSA1-2014 (DOF, 2014)
		Crónica	-	40 µg/m ³ Promedio anual		
Partículas PM _{2.5}	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	45 µg/m ³ Máximo		
		Crónica	-	12 µg/m ³ Promedio anual		
Ozono (O ₃) ^a	Dato horario	Aguda	No se permite	0.095 ppm Máximo	Al menos 75% de los datos horarios ^a	NOM-020-SSA1-2014 (DOF, 2014)
	Promedios móviles de 8 horas		No se permite	0.070 ppm Máximo	Al menos 75% de los máximos diarios de los promedios móviles de 8 horas (DOF, 2014)	
Dióxido de azufre (SO ₂)	Promedio móvil de 8 horas	Aguda	2 veces al año	0.200 ppm Segundo máximo	Al menos 75% de los promedios móviles de 8 horas	NOM-022-SSA1-2010 (DOF, 2010) ^b
	Promedio 24 horas	Aguda	1 vez al año	0.110 ppm Máximo	Al menos 75% de los promedios de 24 horas	
	Dato horario	Crónica	-	0.025 ppm Promedio anual	Al menos 75% de los datos horarios	
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Dato horario	Aguda	1 vez al año	0.210 ppm Segundo máximo	Al menos 75% de los datos horarios	NOM-023-SSA1-1993 (DOF, 1994) ^b
Monóxido de carbono (CO)	Promedio móvil de 8 horas	Aguda	1 vez al año	11.00 ppm Segundo máximo	Al menos 75% de los promedios móviles de 8 horas	NOM-021-SSA1-1993 (DOF, 1994) ^b

a En el caso del ozono en los numerales 5.2.3.1 y 5.2.3.2 de la NOM se especifica que aún en el caso en el que no se cumpla el criterio de suficiencia del 75% de los valores horarios o de los promedios móviles de 8 horas, se incumplirá la norma cuando: al menos uno de los valores horarios sea mayor a 0.095 ppm o al menos uno de los valores de los promedios móviles de 8 horas sea mayor a 0.070 ppm.

b En estas NOM no se especifica cómo realizar el manejo de datos y tampoco criterios de suficiencia de información, pero en congruencia con las especificaciones de las NOM de Partículas y Ozono se aplica, en la agregación de cada dato, el criterio de 75% de suficiencia de información para obtener los indicadores.

IV.1.1 Indicadores de partículas suspendidas PM_{10} y $PM_{2.5}$

Las NOM de calidad del aire para PM_{10} y $PM_{2.5}$ establecen dos indicadores utilizados para evaluar la contaminación debida a ambas fracciones de partículas suspendidas. Estos indicadores son el promedio anual y el máximo del promedio diario. Comúnmente también se utiliza el Percentil 98 para evaluar la calidad del aire respecto de estos contaminantes.

Promedio de 24 horas

Para el cálculo del promedio de 24 horas de cada día en una estación en particular se requiere un mínimo de 18 registros válidos de las concentraciones horarias, para así cumplir con el criterio de suficiencia. Si se cumple con este requisito, el promedio diario se calcula con la siguiente fórmula:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Donde \bar{x} es el promedio de 24 horas, el número de concentraciones horarias válidas ($24 \geq n \geq 18$) y x_i las concentraciones horarias válidas. El valor obtenido se compara con el límite normado de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2.5}$.

Si no se cumple con el criterio de suficiencia, entonces el promedio del día en cuestión para la estación respectiva no es válido.

Promedio anual

Para calcular el promedio anual se requiere un mínimo de datos en un año calendario. Este mínimo se evalúa a partir de los promedios de 24 horas válidos obtenidos en cada uno de los cuatro trimestres del año. Para calcular el promedio trimestral se requiere un mínimo del 75% de muestras válidas. Si este criterio de suficiencia no es alcanzado, se invalida el trimestre correspondiente. Para calcular el promedio anual se requieren al menos tres trimestres válidos. En caso contrario no se podrá evaluar el cumplimiento de la NOM para ese año en la estación de monitoreo en cuestión.

En caso de contar con al menos tres trimestres válidos, el promedio anual se calcula con la siguiente fórmula:

$$\bar{x}_a = \frac{1}{n_a} \sum_{t=1}^{n_a} \bar{x}_t$$

Donde \bar{x}_a es el promedio anual, n_a el número de trimestres válidos en el año ($n_a = 3, 4$) y \bar{x}_t el promedio trimestral de las muestras de 24 horas válidas. El promedio anual se compara con el límite normado de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2.5}$.

Tabla IV.2 Meses incluidos por trimestre

Trimestre	Meses
1	Enero, febrero y marzo
2	Abril, mayo y junio
3	Julio, agosto y septiembre
4	Octubre, noviembre y diciembre

Fuente: Elaboración propia

Percentil 98

La frecuencia máxima aceptable con la que se permite que se rebasen los límites especificados para partículas suspendidas fracción PM_{10} y fracción $\text{PM}_{2.5}$ es del 2% de los promedios diarios en un año para los límites respectivos de 24 horas. Esto es, si el Percentil 98 de las concentraciones diarias rebasa el límite, no se cumple con lo dispuesto por la NOM.

El Percentil 98 es el valor por debajo del cual se acumula el 98% de los registros diarios. Si en un trimestre no se cumple con el criterio de suficiencia del 75%, ese trimestre no se considera para el cálculo del indicador. Para la validación del año es necesario contar con al menos tres trimestres válidos. En caso contrario no será posible evaluar el cumplimiento de la NOM para ese año.

El cálculo del Percentil 98 se realiza de acuerdo con el siguiente algoritmo: se multiplica el número de concentraciones diarias válidas (n) por 0.98; del resultado obtenido se toma la parte entera, . Por ejemplo, si $n= 326$ entonces $326 \times 0.98 = 319.48$ y así la parte entera es $i = 319$. Posteriormente a la parte entera se le suma 1 ($i + 1$).

Los promedios diarios del año se ordenan de menor a mayor. El Percentil 98 corresponde al dato que se ubique en la posición $i + 1$ de los datos ordenados. El valor del Percentil 98 se compara con el límite normado para el promedio diario, que es de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2.5}$.

IV.1.2 Indicadores de ozono O₃

La NOM de calidad del aire para O₃ establece dos indicadores utilizados para evaluar la exposición a este contaminante, el máximo de los datos horarios y el máximo de los promedios móviles de 8 horas.

Máximo de los datos horarios

Corresponde al valor máximo registrado en un año como concentración horaria de O₃. El valor máximo se compara con el límite normado, que es de 0.095 ppm.

Máximo de los promedios móviles de 8 horas

El promedio móvil se calcula con las concentraciones horarias, promediando el valor de la hora seleccionada con los valores de las concentraciones horarias registradas en las siete horas previas. Para realizar el cálculo es necesario contar con al menos 6 de las concentraciones horarias. Por ejemplo, para calcular el promedio móvil de las 16:00 horas, se utilizan las concentraciones registradas para cada hora desde las 9:00 hasta las 16:00 horas. Posteriormente se determina el valor máximo de los promedios móviles de 8 horas en el año y se compara con el límite normado de 0.070 ppm.

La NOM anterior de calidad del aire, tras una modificación (DOF, 2002), indicaba que para evaluar el cumplimiento del límite del promedio móvil de 8 horas se debía utilizar el quinto valor máximo de los promedios máximos diarios. El promedio máximo diario de 8 horas corresponde al valor más alto registrado durante un día para el promedio móvil de 8 horas. Para determinar el promedio máximo diario se requiere el 75% de los registros (al menos 18 valores del promedio móvil de 8 horas). Sin embargo, cuando el valor máximo de los promedios móviles de ocho horas sea mayor al valor normado, el día se considerará como válido aun cuando se cuente con menos de 75% de los valores.

De esta manera, para un año calendario se obtendrán 365 (366 para años bisiestos) valores para los promedios máximos diarios. Para determinar el quinto máximo es necesario contar con al menos 75% de los registros diarios. Finalmente, se obtiene el quinto valor más grande registrado en este conjunto de datos y se compara con el límite normado para el promedio móvil de 8 horas.

El Procedimiento para obtener indicadores de la Calidad del Aire del INECC (INECC, 2010) sigue haciendo mención del quinto máximo como indicador de la calidad del aire para ozono. Este indicador es útil para evaluar el cumplimiento de la NOM en un sitio de monitoreo. Si el quinto valor máximo es superior al límite normado, indica que se tienen problemas en la calidad del aire respecto del ozono.

IV.1.3 Indicadores de dióxido de azufre SO₂

La NOM de calidad del aire para SO₂ define tres indicadores para evaluar la calidad del aire respecto de este contaminante. Estos indicadores son: el segundo máximo del promedio móvil de 8 horas, el máximo del promedio de 24 horas y el promedio anual de los datos horarios.

Segundo máximo del promedio móvil de 8 horas

El promedio móvil de 8 horas para el SO₂ se calcula a partir de las concentraciones horarias, promediando el valor de la hora seleccionada con los valores de las concentraciones horarias registradas en las siete horas previas, considerando el criterio de suficiencia del 75% (al menos 6 registros).

El segundo máximo corresponde al segundo valor máximo registrado en un año calendario para el promedio móvil de 8 horas. El valor obtenido se compara con el límite normado de 0.200 ppm.

Máximo del promedio de 24 horas

De manera análoga a lo descrito para partículas suspendidas, para el cálculo del promedio de 24 horas de cada día en una estación en particular se requiere un mínimo de 18 registros válidos de las concentraciones horarias de SO₂. Si se cumple con este requisito, el promedio diario se calcula con la siguiente fórmula:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Donde \bar{x} es el promedio de 24 horas, el número de concentraciones horarias válidas ($24 \geq n \geq 18$) y las concentraciones horarias válidas. Se prosigue a obtener el valor máximo registrado en una estación en particular durante un año calendario. Este valor se compara con el límite de la NOM, que es de 0.110 ppm.

Promedio anual de los datos horarios

Para calcular el promedio anual se requiere un mínimo de datos en un año calendario. Este mínimo se evalúa a partir de las concentraciones horarias válidas obtenidas en el año. Para calcular el promedio anual se requiere un mínimo del 75% de muestras válidas, esto es al menos 6,570 datos horarios para un año calendario (6,588 datos para años bisiestos). En caso contrario no se podrá evaluar el cumplimiento de la NOM para ese año en la estación de monitoreo en cuestión.

El promedio anual se calcula con la siguiente fórmula:

$$\bar{x}_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Donde \bar{x}_a es el promedio anual, n el número de concentraciones horarias válidas en el año y x_i las concentraciones horarias válidas. El promedio anual se compara con el límite normado de 0.025 ppm.

IV.1.4 Indicadores de dióxido de nitrógeno NO₂

Para NO₂ la NOM de calidad del aire respectiva establece como único indicador el segundo máximo de los datos horarios en un año calendario. Para calcular el segundo máximo se requiere un mínimo del 75% de muestras horarias; esto es al menos 6,570 datos horarios para un año (6,588 datos para años bisiestos). En caso contrario no se podrá evaluar el cumplimiento de la NOM para ese año en la estación de monitoreo en cuestión. El valor del segundo máximo se compara con el límite normado de 0.210 ppm.

IV.1.5 Indicadores de monóxido de carbono CO

La NOM de calidad del aire para CO establece como único indicador el segundo máximo de los promedios móviles de 8 horas.

El promedio móvil de 8 horas se calcula a partir de las concentraciones horarias, promediando el valor de la hora seleccionada con los valores de las concentraciones horarias registradas en las siete horas previas, considerando el criterio de suficiencia del 75% (al menos 6 registros).

Para calcular el segundo máximo en un año calendario se requiere un mínimo del 75% de los promedios móviles de 8 horas; esto es al menos 6,570 datos horarios para un año (6,588 datos para años bisiestos). En caso contrario no se podrá evaluar el cumplimiento de la NOM para ese año en la estación de monitoreo en cuestión. El valor del segundo máximo se compara con el límite normado de 11 ppm.

IV.2 Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA)

Para que la población pueda saber si los niveles de calidad del aire son satisfactorios o no, se estableció una unidad de medida denominada IMECA. El límite considerado satisfactorio para cada uno de los contaminantes atmosféricos se representa con un valor de 100 puntos IMECA, que corresponde al límite normado que establecen las normas de calidad del aire para cada uno de los contaminantes. A partir de lo anterior se establece la siguiente escala:

Tabla IV.3 Escala de números y colores del IMECA

Condición	Criterio (IMECA)
Buena	0 – 50
Regular	51 – 100
Mala	101 – 150
Muy mala	151 – 200
Extremadamente mala	>200

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México
(SMAGEM, 2018)

IV.2.1 Algoritmo para el cálculo del IMECA

En el caso de O_3 y NO_2 , el IMECA se obtendrá a partir de concentraciones promedio de una hora; en el caso de SO_2 y para las PM_{10} y las $PM_{2.5}$, derivará de una concentración obtenida como promedio móvil de 24 horas; para el CO el IMECA se calculará a partir de una concentración obtenida como promedio móvil de 8 horas.

En las siguientes tablas se presentan las ecuaciones para calcular el IMECA, a partir de la concentración de los contaminantes, ya sea en partes por millón (ppm) o microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$).^{1,2}

Tabla IV.4 Partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10})

Intervalo	Intervalo de concentración ($\mu g/m^3$)	Ecuaciones
0 - 50	0 – 40	$IMECA_{PM_{10}} = \text{Concentración} \left[\frac{\mu g}{m^3} \right] * 1.25$
51 - 100	41 - 75	$IMECA_{PM_{10}} = \left(\text{Concentración} \left[\frac{\mu g}{m^3} \right] - 41 \right) * 1.44 + 51$
101 - 150	76 - 214	$IMECA_{PM_{10}} = \left(\text{Concentración} \left[\frac{\mu g}{m^3} \right] - 76 \right) * 0.355 + 101$
151 - 200	215 - 354	$IMECA_{PM_{10}} = \left(\text{Concentración} \left[\frac{\mu g}{m^3} \right] - 215 \right) * 0.353 + 151$
> 200	>354	$IMECA_{PM_{10}} = \text{Concentración} \left[\frac{\mu g}{m^3} \right] * 0.567$

Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT
(RAMA, 2018)

1. El formato y ecuaciones mostradas en este anexo hacen referencia al algoritmo presentado en la página web: <http://rama.edomex.gob.mx/imeca>. Este algoritmo fue utilizado para obtener el IMECA en la ZMVT.
2. Para obtener el IMECA en la ZMCT se utilizaron las ecuaciones y criterios establecidos por el Gobierno de la Ciudad de México (GDF, 2006; SEDEMA, 2014), dado que las estaciones utilizadas en el análisis, si bien se encuentran dentro de los límites territoriales del Estado de México, son administradas por la Ciudad de México para medir la calidad del aire de la ZMVM.

Tabla IV.5 Partículas menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$)

Intervalo	Intervalo de concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ecuaciones
0 - 50	0 - 12	$IMECA PM_{2.5} = \text{Concentración} \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right] + 4.17$
51 - 100	12.1 - 45	$IMECA PM_{2.5} = \left(\text{Concentración} \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right] - 12.1 \right) * 1.49 + 51$
101 - 150	45.1 - 97.4	$IMECA PM_{2.5} = \left(\text{Concentración} \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right] - 45.1 \right) * 0.94 + 101$
151 - 200	97.5 - 150.4	$IMECA PM_{2.5} = \left(\text{Concentración} \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right] - 97.5 \right) * 0.93 + 151$
> 200	>150.4	$IMECA PM_{2.5} = \text{Concentración} \left[\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right] + 1.335$

Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT
(RAMA, 2018)

Tabla IV.6 Ozono (O_3)

Intervalo	Intervalo de concentración (ppm)	Ecuaciones
0 - 50	0.000 - 0.070	$IMECA O_3 = \text{Concentración} [\text{ppm}] + 714.29$
51 - 100	0.071 - 0.095	$IMECA O_3 = (\text{Concentración} [\text{ppm}] - 0.71) * 2041.67 + 51$
101 - 150	0.096-0.154	$IMECA O_3 = (\text{Concentración} [\text{ppm}] - 0.096) * 844.83 + 101$
151 - 200	0.155-0.204	$IMECA O_3 = (\text{Concentración} [\text{ppm}] - 0.155) * 1000 + 151$
> 200	>0.204	$IMECA O_3 = \text{Concentración} [\text{ppm}] + 982.5$

Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT
(RAMA, 2018)

Tabla IV.7 Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Intervalo	Intervalo de concentración (ppm)	Ecuaciones
0 - 50	0 - 0.105	$IMECA NO_2 = \frac{Concentración [ppm] * 50}{0.105}$
51 - 100	0.106 - 0.210	$IMECA NO_2 = \frac{Concentración [ppm] * 49}{0.104} + 1.058$
101 - 150	0.211 - 0.315	$IMECA NO_2 = \frac{Concentración [ppm] * 49}{0.104} + 1.587$
151 - 200	0.316 - 0.420	$IMECA NO_2 = \frac{Concentración [ppm] * 49}{0.104} + 2.115$
> 200	> 0.420	$IMECA NO_2 = \frac{Concentración [ppm] * 201}{0.421}$

Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT
(RAMA, 2018)

Tabla IV.8 Dióxido de Azufre (SO₂)

Intervalo	Intervalo de concentración (ppm)	Ecuaciones
0 - 50	0 - 0.065	$IMECA SO_2 = \frac{Concentración [ppm] * 100}{0.11 ppm}$
51 - 100	0.066 - 0.130	
101 - 150	0.131 - 0.195	
151 - 200	0.196 - 0.260	
> 200	> 0.260	

Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT
(RAMA, 2018)

Tabla IV.9 Monóxido de Carbono (CO)

Intervalo	Intervalo de concentración (ppm)	Ecuaciones
0 - 50	0 - 5.50	$IMECA\ CO = \frac{Concentración\ [ppm] + 50}{5.5}$
51 - 100	5.51 - 11.00	$IMECA\ CO = \frac{Concentración\ [ppm] + 49}{5.49} + 1.82$
101 - 150	11.01 - 16.50	$IMECA\ CO = \frac{Concentración\ [ppm] + 49}{5.49} + 2.73$
151 - 200	16,51 - 22.00	$IMECA\ CO = \frac{Concentración\ [ppm] + 49}{5.49} + 3.64$
>200	>22.00	$IMECA\ CO = \frac{Concentración\ [ppm] + 201}{22.01}$

Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la ZMVT
(RAMA, 2018)

REFERENCIAS:

- DOF. (2002). Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993. Recuperado el 1 de octubre de 2018, de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=720340&fecha=30/10/2002
- GDF. (2006). *NADF-009-AIRE-2006*. Recuperado de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/monitoreo/normatividad/NADF-009-AIRE-2006.pdf>
- INECC. (2010). *Procedimiento para obtener indicadores de la Calidad del Aire*. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/625/procedimiento.pdf>
- RAMA. (2018). ¿Qué es el IMECA? Recuperado de <http://rama.edomex.gob.mx/contaminacion-atmosferica/imeca>
- SEDEMA. (2014). Cálculo del Índice de Calidad del Aire tomando en cuenta las recientes modificaciones a las NOM-020-SSA1-2014 y NOM-025-SSA1-2014. Recuperado el 1 de octubre de 2018, de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27ZaBhnml=&dc=%27aQ==>