



TALLER PARA LA EVALUACIÓN DEL PROAIRE 2011-2020 IDENTIFICACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CDMX

Contrato CPSG/050A/2018 FA



INFORME FINAL

Fotografías: Enrique Abe Takahashi

© **Secretaría del Medio Ambiente**

Gobierno de la Ciudad de México
Plaza de la Constitución núm.1, 3er piso, col.
Centro, Alcaldía Cuauhtémoc, C.P. 06090
www.sedema.cdmx.gob.mx
Primera edición, Ciudad de México 2018

RECONOCIMIENTO

Este informe presenta los resultados del taller realizado del 26 al 27 de septiembre de 2018 para evaluar los avances en la implementación del PROAIRE 2011-2020 e identificar acciones estratégicas efectivas para mejorar la calidad del aire en la Ciudad de México. El taller fue organizado por Iniciativa Climática de México (ICM) y el Molina Center for Strategic Studies in Energy and the Environment (MCE2). El taller contó con la participación de expertos nacionales e internacionales con amplia experiencia en campos como la investigación científica o el desarrollo de políticas públicas sobre contaminación del aire y contó con apoyo y participación del personal de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México (SEDEMA).

Los organizadores desean agradecer a los oradores, moderadores y participantes por sus aportaciones durante las productivas discusiones del taller, las cuales sirvieron de base para la elaboración de este documento. Se agradece el financiamiento proporcionado por SEDEMA para la realización del taller y la preparación de este informe.



CONTENIDO

RECONOCIMIENTOS	1
ACRÓNIMOS, ABREVIACIONES Y SÍMBOLOS QUÍMICOS	4
RESUMEN EJECUTIVO	8
<i>ANTECEDENTES</i>	8
<i>RESULTADOS</i>	11
<i>RECOMENDACIONES</i>	14
<i>CONCLUSIONES</i>	30
PARTE I. DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE MÉXICO	34
1. INTRODUCCIÓN	34
2. ANTECEDENTES: CALIDAD DEL AIRE DE LA CDMX Y SU ZONA METROPOLITANA	38
2.1. Topografía, Meteorología y Desarrollo Urbano de la ZMVM	38
2.2. Programas de Gestión de la Calidad del Aire	41
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LA INFORMACIÓN TÉCNICO-CIENTÍFICA	52
3.1. Fuentes de Emisión de Contaminantes y su Transporte y Transformación en la Atmósfera de la CDMX	52
Meteorología	55
Emisiones de gases contaminantes y partículas	56
Compuestos orgánicos volátiles	57
Fotoquímica urbana y regional	58
Material particulado	59
Propiedades radiativas de los aerosoles	61
3.2. Impactos del Complejo Industrial de Tula en la Calidad del Aire de la ZMVM	62
3.3. Implicaciones de Política Pública para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la ZMVM utilizando Resultados Clave de las Campañas MCMA-2003 y MILAGRO 2006	64
3.4. Actualización de Factores de Emisión y Datos de Actividad para Mejorar la Estimación de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero y Contaminantes Criterio de los Vehículos de la Ciudad de México	75
3.5. Aplicación del Sistema de Pronóstico de la Calidad del Aire para la Evaluación de Políticas de Reducción de Emisiones	76
3.6. Impactos de la Contaminación del Aire en la Población de la Ciudad de México	78

4.	DOCUMENTOS DE POSICIÓN ELABORADOS POR DIVERSAS INSTITUCIONES Y DEPENDENCIAS	87
4.1.	Propuesta de Actuación Inmediata para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Megalópolis	88
4.2.	Soluciones de Fondo para Mejorar la Calidad del Aire del Valle de México	91
4.3.	Consideraciones sobre la Situación Actual de Contaminación Atmosférica en el Centro de México	92
4.4.	Estrategias para Mitigar la Contaminación Atmosférica en la Ciudad de México: mejores prácticas internacionales	95
PARTE 2: RESULTADOS DEL TALLER		99
1.	RESUMEN DE PUNTOS CLAVE	99
1.1.	Monitoreo de la Calidad del Aire	100
1.1.1.	Gestión del Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire	101
1.1.2.	Infraestructura del Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire	102
1.2.	Inventario de Emisiones	103
1.2.1.	Desarrollo del Inventario	104
1.2.2.	Evaluación del Inventario	105
1.2.3.	Emisiones y Estrategias de control por Sector	106
1.3.	Ciencia Atmosférica	115
1.4.	Impactos en la Salud por la Contaminación del Aire	118
1.5.	Comunicación y Participación con las Partes Interesadas	120
2.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	121
3.	ORGANIZACIÓN DEL TALLER Y PRESENTACIONES	144
4.	REFERENCIAS	145
ANEXO 1. Agenda del Taller y Lista de Participantes		151
ANEXO 2. Resumen de las Presentaciones y Discusiones		157



ACRÓNIMOS, ABREVIACIONES Y SÍMBOLOS QUÍMICOS

AOT40	Accumulated Ozone exposure over a Threshold of 40 ppb (Exposición al Ozono acumulado sobre el umbral de 40 ppb)
AMS	Aerosol Mass Spectrometer (Espectrómetro de masas de aerosoles)
BC	Black Carbon (Carbono Negro, CN)
BSC	Barcelona Supercomputing Center (Centro de Supercómputo de Barcelona)
CAF	Development Bank for Latin America (Banco de Desarrollo de América Latina)
CAM	Comisión Ambiental Metropolitana
CAMe	Comisión Ambiental de la Megalópolis
CARB	California Air Resources Board
CCA-UNAM	Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM
CCA-CAMe	Comité Científico Asesor de la Comisión Ambiental de la Megalópolis
CCN	Cloud Condensation Nuclei (Núcleos de condensación de nubes)
CDHDF	Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal
CDMX	Ciudad de México
CDP	Carbon Disclosure Project
CENICA	Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental
CIDE	Centro de Investigación y Docencia Económicas
CMAQ	Community Multi-scale Air Quality
CMM	Centro Mario Molina
CN	Carbono Negro
CNG	Compressed Natural Gas (Gas Natural Comprimido, GNC)
CO	Carbon monoxide (Monóxido de carbono)
COA	Cédula de Operación Anual
COI	Cédula de Operación Integral
CONACYT	Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología
CO ₂	Carbon dioxide (Dióxido de carbono)
COT	Carbono Orgánico Total
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
DGGCA	Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire
DOCs	Diesel Oxidation Catalysts (Catalizadores de Oxidación Diésel)
DPF	Diesel Particulate Filter (Filtro de Partículas Diésel)
ECAIM	Estudios de Calidad del Aire y su Impacto en el Centro de México
EDMS	Emissions and Dispersion Modeling Systems (Sistemas de Modelación de Emisiones y Dispersión)
EDOMEX	Estado de México
ERG	Eastern Research Group
EV	Electric Vehicles (Vehículos eléctricos)



GBD	Global Burden of Disease (Carga Global de Enfermedad)
GCDMX	Gobierno de la Ciudad de México
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GHG	Greenhouse Gases (Gases de Efecto Invernadero, GEI)
GLP	Gas Licuado de Petróleo
GNC	Gas Natural Comprimido
GPCS	Global Protocol for Community Scale (Protocolo global a escala comunitaria)
HCHO	Formaldehyde (Formaldehído)
HERMES-Mex	High-Elective Resolution Modelling Emission System for Mexico
HNC	Hoy no Circula
HO ₂	Hydroperoxyl (Hidroperoxil)
HSPH	School of Public Health T. H. Chan of Harvard University
H ₂ S	Hydrogen sulfide (Ácido sulfhídrico)
ICM	Iniciativa Climática de México
IG	Instituto de Geografía
IMADA-AVER	Investigación sobre Materia Particulada y Deterioro Atmosférico
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INEM	Inventario Nacional de Emisiones de México
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático)
ITF	International Transport Forum (Foro Internacional del Transporte)
IVOC	Intermediate Volatile Organic Compounds (Compuestos orgánicos volátiles intermedios)
LAA	Laboratorio de Análisis Ambiental
LAU	Licencia Ambiental Única
LPG	Liquefied Petroleum Gas (Gas Licuado de Petróleo, GLP)
LSEV	Low-speed Electric Vehicles (Vehículos eléctricos de baja velocidad)
MARGA	Monitor for AeRosols and GAses in ambient air
MARI	Mexico City Air Quality Research Initiative
MCE2	Molina Center for Energy and the Environment
MCMA	Mexico City Metropolitan Area (Zona Metropolitana del Valle de México, ZMVM)
MILAGRO	Megacity Initiative: Local and Global Research Observations
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MOVES	Motor Vehicle Emissions Simulator
MPL	Maximum permissible limit (Límite Máximo Permitido)
msnm	Metros sobre el nivel medio del mar
NH ₃	Ammonia (Amoniaco)



NMHCs	Non-Methane Hydrocarbons (Hidrocarburos no-metánicos)
NO _x	Nitrogen oxides (Óxido de nitrógeno)
N ₂ O	Nitrous oxide (Óxido nitroso)
O ₃	Ozone (Ozono)
OBD	On-board Diagnostics Systems (Sistemas de diagnóstico a bordo)
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development (Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo)
OH	Hydroxyl (Hidroxilo)
PBL	Planetary Boundary Layer
PCAA	Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PHEV	Plug-In Hybrid Electric Vehicles (Vehículos eléctricos híbridos plug-in)
PID	Photoionization Detector (Detector de fotoionización)
PIREC	Programa de Sustitución de Convertidores Catalíticos
PM ₁₀	Partículas menores a 10 micrómetros
PM _{2.5}	Partículas menores a 2.5 micrómetros
POA	Primary Organic Aerosols (Aerosoles orgánicos primarios)
PROAIRE	Programa para Mejorar la Calidad del Aire
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
PROTE	Programa de Transporte Escolar
PSU	Pennsylvania State University
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
PVVO	Programa de Verificación Vehicular Obligatorio
QA	Quality Assurance (Aseguramiento de Calidad)
QC	Quality Control (Control de Calidad)
RH	Relative Humidity
RSD	Remote Sensing Devices (Dispositivos de Teledetección)
RTP	Red de Transporte de Pasajeros
SCAQMD	South Coast Air Quality Management District
SEDEMA	Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México
SEDESA	Secretaría de Salud de la Ciudad de México
SMAGEM	Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SEMARNATH	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de Hidalgo
SENER	Secretaría de Energía
SIA	Secondary Inorganic Aerosols (Aerosoles Inorgánicos Secundarios)
SIMAT	Sistema de Monitoreo Atmosférico
SMA	Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México



SMN	Servicio Meteorológico Nacional
SO ₂	Sulfur dioxide (Dióxido de azufre)
SOA	Secondary Organic Aerosols (Aerosoles Orgánicos Secundarios)
SOF	Solar Occultation Flux (Flujo de Ocultación Solar)
SSA	Single Scattering Albedo (Albedo de Dispersión Única)
SSP	Secretaría de Salud Pública
SVOC	Semi-Volatile Organic Compounds (Compuestos orgánicos semi-volátiles)
TOC	Total Organic Carbon (Carbono Orgánico Total, COT)
UACJ	Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
UHI	Urban Heat Island (Isla urbana de calor)
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
VOCs	Volatile Organic Compounds (Compuestos Orgánicos Volátiles, COV)
WRF-ARW	Weather Research and Forecasting - Advanced Research
WWTP	Wastewater Treatment Plants (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, PTAR)
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México



RESUMEN EJECUTIVO

1.- ANTECEDENTES

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), con más de 21 millones de habitantes, es una de las ciudades más densamente pobladas de América del Norte y una de las mega ciudades más grandes del mundo. La ZMVM se encuentra en una cuenca a una altitud de 2240 m sobre el nivel medio del mar (msnm), que está rodeada en tres de sus lados por montañas y volcanes, tiene dos aberturas, una al norte, hacia la meseta mexicana, y otra al sureste. La topografía y la meteorología del área metropolitana afectan sustancialmente a la calidad del aire. Después de la estación fría y seca de noviembre a febrero, sigue una estación seca y cálida hasta mayo, posteriormente una estación lluviosa de junio a octubre. La ZMVM se encuentra en una cuenca cerrada rodeada de montañas, que junto con su elevación y latitud, inducen factores meteorológicos que caracterizan cada una de las épocas del año que se presentan en la región.

La Ciudad de México ha experimentado transformaciones masivas en la urbanización y la demografía a lo largo de su historia. La población del Valle de México pasó de menos de 3 millones de habitantes en 1950 a más de 21 millones en el año 2016, cubriendo una extensión de +7,585 km², lo que corresponde a un aumento aproximado de 7 veces en 66 años. La expansión urbana creció más allá de la Ciudad de México y hacia el Estado de México y algunas partes del Estado de Hidalgo. Actualmente, el área metropolitana tiene más de 21 millones de habitantes, de los cuales 8.8 millones viven en la Ciudad de México y 12.5 millones en 59 municipios del Estado de México y el municipio de Tizayuca, Hidalgo.

El rápido crecimiento de la población, el desarrollo urbano descontrolado, la alta tasa de motorización, la industrialización y el consumo de combustibles fósiles, una cuenca cerrada rodeada de montañas y una intensa radiación solar se combinaron para causar graves problemas de calidad del aire de contaminantes primarios y secundarios para el área metropolitana.

La red de monitoreo automático de la calidad del aire, establecida a fines de la década de 1980, reveló altas concentraciones de todos los contaminantes criterio, como el ozono que alcanzó máximos de 300 ppb durante 40-50 días al año; lo que en ese tiempo colocó a los problemas de contaminación del aire de la Ciudad de México entre

los peores del mundo. Actualmente el promedio de la CDMX de enero a octubre para ozono es de 32.2 ppb.

Después de cuatro décadas de programas integrales de gestión de la calidad del aire basados en consideraciones científicas, técnicas, sociales y políticas, la Ciudad de México ha logrado avances importantes en su batalla contra la contaminación del aire. Las regulaciones implementadas a partir de la década de 1990 han inducido reducciones substanciales en la contaminación del aire y han mejorado la salud pública. Sin embargo, aunque la concentración atmosférica de contaminantes se ha reducido en la ZMVM, todavía hay demasiados días con mala calidad del aire con respecto al ozono, PM10 y PM2.5; por lo tanto, es necesario continuar implementando políticas y estrategias efectivas para reducir la concentración de estos contaminantes y seguir mejorando la calidad del aire.

Para lograrlo, se requiere como primer paso hacer una revisión y evaluación de las acciones aplicadas, así como determinar con base en conocimiento científico y técnico las acciones que deben modificarse e implementarse, además se requiere definir líneas estratégicas que pueden ser viables en el corto y mediano plazo, con la finalidad de reducir el riesgo a la salud de la población y daño a los ecosistemas.

Para realizar este objetivo, la SEDEMA promovió la celebración de un taller con expertos nacionales e internacionales sobre la contaminación atmosférica, con el objetivo de evaluar los avances en la implementación del PROAIRE 2011-2020 e identificar acciones estratégicas efectivas para la mejora de la calidad del aire en la Ciudad de México (CDMX). El taller también sirvió para hacer un balance del estado del conocimiento sobre la problemática y plantear recomendaciones de política pública que tocaría implementar a la nueva administración gubernamental tanto de la Ciudad de México como la Federal que inician a finales de 2018.

En este informe se presentan los resultados del taller, el cual incluye el diagnóstico de la situación actual de la calidad del aire, los resultados de los hallazgos técnico-científicos más recientes y la evaluación de las acciones actuales, la identificación de las áreas de oportunidad y las barreras de su aplicación en PROAIRE, estrategias adicionales que deben aplicarse, información faltante que debe compilarse para mejorar el diseño del próximo PROAIRE, y recomendaciones para implementar políticas públicas de calidad del aire o reorientar las actuales, con el objetivo de reducir la contaminación del aire. Si bien el análisis se enfocó en acciones de la CDMX, los expertos identificaron acciones que son necesarias para la ZMVM.





2.-RESULTADOS

El taller de dos días incluyó presentaciones sobre el estado actual del sistema de monitoreo de la calidad del aire de la ZMVM; los hallazgos técnico-científicos más recientes sobre emisiones, transporte y transformación de contaminantes, impactos en la salud pública y pronósticos de calidad del aire en la ZMVM; la comprensión actual de las características de emisión para sectores de emisión clave y recomendaciones de políticas públicas para reducir la contaminación del aire en la CDMX y la región circundante, así como la experiencia internacional en el control de la contaminación del aire en otras ciudades grandes. Las siguientes secciones resumen los hallazgos clave del taller. Las recomendaciones se presentan en la Sección 3.

Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire. El Gobierno de la Ciudad de México ha apoyado de manera sostenida un programa de monitoreo de la calidad del aire ambiente desde la década de 1980. Como resultado, el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT) tiene una amplia cobertura geográfica y una buena capacidad de recolección de datos. Sin embargo, en vista de los cambios en las fuentes de emisiones y los contaminantes y la expansión de las áreas urbanas a la periferia, es necesario asignar recursos adecuados para mantener, expandir y mejorar las capacidades de SIMAT como una herramienta eficiente de gestión de la calidad del aire. Los resultados de las auditorías practicadas al SIMAT desde 2003 muestran una mejora importante en la operación de todos los analizadores.

Inventario de Fuentes de Emisiones de Contaminantes. El Gobierno de la Ciudad de México, a través de SEDEMA, es la única entidad que integra y actualiza cada dos años el inventario de emisiones en cumplimiento con las regulaciones mexicanas. El nuevo inventario para el año 2016 incluye las emisiones de 16 delegaciones de la CDMX, 59 municipios del Estado de México y el municipio de Tizayuca, Hidalgo (ver datos siguientes).

Fuentes	Emisiones anuales (toneladas/año)									
	PM10	PM2.5	SO2	CO	NOx	COV	NH3	Carbono negro	Tóxicos	CO2eq
Puntuales	3,0596	2,256	878	9,850	12,603	26,130	126	413	12,882	9,547,220
Área	21,859	7,255	1,216	72,278	12,224	267,996	45,568	391	84,010	18,196,532
Móviles	11,123	5,497	568	646,434	115,275	77,051	2,023	1,897	22,474	34,571,330
Naturales	1,930	425	N/A	N/A	505	44,912	N/A	0.4	4,018	N/A
Total	37,967	15,433	2,662	728,561	140,607	416,089	47,717	2,701	123,384	62,315,082

El inventario incorpora las emisiones de contaminantes criterios, tóxicos, el carbono negro y de gases de efecto invernadero. Además, cuenta con mejoras en cuanto al número y la especificidad de las categorías de emisión reportadas, y el uso del modelo MOVES-México adaptado para el CDMX. Sin embargo, a pesar de estos avances todavía hay brechas de información que generan incertidumbres en el inventario.

Ciencia Atmosférica. Las grandes reducciones de los niveles nocivos de contaminantes del aire desde de la década de 1990 a la fecha en la ZMVM han sido bien documentadas a partir de los datos de monitoreo de la calidad del aire. Las reducciones se produjeron incluso cuando la flota de vehículos y otras fuentes clave se han incrementado. Los datos obtenidos de las campañas de medición de campo MCMA-2003 y MILAGRO-2006 ayudaron a comprender mejor la química atmosférica en la región. Sin embargo, en la última década, hay pocos avances en la reducción de las concentraciones ambientales de ozono y PM finas, lo que sugiere cambios en las emisiones, la meteorología y la química atmosférica en la ZMVM. Una comprensión sólida de los cambios en los procesos que controlan la formación de ozono y PM es vital en el diseño de acciones políticas en el nuevo PROAIRE.

Impactos en la Salud por la Contaminación del Aire. Hay muchas acciones en el PROAIRE; la mayoría de ellas están relacionadas en última instancia con la disminución de los impactos de la calidad del aire en la salud humana. Además, PROAIRE enumera explícitamente 9 estrategias para proteger la salud: actualizar las regulaciones, fortalecer el sistema de alerta temprana, la comunicación de riesgos, actualizar el PCAA, prevenir impactos en el cambio climático y la salud, establecer un sistema para la evaluación de los costos de los impactos en la salud, y rediseñar y actualizar el SIMAT.



La calidad del aire ha mejorado con respecto a 1980, el reciente estudio de colaboración entre SEDEMA y la Escuela de Salud Pública de Harvard estima que se evitaron 22,500 muertes prematuras durante el período de 1990 a 2015 debido a la mejora de la calidad del aire. Sin embargo, varias normas de calidad del aire aún no se cumplen en la ZMVM, de acuerdo a los estudios de la Carga Global de la Enfermedades 2010 y 2013, para la Ciudad de México se estiman alrededor de 2000 muertes prematuras por año se atribuyen a la exposición de PM2.5 y alrededor de 200 por ozono.

Comunicación y Participación de los Grupos de Interés. El éxito y la sostenibilidad de las políticas ambientales dependen en gran medida de un alto nivel de conciencia pública y de la participación activa e informada de los grupos de interés. Si bien el Gobierno de la Ciudad de México ha desarrollado estrategias de educación y divulgación, la comunicación efectiva con el público sigue siendo un desafío.



3.-RECOMENDACIONES

La calidad del aire en la CDMX ha mejorado significativamente. Sin embargo, el crecimiento poblacional, la expansión de la mancha urbana y la elevada motorización de la metrópoli continúan generando emisiones contaminantes, por lo que deben continuar los esfuerzos para implementar acciones y políticas públicas adicionales que permitan continuar mejorando la calidad del aire. Para alcanzar este objetivo, es necesario mejorar la coordinación y colaboración metropolitana y regional en las diferentes tareas relacionadas con la gestión de la calidad del aire, tales como: monitoreo atmosférico, desarrollo del inventario de emisiones, y el desarrollo, implementación y aplicación de medidas de control. Los programas de verificación de vehículos, el “Hoy no Circula” y la inspección y control de industrias y actividades contaminantes deben aplicarse con los mismos estándares y efectividad regionalmente, para eliminar las obvias asimetrías que existen actualmente entre la Ciudad de México y el Estado de México. Se debe fortalecer la colaboración entre los seis estados de Megalópolis y con las autoridades municipales correspondientes.

La ZMVM, que incluye 16 alcaldías de la Ciudad de México, 59 municipios del Estado de México (EDOMEX) y el municipio de Tizayuca en el Estado de Hidalgo, es el dominio geográfico más relevante. La ZMVM es el centro de atención de este documento porque contiene la gran mayoría de las fuentes de emisión que determinarán los patrones espaciales y temporales de contaminación en la cuenca regional y es donde la aplicación de medidas de control y programas debe homogeneizarse.

A continuación se presentan recomendaciones específicas para los diferentes aspectos de la gestión de la calidad del aire mencionados anteriormente. En términos generales, podemos observar que hay dos grandes tipos de recomendaciones. Unas de tipo técnico como la expansión de la red de monitoreo o el reforzamiento de la vigilancia epidemiológica, que resultan fundamentales para ampliar la base de conocimiento y reducir incertidumbres, con lo cual se podrán diseñar e implementar políticas más costo efectivas para reducir la contaminación. El segundo tipo de recomendaciones son acciones y políticas concretas que de implementarse, seguramente contribuirán a una reducción adicional de las emisiones de contaminantes. La Tabla 1 presenta una lista de acciones recomendadas de alta prioridad para implementarse a corto plazo.

3.1. Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire

- Garantizar el presupuesto para la operación, actualización y mantenimiento de la red de monitoreo, incluyendo el Laboratorio de Análisis Ambiental y el Centro de Datos.
- Fortalecer la coordinación entre el gobierno de la CDMX y las entidades que integran la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME) para asegurar control de calidad adecuado de los contaminantes monitoreados. Es necesario también homologar las actividades de mantenimiento y operación de los equipos de monitoreo para garantizar la comparabilidad y confiabilidad de sus mediciones.
- Aumentar la inversión en infraestructura y personal para monitorear contaminantes adicionales como los compuestos orgánicos volátiles (COV) tóxicos y reactivos, la composición de partículas, el amoníaco (NH_3) y medición de parámetros meteorológicos en la vertical.
- Investigar el uso de los monitores ambientales de "bajo costo" que pueden usarse en campañas para evaluar la calidad del aire o la exposición en circunstancias espaciales y temporales particulares.
- Ampliar el monitoreo atmosférico a zonas periféricas de acuerdo al crecimiento de la mancha urbana para asegurar una cobertura adecuada.



3.2. Inventario de fuentes de emisiones de contaminantes

- Actualizar factores de emisión para partículas provenientes de unidades pesadas y COV en productos químicos de uso doméstico y comercial.
- Desarrollar modelos de tráfico y generar insumos más detallados sobre datos de actividad para diferentes días de la semana (así como días festivos); vialidades pavimentadas y no pavimentadas.
- Iniciar el desarrollo de datos de actividad para las fuentes de emisiones diferenciados por los fines de semana y días festivos.



3.2.1. Fuentes Móviles- Sector Transporte

Tecnología de vehículos y combustibles

- Implementar un programa de gran escala de retrofit de filtros de partículas para reducir las emisiones de los vehículos a diésel de pasajeros (autobuses), por su gran impacto en la salud por contribuir de forma significativa a las emisiones de partículas finas, óxidos de nitrógeno y carbono negro.
- Promover vehículos de alta eficiencia energética como los eléctricos, híbridos de bajo cilindraje y subcompactos de alta eficiencia; por ejemplo, por medio de incentivos vinculados con la tenencia, la exención de la verificación, pagos en parquímetros y en zonas donde se lleguen a aplicar cargos por congestiónamiento.
- El Gobierno Federal debe actualizar con urgencia la normatividad federal sobre: niveles permisibles de emisiones contaminantes en vehículos a diésel (introducir vehículos EURO VI o EPA2010); emisiones en vehículos nuevos a gasolina (incluyendo criterios más estrictos de durabilidad); eficiencia de combustible (emisiones de bióxido de carbono por kilómetro) y corregir las deficiencias y ambigüedades de la normatividad referente a los sistemas de diagnóstico a bordo (OBD-II). Es importante considerar que la edad de la flota federal en promedio es de 15 a 18 años, contra 10 años en otros países.
- El Gobierno Federal también debe exigir a PEMEX y a los nuevos comercializadores de combustibles que suministren sólo gasolinas y diésel de ultra-bajo contenido de azufre en todo el país; verificación en planta del cumplimiento de las normas de emisiones en vehículos nuevos y de la incorporación de sistemas de diagnóstico a bordo funcionales y con el número y tipo de sensores adecuados para monitorear el desempeño del vehículo.
- No se deben introducir cambios en la composición del combustible en la CDMX hasta que se hayan realizado estudios adecuados y completos (por ejemplo, etanol). Actualmente el acuerdo publicado para la actualización de la NOM-016 de calidad de los combustibles, propuso el incremento de contenido de etanol al 10% en las gasolinas, excepto en las zonas metropolitanas.
- Plantear un reto a la industria automotriz para fabricar vehículos híbridos y eléctricos a precios más accesibles para el transporte público principalmente, pero también para reemplazar los vehículos convencionales de combustión interna utilizados para la movilidad individual.



Transporte Público

- Ampliar significativamente la cobertura de los sistemas de Metrobús así como concluir con la sustitución de microbuses por autobuses a diésel de alta tecnología. Fiscalizar estrechamente la operación del transporte público concesionado para garantizar que se brinde un adecuado mantenimiento de las unidades reduciendo de esta manera la contaminación y los accidentes.
- Integrar los autobuses urbanos/suburbanos de manera más efectiva con el metro, proporcionando así importantes servicios de alimentación a las estaciones terminales del metro.



Fotografía: <https://www.sm1.cdmx.gob.mx/>

Vehículos Privados y Motocicletas

- Establecer incentivos para la introducción de vehículos de baja emisión, como los automóviles eléctricos e híbridos, así como las motocicletas eléctricas.
- Evaluar la instalación de equipos de control de contaminación en motocicletas que se venden y conducen en la ZMVM, dado el rápido aumento en el número de estos vehículos en circulación. Además, los programas de introducción de motocicletas eléctricas deben ser alentados. Los programas y reglamentos deben centrarse en las motocicletas nuevas.
- Diseñar un programa con medidas para el control de la demanda de los viajes realizados en automóviles privados, el cual debe considerar entre otras acciones como: extender la cobertura de los parquímetros y elevar sus tarifas, y cargos por congestión por acceso a la zona céntrica de la metrópoli (como el esquema aplicado en Londres).

Transporte de Carga

- Controlar las emisiones de carbono negro y otros contaminantes provenientes de los camiones de carga por medio de programas de instalación de trampas de partículas y catalizadores de oxidación.



- Establecer plataformas logísticas en la periferia de la ciudad para cargar y descargar mercancías, evitando la circulación de vehículos pesados en la ciudad.

Programas de Verificación y “Hoy No Circula”

- Reforzar la vigilancia y fiscalización de emisiones vehiculares por medio de campañas permanentes con sensores remotos. Además, analizando las bases de datos generadas con estos sensores se puede identificar a centros de verificación con prácticas de corrupción y también informar a los consumidores sobre las emisiones de los diferentes modelos y marcas de vehículos que se venden en México.
- Proporcionar incentivos para aumentar la tasa de renovación de los camiones, taxis, microbuses y automóviles privados, por ejemplo, aumentar gradualmente la tenencia y el impuesto de propiedad anual para que los vehículos más antiguos paguen cantidades más altas. Los ingresos adicionales se pueden utilizar para subsidiar la rotación de la flota y adaptar vehículos adecuados con dispositivos de control de emisiones.
- Revisar los criterios para la aplicación de los programas Hoy no Circula (HNC) y de Verificación Vehicular Obligatoria (VVO) para no solo incluir las emisiones de contaminantes de las diferentes clases de vehículos, sino también las posibles diferencias en los usos de los diferentes modos de transporte (kilómetros recorridos, distribución temporal de los viajes, etc.). Actualmente la edad promedio de los autos a gasolina en la CDMX es de 6.5 años.
- Evaluar el potencial de modificar la implementación de los programas HNC y VVO para promover el uso de nuevas tecnologías y de vehículos más limpios y

eficientes, como se hizo en su momento con el esquema DOBLE CERO, que permitió acelerar la introducción de normas de emisiones más estrictas para vehículos nuevos.



Movilidad

- Promover y ampliar significativamente la infraestructura para el transporte no motorizado (ciclismo y caminar); mejorar el transporte público en su seguridad, confiabilidad, conectividad y comodidad.

- Desarrollar e implementar un sistema regional integrado de gestión del uso de suelo, el transporte, y la calidad del aire que involucre la cooperación cercana de las autoridades relevantes (medio ambiente, transporte, desarrollo urbano y obras públicas) con la participación pública.

- Realizar estudios de transporte (incluyendo actividad vehicular, flujo, velocidad, etc.) como insumo para los modelos de tráfico y los de calidad del aire, estimación de emisiones, así como actualizar la información sobre tendencias y patrones de movilidad (origen y destino).

- Desarrollar políticas metropolitanas de transporte público que enlacen con rutas suficientes y eficientes a los municipios conurbados con la CDMX.



Vehículos Fuera de Carretera

- Diseñar estrategias de control de emisiones y estándares de emisiones para vehículos fuera de carretera en uso. Actualmente, no hay un padrón de unidades ni legislación disponible sobre niveles de emisiones para estos vehículos en México, y no existen incentivos legales para instalar tecnologías de control de emisiones. Debido a su durabilidad, los vehículos fuera de carretera a menudo se mantienen en servicio durante varias décadas y, por lo tanto, sus emisiones aumentan con el tiempo más rápido en comparación con los vehículos en carretera cuyas emisiones disminuyen con las mejoras tecnológicas.

Otros

- Desarrollar actividades y programas de investigación con participación de la academia y de expertos en áreas como: desarrollo de pruebas de nuevas tecnologías de control de emisiones; técnicas de aprendizaje automático para detectar sitios de elevadas emisiones (hot spots); programas de conducción



inteligente para mejorar la eficiencia y opciones tecnológicas para reducir las emisiones de los vehículos pesados a diésel.

3.2.2. Fuentes Fijas

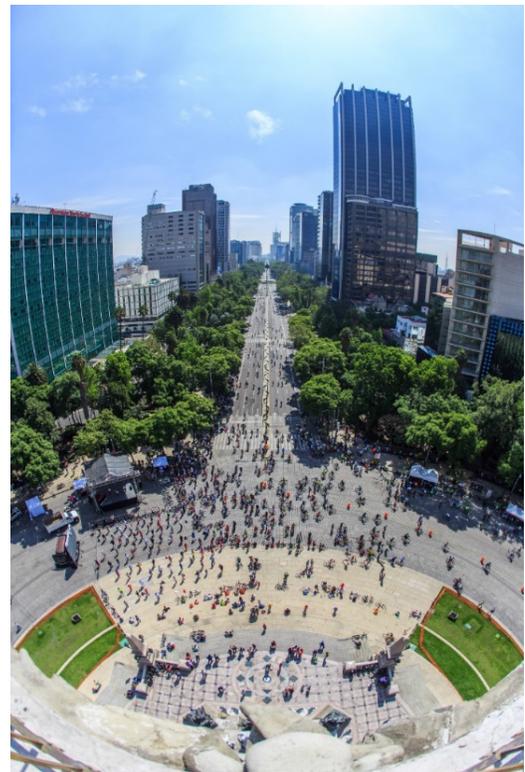
- Revisar y actualizar el marco legal, regulatorio y normativo aplicable a las fuentes fijas, poniendo especial atención a las normas que establecen los límites de emisión de contaminantes para este tipo de fuentes. Dicha revisión debe realizarse con una visión metropolitana.
- Promover estudios sobre la especiación química de las emisiones de COV y PM de fuentes puntuales; ambos son relevantes para la salud humana y los impactos en la calidad del aire. Por ejemplo, la campaña de monitoreo de aerosoles AERAS 2013-2014 realizada por la SEDEMA. En 2017 la SEDEMA adquirió un sistema TAG-GC/MS (Thermal Desorption Aerosol-Gas), equipo con el cual se podrá conocer la composición de algunos compuestos orgánicos primarios y secundarios y determinar la contribución y posibles fuentes contaminantes.
- Regular y fiscalizar adecuadamente el uso de gas LP y gas natural comprimido en vehículos automotores para que cumplan con requerimientos de seguridad y ambientales adecuados, incluyendo el control de las fugas en las estaciones de recarga.
- Reducir las emisiones de COV en las industrias de la CDMX y del EDOMEX. Limitar el consumo de pinturas base solvente; revisar y actualizar las normas para regular el contenido de COV en insumos industriales y domésticos.
- Reforzar de manera importante las áreas de inspección y fiscalización de la PROFEPA y de las procuradurías ambientales de la CDMX y del EDOMEX para garantizar un cumplimiento estricto de las nuevas normas y reglamentos a prueba de corrupción. El refuerzo debe de incluir capacitación al personal y equipamiento de punta incluyendo sensores remotos que permitan medir con precisión y a distancia las emisiones reales de las empresas en cualquier momento del día.
- Mejorar los protocolos de recolección de datos (formato, frecuencia, tipo de datos, etc.) para fuentes federales y locales a través de modificaciones en la Licencia Ambiental Única (en particular, para la CDMX se requiere de la

automatización del trámite), la Cédula de Operación Anual y otra normatividad aplicable. Adicionalmente, mejorar la colaboración y el intercambio de datos de actividad para fuentes puntuales entre el Estado de México y CDMX.



3.2.3. Fuentes de Área y Sector Residencial

- El Gobierno Federal debe implementar y fiscalizar adecuadamente mejores sistemas de control de emisiones en estaciones de servicio (gasolineras) y estudiar la exposición personal de los despachadores de combustible.
- Regular el contenido de COV en productos de cuidado personal, pinturas, solventes y recubrimientos (como se hace por ejemplo en Los Ángeles, EE.UU.) a nivel regional, así como campañas de comunicación para concienciar a la población sobre este tipo de productos. Regular los talleres de imprenta y pintura.
- Evaluar las emisiones de gas licuado de petróleo (GLP) en los hogares, los comercios



y durante la distribución de este energético.

- Promover el uso de paneles solares térmicos para calentar el agua y con ello disminuir de forma significativa el consumo de GLP, así como apoyar programas de detección de fugas y de reparación y sustitución de estufas antiguas para disminuir las fugas y los riesgos por accidentes.

- Promover el uso de tanques estacionarios en vez de cilindros intercambiables y eliminar los calentadores a gas con depósito de agua, para dejar lugar sólo a los calentadores de paso, que tienen mayor eficiencia.



3.2.4. Aguas Residuales

- Revisar los factores de emisión para el metano de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y ajustarlos considerando las condiciones de la ZMVM y las tecnologías utilizadas en cada planta.
- Promover estudios para evaluar las emisiones de ácido sulfhídrico (H_2S), amoníaco (NH_3), óxido nitroso (N_2O) y compuestos orgánicos volátiles (COVs) en las plantas de tratamiento.
- Promover diversas estrategias de control de emisiones de metano (por ejemplo, el uso de sistemas de captura de gas, mejorar las prácticas de mantenimiento y las tecnologías de tratamiento).

3.2.5. Quema de Biomasa

- Desarrollar factores de emisión de partículas $PM_{2.5}$ y compuestos orgánicos (incluyendo su especiación) y recopilar datos de actividad relacionados con la quema de basura, hornos ladrilleros, limpieza agrícola e incendios forestales.
- Implementar un programa de seguimiento de la quema de residuos que incluya la evaluación de los efectos ambientales y de salud pública derivados de la quema a cielo abierto de residuos.

3.3 Ciencia Atmosférica

- Investigar por medio de campañas de mediciones continuas la sensibilidad del ozono al COV y NO_x en la ZMVM y si pudo haber tenido cambios en los últimos años. Una nueva campaña de campo enfocada e intensiva también ayudaría a comprender los cambios en la atmósfera química de la ZMVM y asegurar que los modelos proporcionen información confiable sobre las estrategias de regulación propuestas.
- Mejorar el rendimiento de los sistemas de pronóstico de la calidad del aire utilizando inventarios de emisiones y datos ambientales actualizados.
- Evaluar los posibles impactos negativos o positivos causados por la introducción de gasolina con etanol en las áreas metropolitanas del país, como resultado de las modificaciones a la NOM-016 de la calidad del combustible. Esta evaluación debe incorporar simulaciones de química atmosférica con diferentes escenarios de uso de etanol, pero también debe evaluar los posibles efectos adversos para la salud.



-
- Profundizar el análisis del incremento en la temperatura atmosférica en la calidad del aire en la ZMVM. El impacto de la meteorología en la contaminación del aire se puede incluir en el análisis de los datos de contaminantes para ver si algunas de las tendencias recientes de contaminantes del aire se deben a cambios en la meteorología (temperatura, humedad, velocidad del viento, alturas de mezcla) o si son un resultado de las emisiones cambiantes. También se debe explorar la fuerza variable del efecto de isla de calor urbano.
 - Investigar las variaciones espaciales de $PM_{2.5}$ en la ZMVM a través de mediciones continuas, incluidos los precursores de aerosoles secundarios (COV , SO_2 , NO_x , $HONO$, NH_3 y HNO_3).
 - Monitorear el desempeño de las tecnologías de control de emisiones de NO_x y partículas en vehículos diésel de servicio pesado en condiciones reales de manejo.
 - Desarrollar un programa práctico de observación para documentar los cambios en la exposición debido a cambios importantes en las emisiones para comprender mejor los efectos en la salud de las acciones de gestión de la calidad del aire.
 - Investigar los impactos de la contaminación del aire en la vegetación: 1) evaluación de los efectos de la deposición atmosférica en el suelo y su afectación a la vegetación y la productividad de los cultivos; 2) evaluar las posibles acciones de adaptación a los impactos del cambio climático y a altos niveles de ozono, como por ejemplo: selección de variedades resistentes de cultivos; aplicación de buenas prácticas; desarrollo de agricultura urbana, etc. 3) evaluación de los servicios ambientales que se prestan bajo estrés oxidativo; 4) impactos de la mejora de la calidad del aire en áreas agrícolas.



3.4. Impactos en la Salud por la Contaminación del Aire

- Mejorar la recopilación de datos en el sistema de salud en México, incluyendo una mejor resolución temporal y espacial, diagnósticos y datos históricos de exposición.
- Realizar estudios sobre exposición personal a la contaminación en grupos ocupacionalmente expuestos como los despachadores de combustible en estaciones de servicio, choferes de taxis y de vehículos de transporte público, vendedores ambulantes y policías de crucero, entre otros.
- Realizar estudios epidemiológicos de dosis-respuesta, así como estudios que relacionen los beneficios económicos y en salud asociados con la reducción adicional de emisiones contaminantes a futuro.
- Apoyar el fortalecimiento de los sistemas de alerta y vigilancia epidemiológica, mejorando la captura, estandarización y sistematización de datos en las clínicas y hospitales de la ZMVM.
- Realizar estudios de exposición humana para probar la efectividad de las estrategias de mitigación de emisiones a nivel de calle y dentro de vehículos del sistema de transporte público, comparando los resultados con los de estudios de exposición previos realizados dentro de diferentes tipos de vehículos en la CDMX.
- Realizar estudios sobre la exposición a la contaminación en interiores, incluyendo la evaluación de los impactos del uso de chimeneas de leña y del humo de tabaco.
- Revisión del Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas, para actualización de umbrales e inclusión de un esquema de activación por $PM_{2.5}$. Dar continuidad al índice personal de riesgo, así como ampliar el programa a toda la población.



3.5. Comunicación y Participación de las Partes Interesadas

- Ampliar la divulgación de los datos de calidad del aire a través de las redes sociales para aumentar la conciencia pública. Esto ayudará a aumentar la conciencia pública sobre los impactos de la calidad del aire para promover cambios positivos en la reducción de la exposición y las prácticas de comportamiento (por ejemplo, quema de basura).
- Ampliar la comunicación al público sobre los beneficios ambientales y de salud de los programas HNC y VVO, para que la información no quede limitada a las obligaciones y restricciones con las que deben cumplir los automovilistas.
- Involucrar a las partes interesadas y al público en general en el diseño e implementación de estrategias de reducción de emisiones; esto incluye el desarrollo de campañas de información sobre los beneficios de la reducción de emisiones para la población.
- Involucrar a las comunidades y grupos no gubernamentales en estudios de monitoreo y detección de áreas de alta contaminación por medio del uso de sensores de contaminantes de bajo costo.



4.- CONCLUSIONES

Una revisión de las cuatro décadas de gestión de la calidad del aire en la Ciudad de México nos lleva a las siguientes conclusiones:

- La Ciudad de México ha realizado importantes avances hacia la solución de los problemas de contaminación atmosférica a través de programas integrales de gestión de la calidad del aire basados en consideraciones científicas, técnicas, sociales y políticas.
- La Ciudad de México también ha integrado planes de acción de calidad del aire y cambio climático en el diseño de política ambiental para obtener potenciales beneficios sinérgicos, tales como las normas de control de emisiones para vehículos, renovación del transporte público y promoción del transporte no motorizado, los programas Hoy No Circula y Programa de Verificación Vehicular Obligatorio, programas de eficiencia energética para edificios públicos y privados, mejoras en la recolección y eliminación de residuos sólidos con soluciones más eficientes.
- Las normas de calidad del aire y el programa de contingencias ambientales se han hecho más estrictas, reconociendo la evidencia científica que ha documentado impactos a la salud asociados con concentraciones cada vez más bajas de contaminación.
- Las concentraciones atmosféricas de plomo, dióxido de azufre y monóxido de carbono se han reducido significativamente y están por debajo de los estándares actuales de calidad del aire. Disminuyeron además notablemente las concentraciones de ozono y de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$, pero estos contaminantes todavía se encuentran en niveles que están lejos de cumplir con las normas de calidad del aire respectivas.
- Se deben implementar medidas de control adicionales que requerirán inversiones sustanciales, en particular en el sector del transporte, así como decisiones políticas firmes del Gobierno Federal y las autoridades de los Gobiernos del Estado de México y la Ciudad de México.
- La gestión adecuada de la calidad del aire debe incluir el análisis y la evaluación de los siguientes componentes en la cuenca:
 - inventario detallado de las emisiones de fuentes contaminantes;

- modelación del transporte y dispersión de contaminantes;
 - monitoreo atmosférico de contaminantes, y la determinación de los patrones espaciales y temporales de sus concentraciones;
 - la identificación y evaluación de los impactos en la salud a través de la exposición y estudios epidemiológicos.
- Sobre la base de esta información técnico-científica, deben formularse e implementarse los reglamentos, normas y políticas públicas para la reducción de emisiones contaminantes, que junto con una vigilancia adecuada que garantice su aplicación y cumplimiento adecuados, conducirán a una mejora progresiva de la calidad del aire.
- Mejorar la coordinación y colaboración metropolitana y regional.
- Involucrar a las partes interesadas y al público en general en el diseño e implementación de estrategias de reducción de emisiones; esto incluye el desarrollo de campañas de información sobre los beneficios de la reducción de emisiones para la población. Un resultado exitoso será llegar a estrategias de control integradas que sean implementadas y aceptadas de manera efectiva por el público.



Tabla 1. Lista de acciones recomendadas de alta prioridad para implementarse a corto plazo.

Acciones	
1	Garantizar el presupuesto para la operación, actualización y mantenimiento de la red de monitoreo, incluyendo el Laboratorio de Análisis Ambiental y el Centro de Datos.
2	Fortalecer la coordinación entre el gobierno de la CDMX y las entidades que integran la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME) para asegurar control de calidad adecuado de los contaminantes monitoreados. Es necesario también homologar las actividades de mantenimiento y operación de los equipos de monitoreo para garantizar la comparabilidad y confiabilidad de sus mediciones.
3	Implementar un programa de gran escala de retrofit de filtros de partículas para reducir las emisiones de los vehículos pesados a diésel (pasajeros), por su gran impacto en la salud por contribuir de forma significativa a las emisiones de partículas finas, óxidos de nitrógeno y carbono negro.
4	Promover vehículos de alta eficiencia energética como los eléctricos, híbridos de bajo cilindraje y subcompactos de alta eficiencia; por ejemplo, por medio de incentivos vinculados con la tenencia, la exención de la verificación, pagos en parquímetros y en zonas donde se lleguen a aplicar cargos por congestión.
5	El Gobierno Federal debe actualizar con urgencia la normatividad federal sobre: niveles permisibles de emisiones contaminantes en vehículos a diésel (introducir vehículos EURO VI o EPA2010); emisiones en vehículos nuevos a gasolina (incluyendo criterios más estrictos de durabilidad); eficiencia de combustible (emisiones de bióxido de carbono por kilómetro) y corregir las deficiencias y ambigüedades de la normatividad referente a los sistemas de diagnóstico a bordo (OBD-II).
6	El Gobierno Federal también debe exigir a PEMEX y a los nuevos comercializadores de combustibles que suministren sólo gasolinas y diésel de ultra-bajo contenido de azufre en todo el país; verificación en planta del cumplimiento de las normas de emisiones en vehículos nuevos y de la incorporación de sistemas de diagnóstico a bordo funcionales y con el número y tipo de sensores adecuados para monitorear el desempeño del vehículo.
7	No se deben introducir cambios en la composición del combustible en el CDMX hasta que se hayan realizado estudios adecuados y completos (por ejemplo, etanol).
8	Plantear un reto a la industria automotriz para fabricar vehículos híbridos y eléctricos a precios más accesibles para el transporte público principalmente, pero también para reemplazar los vehículos convencionales de combustión interna utilizados para la movilidad individual.
9	Establecer incentivos para la introducción de vehículos de baja emisión, como los automóviles eléctricos e híbridos, así como las motocicletas eléctricas.
10	Evaluar la instalación de equipos de control de contaminación en motocicletas que se venden y conducen en la ZMVM, dado el rápido aumento en el número de estos vehículos en circulación. Además, los programas de introducción de motocicletas eléctricas deben ser alentados. Los programas y reglamentos deben centrarse en las motocicletas nuevas.
11	Controlar las emisiones de carbono negro y otros contaminantes provenientes de los camiones de carga y los autobuses de pasajeros a diésel por medio de programas de instalación de trampas de partículas y catalizadores de oxidación.
12	Reforzar la vigilancia y fiscalización de emisiones vehiculares por medio de campañas permanentes con sensores remotos. Además, analizando las bases de datos generadas con estos sensores se puede identificar a centros de verificación con prácticas de corrupción y también informar a los consumidores sobre

Acciones	
	las emisiones de los diferentes modelos y marcas de vehículos que se venden en México.
13	Desarrollar políticas metropolitanas de transporte público que enlacen con rutas suficientes y eficientes a los municipios conurbados con la CDMX.
14	Diseñar estrategias de control de emisiones y estándares de emisiones para vehículos fuera de carretera en uso. Actualmente, no hay legislación disponible sobre niveles de emisiones para estos vehículos en México, y no existen incentivos legales para instalar tecnologías de control de emisiones. Debido a su durabilidad, los vehículos fuera de carretera a menudo se mantienen en servicio durante varias décadas y, por lo tanto, sus emisiones aumentan con el tiempo más rápido en comparación con los vehículos en carretera cuyas emisiones disminuyen con las mejoras tecnológicas.
15	Revisar y actualizar el marco legal, regulatorio y normativo aplicable a las fuentes fijas, poniendo especial atención a las normas que establecen los límites de emisión de contaminantes para este tipo de fuentes. Dicha revisión debe realizarse con una visión metropolitana.
16	Promover estudios sobre la especiación química de las emisiones de COV y PM de fuentes puntuales; ambos son relevantes para la salud humana y los impactos en la calidad del aire.
17	Regular y fiscalizar adecuadamente el uso de gas LP y gas natural comprimido en vehículos automotores para que cumplan con requerimientos de seguridad y ambientales adecuados, incluyendo el control de las fugas en las estaciones de recarga.
18	El Gobierno Federal debe implementar y fiscalizar adecuadamente mejores sistemas de control de emisiones en estaciones de servicio (gasolineras) y estudiar la exposición personal de los despachadores de combustible.
19	Investigar por medio de campañas de mediciones continuas la sensibilidad del ozono al COV y NO _x en la ZMVM y si pudo haber tenido cambios en los últimos años. Una nueva campaña de campo enfocada e intensiva también ayudaría a comprender los cambios en la atmósfera química de la ZMVM y asegurar que los modelos proporcionen información confiable sobre las estrategias de regulación propuestas.
20	Mejorar el rendimiento de los sistemas de pronóstico de la calidad del aire utilizando inventarios de emisiones y datos ambientales actualizados.
21	Evaluar los posibles impactos negativos o positivos causados por la introducción de gasolina con etanol en las áreas metropolitanas del país, como resultado de las modificaciones a la NOM-016 de la calidad del combustible. Esta evaluación debe incorporar simulaciones de química atmosférica con diferentes escenarios de uso de etanol, pero también debe evaluar los posibles efectos adversos para la salud.
22	Ampliar la divulgación de los datos de calidad del aire a través de las redes sociales para aumentar la conciencia pública. Esto ayudará a aumentar la conciencia pública sobre los impactos de la calidad del aire para promover cambios positivos en la reducción de la exposición y las prácticas de comportamiento (por ejemplo, quema de basura).
23	Ampliar la comunicación al público sobre los beneficios ambientales y de salud de los programas HNC y VVO, para que la información no quede limitada a las obligaciones y restricciones con las que deben cumplir los automovilistas.



PARTE 1: DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CDMX

1. INTRODUCCIÓN

Las estrategias que la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA) ha definido para mejorar la calidad del aire y proteger la salud de la población y de los ecosistemas, están descritas en el Programa Sectorial Ambiental y de Sustentabilidad 2013-2018, así como en el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2011-2020 (PROAIRE), este último incluye acciones concretas que realizan las dependencias del Gobierno de la Ciudad de México (GCDMX) para el mejoramiento del medio ambiente y la salud humana.

El PROAIRE fue integrado conjuntamente entre el Gobierno Federal y los Gobiernos del Estado de México (GEM) y el GCDMX en colaboración con técnicos e investigadores de diversas instancias del sector social, privado, académico y gubernamental mediante la conformación de diferentes grupos de trabajo. El PROAIRE fue publicado y entregado por la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) a las autoridades de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARAT), la SEDEMA y la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMA), el 15 de diciembre del 2011.

El PROAIRE 2011-2020 consta de 8 estrategias, 81 medidas y 116 acciones, todas ellas encaminadas a la mejora de la calidad del aire de la Ciudad de México y de la región. Desde entonces, la SEDEMA ha aplicado y ha dado seguimiento a las acciones de las dependencias del GCDMX. La Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal (CDHDF) ha recomendado dar seguimiento y evaluar los programas de calidad del aire, con fundamento en el “Derecho a un ambiente sano”, con la finalidad de garantizar que se cubran necesidades fundamentales para una vida digna para todos los ciudadanos, así como coadyuvar a la toma de decisiones y rendición de cuentas [CDHDF, 2016].

El PROAIRE incorpora las políticas, estrategias y acciones para mejorar la calidad del aire de la Ciudad de México y del Estado de México, de manera que en el programa participen de manera conjunta los Gobiernos Federal, de la Ciudad de México y del Estado de México. El PROAIRE contiene 98 acciones que instrumenta particularmente el GCDMX y recibe información del avance a través de enlaces designados por cada dependencia. La Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire (DGGCA) de la Secretaría del Medio Ambiente, es la responsable de dar seguimiento al cumplimiento de las acciones listadas en el PROAIRE.

De acuerdo a un reporte de SEDEMA, el avance general de estas acciones a septiembre del 2018 es del 91 %, [SEDEMA, 2018]. Por otro lado, el 60 % de las acciones listadas en el PROAIRE se encuentran terminadas, 40 % de ellas con un avance mayor al 50 % (ver Figura 1). Dentro del Taller de Evaluación del PROAIRE propuesto se evaluará la importancia relativa de los avances en términos de las reducciones esperadas de las emisiones, como una evaluación complementaria a los avances porcentuales de las diferentes medidas, pues el impacto esperado en la calidad del aire de cada medida es muy diferente.

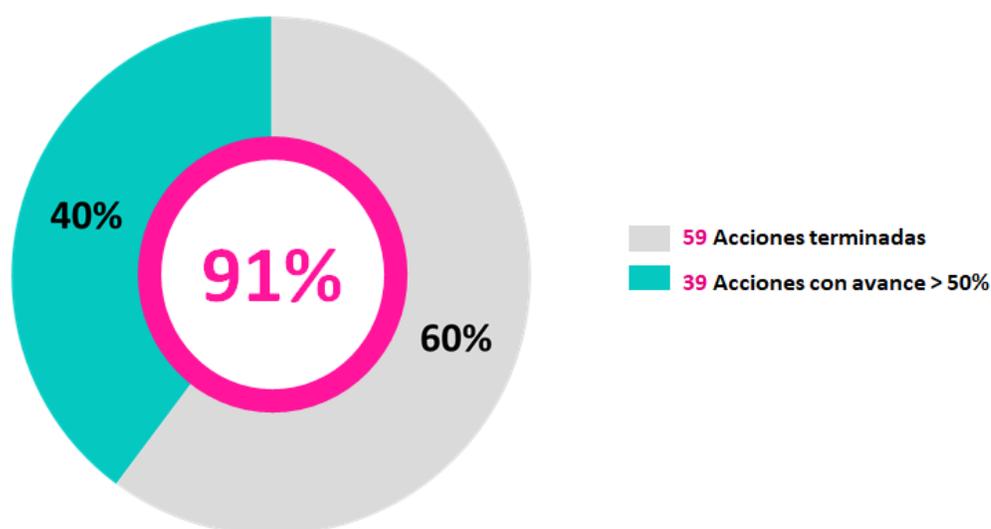


Figura 1. Avance global acumulado de las acciones del PROAIRE a cargo de la Ciudad de México. [Fuente: SEDEMA, 2018].

Un mecanismo de carácter regulatorio que se utiliza cuando se presentan episodios de alta contaminación atmosférica, es el denominado Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA). En el año 2016, el PCAA en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) actualizó y redujo los niveles de activación de las contingencias ambientales, que aunado a las condiciones meteorológicas extremas de ese año, referentes a estabilidad atmosférica y alta radiación solar, ocasionaron que se activaran varias contingencias ambientales por ozono. Derivado de esto, se llevaron a cabo varias revisiones de las estrategias de mitigación de la contaminación existentes y diversas instituciones generaron documentos de posición. Finalmente, como parte de las estrategias federales se elaboró el documento de “Acciones estratégicas para mejorar la calidad del aire de la megalópolis 2017-2030 [INECC, 2017], mismo que fue retomado para presentar el “Programa de gestión Federal para mejorar la calidad del aire en la Megalópolis – PROAIRE de la Megalópolis 2017-2030” [SEMARNAT, 2017].



Si bien la concentración de contaminantes se ha reducido en la atmósfera en la ZMVM, aún se presentan días con mala calidad respecto a ozono, PM10 y PM2.5, por lo que es necesario continuar con la aplicación de políticas y estrategias efectivas para reducir la concentración de estos contaminantes, y en consecuencia mejorar la calidad del aire. Para lograrlo, se requiere como primer paso de una revisión y evaluación de las acciones aplicadas, así como determinar con base en conocimiento científico y técnico las acciones que deben modificarse e implementarse, además se requiere definir líneas estratégicas que pueden ser viables en el corto y mediano plazo, con la finalidad de reducir el riesgo a la salud de la población y daño de los ecosistemas.

Es imprescindible contar con un soporte técnico, asesoría de expertos y evidencias de estudios y proyectos exitosos implementados en diversas ciudades del mundo, que permitan a la SEDEMA orientar y desarrollar formas innovadoras y creativas en la implementación de las acciones actuales para mejorar la calidad del aire, no sólo en la Ciudad de México, y servir de referencia para su aplicación en la Megalópolis.

Para realizar este objetivo, la SEDEMA llevó a cabo un taller con la participación de las autoridades en materia ambiental y calidad del aire, de agencias locales y federales, así como expertos nacionales e internacionales sobre la contaminación atmosférica, con el objetivo de evaluar el PROAIRE 2011-2020 e identificar acciones estratégicas efectivas para la mejora de la calidad del aire en la CDMX.

Los participantes incluyeron miembros del sector académico, agencias gubernamentales, sector privado, y organizaciones no gubernamentales en México con experiencia en las áreas de calidad del aire, cambio climático, educación ambiental, desarrollo urbano y movilidad, salud humana, emisiones, así como en el diseño y aplicación de política pública. Además, varios expertos internacionales fueron invitados para compartir su experiencia sobre acciones exitosas para mejorar la calidad del aire en otras ciudades y regiones.

A través de la elaboración del taller, se analizaron y propusieron recomendaciones para la gestión en materia de calidad del aire, incluyendo nuevas acciones, estrategias y políticas que mejoren la calidad del aire en beneficio de la salud de la población. Se incluyeron nuevas acciones con la incorporación de información técnico-científica reciente, y la revisión de políticas exitosas de mitigación en otras ciudades y regiones para considerar la factibilidad de su implementación en la CDMX.

Se elaboró un documento final de los resultados del taller, el cual contiene: un diagnóstico de calidad del aire de la CDMX, la identificación de las barreras y áreas de oportunidad en la aplicación del PROAIRE, estrategias adicionales que deban ser

aplicadas e información faltante que debe ser compilada para un mejor diseño del siguiente PROAIRE, y recomendaciones de políticas públicas para mejorar la calidad del aire a implementar o para re-orientar las actuales, con la finalidad de reducir la contaminación en la CDMX y su zona metropolitana.

El documento de diagnóstico sirvió como antecedente para el taller y contiene una visión general de la calidad del aire en la CDMX y su área metropolitana, una revisión bibliográfica de información técnico-científica que incluye los hallazgos más recientes sobre las fuentes de emisiones contaminantes en la Ciudad de México y sus alrededores, procesos fotoquímicos e impactos de la contaminación en la salud humana, así como la incorporación de los documentos de posición preparados por diversas instituciones y agencias.



2. ANTECEDENTES: CALIDAD DEL AIRE DE LA CDMX Y SU ZONA METROPOLITANA

2.1. Topografía, Meteorología, y Desarrollo Urbano de la ZMVM

La ZMVM, con más de 21 millones de habitantes [CONAPO, 2018], es una de las ciudades más densamente pobladas de América del Norte y una de las mega ciudades más grandes del mundo. La ZMVM se encuentra en una cuenca a una altitud de 2240 m sobre el nivel medio del mar (msnm), que está rodeada en tres de sus lados por montañas y volcanes, tiene dos aberturas, una al norte, hacia la meseta mexicana, y otra al sureste (ver Figura 2). La topografía y la meteorología del área metropolitana afectan sustancialmente a la calidad del aire. Después de la estación fría y seca de noviembre a febrero, sigue una estación seca y cálida hasta mayo, posteriormente una estación lluviosa de junio a octubre. La ZMVM se encuentra en una cuenca cerrada rodeada de montañas, que junto con su elevación y latitud, inducen factores meteorológicos que caracterizan cada una de las épocas del año que se presentan en esta zona. La época seca-caliente, se distingue por sistemas de alta presión que inducen cielos despejados, viento débil la mayor parte del día, alta radiación solar, lo que promueve procesos fotoquímicos que impulsan la formación de ozono y otros oxidantes así como el aumento en la carga de aerosoles secundarios procedentes de las reacciones químicas, polvo y quema de biomasa, aunado a esto, el patrón predominante de vientos provoca el estancamiento de los contaminantes en la zona sur de la cuenca. Los vientos débiles y fuertes inversiones de temperatura en la noche también conducen a altas concentraciones de contaminantes que persisten en la mañana durante la hora pico, seguidos por un crecimiento muy rápido de la capa límite de 2 a 4 km al inicio de la tarde. En consecuencia, hay relativamente poca recirculación diaria de contaminantes dentro de la cuenca.

La estación seca fría tiene inversiones superficiales más fuertes y, durante la mañana, mayores concentraciones matinales de contaminantes primarios. Durante la temporada de lluvias hay menor material particulado (PM) pero una concentración de ozono relativamente alta por las intensas reacciones fotoquímicas que ocurren antes de las lluvias de la tarde. La contaminación del aire es un problema durante todo el año para los residentes de la ZMVM [Molina et al., 2007; 2009].

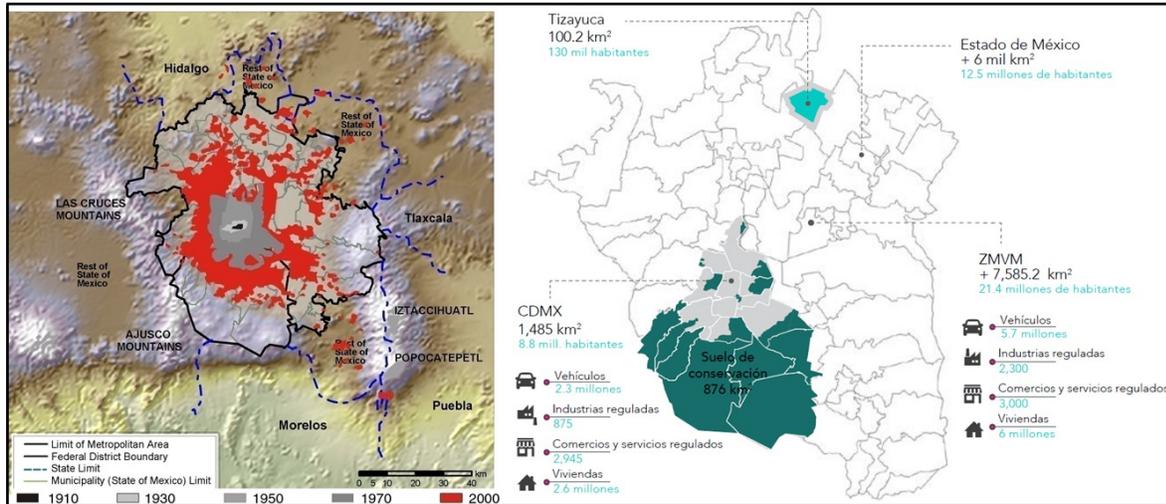


Figura 2. Topografía de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMVM) mostrando la expansión de la zona urbana. Panel izquierdo: 1910-2000 [Molina and Molina, 2002]; Panel derecho: ZMVM en 2016 [SEDEMA, 2018].

Como se muestra en la Figura 2, la Ciudad de México ha experimentado transformaciones masivas en la urbanización y la demografía a lo largo de su historia. La población del Valle de México pasó de menos de 3 millones de habitantes en 1950 a más de 18 millones en el año 2000, cubriendo una extensión de ~1500 km², lo que corresponde a un aumento aproximado de 6 veces en 50 años. La expansión creció más allá de la Ciudad de México y hacia el Estado de México y algunas partes del Estado de Hidalgo. Actualmente, el área metropolitana tiene más de 21 millones de habitantes, de los cuales 8.8 millones viven en la Ciudad de México y 12.5 millones en 59 municipios del Estado de México y el municipio de Tizayuca, Hidalgo. La ZMVM tiene una densidad de población muy alta, así como una alta concentración de actividades industriales y comerciales. Hay 5.3 millones de vehículos, de los cuales el 80% son automóviles privados; el sector del transporte contribuye con el 78.5 % de los NO_x y con el 20 % de los COV como precursores de ozono, y con 83.7 % del carbono negro [SEDEMA, 2016].



La expansión de la ZMVM no es única en la región; las áreas metropolitanas vecinas (Puebla, Tlaxcala, Cuernavaca, Pachuca y Toluca) también han extendido sus territorios. Esta expansión múltiple ha producido un complejo urbano contiguo conocido como la "Megalópolis" de México que incluye la Ciudad de México y cinco Estados (México, Puebla, Tlaxcala, Morelos e Hidalgo) con una población estimada de aproximadamente 31 millones (Figura 3). La Figura 3 también muestra las ubicaciones de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire; a excepción de la ZMVM, hay pocas estaciones de monitoreo en la región circundante.

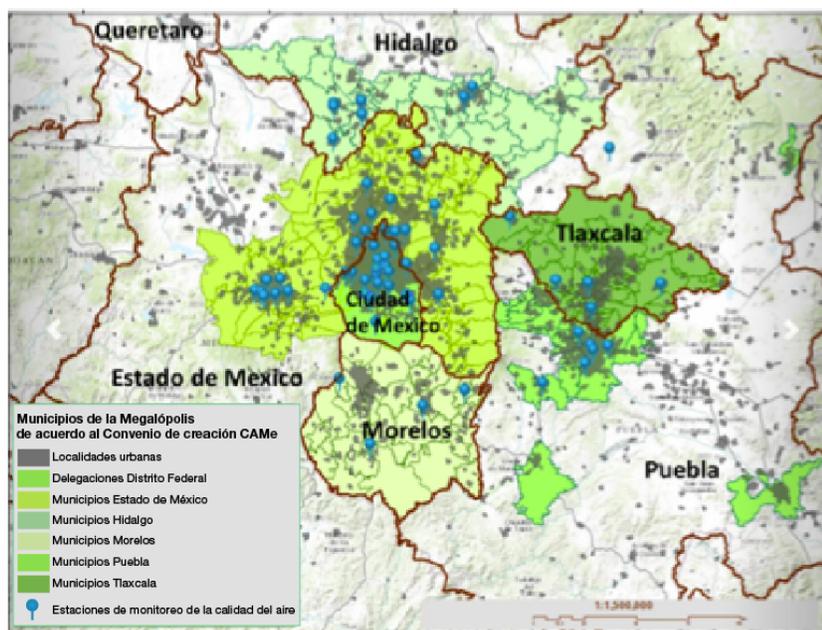


Figura 3. Mapa de la Megalópolis (los círculos azules indican la localización de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire). Fuente: <https://www.gob.mx/comisionambiental/>. Fecha de publicación: 11 de febrero de 2016.

El rápido crecimiento de la población, el desarrollo urbano descontrolado, la alta tasa de motorización, la industrialización y el consumo de combustibles fósiles, una cuenca cerrada rodeada de montañas y una intensa radiación solar se combinaron para causar graves problemas de calidad del aire de contaminantes primarios y secundarios para el área metropolitana. La red de monitoreo automático de la calidad del aire, establecida a fines de la década de 1980, reveló altas concentraciones de todos los contaminantes criterio, como el ozono que alcanzó máximos de 300 ppb durante 40-50 días al año; lo

que en ese tiempo colocó a los problemas de contaminación del aire de la Ciudad de México entre los peores del mundo [Molina y Molina, 2002; 2004].

2.2. Programas de Gestión de la Calidad del Aire

El Gobierno de la Ciudad de México ha avanzado significativamente en mejorar la calidad del aire desarrollando e implementando programas integrales de gestión de la calidad del aire a partir de la década de 1990 combinando acciones regulatorias con cambios tecnológicos y consideraciones científicas, técnicas, sociales y políticas [Molina y Molina, 2002]. Las acciones específicas incluyeron la eliminación de plomo de la gasolina, la implementación de convertidores catalíticos en automóviles, la reducción del contenido de azufre en el combustible diésel, la eliminación de una refinería de petróleo, la sustitución de combustóleo en la industria y plantas de generación eléctrica, refuerzo del programa “Programa de Verificación Vehicular Obligatorio” e implementación del programa Hoy no Circula. En particular, los programas promovidos por la Ciudad de México incluyen:

1. Programa de autorregulación de vehículos a diésel

Es un programa voluntario en el cual se invita a empresas mercantiles o rutas de transporte público a establecer programas de sustitución, mantenimiento preventivo o correctivo e instalación de sistemas de post-tratamiento de gases de escape a sus unidades, con el fin de disminuir sus emisiones contaminantes por debajo de las disminuciones obtenidas por el Programa Hoy No Circula (HNC). Los vehículos inscritos al programa no deben rebasar el límite de opacidad establecido en dicho programa, el cual es un 60% menor al establecido en la NOM-167-SEMARNAT-2017. El nivel de opacidad debe ser menor al 1.0 m⁻¹. El beneficio de este programa consiste en exentar a los vehículos inscritos en el mismo del programa HNC inclusive en caso de ser declarada contingencia ambiental y haya un doble HNC.

Las empresas autorreguladas se comprometen a presentar semestralmente reportes de opacidad de cada una de las unidades dadas de alta en el programa. Dichos reportes deben ser realizados por laboratorios especializados en emisiones contaminantes provenientes de fuentes móviles. Los reportes deben ser acompañados por los certificados de calibración de los equipos de medición utilizados para las pruebas realizadas. Otro aspecto fundamental del programa consiste en promover, con las empresas y rutas pertenecientes al mismo, la implementación de sistemas de control de emisiones contaminantes y esquemas de renovación de parque vehicular con tecnologías de alta eficiencia de control de



emisiones como EURO VI y EPA 2010. Para el año 2018 el programa se reestructuró de manera que se favoreciera la reducción de emisiones de partículas PM2.5 a través de la utilización de la mejor tecnología disponible para control de emisiones y de la instalación de filtros de partículas. Las emisiones de las empresas con convenio pueden reducir del 2 % al 70 % dependiendo del contaminante, adicionales al Programa HNC.

2. Programa de verificación vehicular obligatorio (PVVO)

El programa consiste en realizar pruebas de emisiones contaminantes a los vehículos matriculados en la CDMX, o foráneos que quieran realizarlo de manera voluntaria, con una periodicidad semestral, con el objetivo de evaluar el desempeño ambiental de la flota que circula en la Ciudad. El programa fomenta el mantenimiento preventivo y correctivo de las unidades, debido a que los usuarios procuran que sus vehículos mantengan límites de emisión por debajo de los establecidos en el Programa para poder pasar la prueba de verificación vehicular. Durante el primer semestre de 2018, se realizó una actualización al programa, incluyéndose de forma aleatoria (solo en las líneas que cuentan con los equipos), la revisión físico-mecánica de los vehículos y la medición del número de partículas emitido por los mismos. Conjuntamente, se publicó el 29 de junio de 2018 en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México, el “Manual para la Operación y Funcionamiento de los Equipos, Instrumentos, Instalaciones y Demás Elementos Necesarios para la Adecuada Operación y Funcionamiento de los Equipos y Sistemas de Verificación Vehicular”.



El nuevo Programa de Verificación Vehicular inició su operación a partir de Julio de 2018, con éste, los nuevos Centros de Verificación Vehicular cuentan con dinamómetros con motor para calibración dinámica, nueva configuración y equipo para la medición de emisiones contaminantes y partículas ultrafinas, y equipo para realizar pruebas físico-mecánicas, cambios que responden a las recomendaciones del Foro Internacional de Transporte de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), el Centro Mario Molina y del Comité Científico Asesor de la CAME.

3. Programa Hoy No Circula (HNC)

Establece las medidas de circulación que deben seguir los automóviles en la CDMX, con la finalidad de prevenir, minimizar y controlar la emisión de los contaminantes que provienen de los vehículos. Se limita la circulación de los vehículos cada día conforme al último número de la matrícula y el Tipo de Holograma que hayan obtenido en la Verificación Vehicular. El 19 de junio de 2014 se publicó en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el “Decreto por el que se expide el Programa Hoy No Circula en el Distrito Federal”.

4. Programa de integral de reducción de emisiones contaminantes (PIREC)

El programa está desarrollado para contribuir a la reducción de emisiones contaminantes en la atmósfera generados por vehículos automotores que circulan en la Ciudad de México. Este programa fomenta la sustitución del convertidor catalítico en aquellos vehículos automotores año modelo 1991 y posteriores, cuyo convertidor catalítico original haya perdido eficiencia en la conversión de los gases del escape.

5. Programa de transporte escolar (PROTE)

El programa promueve el uso del transporte escolar u otras modalidades de transporte con la finalidad de reducir el uso de autos particulares, contribuyendo a reducir las emisiones contaminantes y el congestionamiento vial en las zonas escolares. El programa incluye modalidades de transporte alternativas al vehículo particular, como el medio de transporte mediante el cual los alumnos arriban a la escuela, tales como:

- Autobús escolar
- Auto compartido



-
- Bicicleta
 - Caminata
 - Transporte público

6. Programa de combustibles alternos

El objetivo de este programa es revisar el cumplimiento de los lineamientos técnicos y administrativos para registrar y controlar los vehículos convertidos al uso de Gas Licuado de Petróleo (GLP) y/o Gas Natural Comprimido (GNC), a fin de que estos obtengan un holograma distintivo que les permita acceder al holograma tipo cero de verificación vehicular.

7. Programa para contingencias ambientales atmosféricas (PCAA)

El programa establece un conjunto de medidas que se aplican cuando se presenta un episodio de contaminación severa por ozono o partículas menores a 10 micrómetros (PM10), que ponga en riesgo la salud de la población en general y principalmente la de los grupos sensibles. El programa ha sido actualizado en varias ocasiones, con la finalidad de obtener los mejores beneficios para la población. El programa funciona actualmente de la siguiente manera:

- Se aplica el Pronóstico de Calidad del Aire para la activación del programa, que se activa cuando se prevé que al día siguiente se alcanzarán valores superiores a 150 puntos para el contaminante ozono.
- Cuando se emite el pronóstico se dan recomendaciones de protección a la salud.
- La activación de contingencia por ozono ocurre cuando se superan los límites establecidos en el Programa en una o más estaciones del Sistema de Monitoreo.
- Dependiendo del contaminante por el cual se activa el programa se establecen diversas acciones para la población en general, y los sectores transporte, industrias, comercios y servicios, con la finalidad de disminuir la generación de emisiones de partículas o precursores de ozono (COV y NOx). Las acciones para la población en general se traducen en reducción de emisiones de COV por fuentes de área.

Como resultado de estas medidas de reducción de emisiones, las concentraciones de contaminantes criterio han ido disminuyendo en la última década, esto se demuestra claramente en la Figura 4, que muestra el porcentaje de la diferencia del promedio

anual con respecto al promedio anual de 1990 para cada uno de los principales contaminantes del aire en la ZMVM. En términos del cumplimiento de las normas federales de calidad del aire para la protección de la salud pública, los niveles de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono continúan por debajo del límite permitido establecido por las normas oficiales actuales, mientras que las concentraciones de ozono, PM10 y PM2.5 continúan excediendo significativamente los estándares respectivos [SEDEMA, 2017]. Las Figuras 5-8 muestran las series de tiempo de la concentración mensual promedio de ozono y PM.

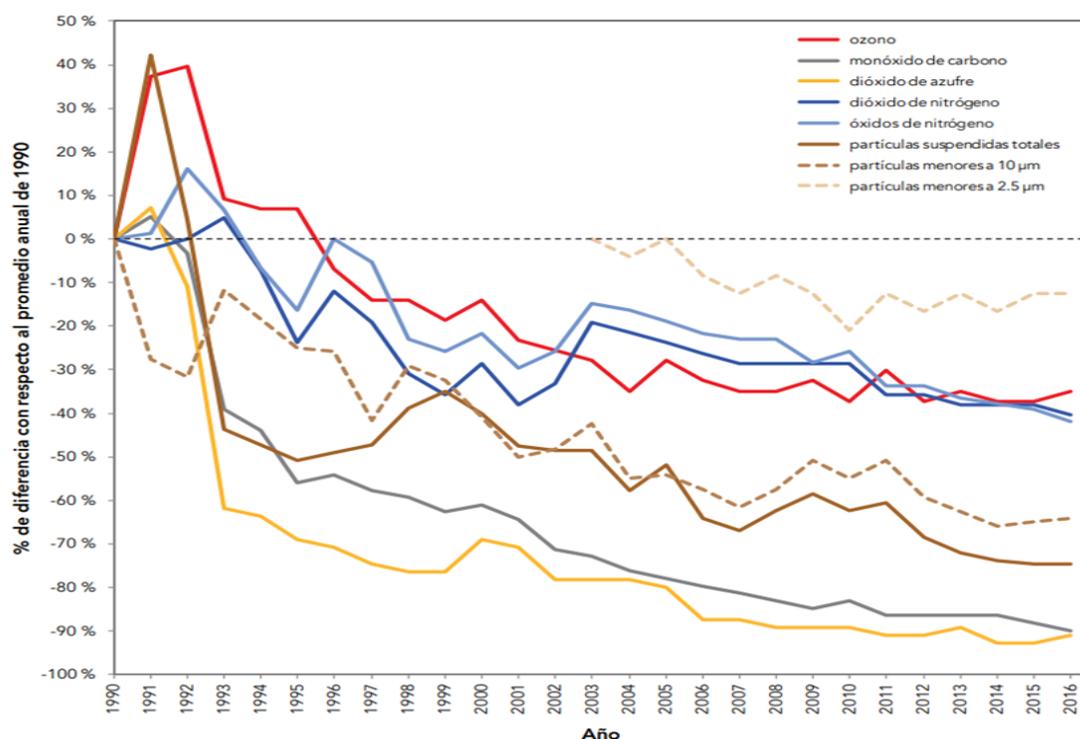


Figura 4: Porcentaje de diferencia del promedio anual con respecto al promedio anual del año 1990 para cada uno de los principales contaminantes del aire. En el caso de PM_{2.5} se utiliza como referencia el promedio anual de 2004. Para los últimos años se excluyeron las estaciones que se integraron entre 2015 y 2016 [SEDEMA, 2017].

Las mayores concentraciones de ozono durante 2016 ocurrieron entre la segunda quincena de febrero y la primera quincena de junio. Los valores de ozono superaron una concentración de 154 ppb (que equivalen a 150 puntos en el índice de calidad del aire). Adicionalmente, durante todo el año se registraron concentraciones mayores a la norma (que es de 95 ppb promedio de una hora), la cual fue rebasada un total de 856 horas distribuidas en 212 días.



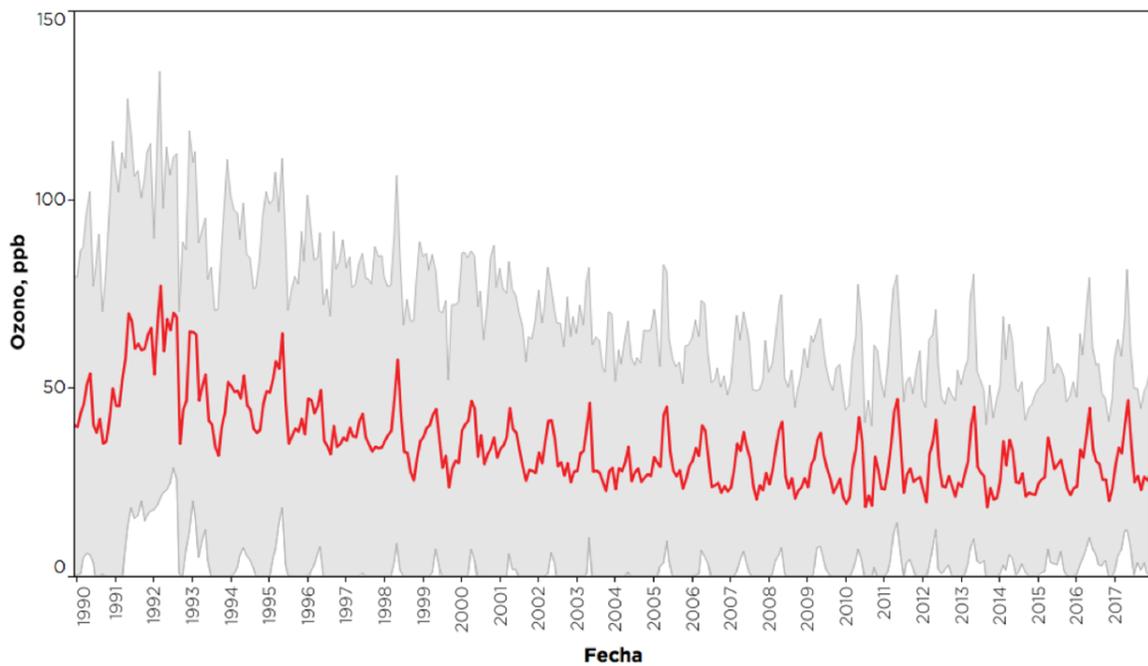


Figura 5. Serie de tiempo de la concentración promedio mensual de ozono en el periodo de enero de 1990 a diciembre de 2017. La línea de color rojo corresponde al promedio mensual, la región marcada en color gris indica la desviación estándar [SEDEMA, 2018].

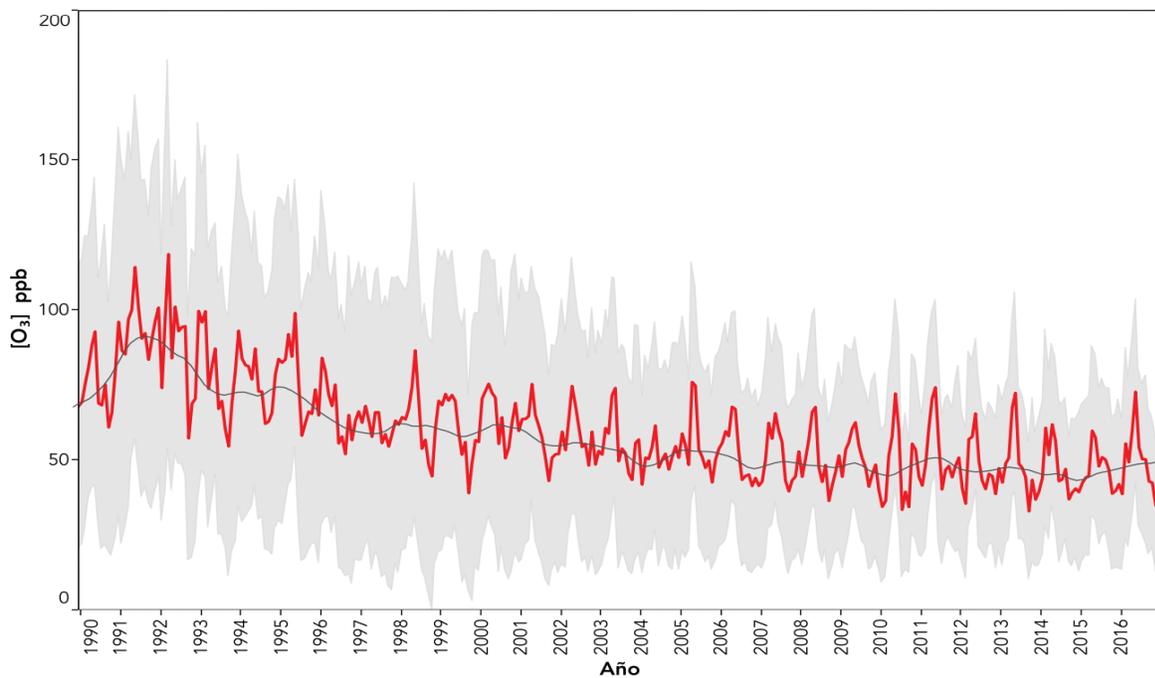


Figura 6. Serie de tiempo de las concentraciones máximas de ozono para el periodo de enero de 1990 a diciembre de 2016. La línea de color rojo corresponde al promedio mensual de los máximos, la región marcada en color gris indica la desviación estándar [SEDEMA, 2017].

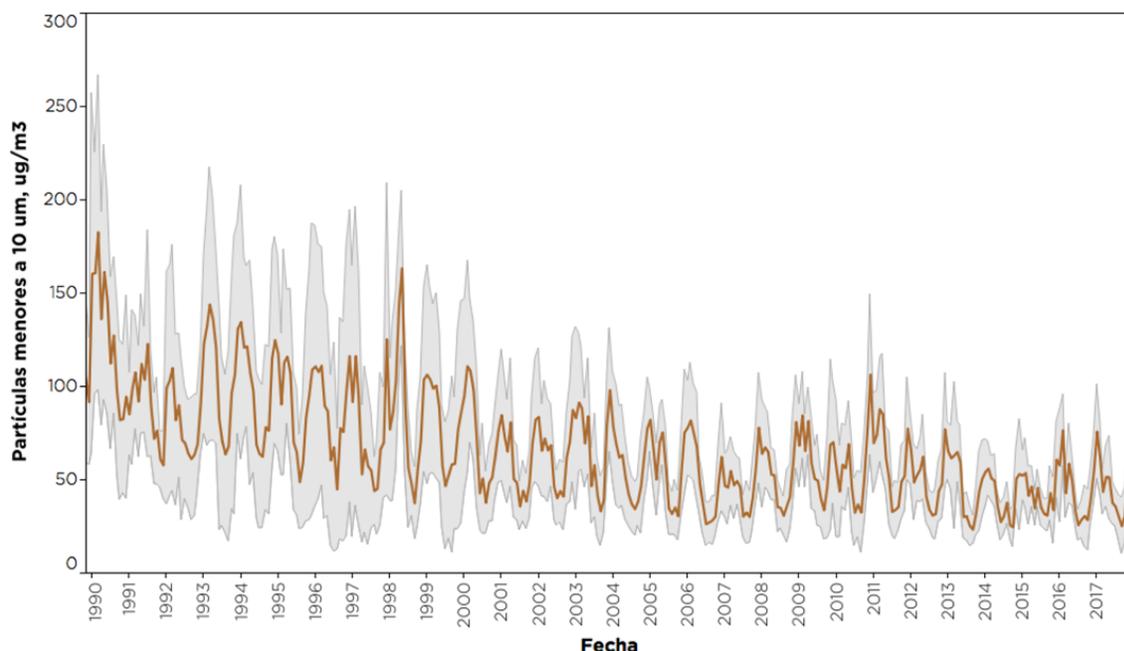


Figura 7. Serie de tiempo de la concentración promedio mensual de PM_{10} para el periodo de enero de 1990 a diciembre de 2017. La línea de color café corresponde al promedio mensual, la región marcada en color gris indica la desviación estándar [Fuente: Reporte Anual de la Calidad del Aire de la CDMX, SEDEMA, 2018].

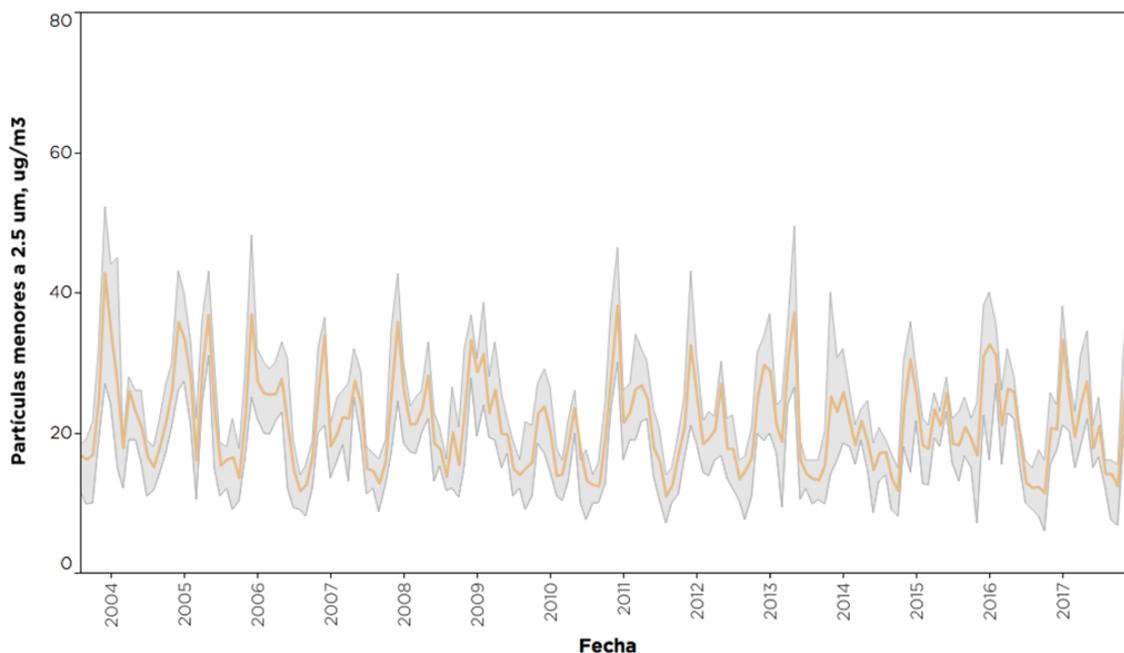


Figura 8. Serie de tiempo de la concentración promedio mensual de $PM_{2.5}$ para el periodo de agosto de 2004 a diciembre de 2017. La línea de color café corresponde al promedio mensual, la región marcada en color gris indica la desviación estándar [Fuente: Reporte Anual de la Calidad del Aire de la CDMX, SEDEMA, 2018]

Mayo fue el mes que registró el mayor número de días con concentraciones de ozono por encima del límite establecido por la norma. Sin embargo, el mes de marzo registró



un menor número de días por encima de lo establecido en la norma, a pesar de que en ese mes se activó la Fase I del Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA), lo cual fue ocasionado por una corriente de chorro que originó días con bajas concentraciones de contaminantes casi por una semana. Durante 2016 el PCAA se activó en 14 ocasiones, 4 por Pre-contingencia y 10 de ellas en Fase I por altos niveles de ozono. Durante ese año, la temporada de ozono fue inusual debido a que influyeron para esto el fenómeno del Niño, la presencia de una corriente de chorro subtropical y la ocurrencia de episodios extremos de estabilidad atmosférica. Para mayor referencia ver el documento: “Informe de Calidad del Aire 2016” (disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/informe-2016-calidad-del-aire-en-la-ciudad-de-mexico/mobile/index.html#p=6>).

La Figura 9 muestra las concentraciones diarias máximas de ozono entre 1990 y 2016; la figura también presenta los cambios históricos en el valor designado para la activación de la Fase 1 de contingencia entre 1990 y 2016, lo cual se ha realizado en colaboración con el Gobierno Federal y el Estado de México. Un sistema de pronóstico de la calidad del aire ha estado en vigor desde 2017 para alertar al público sobre un evento de alta contaminación con 24 horas de anticipación.

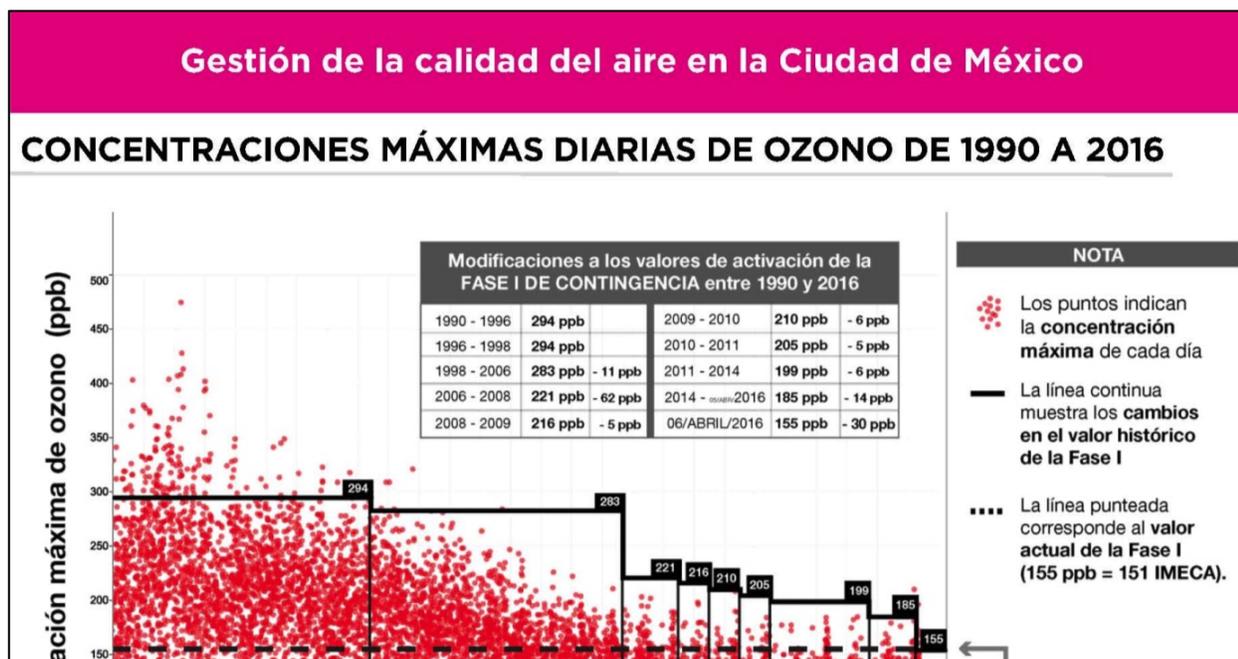


Figura 9. Concentraciones máximas de ozono entre 1990 y 2016 (Crédito: SEDEMA, 2016).

El Gobierno de la Ciudad de México continúa desarrollando e implementando nuevas políticas para mejorar la calidad del aire de la región. La ciudad tiene una amplia capacidad de recopilación de datos; actualmente la red de monitoreo de la Ciudad de México es una de las más avanzadas en América Latina y es auditada periódicamente por los organismos de certificación de los EE. UU. Junto con esta amplia capacidad de monitoreo de la calidad del aire, el inventario de emisiones de la Ciudad de México también está muy bien desarrollado. De las más de 500 ciudades que reportan sus emisiones en la plataforma internacional CDP (antes Carbon Disclosure Project), la CDMX fue la primera ciudad en cumplir con su inventario de emisiones en formato GPC (Global Protocol for Community Scale) con el nivel más alto BASIC+ en el año 2015. Algunas de las medidas importantes de gestión de la calidad del aire se centran en el sector del transporte, la fuente más importante de contaminantes emitidos a la atmósfera de la ZMVM, como se muestra en el inventario de emisiones (ver Tabla 1) [SEDEMA, 2018].

Tabla 1. Inventario de Emisiones de la ZMVM para el 2016 [SEDEMA, 2018].

Entidad	Fuentes	Emisiones anuales (toneladas/año)							
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	NH ₃
Ciudad de México	Puntuales	890	661	93	904	2,197	13,770	13,288	17
	Área	3,775	1,518	628	37,306	6,171	139,796	113,668	13,935
	Móviles	5,642	2,864	282	242,826	52,437	31,165	28,269	944
	Naturales	438	99	N/A	N/A	101	8,734	8,734	N/A
	Total	10,745	5,142	1,003	281,036	60,907	193,465	163,959	14,896
59 municipios del Estado de México	Puntuales	2,115	1,557	576	8,754	9,700	13,810	12,712	103
	Área	17,558	5,424	577	30,826	5,784	391,962	151,690	31,216
	Móviles	5,298	2,514	281	388,397	60,740	49,784	46,979	1,066
	Naturales	1,486	324	N/A	N/A	401	36,001	36,001	N/A
	Total	26,457	9,819	1,435	427,977	76,625	491,557	247,382	32,386
Tizayuca, Hidalgo	Puntuales	50	37	209	192	706	140	130	6
	Área	527	313	11	4,146	269	4,206	2,638	417
	Móviles	183	120	5	15,211	2,098	1,903	1,803	13
	Naturales	6	1	N/A	N/A	3	176	176	N/A
	Total	766	471	224	19,549	3,075	6,426	4,748	435
Zona Metropolitana del Valle de México	Puntuales	3,055	2,256	878	9,850	12,603	27,720	26,130	126
	Área	21,859	7,255	1,216	72,278	12,224	535,964	267,996	45,568
	Móviles	11,123	5,497	568	646,434	115,275	82,852	77,051	2,023
	Naturales	1,930	425	N/A	N/A	505	44,912	44,912	N/A
	Total	37,967	15,433	2,662	728,561	140,607	691,448	416,089	47,717



La Figura 10 muestra las contribuciones de las diferentes fuentes emisoras de PM10, PM2.5, NOx y COV en el inventario de emisiones de la ZMVM del 2016. Las fuentes móviles contribuyen en gran medida a las emisiones de NOx, COV, PM, BC, CO y CO2 en la ZMVM. El Gobierno de la Ciudad de México ha seguido fortaleciendo el control de las emisiones vehiculares con tecnologías avanzadas y programas de vigilancia, incluidas las patrullas ecológicas y los sensores remotos para identificar los vehículos de alta emisión y los que están fuera de norma; monitorear la calidad del combustible tanto para vehículos a diésel como para vehículos a gasolina; mejorar el transporte público (Metrobús); equipar autobuses con nuevas tecnologías diésel; introducir taxis híbridos y eléctricos; mejorar la movilidad a través del programa de bicicletas compartidas (Ecobici) y mejorar las áreas peatonales.

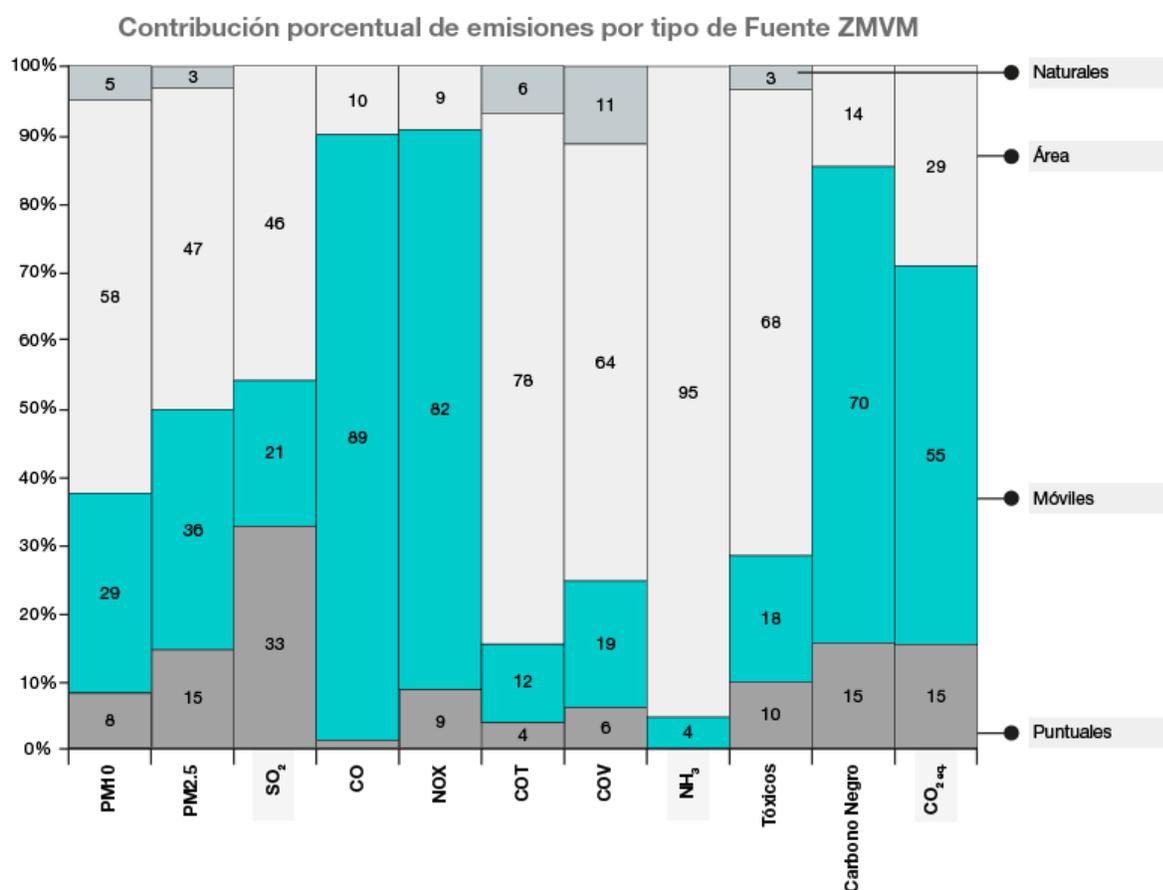


Figura 10. Inventario de emisiones por contaminantes para la ZMVM para el año 2016 [Fuente: SEDEMA, 2018].

La Ciudad de México también persigue otras iniciativas clave en su programa de calidad del aire además del PVVO y HNC, los cuales son los programas de transporte que evitan una gran cantidad de emisiones al aire. Estos incluyen la recolección y eliminación de residuos sólidos y la recuperación de gases para suministrar energía limpia, regular la quema de desechos agrícolas y programas de eficiencia energética para edificios públicos.

La Ciudad de México ha mantenido y fortalecido su asociación con la comunidad científica nacional e internacional a lo largo del tiempo. La información obtenida de campañas recientes de medición de campo ha proporcionado información exhaustiva sobre las emisiones y el transporte de contaminantes, y ha contribuido al diseño del programa actual de gestión de la calidad del aire.



3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LA INFORMACIÓN TÉCNICO-CIENTÍFICA

3.1. Fuentes de Emisión de Contaminantes y su Transporte y Transformación en la Atmósfera de la CDMX

La Zona Metropolitana del Valle de México es el laboratorio idóneo para investigar el impacto de la urbanización en la calidad del aire en regiones (sub)tropicales. Su topografía, meteorología y combinación de fuentes de contaminantes atmosféricos han hecho que la comunidad científica internacional ponga su mirada frecuentemente en ella. La alta reactividad fotoquímica de su atmósfera la hace propicia para experimentar problemas severos de contaminantes secundarios, tales como ozono y una fracción importante de los aerosoles. Los estudios que en el pasado se han realizado en ella han permitido obtener diagnósticos completos de los procesos físicos y químicos que controlan la contaminación del aire en las megaciudades.

El primer estudio internacional en México, Mexico City Air Quality Research Initiative (MARI), comprendió una serie de mediciones meteorológicas y de contaminantes entre 1990 y 1994, tanto en superficie como en el perfil vertical [LANL y IMP, 1994; Streit y Guzmán, 1996]. Estas mediciones ayudaron a sustentar los primeros ejercicios de modelación numérica sobre el transporte y transformación de contaminantes en la Ciudad de México. En 1997 se llevó a cabo el estudio Material Particulado y Deterioro Atmosférico - Aerosol and Visibility Evaluation Research (IMADA-AVER), y se logró recabar mayor información sobre la meteorología del Valle de México y la composición química de las partículas [IMP, 1998; Doran et al., 1998; Edgerton et al., 1999].

En 1999 el Programa Integral sobre Contaminación del Aire Urbana, Regional y Global del Massachusetts Institute of Technology (MIT) asistió a la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) en la preparación del Programa Estratégico de Gestión Integral de la Calidad del Aire en el Valle de México para el período 2001-2010. Los investigadores de esta iniciativa revisaron el conocimiento científico de la contaminación atmosférica en la ZMVM y evaluaron las lecciones aprendidas sobre el manejo de la calidad del aire hasta aquel momento. Se conjuntó una serie de recomendaciones en cuanto a las necesidades de investigación científica y cambios institucionales para facilitar el desarrollo e implementación de medidas de control eficaces [MIT IPURGAP, 2000]. Este trabajo sentó las bases para que las autoridades mexicanas elaboraran el Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire de la ZMVM, PROAIRE 2002-2010 [CAM, 2002]. Ochenta y nueve medidas de control y mitigación se propusieron en este programa a partir de los resultados y recomendaciones esbozadas por el grupo del

MIT. Adicionalmente se publicó un libro sobre el manejo integral de la calidad del aire para la megaciudad de México [Molina y Molina, 2002].

Las mediciones y esfuerzos de modelación hasta ese entonces resultaron ser insuficientes para entender los episodios de contaminación fotoquímica. Los modelos numéricos no lograban reproducir las observaciones reportadas en los estudios previos, por lo que era necesario expandir las mediciones de las diferentes variables involucradas en la dispersión y transformación de los contaminantes, y así contar con información para poder ajustar los modelos disponibles [Molina et al., 2002]. En febrero de 2002 se realizó una campaña inicial de monitoreo intensivo para responder a esta necesidad con apoyo de la CAM. Esta campaña permitió evaluar la posibilidad de emplear instrumentos de vanguardia tanto en plataformas móviles como en sitios fijos para generar la información científica necesaria. A partir de la experiencia adquirida en esta campaña, en la primavera del siguiente año se llevó a cabo la campaña intensiva de mediciones atmosféricas MCMA-2003.

La campaña MCMA-2003 tuvo lugar en abril de 2003 durante de la temporada seca-caliente en el Valle de México cuando la actividad fotoquímica es más intensa y las contingencias ambientales causadas por altos niveles de ozono son más frecuentes. Este estudio contó con la participación de diversas instituciones nacionales e internacionales, quienes instrumentaron un super-sitio de monitoreo atmosférico con equipo del estado-del-arte en las instalaciones del Centro Nacional de Capacitación Ambiental (CENICA) del entonces Instituto Nacional de Ecología (INE). Para varios instrumentos de alta resolución temporal, este estudio representó su primera prueba fuera del laboratorio. Se empleó el laboratorio móvil de Aerodyne Research Inc. para medir emisiones vehiculares en condiciones reales de manejo en las calles de la Ciudad de México y extender las mediciones a otros sitios de la ZMVM. Se logró así una caracterización completa de las especies químicas contaminantes, incluyendo especies precursoras, intermedias y resultantes de los procesos fotoquímicos. Se conjuntó información sobre radicales, la especiación de los compuestos orgánicos volátiles (COV) y la composición química de las partículas. Asimismo, se realizaron una serie de mediciones meteorológicas innovadoras y se implementó por vez primera una torre de flujos para medir directamente la emisión de contaminantes [Molina et al., 2007]. Los resultados de estas dos campañas fueron la plataforma para la planeación de la campaña Megacity Initiative: Local and Global Research Observations (MILAGRO) en marzo de 2006. MILAGRO ha sido hasta la fecha el estudio más importante sobre contaminación del aire en México.

MILAGRO fue un proyecto internacional que congregó a más de 400 investigadores en la Ciudad de México para estudiar el impacto de la urbanización en la calidad del aire y



el clima a escala regional y global [Molina et al., 2010; Singh et al., 2009]. Los objetivos específicos de este estudio fueron: i) cuantificar la extensión espacial y temporal de la pluma de contaminantes de la ZMVM, ii) analizar las transformaciones físicas y químicas de los contaminantes dentro de la pluma; iii) cuantificar el impacto regional de la pluma; y iv) investigar la interacción de esta pluma con la contaminación existente en los alrededores de la ZMVM.

Para esta campaña se instrumentaron tres super-sitios de monitoreo atmosférico y siete aviones. Se contó además con observaciones satelitales. Se volvieron a emplear laboratorios móviles. Uno de estos laboratorios se instrumentó con un sistema LIDAR. Se colocaron en sitios fronteras las unidades móviles de monitoreo de la calidad del aire de las agencias ambientales locales. Se contó también con el apoyo de la red de monitoreo atmosférico Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) de la SEDEMA y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Varias de las actividades de esta campaña se planearon en base de los pronósticos resultantes de modelos meteorológicos y de producción fotoquímica de contaminantes.

Las más de 200 publicaciones científicas resultantes de las campañas MCMA-2003 y MILAGRO (ver <http://www.mce2.org>) han contribuido significativamente a mejorar el conocimiento de los procesos meteorológicos y fotoquímicos que controlan la formación, transporte y transformación de ozono, partículas secundarias y muchos otros contaminantes en la ZMVM. Es posible afirmar que las mediciones y experimentos que se llevaron a cabo en ambas campañas representaron un parteaguas en el estudio de la contaminación del aire.

A continuación, se exponen brevemente los hallazgos más relevantes de los estudios mencionados. Se inicia con las observaciones meteorológicas, y continua con los hallazgos sobre el origen de los contaminantes, especiación de COV, procesos fotoquímicos, y caracterización de las partículas y su impacto en la radiación solar. Se describe al final las características de la pluma de contaminantes que sale de la ZMVM. La mayoría del material que se expone aquí proviene de los estudios MCMA-2003 y MILAGRO. Los trabajos que formaron parte de estas dos campañas son debidamente referenciados en las publicaciones que resumen ambas campañas [Molina et al., 2007; 2010]. Los resultados de estudios previos y posteriores se citan apropiadamente aquí. Cabe señalar que el Molina Center for Energy and the Environment (MCE2) compiló recientemente los resultados de los estudios más relevantes sobre la contaminación del aire en la ZMVM y región circundante para el proyecto Estudios de Calidad del Aire y su Impacto en el Centro de México (ECAIM) [INECC, 2015].

Meteorología

La meteorología es un componente fundamental para entender la contaminación del aire. Por ende, todo estudio sobre contaminación del aire necesita investigar la dinámica meteorológica a escala local y regional. Entre los esfuerzos iniciales por entender la climatología y meteorología de la ZMVM destacan los trabajos sobre el efecto de la isla de calor urbano (UHI, por sus siglas en inglés) e impactos de la urbanización en la precipitación y radiación solar de Jauregui et al. [1996; 1997; 1999]. Se debe explorar la fuerza variable de la isla de calor urbano. Cui y de Foy, [2012] encontraron que el UHI es más fuerte durante la noche y casi cero durante el día. Mediante estudios basados en simulaciones numéricas se investigó posteriormente la influencia de la ciudad en la circulación y patrones de viento [Jazcilevich et al., 2000, 2003; Whiteman et al., 2000]. El estudio IMADA-AVER prestó especial atención a los efectos de convergencia atmosférica [Fast and Zhong, 1998] y en el canal formado por la abertura entre las montañas del sureste del valle [Doran and Zhong, 2000]. García-Franco investigó recientemente la climatología de la altura de capa de mezcla sobre la Ciudad de México empleando perfiles de dispersión de aerosoles medidos con un ceilómetro.

La campaña MCMA-2003 profundizó el estudio de la circulación y patrones de vientos, y convergencia atmosférica en la cuenca del Valle de México. Los patrones de viento se clasificaron en función de las características asociadas con tres grupos principales de episodios de contaminación por ozono: O3-Norte, O3-Sur y Frente Frío. Las mediciones meteorológicas más completas hasta la fecha en la ZMVM corresponden a aquellas realizadas durante la campaña MILAGRO. La circulación atmosférica se analizó detalladamente en función de los episodios de contaminación y se comparó con los patrones climatológicos de la cuenca.

A través de las mediciones en campo y ejercicios de modelación se sabe ahora que el transporte de contaminantes fuera de la cuenca es relativamente rápido y que los remanentes de contaminación de un día a otro son un factor menor en la fotoquímica dentro de la ZMVM. Las condiciones meteorológicas a escala sinóptica y la circulación del viento dentro de la capa límite observadas durante estos estudios resultaron ser consistentes con el conocimiento previo de la ZMVM. Las mediciones meteorológicas, de aerosoles y gases traza en superficie y en aviones, mostraron que la pluma de contaminantes de la Ciudad de México viajó predominantemente hacia el noreste, aunque durante algunos días circulaciones en escala regional transportaron contaminantes hacia los valles y cuencas de los alrededores. Las mediciones con sistemas LIDAR mostraron que los procesos de mezclado en la parte central de México son complejos y resultan en la formación de múltiples capas de aerosoles. Se encontró que dentro de la ciudad el flujo de calor que secuestran las construcciones y demás



elementos urbanos representa 50-60% de la radiación solar que alcanza la superficie, lo cual es de relevancia en la formación de turbulencia y evolución de la capa de mezclado. El balance energético durante la noche junto con las corrientes de aire que salen del valle influye sustancialmente en el transporte y acumulación de contaminantes que pueden conducir a niveles de contaminación severos el día siguiente.

Emisiones de gases contaminantes y partículas

La identificación de áreas de oportunidad y la evaluación de la precisión de los inventarios de emisiones a la atmósfera han sido objetivos principales en la mayoría de las campañas de medición sobre la calidad del aire en la ZMVM. En las campañas citadas aquí se probaron diversas metodologías con el fin de reducir la incertidumbre asociada con la estimación de emisiones de contaminantes atmosféricos. Las campañas MCMA-2003 y MILAGRO emplearon métodos bottom-up y top-down para evaluar la precisión de los inventarios y definir prioridades que contribuyeran a mejorar sus estimaciones basadas en factores de emisión e información diversa sobre las actividades antropogénicas. Estudios recientes han reportado que las emisiones de diversas fuentes han disminuido, pero no así las emisiones vehiculares de olefinas [Jaimes-Palomera et al., 2016], las cuales junto con las emisiones de NOx también provenientes del tráfico vehicular, siguen teniendo un rol muy importante en la actividad fotoquímica de la atmósfera de la Ciudad de México [Guevara et al., 2017; Velasco y Retama, 2017]. Además, la contaminación por partículas primarias, carbono negro, hidrocarburos policíclicos aromáticos y una amplia de compuestos altamente tóxicos tales como formaldehído, acetaldehído, benceno, tolueno y xilenos está relacionada en gran medida con las emisiones vehiculares.

Las campañas del 2003 y 2006 incluyeron mediciones directas e indirectas de las emisiones en la ciudad que contribuyeron a evaluar la precisión del inventario de emisiones oficial empleado en aquel entonces por los modelos numéricos de calidad del aire. Se evaluaron en condiciones reales de manejo los factores de emisión de las fuentes móviles mediante experimentos en los que se seguían vehículos representativos de la flota vehicular con el laboratorio móvil antes mencionado. Estas mediciones encontraron divergencias importantes con las emisiones reportadas en el inventario del 2004. Las emisiones de CO y NO resultaron estar ligeramente sobrestimadas en el inventario, contrario a las emisiones de COV, que de acuerdo a las mediciones podrían estar subestimadas por un factor entre 1.4 y 1.9. La mayor diferencia consistió en las emisiones de partículas, las cuales al parecer estaban severamente subestimadas en el inventario.

En la campaña MCMA-2003 se instaló por vez primera una torre de flujos para medir directamente emisiones de CO₂ y COV en una ciudad. Esta torre demostró la viabilidad de la técnica de covarianza turbulenta para evaluar la precisión de las emisiones reportadas por el inventario para un distrito en particular de la ciudad. Durante MILAGRO se instrumentó una segunda torre y se amplió el número de especies contaminantes, incluyendo también flujos de aerosoles. Las mediciones de flujos en ambas campañas mostraron que las emisiones del inventario de ese entonces de CO₂, olefinas, y varios compuestos aromáticos y oxigenados provenientes principalmente de fuentes de combustión eran esencialmente correctas, contrario a las emisiones de especies de origen evaporativo, tales como tolueno y xilenos, que resultaron estar sobreestimadas. Se montó una técnica similar en un avión para medir flujos sobre toda la ciudad. Estas mediciones encontraron que las emisiones de tolueno y benceno en el sector industrial de la ciudad estaban subestimadas en el inventario. Una observación importante de estos estudios fue que las emisiones provenientes de comercios informales y puestos de comida en la calle podrían ser relevantes y necesitaban ser contabilizados por los subsecuentes inventarios de emisiones.

En un estudio posterior, empleando también una torre de flujos se encontró que las emisiones de CO₂ reportadas por el inventario de 2010 para un distrito residencial de la ciudad (Colonia Escandón) estaban sobrestimadas por un factor de 2.8 como consecuencia de una sobrestimación en el volumen del tráfico vehicular [Velasco et al., 2014]. Este resultado señaló la necesidad de contar con conteos vehiculares actualizados para obtener estimaciones correctas en el inventario.

Compuestos orgánicos volátiles

La diversidad de instrumentos y plataformas de medición que se utilizaron en las campañas MCMA-2003 y MILAGRO permitieron dilucidar la compleja mezcla de COV en la atmósfera de la ZMVM. Se recabó información suficiente para identificar sus principales fuentes emisoras, determinar la distribución espacial y temporal de sus concentraciones ambiente, y evaluar la reactividad de los diferentes COV con el radical hidroxilo (OH) de gran importancia en la formación de ozono y aerosoles orgánicos. Las primeras mediciones de glioxal en la atmósfera de la Ciudad de México se realizaron durante la campaña MCMA-2003. Un hallazgo relevante fue la contribución tan importante de las fuentes de emisión en las concentraciones de formaldehído. El uso de gas licuado (GLP) demostró que seguía siendo una fuente principal de parafinas de bajo peso molecular. Mientras que la evaporación de combustibles y emisiones industriales mostraron ser fuentes importantes de compuestos aromáticos y metanol. El formaldehído (HCHO) y acetaldehído resultaron ser las dos especies con mayor reactividad atmosférica con el radical OH. Entre los contaminantes dentro de la pluma



que exporta la ciudad, los aldehídos fueron los compuestos más reactivos, los cuales son producto de la oxidación de COV y emisiones primarias. A pesar de su importancia, estos compuestos no se miden rutinariamente.

Después de MILAGRO no se ha vuelto a realizar una especiación tan completa de COV en la ZMVM. Sin embargo, las mediciones de hidrocarburos no-metano que el SIMAT comenzó en 2012 han permitido evaluar los cambios en la presencia de varias especies representativas desde entonces. La campaña de ese año mostró que las concentraciones ambientales de parafinas ligeras y compuestos aromáticos habían disminuido, contrario a las concentraciones de olefinas relacionadas con emisiones provenientes del tráfico vehicular. Fue interesante observar por vez primera la influencia de la vegetación en las concentraciones de isopreno dentro de la ciudad [Jaimes-Palomera et al., 2016]. Otro estudio midió 64 COV, incluidos tóxicos, en 2011-2012 e informó que la mayoría de los COV provienen de emisiones vehiculares y fuentes industriales relacionadas con solventes [Garzón et al., 2015].

Fotoquímica urbana y regional

Las mediciones de los radicales OH e hidroperoxil (HO₂) durante la campaña MCMA-2003 permitieron evaluar el potencial de las emisiones de las diferentes especies de contaminantes orgánicos para formar ozono y otros contaminantes secundarios. Se encontró que los modelos químicos subestimaban significativamente las concentraciones de estos dos radicales en la mañana cuando los niveles de NO_x son altos, como consecuencia posible de que una fuente de éstos no hubiera sido considerada aún en ambientes altamente contaminados. Para el resto del día, se encontró que tanto la fotólisis del ácido nitroso (HONO) y HCHO como la ozonólisis de parafinas son fuentes importantes de radicales en la ZMVM, mientras que la fotólisis de ozono tiene una contribución menor en la producción total de radicales. Se encontró también que las tasas de producción instantánea neta de ozono a partir del radical HO₂ y de todos los mecanismos que lo producen estaban entre las más altas jamás observadas en cualquier otro sitio.

Tanto las mediciones en campo como los ejercicios de modelación numérica han permitido entender mejor la formación de ozono y su respuesta a los cambios en las emisiones de COV y NO_x. Los resultados indican que la producción de ozono dentro de la Ciudad de México responde a los cambios en las emisiones de COV más que a los cambios en las emisiones de NO_x, es decir que la ciudad se encuentra bajo un régimen de COV. En las áreas rurales y montañosas circundantes a la ciudad sucede lo contrario, la formación de ozono tiende a responder más a los cambios en las emisiones de NO_x, aunque bajo ciertas condiciones meteorológicas pueden caer bajo

un régimen de COV. De esta manera, la reducción de COV dentro de la ciudad sería claramente benéfica, mientras que la reducción de NOx podría reducir la formación de contaminantes oxidantes a escala regional.

A escala regional, el transporte de nitrógeno reactivo desde la Ciudad de México ocurre principalmente a través de la formación de PANs. Éstos pueden descomponerse térmicamente y contribuir a la formación regional de ozono mediante la regeneración de NOx. Las emisiones provenientes de la quema de biomasa tienen un rol relevante en la química regional. Más de la mitad de los aerosoles orgánicos y un tercio de las concentraciones regionales de nitrógeno reactivo, benceno y monóxido de carbono provienen de incendios forestales o quema de residuos agrícolas.

Durante febrero y marzo de 2011, García-Yee et al. [2018] investigaron la ventilación del Valle de México, encontrando que las parcelas de aire provenientes de la ciudad durante condiciones sinópticas de alta presión transportaban masas de aire fotoquímicamente activas, particularmente durante la mañana, de manera que la calidad del aire en el canal formado entre las montañas al sureste del valle en Tenango del Aire excedía el límite de ozono establecido por las normas mexicanas de protección a la salud. Bajo sistemas de bajo presión, cuando los vientos del sur predominan en dicho canal, los límites de ozono no fueron excedidos. Este estudio identificó el origen de las parcelas de aire y evaluó su sensibilidad para formar ozono.

Material particulado

Hoy en día se cuenta con un conocimiento más preciso sobre la composición química, tamaño, y distribución espacial y temporal, tanto de las partículas de origen primario como secundario en la atmósfera de la ZMVM, así como también de sus transformaciones físicas y químicas, y propiedades radiativas. Las concentraciones de las partículas menores a 10 y 2.5 μm (PM10 y PM2.5, respectivamente) en la ciudad son aproximadamente el doble que en las áreas rurales circundantes. El material mineral y los iones inorgánicos de origen secundario contribuyen cada uno ~25% a la masa total de PM2.5 en áreas urbanas, mientras que el resto está formado en gran medida por aerosoles carbonáceos. El origen de estos últimos recae en emisiones vehiculares en la forma de carbono negro, quema de biomasa y procesos químicos que subsecuentemente dan lugar a aerosoles orgánicos secundarios (SOA, por sus siglas en inglés). La quema de biomasa tiene un impacto mucho mayor a nivel regional que en la Ciudad de México, siendo más pronunciado durante la primavera cuando la región central de México es más sensible a incendios forestales. Los incendios y quemas agrícolas pueden aumentar hasta 23% el contenido de carbono orgánico soluble en PM2.5 [Tzompa et al., 2016] en la cuenca del Valle de México. Estas observaciones



han sido confirmadas por las mediciones de carbono elemental que el SIMAT inició en 2016. Se ha encontrado de manera consistente una contribución de carbono elemental del 12% en la masa total de PM_{2.5} dentro de la ciudad [SEDEMA, 2018]. De acuerdo con Tzompa et al. [2016], las concentraciones más altas de carbono elemental se observan sistemáticamente durante la temporada seca y cálida.

Las campañas MCMA-2003 y MILAGRO mostraron que la producción de SOA aumenta rápidamente durante las horas con radiación solar, de manera mucho más intensa de lo que pueden explicar los modelos atmosféricos actuales y experimentos en cámaras fotoquímicas considerando los gases precursores medidos en la ZMVM. El potencial de los precursores semivolátiles primarios e intermedios para formar SOA podría explicar esta divergencia entre observaciones y predicciones. Sin embargo, no se cuenta con datos de campo suficientes para validar esta hipótesis. Los próximos estudios sobre aerosoles deberán ayudar a explicar los niveles de SOA que se observan en la Ciudad de México. Asimismo, se requiere cuantificar las fuentes de carbono en los aerosoles orgánicos, particularmente durante periodos no impactados por quema de biomasa. La formación de nuevas partículas en la ZMVM es muy intensa. Estas partículas por su tamaño, composición química y estructura pueden tener un impacto importante en la formación de núcleos de condensación en nubes. Durante la campaña MILAGRO se encontró que, asumiendo una mezcla interna completa después de unas pocas horas de envejecimiento, contrario a la escala temporal utilizada en los modelos globales actuales, puede predecirse la formación de estos núcleos.

A partir de los resultados de MILAGRO, el gobierno de la Ciudad de México a través del SIMAT ha llevado a cabo desde el 2013 una serie de campañas para evaluar la composición química de las partículas con el fin de elucidar su origen y poder aportar así información para la implementación de nuevas medidas de control. La primera campaña se realizó en el Laboratorio de Análisis Ambiental de la SEDEMA durante el periodo de noviembre de 2013 a abril de 2014. Este estudio aportó los primeros datos sobre los cambios en la composición química de las partículas de tamaño menor a 1 μm (PM₁) asociados con los cambios estacionales en el clima de la ciudad [Guerrero et al., 2017]. Las partículas resultaron ser predominantemente ácidas durante noviembre y diciembre, contrario a los otros meses, que fueron menos fríos y húmedos. El bajo pH observado en los aerosoles durante estos dos meses, además de responder a las condiciones climatológicas típicas del invierno en la ZMVM, responde también a las plumas frecuentemente ricas en azufre provenientes del complejo industrial de Tula localizado al noroeste de la ciudad. Este hallazgo es consistente con las concentraciones de amonio (NH₃) en fase gaseosa relativamente bajas reportadas por Cady-Pereira et al., [2017] durante el mismo periodo a partir de observaciones satelitales; sin embargo, se requieren estudios lo suficientemente largos que permitan

evaluar la variabilidad estacional en la química de los aerosoles de la ZMVM. La misma campaña del SIMAT incluyó la medición de iones inorgánicos solubles y carbono negro equivalente, los cuales contribuyeron en promedio 33% y 8% a la masa total de PM_{2.5}, respectivamente [SEDEMA, 2018]. Con excepción de una mayor concentración de sulfatos, nitratos y amonio, la magnitud y distribución diurna de estos compuestos en las partículas fue similar al reportado en las campañas del 2003 y 2006.

En otro estudio realizado en el sur de la Ciudad de México de enero a marzo de 2015, la concentración de PM₁ resultó ser inferior a la observada previamente en el norte de la ciudad. Se observaron aerosoles más envejecidos con una fracción mayor de sulfatos y aerosoles semi volátiles y de baja volatilidad, de manera consistente con la ubicación de sus fuentes de emisión y sus precursores dentro de la ciudad, así como con los patrones de circulación del viento [Salcedo et al., 2018]. Los resultados de estas dos últimas campañas sugieren que la formación de aerosoles secundarios (orgánicos e inorgánicos) varía espacialmente en la ciudad.

Propiedades radiativas de los aerosoles

Los resultados de las mediciones a nivel de piso y en aeronaves durante la campaña MILAGRO confirmaron que la pluma de contaminantes de la ZMVM constituye una fuente significativa de aerosoles primarios y aerosoles secundarios a escala regional. Se encontró que el carbono negro y SOA contribuyeron a los niveles de albedo de dispersión único (SSA, por sus siglas en inglés) observados tanto en la ZMVM y viento abajo, pero en una magnitud inferior a la reportada para otras regiones (e.g., Este de los Estados Unidos). Los aerosoles provenientes de la quema de biomasa, junto con los SOA y demás componentes carbonáceos en las partículas incrementan significativamente la absorción de radiación ultravioleta y visible. Tanto en el sitio de monitoreo dentro de la ciudad (T0), como en el sitio a las afueras de la ciudad (T1) durante MILAGRO, se reportaron valores de SSA en el rango 0.7-0.8, con algunos valores matutinos aun inferiores. Esto es consistente con una presencia importante de aerosoles con capacidad alta de absorber radiaciones provenientes de la quema de combustibles fósiles y de biomasa. Los aerosoles orgánicos envejecidos y oxidados provenientes originalmente de la quema de biomasa y resultantes de la formación de aerosoles secundarios representan una fuente adicional de absorción de radiación, particularmente en la banda de 300-400 nm. Recientemente, Paredes-Miranda et al. [2013] comparó las variaciones diarias de los coeficientes de dispersión y absorción radiativa relacionados con el carbono negro en cinco ciudades, con el hallazgo de que la Ciudad de México presentaba los valores más altos.



Retama et al. [2015] analizaron los datos de carbono negro equivalente de un año (de marzo de 2013 a marzo de 2014) recolectados en el laboratorio de SEDEMA, el cual no está demasiado lejos del sitio T0 durante MILAGRO, y encontraron una fuerte variación estacional. Las concentraciones observadas no difirieron sustancialmente de las campañas de campo anteriores, lo que sugiere que no hubo cambios importantes en las emisiones de carbono negro.

Tanto las observaciones con los diferentes sistemas LIDAR, como con los espectrómetros de masa de aerosoles mostraron que existe un transporte significativo de partículas, principalmente en la capa inferior de la atmósfera, pudiendo ascender éstas a la tropósfera libre durante eventos particulares de ventilación. Las mediciones de radiación y propiedades de los aerosoles han ayudado a mejorar las observaciones de aerosoles desde satélites. La reflectividad de la superficie urbana de la ZMVM es en general superior a la reflectividad usada en los algoritmos para estimar la profundidad óptica de los aerosoles (AOD, por sus siglas en inglés).

3.2. Impactos del Complejo Industrial de Tula en la Calidad del Aire de la ZMVM

Los análisis de los datos obtenidos durante las campañas MCMA-2003 y MILAGRO/MCMA-2006 han mostrado que las emisiones industriales en la región de Tula pueden llegar a impactar los niveles de calidad del aire de la ZMVM. En particular, los impactos pueden ser significativos en parte porque los flujos de emisión de algunas de las fuentes emisoras más importantes de la región pueden llegar a ser mucho más altas que las fuentes dentro de la ZMVM. Sin embargo, la cuantificación precisa de la magnitud y de la extensión espacial de los impactos dependen fuertemente de los patrones de transporte y condiciones meteorológicas (e. g. los campos de viento y su interacción con la topografía, deposición húmeda, mezclado vertical, etc.) antes, durante y después de la ocurrencia de los eventos de emisión.

En un estudio de los impactos de las emisiones de SO₂ de la región de Tula en la calidad del aire de la ZMVM (“Estudio sobre los impactos de las emisiones de SO₂ provenientes de la Región de Tula en la calidad del Aire de la ZMVM”) preparado por el MCE2 y sus colaboradores, las mediciones de SO₂ en superficie y los datos meteorológicos obtenidos durante MILAGRO en Marzo 2006 y una campaña en Octubre-Diciembre 2008 realizada por el IMP, junto con las mediciones de largo plazo obtenidos por la RAMA y las observaciones satelitales, fueron evaluadas para identificar las fuentes de las plumas de SO₂ observadas en la ZMVM y su transporte. Simulaciones numéricas y análisis estadísticos fueron utilizados para estimar la magnitud y las características de los impactos de las emisiones de SO₂ del complejo

industrial de Tula y del volcán Popocatepetl en la calidad del aire de la ZMVM. Ambos procedimientos, la modelación y los análisis estadísticos, son complementarios y permiten estudiar los impactos tanto en forma episódica como en largo plazo.

Hallazgos importantes

- 1) Los flujos de las emisiones de SO₂, CO y de NO_x provenientes de fuentes industriales importantes en la región de Tula han sido estimados por varios grupos. En general los resultados concuerdan en la magnitud de los flujos de emisión estimados entre los varios métodos utilizados. Sin embargo, parte de las diferencias encontradas en los resultados reportados pueden explicarse con: 1) las incertidumbres asociadas con las técnicas de estimación utilizadas, y 2) la variabilidad de corto plazo intrínseca de los procesos de producción en las fuentes industriales de emisión. Además, es importante mencionar que los flujos de emisión durante la noche no han sido estimados por dichos estudios. Todo esto sugiere que hay que tomar con cautela la extrapolación de los flujos estimados para la evaluación de inventarios de emisiones de base anual.
- 2) Aunque existen evidencias de variabilidad de largo plazo que sugieren que las emisiones de SO₂ de la zona industrial de Tula han decrecido paulatinamente en los últimos años, en la región de Tula existen fuentes industriales importantes que pueden potencialmente contribuir a deteriorar la calidad del aire regionalmente. Por ello, es imperativo mantener un programa constante de mediciones de contaminantes clave en la región.
- 3) Las simulaciones que incluyeron tanto las emisiones de Tula y las del volcán Popocatepetl durante la campaña MILAGRO mostraron que los impactos en los niveles en superficie de SO₂ en la ZMVM están fuertemente ligados a los patrones de vientos predominantes. En ese sentido, la habilidad para cuantificar con precisión los impactos en sitios receptores dentro de la ciudad depende en gran medida en la capacidad de los modelos meteorológicos para simular adecuadamente las características de dispersión y de transporte de contaminantes dentro de la cuenca. En general se encontró que durante los periodos de simulación alrededor de la mitad de los impactos en las concentraciones de SO₂ en la ZMVM se debieron a las emisiones originadas en el complejo de Tula y menos del 10% proveniente del volcán, con el balance remanente debido a las fuentes locales.
- 4) Los resultados de modelación de los datos de superficie sugieren que Tula fue una fuente más significativa de impactos de SO₂ en la ZMVM que el volcán Popocatepetl durante los periodos de simulación seleccionados. Los modelos



muestran que en algunos casos donde la pluma del volcán se transportó encima de la cuenca en el modelo, la estratificación vertical previno impactos en la superficie. En general, el modelo mostró un acuerdo suficiente con los datos para ser capaz de apoyar las conclusiones presentadas. Sin embargo, se presentaron casos con deficiencias importantes en el modelo que estuvieron relacionadas con la resolución vertical del modelo WRF. Es preciso continuar trabajando para mejorar aún más la precisión de las simulaciones meteorológicas dentro de la cuenca de la ZMVM. Aunque la ZMVM cuenta con inventarios de emisiones detallados, es necesario impulsar estudios enfocados a mejorar la representación espacial de las emisiones locales en los modelos de calidad del aire.

- 5) Los resultados de la aplicación de los tres métodos independientes estadísticos sugieren que el impacto de las emisiones regionales de SO₂ en la Ciudad de México en el largo plazo, se aproxima al 18 % en cuanto al número de eventos de concentraciones extremas de SO₂ con respecto al número total de observaciones. Esto es, del número total de observaciones horarias de SO₂, alrededor del 18% de ellas pueden ser consideradas en el largo plazo como de eventos de concentraciones extremas originadas por fuentes regionales. Sin embargo, el análisis de los impactos de los eventos extremos identificados sugiere que estos contribuyen alrededor del 60%, en el largo plazo de las concentraciones totales de SO₂ en la Ciudad de México.
- 6) Tanto las simulaciones numéricas como los análisis estadísticos aplicados a las bases de datos de emisión del volcán Popocatepetl sugieren que la contribución de largo plazo de las emisiones volcánicas de SO₂ a los impactos en la ZMVM es pequeña, aunque tal vez sean un poco más significativos en el sureste de la ciudad. Este resultado no excluye que dada las condiciones apropiadas de transporte sea posible una influencia muy grande sobre la ciudad en el corto plazo para un evento de emisión volcánico determinado. También, esto sugiere fuertemente que los impactos a largo plazo del volcán tienen un alcance espacial mucho mayor que a una escala local (~60 a 100 km), lo cual subraya su importancia como materia de estudio para entender los efectos de cambio climático regional y global.

3.3. Implicaciones de Política Pública para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la ZMVM utilizando Resultados Clave de las Campañas MCMA-2003 y MILAGRO 2006

Muchos de los resultados de las Campañas MCMA 2003 y MILAGRO 2006 tienen implicaciones en las estrategias relacionadas con el abatimiento de la congestión del tráfico, el control del crecimiento de la flota vehicular, la eficiencia energética en los

sectores de transporte privado y público, industrial, comercial y residencial. Además, dada la importancia de los inventarios de emisiones como herramientas clave para la evaluación y diseño del programa de gestión de la calidad del aire, los resultados de estas campañas de campo destacan la importancia de continuar los esfuerzos para mejorar la precisión y confiabilidad del inventario de emisiones de gases y partículas (particularmente de carbono negro). Las siguientes secciones resumen las implicaciones para el diseño y la gestión de políticas a partir de los resultados de estos estudios. Las implicaciones de política se han incluido en el PROAIRE 2011-2020.

A. Políticas Relativas a la Meteorología y Dinámica

1) En la planeación de políticas públicas considerar el perfil temporal en el que se emiten los contaminantes.

Los picos altos de contaminación por la mañana son afectados fuertemente por los flujos de ventilación con muy poco mezclado vertical antes de la salida del sol. La reducción de emisiones nocturnas y durante las primeras horas en la mañana tendría un gran impacto en los altos niveles de contaminantes en esas horas. Esto aplica para todos los contaminantes primarios. Debido a que hay muy poca mezcla en la noche, hay mucha acumulación de contaminantes durante la noche y altas concentraciones en la mañana. Para los contaminantes secundarios (ozono), la situación es más compleja y se necesita un estudio de modelación. Si las concentraciones de NO_x se redujeran temprano en la mañana, eso reduciría la titulación y, por lo tanto, podría contribuir a un aumento del ozono a lo largo del día (esto es en parte lo que sucede los fines de semana).

2) Incluir los flujos de ventilación nocturnos en las evaluaciones de impacto ambiental para el corredor industrial de Tula y el volcán Popocatepetl.

Existen vientos estables y ligeros de la región de Tula hacia la ZMVM antes del amanecer y en algunas ocasiones después de la puesta del sol. Estos flujos pueden transportar y elevar las concentraciones de contaminantes en el aire de la ZMVM. Estos eventos de transporte deberían ser considerados tanto desde la perspectiva de calidad del aire como del análisis de riesgos. En contraste, se encontró que el volcán Popocatepetl tiene en general poca influencia en los niveles de la calidad del aire en la ZMVM en superficie. Sin embargo, los eventos en donde la influencia es significativa ocurren durante periodos de altos mezclados verticales de la pluma debido a la altura de la capa de mezclado y la fuerte dilución. Sin embargo, a escala regional, los resultados indican que las emisiones volcánicas sí pueden llegar a tener una influencia importante en la calidad del aire.



3) Desarrollar planes de contingencia con base en los procesos de ventilación de la cuenca.

Se encontró que los días con mala calidad del aire en la ZMVM pueden ser el resultado de contaminantes emitidos en un día previo con poca ventilación. Por lo tanto, las acciones de respuesta rápida deberían ser enfocadas a las emisiones nocturnas y de la mañana.

B. Políticas Relativas a Mejorar el Inventario de Emisiones

1) Mejorar la cuantificación de las emisiones de vehículos a diésel.

En comparación con los vehículos a gasolina, los vehículos a diésel contribuyen desproporcionadamente a las emisiones de NOx y especialmente en PM2.5. Es importante destacar que la mayor cantidad de vehículos a diésel son de placa federal y más antiguos que los de los registrados en la Ciudad de México. Estudios de las emisiones de las fuentes móviles subrayan la importancia de tener una mejor cuantificación de las emisiones gaseosas y de partículas de vehículos a diésel en la ZMVM. Se sugiere: (a) llevar a cabo una campaña de mediciones específicamente diseñada para caracterizar las emisiones de vehículos a diésel en circulación en la ZMVM; (b) mejorar las bases de datos de los inventarios en cuanto a la clasificación y el número de vehículos a diésel locales y no-locales que circulan en la ZMVM; (c) desarrollar factores de emisión locales de vehículos a diésel; y, (d) como parte del desarrollo del inventario de emisiones, llevar a cabo cálculos de balance de masa del combustible consumido por los vehículos a diésel en la ZMVM.



2) Investigar las fuentes de los niveles elevados de metanol en la ZMVM.

Las concentraciones de metanol son particularmente altas en la ZMVM. Las mayores emisiones son en fuentes de área, por uso comercial y doméstico de solventes. Aunque el metanol puede tener un origen industrial, la quema de biomasa puede también contribuir a los altos niveles de concentración de este compuesto y esto debería ser investigado.

3) Investigar a fondo las fuentes de PM primario en la ZMVM.

Las mediciones y los estudios de modelación sugieren que las emisiones de partículas pueden estar subestimadas en las estimaciones del inventario de emisiones. Esto puede deberse a las incertidumbres en las bases de datos durante el desarrollo de los inventarios de emisiones para varias fuentes de emisión claves. Estas incluyen las emisiones de vehículos a diésel, la resuspensión de partículas en carreteras, las emisiones industriales, y otras. Las incertidumbres en las estimaciones de emisiones de otras categorías de fuentes pueden impactar adicionalmente en las discrepancias actuales identificadas para varios compuestos de COV, incluyendo el benceno y el tolueno. En general, estos resultados tienen implicaciones importantes en el desarrollo de inventarios de emisiones.



4) Análisis de incertidumbres en el inventario de emisiones.

Las técnicas denominadas “de abajo-hacia-arriba” introducen varios grados de incertidumbre para las diferentes categorías de fuentes de emisión durante el desarrollo de un inventario de emisiones. Sin embargo, el inventario de emisiones se puede beneficiar considerablemente con la aplicación consistente de métodos estándar de estimación de incertidumbres durante los procedimientos de estimación de emisiones. La aplicación formal de técnicas de estimación de incertidumbres puede tener grandes beneficios porque puede ayudar a identificar problemas y prioridades para mejorar el inventario.

5) Cuantificación de la distribución de la volatilidad de las emisiones de los aerosoles orgánicos.

Los avances en las investigaciones de emisiones de las partículas han mostrado que en los procesos físicos que ocurren justo después de que las emisiones se mezclan con el aire ambiente, se produce una transferencia de masa entre las fases de gas y de partículas en una forma mucho más dinámica que lo que anteriormente se creía [Molina et al., 2010]. Los resultados de las campañas en la ZMVM han provisto información importante sobre la composición de las partículas y el grado de oxidación en varias edades. Esta información puede ser utilizada para ayudar a desarrollar un inventario local de las partículas con una distribución de sus constituyentes basada en mediciones. La reducción de las incertidumbres en la distribución de los constituyentes de las partículas es un paso importante en la utilización de modelos de calidad del aire para la evaluación de las estrategias para controlar la formación secundaria de aerosoles.

6) Actualizar los perfiles y factores de emisión locales de COV para la ZMVM.

Estos dos tipos de información son críticos para el desarrollo de un inventario de emisiones. Sin embargo, debido a que dependen fuertemente de la tecnología y condiciones locales, cambian continuamente con el tiempo. La estimación de las emisiones en el inventario de emisiones se beneficiaría mucho actualizando las bases de datos de factores de emisiones y los perfiles de COV. Los esfuerzos en este sentido se han dirigido históricamente hacia las fuentes móviles; sin embargo, las bases de datos para fuentes biogénicas, industriales y otras basadas en datos de población, pueden también beneficiarse.

C. Políticas de Control de Emisiones

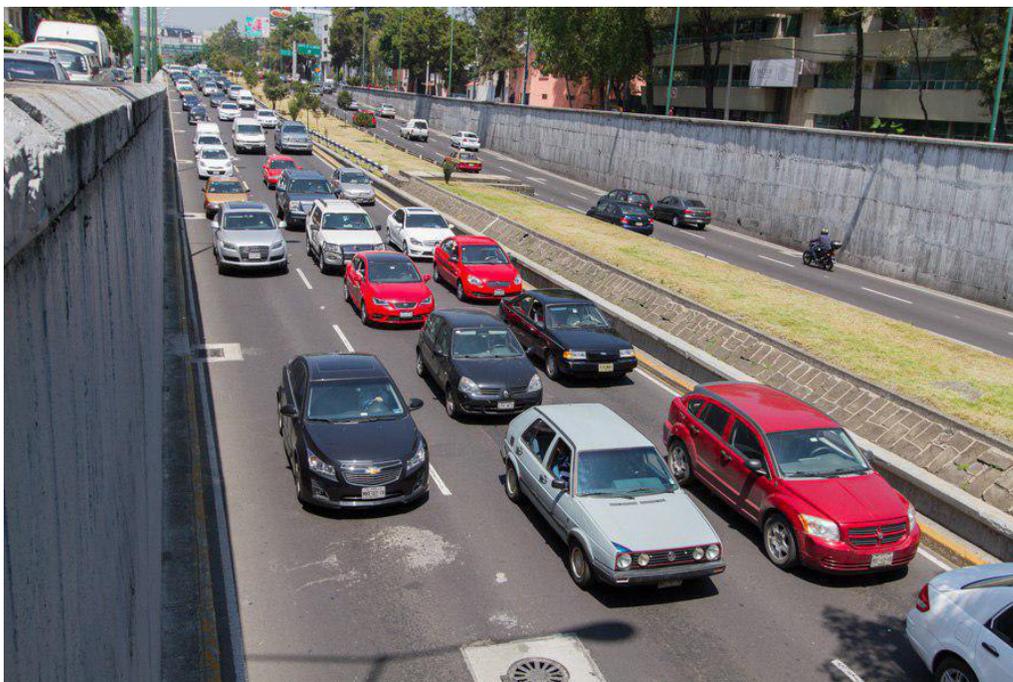
1) Incentivar o hacer obligatorio el uso de pinturas de bajos COV.

La aplicación de pinturas es responsable del 30% de las emisiones de tolueno, y emite además xilenos. El tolueno y los xilenos contribuyen significativamente a la reactividad de los COV y por tanto a la formación de ozono, y son contribuyentes aromáticos relevantes para la formación de aerosoles orgánicos secundarios. Las nuevas regulaciones y la demanda de los consumidores en los Estados Unidos han llevado al desarrollo de pinturas y acabados de bajo y nulo contenido de COV. La mayoría de los fabricantes producen ahora una o más variedades de pinturas sin COV que son además durables, costo-efectivas y menos dañinas al ambiente y a la salud humana.

2) Programa para la verificación/prueba de mantenimiento en carretera para taxis y otros vehículos altamente contaminantes.

Tales programas han sido considerados en el pasado como muy costosos o difíciles en su ejecución. Sin embargo, si es dirigido a taxis y vehículos altamente contaminantes solamente, y utilizado en combinación con un programa de micro-financiamiento, este tipo de programas crearían incentivos eficientes para algunos de los vehículos más contaminantes (en comparación con otros vehículos en la ZMVM, los taxis tienen mucho más kilómetros recorridos por día) para cambiar a una tecnología menos contaminante.





3) Reducir la emisión de aldehídos de fuentes móviles.

Los análisis de concentraciones ambiente de aldehídos y otros oxigenados medidos en la ZMVM sugieren que estos compuestos contribuyen significativamente a la reactividad de COV. Las fuentes móviles (tanto de vehículos a diésel como a gasolina) contribuyen significativamente a estos compuestos en la ZMVM. Las reducciones de las emisiones de fuentes móviles pueden ayudar a reducir la contribución de la reactividad de COV por los compuestos oxigenados. El uso de mezclas de etanol en las gasolinas, puede incrementar las emisiones de carbonilos. A la fecha no se conoce el incremento en las emisiones de carbonilos por uso de estas mezclas bajo condiciones de operación características de las ZMVM, ni su efecto en la reactividad del smog fotoquímico en la región. Se recomienda realizar estudios en estos temas antes de implementar el uso de estas mezclas.

4) Incentivar la renovación de la flota vehicular y la remoción de vehículos antiguos altamente contaminantes.

Los análisis de correlación entre los cambios en la flota vehicular y las tendencias en las emisiones mostraron que a pesar de los grandes incrementos en el tamaño de la flota vehicular, las emisiones asociadas no se incrementaron en la misma proporción. Esto es el resultado del efecto combinado de la remoción de los vehículos con mayor edad de la flota y de las tecnologías mucho más limpias incorporadas en los vehículos nuevos en la Ciudad de México. Esto también sugiere fuertemente que incrementar la

tasa de renovación de la flota vehicular de la ZMVM, puede tener grandes beneficios en términos de masa de COV y reducción de emisiones de NOx.



5) Incentivar el uso del transporte público por sobre el privado en la planeación urbana.

Las preferencias de modos de transportación de baja capacidad deberían ser cambiadas hacia modos de alta capacidad con un diseño integral y organizado del desarrollo de la ZMVM y la planeación urbana. Los modos de transporte público deberían ser favorecidos sin comprometer la comodidad, la eficiencia y la seguridad durante el transporte.

La Ciudad de México, en un esfuerzo por ofrecer a la población un modo efectivo de transporte público de alta capacidad y de bajas emisiones, ha implementado el modo de transporte BRT (Bus Rapid Transit) denominado Metrobús, el cual es un sistema de transporte, basado en autobuses de capacidad y tecnología de punta, que brinda movilidad urbana de manera rápida y segura por medio de la integración de una infraestructura preferente, operaciones rápidas y frecuentes, sistema de pago automatizado y excelencia en calidad en el servicio. El Sistema Metrobús cuenta actualmente con 7 líneas, en la más actual se tienen autobuses de tecnología EURO VI, que permite la reducción de hasta 90% de partículas.





6) Programa de asistencia para la implementación de controles de emisiones en la flota vehicular a diésel.

La flota vehicular a diésel en la ZMVM tiende a ser antigua, tener tasas de renovación lentas y no contar con sistemas de control de emisiones. Esto sugiere que un programa de apoyo para la implementación de controles de emisiones en la flota vehicular a diésel puede tener beneficios significativos para reducir los impactos de sus emisiones. Toda vez que el retrofit es costoso, es más conveniente que la normatividad federal (Norma Oficial Mexicana 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) incentive la introducción de mejores tecnologías (que se apliquen con anticipación en la ZMVM).

7) Control de fugas en la distribución y en el uso del gas licuado del petróleo

La concentración de COV totales en la ZMVM continúa dominada por alcanos de bajo peso molecular, particularmente propano. Esta situación no ha cambiado desde cuando Blake y Rowland [1995] reportaron altos niveles de estos compuestos en la ZMVM debido al uso extensivo del gas licuado de petróleo (GLP) como el combustible más utilizado en la cocción de alimentos y en calentadores de agua. Por lo tanto, es necesario un programa para el control de fugas durante la distribución y uso de GLP.

8) Reducir las emisiones de SO₂ y NH₃

Los niveles de SO₂ se han reducido continuamente en la ZMVM como resultado de varias políticas de control de emisiones. Entre ellas, la introducción de gasolinas y diésel con bajo contenido de azufre ha jugado un papel importante en la reducción de los niveles de SO₂. No hay mediciones continuas de sulfatos en la ZMVM, pero debido a que los niveles de amoniaco son relativamente altos es posible que la formación de sulfatos ha sido disminuida en comparación con hace una década o más. Sin embargo, debido a que las tasas de formación de estos compuestos inorgánicos son relativamente lentas, la reducción de las emisiones de ambos SO₂ y NH₃ puede tener beneficios al reducir los niveles de PM inorgánicos viento abajo en escalas regionales.

9) Control y manejo de emisiones de quema abierta de biomasa

La contribución de los incendios forestales a los niveles ambientales de varios contaminantes (incluyendo las partículas) en la ZMVM puede ser significativa durante la temporada seca cálida. La contribución de la quema de biomasa en actividades de agricultura puede también ser muy importante, pero su cuantificación ha sido menos estudiada. Es claro, sin embargo, que políticas de control hacia la reducción y el control de las emisiones de la quema de biomasa tendrá beneficios substanciales en los impactos a escala regional.

10) Control de emisiones provenientes del uso de biocombustibles sólidos

El uso de combustibles sólidos puede ser una fuente de contaminación importante en la periferia de la ZMVM y las áreas rurales adyacentes. Las mejoras tecnológicas relativamente baratas tales como estufas de eficiencia de combustión mejorada (e.g., Patsari, Justa, Onil, etc.) pueden llevar a reducciones significativas en las emisiones de las partículas y otros contaminantes.

11) Control de emisiones provenientes de la quema de basura

La quema de basura ha sido poco caracterizada todavía, pero puede ser potencialmente una fuente importante de emisiones en la ZMVM. La prohibición de la quema de basura y otras políticas relacionadas tales como incentivos para el reciclamiento de desperdicios y basura pueden por tanto tener beneficios importantes en la reducción de emisiones. Es importante mencionar que en la Ciudad de México la quema de cualquier residuo está prohibida por la Ley de Residuos Sólidos.



12) Control de emisiones por buen manejo del uso de suelos

El manejo sustentable del uso de suelos agrícolas, forestales y del ex-lago de Texcoco, puede ayudar a reducir las emisiones por resuspensión de partículas que afectan la calidad del aire en la ZMVM.

13) Control regional de emisiones

Las diferentes fuentes de emisiones en la ZMVM pueden contribuir significativamente a los impactos en los niveles de contaminación a escala regional. De igual manera, las emisiones generadas en la región central del país, pero fuera de la ZMVM, pueden también contribuir a altos niveles de contaminación. En particular, beneficiaría la homologación del control de emisiones vehiculares en los estados de la región central del país, al igual que el contar con una red regional de monitoreo de la calidad del aire, así como la homologación de la calidad de los combustibles en toda la Megalópolis, con la calidad de los utilizados en la ZMVM.

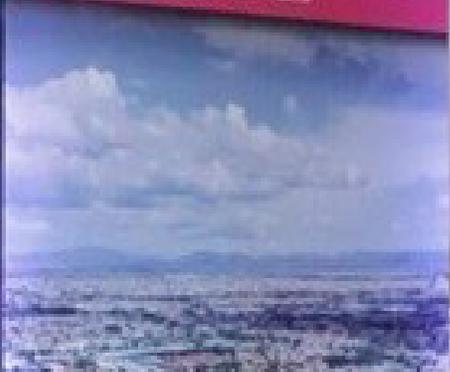
14) Implementar políticas que estimulen la evaluación del impacto de la contaminación atmosférica en la salud humana

Estos estudios apoyan el hecho de que las fuentes locales de contaminación atmosférica juegan un papel predominante en los efectos agudos observados en las poblaciones estudiadas y en los efectos tóxicos evaluados in vitro. Sin embargo, todavía existen huecos para entender la participación relativa que tienen las interacciones entre los contaminantes localmente emitidos y aquellos que son transportados de fuentes más lejanas, en los efectos crónicos sobre la salud de las poblaciones expuestas.



Capitalismo **CDMX**
CDMX HARVARD EN CIEN AÑOS

ANÁLISIS HISTÓRICO DE LOS BENEFICIOS EN LA SALUD DE LA POBLACIÓN, ASOCIADOS A LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE MÉXICO ENTRE 1990 Y 2015



3.4. Actualización de Factores de Emisión y Datos de Actividad para Mejorar la Estimación de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero y Contaminantes Criterio de los Vehículos de la Ciudad de México

- El documento "Actualización de Factores de emisión y datos de actividad para mejorar la estimación de emisiones de gases y compuestos de efecto Invernadero y Contaminantes Criterio de los vehículos de la Ciudad de México" [SEDEMA-ERG, 2017] preparado por el Eastern Research Group (ERG) y SEDEMA describe un estudio para mejorar la estimación de fuentes móviles en el inventario de emisiones 2014 para la ZMVM mediante la actualización de los factores de emisión y datos de actividad utilizados en la aplicación de la versión mexicana del modelo de emisiones MOVES2014a (MOVES-México) para fuentes móviles que circulan por carretera en Ciudad de México.
- El proyecto ERG-SEDEMA actualizó los datos de actividad y los factores de emisión utilizando varias fuentes de información, incluida la distancia recorrida por vehículo para automóviles privados, SUVs y camionetas pick-up, con los datos del odómetro de los programas PVVO. Para actualizar los perfiles de distribución temporal de los vehículos por mes, tipo de día y perfil diario, datos de ventas de combustible de la Secretaría de Energía (SENER) y datos de actividad del vehículo recopilados por la Secretaría de Seguridad Pública (SSP) y distribuciones de la velocidad media basadas en datos recogidos por el SSP y en datos telemáticos. Las actualizaciones de los factores de emisión y consumo de energía se basaron en datos de campañas locales que miden las concentraciones con dispositivos de teledetección (RSD), datos de emisiones de los programas PVVO y con estudios publicados en la literatura. Otras actualizaciones en MOVES-México incluyeron la incorporación de tres nuevos tipos de vehículos: taxis, minibuses y metro-buses, que no forman parte del modelo MOVES-México. Los datos de actividad y los factores de emisión para estos tres nuevos tipos de vehículos también se incluyeron en el modelo.
- Los principales resultados de la aplicación de los datos de actividad actualizados y los factores de emisión en el modelo MOVES-México adaptado a las condiciones locales de la Ciudad de México con respecto al MOVES2014a convencional utilizado para estimar las emisiones de fuentes móviles en la ZMVM incluyen:

-
- En general, las emisiones de todos los contaminantes aumentan, excepto el CO, que disminuye en un 9%. Los mayores incrementos fueron para PM y metano con 68 y 55%, respectivamente. Los COV aumentaron un 24%, mientras que los NOx aumentaron solo un 4%. El carbono negro y el SO2 aumentaron en un 21 y un 23%, respectivamente.
 - Un análisis de sensibilidad indicó que el cambio en la velocidad del vehículo es la variable más influyente en general, con aumentos en las emisiones de todos los contaminantes, del 20% (NOx) al 50% (PM).

3.5. Aplicación del Sistema de Pronóstico de la Calidad del Aire para la Evaluación de Políticas de Reducción de Emisiones

El documento "Aplicación del pronóstico para la evaluación de políticas de reducción" [BSC-SEDEMA, 2017] preparado por el Centro de Supercómputo de Barcelona (BSC) y la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA) describe un estudio basado en modelos enfocado a: i) evaluación de reducciones de emisiones incluidas en el Programa de Contingencia Ambiental Atmosférica (PCAA); y ii) evaluación de las reducciones de emisiones incluidas en el PROAIRE 2011-2020. El período de simulación seleccionado para la evaluación fue del 16 al 24 de mayo de 2017. El estudio se basó en los modelos de pronóstico - Investigación Avanzada (WRF-ARW) y Calidad de Aire en multi-escala (CMAQ) para simular condiciones meteorológicas y químicas de la región, respectivamente. Los inventarios de emisiones de la ZMVM 2014 (para la ZMVM) e INEM 2013 (para los municipios periféricos) se convirtieron en archivos de entrada del modelo utilizando el sistema de emisión de modelo HERMES-Mex (High-Selective Resolution Modelling Emission System for Mexico). Los resultados de las evaluaciones BSC-SEDEMA se resumen en las siguientes secciones:

1) Reducciones de emisiones en la PCAA

Las reducciones de emisiones asociadas con la fase I de la PCAA son 18% para NOx y 10% para COV con respecto al inventario de emisiones de la ZMVM 2014. Las reducciones correspondientes de NOx y COV para la aplicación de la fase II de la PCAA son del 25% y 15%, respectivamente. Las fuentes móviles son el sector de mayor contribución a las reducciones de emisiones en PCAA.

Los resultados del estudio sugieren que al cumplir con la Fase I y la Fase II de la PCAA, la concentración de ozono puede reducirse en la ZMVM en promedio entre 3.9 - 6.3% y 5.7 - 9.4%, respectivamente, dependiendo del día de la simulación. Los resultados sugieren que en un escenario de PCAA que no cumple con el 20%, la reducción



promedio de ozono puede estar entre 3 y 4,8%. Reportan que los beneficios de la aplicación de PCAA son relativamente más altos en zonas con altas densidades de población. Para un día de simulación (20 de mayo), la reducción promedio de ozono fue solo del 1% cuando no se incluyeron reducciones de emisiones de las fuentes de transporte de carga, lo que sugiere que estas son fuentes importantes para controlar la efectividad del PCAA.

El estudio BCC-SEDEMA concluye que, aunque las diferencias en las reducciones diarias de ozono derivadas de la aplicación del PCAA fueron relativamente pequeñas, es posible que la eficacia del cumplimiento del PCAA pueda variar sustancialmente según las condiciones meteorológicas. Resaltan la necesidad de investigar más episodios meteorológicos diferentes durante la aplicación de PCAA en la ZMVM. Así mismo, se observó que las concentraciones de ozono comienzan a disminuir cuando se establecen medidas de Fase II, mismas que deben orientarse a reducir COV.

2) Reducciones de emisiones en el PROAIRE 2011-2020

El estudio concluye que el PROAIRE 2011-2020 es efectivo en la reducción de los niveles de contaminación de NO₂ y algo efectivo en la reducción de PM_{2.5} en la ZMVM, especialmente en áreas de población de alta densidad. Sin embargo, el programa no es suficiente para abordar el problema del ozono en la ZMVM porque en los últimos años se han mantenido los niveles de ozono, pero no se han reducido. Esto se debe a: i) las acciones más efectivas en el programa abordan las fuentes móviles, que emiten proporcionalmente más NO_x que los COV; y ii) la producción de ozono en la ZMVM es sensible a los controles de COV. Sin embargo, se deben aplicar medidas para reducir las emisiones de fuentes móviles ya que también son importantes emisores de partículas finas y carbono negro, así como de otros contaminantes.

El estudio BSC-SEDEMA sugiere combinar las acciones hacia la reducción de fuentes móviles con estrategias de control de emisiones de fuentes de área, particularmente aquellas relacionadas con el uso de solventes en los sectores residencial, comercial y de servicios. Sin embargo, estas fuentes son actualmente muy inciertas en el inventario de emisiones (por ejemplo, actividades comerciales no reguladas) y necesitan ser mejor caracterizadas a través de estudios dedicados. Además, se necesitan herramientas regulatorias y una mejor coordinación con las autoridades federales para diseñar mejor las estrategias de mitigación de emisiones para estas fuentes.

El estudio BSC-SEDEMA también propone varias recomendaciones adicionales para SEDEMA y otras autoridades, que incluyen:

-
- Mantener las acciones y diseñar nuevas para reducir las emisiones de COV provenientes de fuentes industriales.
 - Mantener los programas PVVO y "Hoy No Circula". Sin embargo, el programa PVVO debe actualizarse incluyendo pruebas físico-mecánicas y de Sistemas de Diagnóstico a bordo (OBD).
 - Estudiar los impactos que los vehículos con matrícula del Estado de México tienen en circulación en la Ciudad de México, así como los impactos de las mejoras en los programas de PVVO en el Estado de México sobre la calidad del aire en la ZMVM.
 - Estudiar los impactos de las reducciones de emisiones en la ZMVM durante diferentes condiciones meteorológicas.
 - Las nuevas ediciones del PROAIRE deberían incluir una evaluación exhaustiva basada en modelos de las acciones definidas, así como objetivos específicos y cuantitativos para reducir los contaminantes del aire.
 - Las nuevas ediciones del PROAIRE deben involucrar activamente la colaboración de autoridades de la Ciudad de México y el Estado de México.

3.6 Impactos de la Contaminación del Aire en la Población de la Ciudad de México

En 2015 las Secretarías de Medio Ambiente (SEDEMA) y de Salud (SEDESA) del Gobierno de la Ciudad de México iniciaron un programa de colaboración con la Escuela de Salud Pública T. H. Chan de la Universidad de Harvard (HSPH). El programa se centra en el problema de calidad del aire de la Ciudad de México y tiene cuatro fases a realizar en un periodo de cuatro años [SPH-Harvard, 2016; Evans et al., 2017].

Las fases son:

- Fase I - Revisión del estado del conocimiento relevante para la Ciudad de México;
- Fase II - Estimación y verificación de los beneficios para la salud derivados de mejoras en la calidad del aire, primero a través de una evaluación de riesgos;
- Fase III - Estimación y verificación de los beneficios para la salud derivados de mejoras en la calidad del aire a través de mediante métodos epidemiológicos;
- Fase IV - La valoración de políticas públicas y económicas de los impactos en la salud.

Fase I: Revisión del estado del conocimiento relevante para la Ciudad de México



Fase II: Estimación y verificación de los beneficios para la salud derivados de mejoras en la calidad del aire, primero a través de una evaluación de riesgos

Las dos primeras fases (Fase I y Fase II) consisten de una revisión de la literatura sobre el estado del conocimiento y una descripción de la evidencia científica a través del análisis de los estudios epidemiológicos más sólidos que se han hecho hasta el momento. Estos estudios son la base para interpretar la relación entre exposiciones a contaminantes atmosféricos y los impactos adversos para la salud. El informe caracteriza los métodos y estimaciones de la evaluación de riesgos que permite calcular los beneficios para la salud atribuibles a las reducciones en las concentraciones de PM_{2.5} y de ozono que se lograron en la Ciudad de México entre 1990 y 2014.

El informe utilizó el número de "muertes prematuras evitadas" para evaluar los beneficios para la salud atribuibles a mejoras en la calidad del aire. Es importante enfatizar que el control de la contaminación u otras intervenciones para mejorar de la calidad del aire no salvan vidas, sino contribuyen a extender el periodo de vida evitando la muerte prematura. Así, de hecho, el indicador de "muertes prematuras evitadas" es una forma indirecta (proxy) de medir los "incrementos en la esperanza de vida".

A fines de la década de los años 80 y principios de la siguiente, la Ciudad de México tuvo la peor calidad del aire en su historia. La mayoría de los contaminantes criterio (plomo, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, ozono y partículas suspendidas) con frecuencia excedían las normas nacionales de calidad del aire. Desde entonces el gobierno de la Ciudad de México ha instrumentado una serie de programas integrales de manejo de la calidad del aire (PROAIRE). Estos programas se han desarrollado en coordinación con las autoridades federales y con representantes del sector académico y del sector privado. Además, se han lanzado algunas estrategias importantes de política pública tales como el Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA, en 1988). El PCAA busca promover acciones correctivas para reducir las emisiones de contaminantes y la exposición de grupos de población más sensibles cuando los niveles de ozono o PM exceden un umbral específico.

El umbral para ozono se ha reducido de manera significativa a lo largo de los años, siendo equivalente a alrededor de 2.5 veces el valor del límite máximo permisible (LMP) de 1 hora de la norma de calidad del aire cuando se instauró el programa, a 1.5 veces el LMP de la norma (mismo que se hizo más estricto en 2014) en julio de 2016. Debe añadirse que desde que inició el programa los eventos en los que hay concentraciones elevadas de contaminantes (contingencias), se han reducido de manera importante a pesar de que los umbrales que los disparan se han ido reduciendo gradualmente.

Actualmente la evidencia es robusta en cuanto a los efectos adversos para la salud de la contaminación del aire. Esta evidencia surge en primer lugar de los estudios epidemiológicos, principalmente los diseños de series de tiempo y los de cohorte. Ambos se complementan, ya que en conjunto permiten evaluar los efectos adversos para la salud para exposiciones a corto y a largo plazos. En la Ciudad de México los estudios de series de tiempo, realizados desde principios de los años 90, han sido el diseño epidemiológico dominante para evaluar la relación entre exposiciones a contaminantes atmosféricos y los impactos adversos en la salud [Borja-Aburto et al., 1997; Borja-Aburto et al., 1998; Loomis et al., 1999; Castillejos et al., 2000]. Estos estudios reportaron asociaciones entre las exposiciones a PM2.5 y al ozono y la mortalidad total, y también entre el ozono y la mortalidad cardiovascular. Se identificaron subgrupos de población sensibles: las personas mayores de 65 años son más sensibles a la exposición al ozono, mientras que los bebés son más sensibles a la exposición a PM2.5.

Actualmente, tanto en México como en la mayoría de los países del mundo, los principales proyectos regulatorios se evalúan mediante análisis de beneficios a la salud (frecuentemente complementados con la estimación de los costos). Los beneficios a la salud se estiman mediante métodos de evaluación de riesgos y utilizan funciones de exposición–respuesta de los estudios de cohorte sobre contaminación del aire. En la Ciudad de México el uso de estimaciones de efecto derivadas de estudios de cohorte realizados en otros países se considera apropiado principalmente por la consistencia que existe entre la evidencia local y la evidencia internacional generada por los estudios de exposición a corto plazo [HEI, 2012].

Se han realizado pocas evaluaciones de riesgo sobre los impactos de la contaminación del aire en la salud para México o para la Ciudad de México. Resultados de una de ellas muestran que la exposición crónica a PM2.5 es responsable de 7,600 muertes por año en México (Stevens et al., 2008). También, se ha reportado que para la Zona Metropolitana del Valle de México 3,000 muertes estuvieron relacionadas con la exposición crónica a PM2.5 y para la Ciudad de México alrededor de 6,100 muertes prematuras se pueden atribuir a la exposición crónica a PM10 [Stevens et al., 2008; Riojas-Rodríguez et al., 2014].

Los estudios del Carga Global de Enfermedad (GBD, por sus siglas en inglés) en 2010 y 2013 analizaron la carga de enfermedad por país y por Estado, por lo que presenta resultados para todo el país y para la Ciudad de México (con sus 16 delegaciones). Para México, más de 13,000 muertes prematuras se pueden atribuir a la exposición crónica a PM2.5 y cerca de 2,000 muertes prematuras a la exposición crónica a ozono [IHME, 2016]. Para la Ciudad de México, las PM2.5 y el ozono causaron cerca de 2,100



y 220 muertes prematuras cada año, respectivamente [IHME, 2016]. Además, los resultados muestran que en la Ciudad de México las exposiciones a PM2.5 y a ozono están entre los primeros 20 factores de riesgo, de los casi 70 factores evaluados.

El estudio de HSPH-SEDEMA utilizó al método de la evaluación de riesgos para estimar los beneficios para la salud asociados a mejoras en la calidad del aire de la Ciudad de México durante los últimos 25 años. La evaluación de riesgos comprende cuatro elementos: analizar a un agente (identificación del peligro), caracterizar de manera cuantitativa su contacto con los seres humanos (evaluación de exposición), cuantificar la relación entre la exposición y el riesgo de un efecto adverso para la salud (exposición–respuesta) y, por último, integrar los elementos anteriores para tener una estimación final del riesgo para la salud y la incertidumbre asociada a esa estimación (caracterización de riesgo).

Más específicamente, el estudio examinó los beneficios de las reducciones de las concentraciones de PM2.5 y de ozono para el periodo 1990–2014 mediante el análisis de las mejoras en la calidad del aire logradas cada año para las 16 delegaciones de la Ciudad de México. Por lo tanto, el estudio evaluó primero la exposición de la población de la Ciudad de México para el periodo bajo estudio, y después el cálculo de cuántas muertes se evitaron (beneficios) debido a la mejor calidad del aire.

La reducción de las concentraciones de PM2.5 en el ambiente, de un promedio de 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1990 a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2014, y de ozono de un promedio de más de 130 ppb en 1990 a cerca de 80 ppb en 2014, permitió a la Ciudad de México reducir en más de 22 mil (95% IC: 17.9 a 28.0 mil) el número de muertes prematuras evitadas atribuibles a la contaminación del aire. En términos generales, 80% de los beneficios son atribuibles a mejoras en las concentraciones de PM2.5. Las estimaciones centrales de los beneficios para PM2.5 y ozono fueron cercanas a 18 mil y 4 mil muertes prematuras evitadas, respectivamente.

Los beneficios asociados con las mejoras en la calidad de aire con respecto a PM2.5 y ozono están en el intervalo de casi 18 mil a 28 mil muertes prematuras evitadas. La incertidumbre intrínseca en las estimaciones es producto de las fuentes de incertidumbre que se propagan desde la evaluación de exposición y las funciones de concentración–respuesta a los resultados finales.

La gran mayoría de beneficios derivados por mejoras en la calidad del aire resulta de una reducción en las muertes prematuras evitadas por enfermedad isquémica del corazón, enfermedad pulmonar obstructiva crónica e infarto cerebrovascular (casi 45%, 30% y 20%, respectivamente). Las muertes prematuras evitadas por cáncer de pulmón

entre adultos y por enfermedades respiratorias inferiores agudas entre niños menores de 5 años representan menos de 10% de los beneficios en muertes prematuras evitadas por mejoras en la calidad del aire.

Los resultados presentados por el estudio HSPH-SEDEMA muestran que las reducciones en las concentraciones de PM2.5 y ozono registradas en los últimos 25 años, han llevado a mejoras sustanciales en la salud y a reducciones de la mortalidad, evitando 20 mil muertes prematuras durante ese periodo. Se debe notar que para las estimaciones se asumió que los rigurosos controles de la contaminación que se establecieron desde fines de los años 80 han permitido mejorar la calidad del aire, al reducir las concentraciones de contaminantes que existían en 1990. Más aún, dado el crecimiento de la población, el incremento de la flota vehicular y la expansión de la mancha urbana en la Ciudad de México y las áreas urbanas circundantes, con toda certeza los niveles de contaminación del aire serían mucho peores que hace 25 años. Así, es muy probable que los beneficios reales derivados de las estrategias y programas de política pública del gobierno sean considerablemente mayores que los valores estimados.

Fase IIIa. Verificación de los beneficios en salud relacionados con la aplicación de acciones de mejora de la calidad del aire en la Ciudad de México (Análisis Epidemiológico)

Para analizar la relación entre las mejoras en la calidad del aire y los beneficios para la salud pública, se han integrado los datos demográficos, incluidas las siguientes variables:

- 1) Población total (número de habitantes) y estructura por edades: datos del Censo Nacional (1990, 2000 y 2010) y encuestas entre censos (1995, 2005 y 2015) (INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía).
- 2) Mortalidad total y tasas de mortalidad total: los datos de mortalidad están disponibles para cada año del período 1990-2015 (INEGI y SEDESA).
- 3) Esperanza de vida al nacer y temporal: estimado por los autores, por cada cinco años, de 1990 a 2015, utilizando datos de población y mortalidad.

Los índices de población, mortalidad total y tasas de mortalidad se muestran de manera espacial (por delegación) y temporal (1990 a 2015) dentro de la Ciudad de México. Esta variabilidad puede afectar y verse afectada por los cambios en la exposición a la contaminación del aire durante este período.

Con el crecimiento de la población, hay una mayor cantidad de personas expuestas a la contaminación del aire: la Ciudad de México ha crecido un 8% de 1990 a 2015 (de 8,2 a



8,9 millones de habitantes). A su vez, las muertes aumentaron en un 33.1% de 1990 a 2015; hubo más de 44 mil muertes en 1990, y cerca de 60 mil en 2015. Hay dos tendencias significativas en la ciudad en este período: la primera entre 1990 y 2000, con un incremento cercano al 3%, y la segunda, más pronunciado, de 2000 a 2015, con muertes que se incrementaron en un 29%.

Durante el período de 25 años, algunos grupos de edad mostraron una disminución en sus tasas de mortalidad, mientras que otros mostraron un incremento. El resultado de estas dos tendencias opuestas para la Ciudad de México es que la esperanza de vida para la población total aumentó en un 8%, pasando de 72 a casi 80 años. El aumento es bastante similar para hombres y mujeres (8% y 7%, respectivamente), sin embargo, para 2015 los hombres alcanzan una esperanza de vida de 75 años, mientras que la de las mujeres, es de más de 80 años. Las diferencias entre las delegaciones son notables: hay una diferencia de 10 años entre las delegaciones con la esperanza de vida total más alta frente a la más baja (Coyoacán, Tlalpan y Benito Juárez vs. Cuauhtémoc). La esperanza de vida aumentó entre 4 y 15% entre 1990 y 2015, con Cuauhtémoc mostrando el menor aumento, y Milpa Alta y Miguel Hidalgo con el más grande.

Al comparar la esperanza de vida y la calidad del aire de forma transversal, por ejemplo en el año 2000, los datos sugieren que la expectativa de vida en la Ciudad de México era más baja en las delegaciones con mayores concentraciones promedio de PM2.5. De manera similar, los datos longitudinales (dos décadas) para la esperanza de vida específica de una delegación versus las estimaciones de las concentraciones de PM2.5, durante dos décadas dentro de cada uno de los datos específicos de la década, sugieren la existencia de una asociación negativa entre la esperanza de vida y PM2.5 concentraciones.

El patrón longitudinal de la esperanza de vida específica de una delegación durante estas dos décadas versus los cambios las concentraciones anuales de PM2.5 es consistente dentro de cada delegación: la mejora en la calidad del aire se asocia con una mejor esperanza de vida. Miguel Hidalgo y Milpa Alta muestran mayores mejoras en la esperanza de vida, que podían ser predichas sólo por las mejoras en PM2.5. Es posible que estas dos delegaciones compartan algunos de los otros factores que pueden afectar la relación entre la contaminación del aire y la esperanza de vida. Un ejemplo es la variación en el acceso a los servicios de salud; la población de Miguel Hidalgo y Milpa Alta sin acceso a la atención de la salud se redujo en un 20% y un 40%, respectivamente, de 2000 a 2015.

Este ejemplo sirve para ilustrar la necesidad de examinar con métodos estadísticos robustos la influencia de otros factores, como posibles alternativas y explicaciones complementarias a los impactos de la calidad del aire en la esperanza de vida a lo largo del tiempo. Debe enfatizarse que los cambios en la esperanza de vida pueden haber sido el resultado de otras características específicas de la delegación, siendo la contaminación del aire uno de los varios factores que contribuyen.

Fase IV. Políticas públicas y Evaluación Económica de los Beneficios en la Salud Como Resultado de las Mejoras en la Calidad del Aire

El análisis de costo-efectividad realizado para los vehículos pesados de la Ciudad de México, muestra claramente que realizar adaptaciones con tecnologías de control, como lo son los catalizadores de oxidación diésel (DOC) o los filtros para partículas para diésel (DPF), puede reducir las emisiones de material particulado, permite mejorar la calidad del aire y tiene beneficios para la salud de los habitantes del Área Metropolitana de la Ciudad de México.

En 2005 y 2006 se llevó a cabo un proyecto piloto de adaptación en la Ciudad de México [EMBARQ-WRI, 2007]. Se instalaron DOC y DPF en 20 modelos de autobuses de los años 1991 y 2001, y se les dio seguimiento durante casi un año. Las reducciones PM primarias fueron del orden del 20 al 30% para DOC y del 80 al 90% para DPF. Recientemente, el Programa voluntario de Autorregulación puesto en práctica por SEDEMA en la Ciudad de México, ha tenido éxito en la instalación de 27 equipos en camiones pesados y 18 en autobuses de la Red de Transporte de Pasajeros (RTP). El análisis busca determinar si la expansión de los programas de adaptación a una amplia variedad de vehículos pesados con motor diésel podría ser costo-efectiva (rentable).

Los equipos de HSPH-SEDEMA evaluaron vehículos del año modelo 1985 a 2014 de nueve clases de vehículos y cinco grupos de modelos de año, que abarcan la gama de tipos de vehículos, usos y años modelo en la flota pesada que opera en la Ciudad de México. Las clases de vehículos en el análisis son: autobuses de transporte de personal; Metrobús; autobús concesionado- placa local; autobús de pasajeros- placa federal; autobús de turismo-placa federal; vehículos pesados-placa local; vehículos pesados-placa federal; tractocamiones-placa local; y tractocamiones-placa federal. Los grupos del año modelo son: 1985-93 (pre-control); 1994-97 (US 1991/Euro I); 1998-2006 (US 1994/Euro II); 2007-10 (US 1889/Euro III); y 2011-14 (US 2004/Euro IV).

Entre los dos tipos de vehículos que contribuyen de manera significativa a las emisiones de partículas primarias, son los vehículos del año modelo 1998-2006 (grupo III - EPA 1994 / Euro II), seguidos por los vehículos modelo 2007-2010 (grupo IV - EPA



1998 / Euro III), y luego, casi por igual, los vehículos del año modelo 1985-1993 (grupo I – pre-control), 2011-2014 (US 2004 / Euro IV) y el grupo de años modelo 1998-2006 (EU 1994/EURO II). Para aproximadamente 4 mil autobuses concesionados de placas locales, se espera que la adaptación del DPF reduzca las emisiones en 35.6 kg por vehículo-año y reducir muertes prematuras atribuibles a la contaminación del aire en aproximadamente 5 por cada 1000 vehículo-año; con beneficios de US \$ 8.3 mil y costos de solo 1.4 mil US \$ por vehículo-año. El DPF catalizado es una opción porque estos buses se conducen solo localmente, donde el combustible de ultra bajo contenido de azufre está disponible. Los beneficios netos esperados de esta estrategia son de casi 7 mil dólares por año de vehículo.

Como resultados ilustrativos de nuestro análisis para todos los tipos de vehículos y grupos de modelos de año, se describen dos categorías de vehículos (autobús local concesionado y tractocamiones de placa federal) y para un grupo de año modelo (1998-2006 UE 1994 / Euro II). Los resultados de los tractocamiones federales, muestran los mayores beneficios netos, para las cerca de 16 mil unidades (casi 1.7 mil US \$ por año-vehículo), lo cuales se podrían generar con la adaptación de DPF. Sin embargo, el DPF no es una opción porque estos vehículos se conducen tanto en la Ciudad de México como fuera de la ciudad, donde el combustible ultra bajo en azufre no está ampliamente disponible.

Un programa implementado para adaptar cada vehículo de servicio pesado con fin de maximizar los beneficios netos esperados, por tipo de vehículo y grupo de año modelo, tiene el potencial de:

- Reducir las emisiones anuales de partículas finas primarias en ~ 900 toneladas métricas; qué podría reducir la concentración media ponderada por población anual de PM2.5 en la Ciudad de México en 0.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- Reducir el número anual de muertes atribuibles a la contaminación del aire en casi 115;
- Generar beneficios de salud esperados del orden de 210 millones de dólares estadounidenses por año.

También, esto podría tener un costo esperado de 85 millones de dólares por año, que consisten en 56.5 millones de dólares en "amortización" del costo de capital de los dispositivos de "retrofit"; 17.5 millones de dólares en costos anuales de mantenimiento; y 10.2 millones de dólares en penalización por uso de combustible.

Finalmente, los resultados del estudio muestran:



-
- Que en los últimos 25 años, la calidad del aire ha mejorado significativamente en la Ciudad de México, dichas mejoras han salvado 22,000 vidas, principalmente por las reducciones en las concentraciones de PM2.5.
 - Una de las principales fuentes de emisión de PM2.5 son los vehículos pesados a diésel, sin embargo, el control de emisiones de PM2.5 de vehículos pesados a diésel podría salvar 100 vidas por año - el costo anual sería de menos de 93 millones de dólares, mientras que los beneficios en salud representarían de 250 millones de dólares al año.
 - Este estudio sugiere que los impactos en la salud por ozono son más importantes que los que la evidencia internacional ha revelado hasta el momento, así mismo, estos hallazgos son relevantes para la Ciudad de México y para el resto de las megaciudades del mundo.



4. DOCUMENTOS DE POSICIÓN ELABORADOS POR DIVERSAS INSTITUCIONES Y DEPENDENCIAS



Las siguientes secciones resumen los documentos de posición de varias instituciones. En el Anexo 4 se proporciona una comparación de las acciones de PROAIRE y las sugerencias de las instituciones.

4.1. Propuesta de Actuación Inmediata para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Megalópolis

El documento: "Propuesta de Actuación Inmediata para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Megalópolis" [CAME, 2016] fue preparado por el Comité Científico Asesor de la Comisión Ambiental de la Megalópolis, CCA-CAME. Contiene más de 150 acciones dirigidas a mejorar la calidad del aire en la Megalópolis. El objetivo del documento es resaltar la necesidad de desarrollar una agenda integral de calidad del aire con la participación de la sociedad civil, el gobierno y las instituciones científicas y académicas. Para cada una de las acciones, la CCA-CAME sugiere que se convoque un grupo de trabajo para identificar las barreras de implementación y establecer las necesidades específicas de cumplimiento. Cinco propuestas generales y 34 líneas de acción son particularmente destacadas y clasificadas por sectores de emisión (móvil, fuentes industriales, área y fuentes biogénicas). El documento CCA-CAME también sugiere implementar un mecanismo de monitoreo ciudadano, como una herramienta de monitoreo y aplicación para cumplir con las acciones seleccionadas.

Las cinco propuestas generales del documento CCA-CAME se resumen a continuación:

- Fortalecer las capacidades técnicas, financieras y de gobierno de las autoridades de la CAME mediante el desarrollo de una estrategia específica.
- Fortalecer el sistema de monitoreo de la calidad del aire y crear mecanismos robustos para el análisis de datos, así como la revisión del avance y el monitoreo de la costo-efectividad de las acciones mediante reportes escritos periódicamente.
- Crear instrumentos económicos tanto para financiar de manera sostenible el programa ambiental de la CAME, como para influir en los cambios del comportamiento social.
- Establecer mecanismos de cooperación entre las regiones de la CAME para las acciones propuestas y los programas de Megalópolis sobre transporte, desarrollo urbano, planificación ecológica y territorial.
- Evaluar y actualizar las capacidades de medición y predicción del programa actual de contingencia ambiental para incluir reglas y procesos robustos para alertar emergencias ambientales y fortalecer las capacidades institucionales y de comunicación.

Adicionalmente, la CCA-CAME destaca la necesidad de incorporar los resultados científicos y el juicio experto para el diseño de acciones y políticas de calidad del aire en la Megalópolis. A continuación se destacan algunas de las líneas de acción más importantes enumeradas por la CCA-CAME de acuerdo al sector de emisión.



Fuentes móviles

1) Programa integral de gestión de flotas privadas

- Revisar y establecer límites de emisión más estrictos en todos los Estados de la Megalópolis a través de los Programas de Verificación Vehicular Obligatorio de los Estados.
- Actualizar los estándares NOM-041, NOM-042 y NOM-047 hacia límites de emisión más estrictos para vehículos nuevos y usados.
- Modificar los programas de PVVO para incluir efectivamente el transporte de carga, el transporte público y motocicletas.
- En relación a los Verificentros: modificar los mecanismos financieros actuales para minimizar la corrupción; establecer sanciones efectivas a los infractores; aumentar su vigilancia utilizando mecanismos institucionales y de la sociedad civil.
- Reevaluar los programas: Hoy No Circula, Zonas de Baja Emisión, Parquímetros.
- Fortalecer los programas para promover el uso de tecnologías de control de emisiones.
- Fortalecer los programas de vigilancia (incluyendo por sensores remotos) para sancionar a los grandes emisores.
- Diseñar una política de comunicación pública de los logros, así como la conciencia pública sobre los beneficios de los programas de PVVO en la calidad del aire.

2) Transporte público

- Crear un Fondo para la Megalópolis para modernizar y mejorar la calidad y el servicio de los sistemas de transporte público. El fondo se usaría para crear un sistema integrado de transporte público sostenible.
- Acelerar la construcción de sistemas de transporte público masivo y semi-masivo en los Estados de la Megalópolis. Los sistemas deben tener un servicio de alta calidad, rentable y seguro.
- Aumentar la renovación de la flota mediante la eliminación anual de al menos el 30% de los microbuses con más de 10 años.
- Expedir la norma NOM-044 y actualizar la NOM-045.
- Aumentar sustancialmente la introducción de filtros de partículas utilizando diésel con contenido de azufre ultra bajo (ULS, por sus siglas en inglés), beneficiando a los corredores viales de los sistemas de transporte público masivo y semi-masivo.

-
- Establecer una estrategia para la introducción de diésel ULS en la región.

3) Transporte de carga

- Expedir la norma NOM-044 y actualizar la NOM-045.
- Desarrollar un programa para restringir la circulación de vehículos de carga altamente contaminantes en la zona metropolitana.
- Establecer un programa eficaz para verificar el cumplimiento de los estándares de peso, dimensiones y vehículos de transporte de carga altamente contaminantes.
- Establecer un programa para gestionar el movimiento de vehículos de carga, gestionar el volumen de tráfico, mejorar la logística y el tipo de vehículos.
- Fortalecer el programa federal "Transporte Limpio" y otros programas regulatorios locales.

Fuentes Industriales

- Establecer un programa de auditorías ambientales coordinado entre las autoridades federales y estatales para reducir las emisiones de precursores de ozono y material particulado.
- Expedir la norma NOM-043 y desarrollar una Norma Emergente para compuestos orgánicos provenientes de fuentes industriales.
- Fortalecer los programas federales y locales para promover el uso de tecnologías limpias, equipos, procesos y combustibles.
- Acelerar las acciones de reducción de emisiones para el corredor Tula-Vito-Apasco-Tepeji, así como en las delegaciones y los municipios con mayor actividad industrial.
- Fortalecer los mecanismos de notificación y verificación de los COV y otras emisiones mediante la revisión de las sanciones y la verificación de los límites de emisión, así como la actualización de los criterios para el cierre o la reubicación de las fuentes.

Fuentes de área y biogénicas

- Expedir las normas NOM ASEA 01, 04 y 06 para reducir las emisiones evaporativas.



-
- Desarrollar un programa integrado para la reducción de fugas de GLP y acelerar el programa para la sustitución de cilindros de gas.
 - Fortalecer los programas de prevención de incendios, incluida la quema abierta de desechos y residuos agrícolas.
 - Implementar acciones para la recuperación de áreas erosionadas.
 - Implementar acciones para reducir la re suspensión del suelo y emisiones biogénicas.
 - Desarrollar un programa integrado para regular las emisiones provenientes del uso de pintura y solventes en actividades industriales.
 - Identificar los servicios y actividades comerciales altamente contaminantes e implementar acciones para reducir sus emisiones.

4.2. Soluciones de Fondo para Mejorar la Calidad del Aire del Valle de México

El documento "Soluciones de Fondo para Mejorar la Calidad del Aire del Valle de México" [CMM, 2016] preparado por el Centro Mario Molina (CMM), enfatiza la necesidad de implementar acciones drásticas para abordar los problemas interrelacionados de la calidad del aire y la congestión del tráfico en la ZMVM. Reconociendo que algunas de las acciones necesarias actualmente no cuentan con el respaldo de la opinión pública, el documento sugiere crear una estrategia de concientización para comunicar de manera efectiva la población los beneficios colaterales de su implementación. El documento indica que es necesario contar con un grupo integral de acciones para mejorar la calidad del aire en la ZMVM, abordando todas las fuentes de emisión relevantes y enfocándose en las acciones tanto a mediano como a largo plazo. Un programa integrado para abordar estos problemas debe contener al menos los siguientes cuatro elementos:

- 1) Un conjunto de acciones para reducir emisiones, priorizadas según su potencial, costo y tiempos de implementación;
- 2) Una propuesta de acciones para fortalecer la capacidad de medir y predecir las concentraciones de contaminantes;
- 3) Reglas y procesos robustos para tratar las contingencias ambientales; y
- 4) Una propuesta para fortalecer las capacidades institucionales y de comunicación.

El documento incluye además seis estrategias:

- 1) Acelerar el desarrollo de sistemas de transporte público de bajas emisiones que tengan alta calidad en el servicio y estén integrados a escala metropolitana.
- 2) Promover el uso eficiente de automóviles y tecnologías limpias.
- 3) Reducir drásticamente las emisiones del transporte de carga.
- 4) Actualizar las regulaciones para los programas de verificación de vehículos y su cumplimiento.
- 5) Reducir las emisiones contaminantes de las actividades industriales y la distribución de combustibles, así como prevenir y controlar los incendios.
- 6) Contener la expansión urbana para reducir la demanda de movilidad.

4.3. Consideraciones sobre la Situación Actual de Contaminación Atmosférica en el Centro de México

El documento "Consideraciones sobre la situación actual de contaminación atmosférica en el centro de México" [CCA-IG-UNAM, 2016] preparado por el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) y el Instituto de Geografía (IG) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) describe algunas de las condiciones meteorológicas y químicas que condujeron a los episodios de altos niveles de contaminación registrados a inicios de 2016 en la ZMVM. Además, el documento CCA-IG-UNAM enumera varias acciones que pueden implementarse para reducir las emisiones de precursores de ozono y mejorar la calidad del aire en la región.

El documento indica que los criterios de concentración de ozono para declarar una contingencia ambiental en la ZMVM se han reducido a lo largo de los años desde 1990. En ese momento la contingencia ambiental de la Fase I se declaró en 265 ppb para ozono, mientras que el límite actual es de 155 ppb. Por lo tanto, la frecuencia de las contingencias ambientales por sí sola no es un buen indicador del progreso del control de la calidad del aire. En términos de concentraciones absolutas, el ozono en la ZMVM se ha reducido significativamente desde 1990 hasta 2010; desde entonces se ha estabilizado y no se han observado reducciones adicionales. Hay varios factores que han contribuido a la estabilización de las reducciones de ozono en la ZMVM. Estos incluyen la flota de vehículos en continuo crecimiento, la regulación inadecuada de los combustibles y otros. Las condiciones meteorológicas que favorecen la actividad fotoquímica y el estancamiento también pueden contribuir.

El documento destaca la necesidad de estudiar en detalle las fuentes de emisión, los factores que controlan los procesos fotoquímicos y la meteorología en la región.



Además, también es importante estudiar los impactos del crecimiento urbano, la movilidad y el transporte en las emisiones. Por ejemplo, el crecimiento extensivo de áreas de población con baja densidad en la periferia de la ciudad puede afectar considerablemente la participación del modo de transporte dentro de la ciudad.

El documento indica que los programas PVVO y "Hoy No Circula" han sido beneficiosos para renovar la flota de vehículos. Sin embargo, sugieren que no hay evidencia directa de que el mandato de restringir la circulación del 20% de la flota (una acción que forma parte de la contingencia ambiental) durante el episodio de contaminación de abril de 2016 haya tenido un impacto efectivo. Por el contrario, esta restricción podría haber inducido un uso más intensivo de taxis y otros vehículos que a menudo son altamente contaminantes. Proponen que el programa también considere otras fuentes de emisión, que incluyen: motocicletas, fugas de GLP y emisiones evaporativas de gasolina. El programa también debería involucrar directamente a las fuentes de emisión en los municipios que rodean a la Ciudad de México. Las propuestas generales descritas en el documento CCA-IG-UNAM se agrupan en acciones a corto, mediano y largo plazo y se resumen a continuación.

Acciones corto plazo

- Revisar los criterios para activar contingencias ambientales considerando el transporte de contaminantes, la hora del día, el día de la semana, condiciones y pronóstico del clima, ubicación de estaciones de monitoreo de calidad del aire, etc., y tomar en cuenta los cambios en la infraestructura y el desarrollo tecnológico.
- Incorporar una fase previa a la contingencia utilizando los pronósticos meteorológicos y de calidad del aire como medida preventiva para la activación de la contingencia de la Fase I.
- Incluir los municipios periféricos que rodean a la Ciudad de México en la implementación de todos los programas de control de emisiones en la ZMVM de todos los municipios periféricos que rodean la Ciudad de México.
- Promover el uso eficiente de las carreteras y los modos de transporte a través de una mejor señalización, organización de paradas de autobús, minibuses, taxis, apoyo de la policía de tráfico durante las horas de congestión y en áreas específicas, y la sincronización de los semáforos.

Acciones a mediano plazo

- Actualizar los estándares para inducir apropiadamente una renovación continua de la flota de vehículos basada en eficiencia energética y tecnologías más limpias.
- Fortalecer las regulaciones para incluir conceptos tales como carga crítica, ciclo de vida y huella de carbono en la documentación de Manifestaciones del Impacto Ambiental (MEI) y durante la solicitud de cambios en el uso del suelo para desarrollos habitacionales y la construcción de grandes centros comerciales.
- Fortalecer la CAME estableciendo mecanismos de consulta obligatoria con el Consejo Asesor Científico y la comunidad científica cuando sea necesario.
- Implementar un programa para renovar los cilindros de gas y los tanques estacionarios de gas LP, a fin de reducir las fugas al medio ambiente.
- Implementar pronósticos meteorológicos orientados al transporte y la dispersión de contaminantes para apoyar la toma de decisiones.

Acciones a largo plazo

- Diseñar regulaciones que incentiven la renovación y modernización tecnológica de la flota de vehículos y otros sistemas de transporte motorizado.
- Implementar las recomendaciones del PROAIRE 2011-2020.
- Consolidar la gestión del ordenamiento territorial, la gestión ambiental y la vigilancia ambiental, con la colaboración obligatoria entre los gobiernos estatales y municipales e introducir mecanismos de vigilancia del cumplimiento ciudadano.
- Implementar un plan de eficiencia energética para mejorar la quema y venteo de gas, evitar fugas y promover el uso de calentadores solares de agua.
- Implementar controles de emisión de motocicletas.
- Reducir las emisiones de los vehículos de construcción y agrícolas.
- Establecer un laboratorio de emisiones para vehículos y otros sistemas de combustión para estudiar la reactividad de combustibles, gasolina, biocombustibles y otros.
- Mejorar la planeación urbana para restringir la expansión urbana en tierras agrícolas y de conservación y regular el uso de la tierra en áreas de densidad de población media y alta.



- Diseñar un programa integral que promueva la reducción de emisiones y el ahorro de energía en el transporte, mejore la calidad y la seguridad del transporte público.
- La densificación de las áreas urbanas existentes alrededor de los nodos del transporte masivo y el transporte de la semi-masivo conduce a una mejor movilidad y accesibilidad. Promover la creación de una red metropolitana de transporte público que ampliará e integrará las redes de BRT existentes (Metrobús y Mexibús) y ampliará la red de Metro.

4.4. Estrategias para Mitigar la Contaminación Atmosférica en la Ciudad de México: mejores prácticas internacionales



El Foro Internacional del Transporte (ITF) en la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y el Banco de Desarrollo para América Latina (CAF) junto con la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA) convocaron un taller para legisladores en la Ciudad de México y la Zona Metropolitana circundante en enero de 2017 para analizar las estrategias de mitigación de la contaminación del aire con sus pares en otras ciudades importantes y con expertos en tecnologías de control de emisiones vehiculares. El objetivo fue proporcionar información sobre las opciones más efectivas a corto y largo plazo sobre la base de la experiencia internacional. El ITF publicó un informe que presenta los resultados del taller junto con sus propios informes sobre la contaminación del aire y las estrategias de mitigación en la Ciudad de México y los recientes hallazgos de investigaciones sobre

las emisiones de los vehículos en condiciones reales de manejo. Las siguientes son las recomendaciones clave presentadas en el informe:

- Consolidar el uso de las verificaciones con el sistema de diagnóstico a bordo en el Programa de Verificación Vehicular Obligatorio de vehículos.
- Mejorar el Programa de Verificación Vehicular Obligatorio para incluir la inspección técnica mecánica de los vehículos y medir emisiones de partículas ultrafinas. La buena condición de los neumáticos, clutches, frenos y otros componentes mecánicos es importante para el control de emisiones y la seguridad. Las partículas emitidas por los procesos de desgaste son tóxicas y pueden representar casi la mitad de todas las emisiones de PM10 por el uso de vehículos. Incluir revisiones mecánicas en las inspecciones vehiculares creará una cultura de mantenimiento que mejorará la calidad del aire. También es importante controlar emisiones de partículas ultrafinas. La medición de los números de partículas debe incluirse en anticipación a la creación de futuras regulaciones de emisiones contaminantes de vehículos y para monitorear el impacto de la tecnología de inyección directa en motores en a gasolina en la contaminación por material particulado.
- Adoptar sin demora los estándares de emisiones de vanguardia para vehículos a diésel de servicio pesado. La Ciudad de México ya incentiva el uso de la última generación de camiones y autobuses eximiéndolos de las restricciones de uso introducidas para controlar la contaminación del aire. Los estándares deben ser adoptados a nivel nacional para todos los vehículos nuevos sin demora.
- Verificar las emisiones del vehículo en condiciones reales de operación. La verificación de las emisiones de los vehículos que cumplan con los estándares de la EPA y Euro a altitudes típicas de la Ciudad de México debe ser realizada por el Instituto Mexicano del Petróleo como una cuestión prioritaria.
- Actualizar continuamente el sistema de restricciones al uso de vehículos en la Zona Metropolitana del Valle de México y mejorar el cumplimiento. Se debe introducir una mayor diferenciación de las restricciones para incentivar la compra de vehículos más limpios y ligeros. Los acuerdos recíprocos para la aplicación y el cobro de multas por contravenir las restricciones deben ser acordados entre los Estados que participan en la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME).
- Introducir progresivamente una zona de bajas emisiones en la ciudad y considerar el uso de peaje. El sistema actual de restricciones regulares sobre el uso de vehículos más contaminantes podría ser reemplazado ventajosamente por una zona de bajas emisiones en toda la ciudad,



utilizando el sistema existente de inspección, clasificación e identificación de vehículos. También se necesitarán mecanismos específicos para reducir la congestión, incluidos el peaje en carreteras y cargos por congestión.

- Diferenciar el impuesto sobre la propiedad del vehículo para proporcionar incentivos para la utilización de automóviles más limpios. También se necesitarán mecanismos específicos para reducir la congestión. El peaje en carreteras y las tarifas de congestión son herramientas efectivas para esto, junto con el uso más generalizado de los cargos de estacionamiento.
- Introducir incentivos para el diésel y la gasolina de ultra bajo en azufre a nivel nacional. La experiencia internacional sugiere que la diferenciación tributaria para asegurar que el precio en la bomba de los combustibles ultra bajos en azufre sea competitivo produciría un cambio al 90% de combustibles limpios en el espacio de uno o dos años.
- Reducir la velocidad en autopistas y carreteras de circunvalación. El límite de velocidad de 80 km/h en autopistas urbanas y circunvalaciones introducidas en Ciudad de México en 2015 debería adoptarse en toda la Zona Metropolitana del Valle de México y aplicarse para garantizar que los vehículos operen con mayor frecuencia en el rango de 50 a 90 km/h en el que las tecnologías de control de emisiones funcionan mejor.
- Gestionar el estacionamiento de manera más efectiva. La extensión del programa Ecoparq de cargos por estacionamiento en la vía pública en toda la Zona Metropolitana del Valle de México es un paso importante para establecer una estrategia efectiva para la gestión del tráfico.
- Mejorar las alternativas de transporte sostenible para autos y taxis. Las medidas para mejorar la planificación estratégica y la coordinación de los servicios de transporte público establecidos en el programa PROAIRE deben perseguirse como una cuestión de alta prioridad, que incluye reformar las concesiones de autobuses, mejorar el acceso a las estaciones de Metro y Metrobús y proteger la infraestructura para caminar y andar en bicicleta.
- Consolidar iniciativas para integrar el uso del suelo y la planificación del transporte. Se debe establecer un Plan Maestro de Movilidad para la Zona Metropolitana, que vincule la asignación de fondos a las prioridades establecidas conjuntamente por las autoridades estatales y federales. La CAME parece ser la institución regional más efectiva disponible para establecer dicho plan.
- Mejorar los programas de actualización con inspección, mantenimiento y certificación de calidad.
- Introducir regulaciones de emisiones para vehículos que operan fuera de carretera y maquinaria móvil. La maquinaria de construcción para edificios, carreteras, etc. actualmente no está regulada. Deben introducirse controles

de emisiones para vehículos y maquinaria nuevos. El desarrollo de restricciones en el uso de esta maquinaria se debe considerar durante las alertas de contaminación.

- Invertir más en la comunicación con el público sobre el desarrollo de nuevas medidas contra la contaminación. Las propuestas de nuevas medidas deberían estar sujetas a consulta pública. Los datos sobre la eficacia de las medidas adoptadas deberían difundirse periódicamente a través de informes públicos.



PARTE 2: RESULTADOS DEL TALLER

1. RESUMEN DE PUNTOS CLAVE



Las sesiones del primer día del taller brindaron información sobre antecedentes de hallazgos técnico-científicos más recientes sobre emisiones, transporte y transformación de contaminantes, impactos en la salud pública y pronósticos de calidad del aire. Los expositores compartieron experiencias internacionales en el control de la contaminación del aire en otras grandes ciudades. Las discusiones sobre estos temas se incluyen en los resúmenes del segundo día del taller.

En el segundo día también se incluyeron presentaciones sobre sectores clave de emisiones en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), que incluye las 16 alcaldías de la Ciudad de México (CDMX), 59 municipios del Estado de México (EDOMEX) y el municipio de Tizayuca en el Estado de Hidalgo. Las presentaciones se centraron en la comprensión actual de las características de emisión para cada sector e incluyeron recomendaciones de políticas públicas sobre calidad del aire para reducir la contaminación del aire tanto en la CDMX como en la ZMVM. Las siguientes secciones

resumen los puntos clave de las presentaciones de los dos días y las discusiones entre los participantes del taller al final de cada presentación.

En todas las medidas propuestas es necesario evaluar los costos involucrados y los mecanismos posibles de financiamiento, así como las barreras potenciales para la implementación. Mejorar la comunicación pública sobre los beneficios de las nuevas medidas de control para reducir las emisiones de fuentes de áreas pequeñas. La sensibilización del público y la participación activa e informada de las partes interesadas son clave para el éxito y la sostenibilidad de las políticas ambientales.

1.1. Monitoreo de la Calidad del Aire

El gobierno de la CDMX ha apoyado decididamente un programa de monitoreo de la calidad del aire ambiente desde la década de 1980. Como resultado, el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT) tiene una amplia capacidad de recolección de datos y actualmente es uno de los más avanzados de América Latina. El SIMAT está formado por cuatro redes de monitoreo (Automática, Manual, de Deposición Atmosférica y Meteorológica), un Centro de Monitoreo de la Calidad del Aire, un Laboratorio de Análisis Ambiental y un Centro de Datos. Se necesita una cantidad importante de recursos para mantener, mejorar y expandir las capacidades de SIMAT como una herramienta eficiente de gestión de la calidad del aire.



Los siguientes aspectos fueron identificados como áreas de oportunidad de mejora del SIMAT.

1.1.1. **Gestión del Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire**

- Revisar el presupuesto anual para la operación del programa de monitoreo de la calidad del aire con el fin de asegurar que se proporcionen los recursos suficientes para vigilancia de los contaminantes criterio, el depósito atmosférico y la meteorología. Actualmente para su operación anual requiere de al menos un presupuesto de 15 millones de pesos, lo que asegura una operación adecuada del SIMAT que permita el logro de sus objetivos.
- La emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) es uno de los principales problemas de la calidad del aire, ya que son precursores del ozono. Algunos COV son tóxicos y la atmósfera de la Ciudad de México es altamente sensible a su emisión, considerando los resultados de la modelación fotoquímica y las mediciones de la calidad del aire. Se ha detectado que todavía hay fuentes de COV para las cuales se requiere caracterizar sus especies químicas. Además, es necesario conocer el perfil temporal de las emisiones y concentraciones de los COV en la modelación fotoquímica y mejorar la especiación de estos compuestos considerando su toxicidad.
- Caracterizar el perfil de actividad de las empresas y servicios que emiten COV. Existen pocos perfiles disponibles y no están actualizados.
- Revisar y en su caso actualizar la Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012, sobre el establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire, para garantizar que en los sistemas de monitoreo de calidad del aire del país se lleve a cabo la medición de los contaminantes criterio de forma estandarizada, que considere las nuevas tecnologías y las necesidades emergentes de un conocimiento más profundo de la calidad del aire de cada ciudad.
- Mejorar la coordinación entre las entidades gubernamentales locales en el Área Metropolitana de la Ciudad de México para integrar y optimizar el desempeño del monitoreo de la calidad del aire en la región.
- Con la finalidad de mejorar la información generada sobre el monitoreo atmosférico, así como ampliar su cobertura espacial y de contaminantes, es necesario incrementar el personal técnico del SIMAT y conseguir intercambios o estancias internacionales para capacitación de dicho personal.
- Continuar el fortalecimiento de la colaboración con instituciones académicas nacionales e internacionales en la planificación e implementación de campañas en campo con la red de monitoreo ambiental.

-
- Actualizar los reglamentos y normas federales relacionadas con el monitoreo de la calidad del aire, que incluyan los métodos de monitoreo, los criterios de diseño de la red, la actualización y mejora de los equipos; además de los procedimientos y auditorías de aseguramiento y control de calidad.
 - Mejorar la divulgación de datos de calidad del aire a corto plazo a través de las redes sociales para aumentar la conciencia pública.
 - Desincentivar el uso de pirotecnia y el pintado automotriz en la vía pública pues se han detectado picos ocasionales de concentraciones de plomo derivados de estas prácticas, que pudieran repercutir en elevados niveles de exposición a este contaminante entre algunos grupos poblacionales.

1.1.2. Infraestructura del Sistema de Monitoreo de Calidad del Aire

- Renovar los equipos para las redes de calidad del aire ambiente automáticas y sus manuales. El SIMAT debe actualizarse constantemente para proporcionar información confiable y continua. Esto incluye lo siguiente: reforzar el equipamiento utilizado en monitoreo, con la finalidad de asegurar la calidad de los datos; implementar tecnología y equipos de monitoreo atmosférico que reduzcan costos de operación y mantenimiento.
- Actualizar los instrumentos continuos y semi-continuos utilizados para la medición de los contaminantes criterio en la red de monitoreo de la calidad del aire. Debido a los bajos niveles de dióxido de azufre y monóxido de carbono, se recomienda el uso de instrumentos con suficiente capacidad para detectar concentraciones traza.
- Investigar el uso de los llamados monitores ambientales de "bajo costo" que actualmente pueden proporcionar evaluaciones cualitativas de los niveles de calidad del aire en coberturas espaciales de mayor detalle. Sin embargo, se debe tener cuidado en la interpretación de la información generada cuando se aplique a la toma de decisiones.
- Actualizar y optimizar el Centro de Información de la Calidad del Aire de SEDEMA, aprovechando las nuevas soluciones de tecnologías de la información.
- Ampliar el monitoreo atmosférico a zonas periféricas de acuerdo al continuo crecimiento de la mancha urbana y a las necesidades emergentes de estudio de algunos contaminantes. Para ello se deben establecer los propósitos específicos del monitoreo, con la determinación de contaminantes a medir, áreas de medición y frecuencia de la misma, que incluya el establecimiento de puntos críticos de medición y perfiles temporales de interés.
- Se propone realizar estudios sobre exposición personal a la contaminación en grupos ocupacionalmente expuestos como los despachadores de combustible en



estaciones de servicio, choferes de taxis y de vehículos de transporte público, vendedores ambulantes y policías de crucero, entre otros.

- Invertir en el fortalecimiento de la infraestructura para el monitoreo de contaminantes adicionales a los medidos regularmente como por ejemplo: COV, amoniaco, aerosoles, composición elemental de partículas finas, cuyo conocimiento es necesario para una adecuada gestión de la calidad del aire. En el caso de los COV, la experiencia del Estado de California sugiere que una medición cada 12 días de estos contaminantes permitiría evaluar los riesgos de exposición a algunos COV tóxicos.
- Invertir en la infraestructura para la mejora de las mediciones de los parámetros meteorológicos, a nivel de superficie y en perfil vertical, así como en la instrumentación para evaluar la evolución de la capa límite y el balance energético, a fin de proporcionar mejor información para el pronóstico y la gestión general de calidad del aire.
- La inversión en infraestructura para el monitoreo de contaminantes adicionales deberá contar con la participación y apoyo del Estado de México y de los otros estados circunvecinos a la CDMX.

1.2. Inventario de Emisiones

La SEDEMA integra y actualiza el inventario de emisiones de la ZMVM en cumplimiento con las regulaciones mexicanas cada dos años. El inventario de emisiones incluye las emisiones de contaminantes criterio, tóxicos y compuestos de efecto invernadero tanto para el CDMX como para el Estado de México. El Inventario de Emisiones año base 2016 se acaba de publicar e incluye una estimación de las emisiones del municipio de Tizayuca, Hidalgo.

Las emisiones se actualizaron con el uso de nuevos modelos, como el Emissions and Dispersion Modeling Systems (EDMS) y el Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature (MEGAN), y la adaptación del modelo Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES) a las condiciones de la CDMX (MOVES-CDMX). Los cambios metodológicos en el inventario incluyen la adición de nuevas categorías de emisión y cuantificación de contaminantes criterio por tratamiento biológico de residuos, partículas por heces de mascotas y dióxido de carbono por consumo de cigarrillos, categorías ya reportadas en inventarios anteriores.

Los siguientes puntos clave se identificaron como las áreas de oportunidad más importantes para mejorar la elaboración del inventario de emisiones de la ZMVM como una herramienta fundamental para una adecuada gestión de la calidad del aire.

1.2.1. Desarrollo del Inventario:

- Elaborar guías metodológicas que permitan la estandarización en la preparación de los inventarios de emisiones para que puedan usarse en la modelación fotoquímica y en los sistemas de pronóstico de la calidad del aire.
- Los inventarios de emisiones locales, estatales y nacionales deben incluir la estimación de la incertidumbre, así como la documentación y memoria de cálculo detallados.
- Mejorar la colaboración y el intercambio de datos de emisiones entre el EDOMEX y la CDMX, con la posibilidad de extenderlo a los otros cinco estados que conforman la Megalópolis: Hidalgo, Morelos, Puebla, Tlaxcala y Querétaro. De esta forma se podría generar un inventario de emisiones homologado y aprobado para su aplicación en sistemas de pronóstico, modelado fotoquímico y formulación de políticas y acciones costo-efectivas para la reducción de emisiones contaminantes. Esta recomendación debe ser coordinada a nivel metropolitano.
- Establecer un laboratorio de medición de emisiones para la CDMX para validar los factores de emisión y con ello tener mayor certeza en la estimación del inventario de emisiones contaminantes. Esto se puede lograr mediante el uso de tecnologías como la medición por sensores remotos y la incorporación de datos de actividad usando datos telemáticos.
- Mejorar los datos de actividad para las fuentes de emisiones en los municipios del Estado de México, en particular para la flota de vehículos e industrias.
- Iniciar el desarrollo de datos de actividad para las fuentes de emisiones diferenciados por los fines de semana, días festivos.
- Automatizar la renovación, ingreso y manejo de la documentación de la Licencia Ambiental Única (LAU) y de la Cédula de Operación Anual (COA), para eficientizar el manejo de la información al reducirse tiempos y errores de captura. La automatización debe incluir la migración a formato electrónico de la LAU. Estos dos instrumentos de regulación proveen insumos fundamentales para la estimación de emisiones a la atmósfera y para la aplicación de la normatividad aplicable a fuentes fijas.
- Continuar mejorando los métodos, las suposiciones y las fuentes de datos para el inventario de emisiones a nivel nacional (INEM) y local. Esta es una recomendación que debe ser coordinada a nivel federal.
- Homogeneizar los dominios espaciales del inventario de emisiones y PROAIRE.
- Re-calcular las emisiones de los inventarios de emisiones anteriores utilizando las herramientas recientemente desarrolladas. Este conjunto de datos históricos



reanalizados ayudará a evaluar el desempeño de los modelos en diversas condiciones de COV/NOx y la eficiencia de las medidas de control ambiental aplicadas con anterioridad.

- Establecer un depósito de base de datos relevantes para la elaboración de inventarios de emisiones que incluya entre otros: el almacenamiento de resultados científicos; datos de actividad; perfiles de emisión por fuente; y bases de datos de factores de emisión.
- Fortalecer la colaboración con la academia y los expertos para incorporar mejor los resultados científicos en el desarrollo del inventario de emisiones. Es necesario desarrollar modelos de tráfico y generar insumos más detallados sobre datos de actividad para: vialidades pavimentadas y no pavimentadas; uso de solventes, lavado en seco y uso de pinturas; cargas de sedimento y contenido de humedad del suelo. Adicionalmente se deben actualizar factores de emisión de partículas provenientes de unidades pesadas, tanto de escape como por desgaste de frenos y llantas, y determinar el contenido de COV en productos químicos de uso doméstico, comercial e industrial.

1.2.2. Evaluación del Inventario

- Promover evaluaciones independientes del inventario de emisiones, utilizando tanto mediciones directas como herramientas de modelación.
- Aplicar nuevas técnicas de medición para identificar: fuentes de emisiones no contabilizadas y fuentes de emisión emergentes.
- Incorporar técnicas de detección remota (incluidas las mediciones satelitales) en el análisis de datos para comprender las tendencias espaciales y estacionales de PM2.5, NO2, NH3 y otros contaminantes.
- Desarrollar una mayor comprensión de las fuentes y la variabilidad estacional de COV, la composición de PM y NH3 a través de mediciones ambientales continuas.

1.2.3. Emisiones y Estrategias de control por Sector

Las siguientes secciones resumen los puntos clave de las presentaciones por sector y las discusiones posteriores de los participantes del taller.

A) Sector Transporte

Antes de describir las diversas medidas necesarias para reducir las emisiones contaminantes provenientes del sector transporte es fundamental reconocer que la demanda de viajes en la ZMVM tiene una estrecha relación con los usos del suelo y en particular la ubicación de las viviendas con respecto a los principales centros de trabajo. Por tanto, a fin de limitar la necesidad de generar más viajes con recorridos cada vez mayores en distancia y tiempo, es indispensable llevar a cabo una planificación integral y sustentable del desarrollo urbano y habitacional en la ZMVM en la que participen de manera coordinada las autoridades de CDMX, EDOMEX y las del gobierno federal.

Es necesario que el crecimiento y transformación futuros de la ZMVM busque promover que la ciudad sea cada vez más compacta, con mayor densidad poblacional en sus áreas centrales (que ya cuentan con todo tipo de servicios incluyendo transporte público) y que mejore continuamente su conectividad respondiendo a los principales corredores de origen y destino. Con un crecimiento urbano sustentable se reducirá el número de viajes necesarios, los tiempos promedio de traslado, el consumo de combustibles y las emisiones contaminantes asociadas con los viajes motorizados.

La planificación urbana sustentable requiere de una estrecha colaboración de autoridades responsables de diferentes carteras tanto a nivel local como federal: medio ambiente, transporte, desarrollo urbano, vivienda y obras públicas. Esta forma de planificación conllevará enormes beneficios tanto en la reducción de emisiones contaminantes que afectan la salud como en la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero.





Es necesario que el crecimiento y transformación futuros de la ZMVM busque promover que la ciudad sea cada vez más compacta, con mayor densidad poblacional en sus áreas centrales (que ya cuentan con todo tipo de servicios incluyendo transporte público) y que mejore continuamente su conectividad respondiendo a los principales corredores de origen y destino. Con un crecimiento urbano sustentable se reducirá el número de viajes necesarios, los tiempos promedio de traslado, el consumo de combustibles y las emisiones contaminantes asociadas con los viajes motorizados.

Áreas de oportunidad y mejora para reducir emisiones del sector transporte:

- Promover y ampliar significativamente la infraestructura para el transporte no motorizado (ciclismo y caminar); mejorar el transporte público en su seguridad, confiabilidad, conectividad y comodidad; y establecer plataformas logísticas en la periferia de la ciudad para cargar y descargar mercancías, evitando la circulación de vehículos pesados en la ciudad.

-
- Establecer estacionamientos públicos en los principales Centros de Transferencia Modal, así como un compromiso real del servicio de transporte público en cuanto a eficiencia y puntualidad.
 - Llevar a cabo las estrategias de vehículos pesados que no se implementaron en el PROAIRE, así como crear nuevas acciones para el control de emisiones. Aunque son sólo una pequeña fracción de la flota, los vehículos a diésel tienen un gran impacto en la calidad del aire y en la salud por contribuir con el 42% de las emisiones de partículas finas, el 80% del carbono negro y el 39% de óxidos de nitrógeno en la Ciudad de México.
 - Actualizar la normatividad federal sobre niveles permisibles de emisiones contaminantes en vehículos a diésel para acelerar la introducción de vehículos con mejores tecnologías de control como los EURO VI o EPA2010. Dado que la ZMVM cuenta ya con combustibles de bajo contenido de azufre es importante acelerar la introducción de estas tecnologías de control en esta zona, impidiendo el uso de unidades obsoletas.
 - En el caso de los vehículos nuevos a gasolina es urgente actualizar las normas de emisiones contaminantes incluyendo los aspectos de durabilidad (tiempo en el que las unidades mantienen emisiones bajas después de su venta), las de eficiencia de combustible (emisiones de bióxido de carbono) y corregir las deficiencias y ambigüedades de la normatividad referente a las características de los sistemas de diagnóstico a bordo (OBD-II).
 - Ampliar los programas de control de emisiones y mantenimiento para vehículos pesados de flotas pequeñas y medianas que operan en la ZMVM.
 - Fortalecer y trabajar de forma coordinada con las autoridades federales con la finalidad de mejorar significativamente el desempeño y capacidades de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) para que garantice el cumplimiento de la normatividad ambiental. Es conveniente revisar las atribuciones de la PROFEPA, ya que su tarea principal es hacer cumplir la normatividad en materia ambiental. Áreas de mejora significativa para PROFEPA son: exigir a PEMEX y a los nuevos comercializadores de combustibles que suministren sólo gasolinas y diésel de ultra-bajo contenido de azufre en todo el país; verificación en planta del cumplimiento de las normas de emisiones en vehículos nuevos y de la incorporación de sistemas de diagnóstico a bordo funcionales y con el número y tipo de sensores adecuados para monitorear el desempeño del vehículo.
 - Reforzar aún más en campo la vigilancia y fiscalización de emisiones vehiculares por medio de tecnologías como el uso de sensores remotos de manera permanente e intensa. Este tipo de sensores, junto con las nuevas tecnologías inteligentes en los vehículos como los sistemas OBD II de última generación.





- Brindar un sustento jurídico sólido a los sistemas de detección remota de emisiones para su uso en el control de vehículos ostensiblemente contaminantes y como apoyo a la vigilancia de vehículos contaminantes y para el seguimiento de los resultados y desempeño de los centros de verificación vehicular.
- Promover vehículos de alta eficiencia energética como los eléctricos, híbridos de bajo cilindraje y subcompactos de alta eficiencia, por medio de incentivos diferenciales que se incluyan en el próximo PROAIRE. Prohibir la producción informal de vehículos eléctricos como es el caso en India y China con los vehículos eléctricos de baja velocidad (LSEV) y bajo costo.
- Evaluar la instalación de equipos de control de emisiones contaminantes en las motocicletas que se vendan y circulen en la ZMVM, dado el rápido incremento del número de estos vehículos en circulación. Adicionalmente se deben incentivar los programas de introducción de motos eléctricas. Los programas y normatividad deberán enfocarse a las motocicletas nuevas.
- Revisar los criterios para evaluar la efectividad de los programas Hoy no Circula (HNC) y de Verificación Vehicular Obligatoria (VVO) para incluir no solo la antigüedad de la flota de vehículos, sino también el tamaño de la flota y los cambios de comportamiento en los modos de transporte.
- Evaluar el potencial de la utilización de los programas HNC y VVO para promover el uso de nuevas tecnologías y a los vehículos más limpios y eficientes, como se hizo en su momento con el esquema DOBLE CERO, que permitió acelerar la introducción de normas de emisiones más estrictas para vehículos nuevos.

-
- Profundizar la comunicación al público sobre los beneficios ambientales y de salud de los programas HNC y VVO, para que la información no quede limitada a las obligaciones y restricciones con las que deben cumplir los automovilistas.
 - Ampliar la transparencia en la gestión de los programas HNC y VVO para mejorar su eficacia e implementación. Esto requiere fortalecer en toda la ZMVM el combate a la corrupción presente en los centros de verificación, cancelando las concesiones a aquellos establecimientos reincidentes en el uso de prácticas de corrupción.
 - Utilizar las bases de datos de las campañas de los sensores remotos para identificar a centros de verificación con prácticas de corrupción y para publicar los perfiles de comportamiento de los diferentes modelos y marcas de vehículos que se venden en México para que los consumidores conozcan los que tienen el mejor y el peor desempeño ambiental.
 - Desarrollar actividades y programas de investigación con participación de la academia y de expertos en áreas como: desarrollo de pruebas de nuevas tecnologías; técnicas de aprendizaje automático para detectar sitios de elevadas emisiones (hot spots); programas de conducción inteligente para mejorar la eficiencia y reducir las emisiones de los vehículos pesados.
 - Realizar estudios de exposición humana para probar la efectividad de las estrategias de mitigación de emisiones a nivel de calle y dentro de vehículos del sistema de transporte público, comparando los resultados con los de estudios de exposición previos realizados dentro de diferentes tipos de vehículos en la CDMX.
 - Involucrar a las comunidades y grupos no gubernamentales en estudios de monitoreo y detección de áreas de alta contaminación por medio del uso de sensores de contaminantes de bajo costo.
 - Diseñar y evaluar un programa de generación de energía solar distribuida como parte de la introducción en un futuro cercano de un programa de gran escala de vehículos eléctricos y de vehículos híbridos enchufables.
 - Realizar estudios de transporte, incluyendo los siguientes:
 - Utilizar modelos de tráfico como insumo de información de actividad vehicular (flujo, velocidad, distribución) para los modelos de calidad del aire.
 - Llevar a cabo estudios y mediciones sobre emisiones evaporativas considerando las características de la flota de la ZMVM, las condiciones meteorológicas y las características de los combustibles.
 - Actualizar factores de emisión de transporte pesado y la generación de perfiles de especiación de emisiones evaporativas y del escape de los vehículos de la ZMVM, incluyendo la determinación de las emisiones de antimonio.
 - Estimar factores de emisión de partículas provenientes del frenado y llantas de los vehículos, principalmente de vehículos pesados.



- Investigar la carga y composición del sedimento presente en vialidades con y sin pavimento, para evaluar los posibles efectos a la salud de la exposición a partículas re-suspendidas. Lo anterior es muy relevante si consideramos que se estima que la actividad vehicular, dentro de la ZMVM, en las vialidades contribuye con alrededor del 15% de las emisiones de PM2.5.
- Realizar estudios actualizados sobre las tendencias y patrones de movilidad para identificar medidas adicionales a las arriba descritas que permitan mejoras adicionales a la calidad del aire de la ZMVM. Por su importancia relativa, el sector transporte continuará siendo el principal componente del diseño e implementación de los programas de calidad del aire en la ZMVM.



B) Fuentes Fijas

- Mejorar los protocolos de recolección de datos (formato, frecuencia, tipo de datos, etc.) para fuentes federales y locales a través de modificaciones en la Licencia Ambiental Única, la Cédula de Operación Anual y otra normatividad aplicable.
- Mejorar la colaboración y el intercambio de datos de actividad para fuentes puntuales entre el Estado de México y CDMX.
- Promover estudios sobre la especiación química de las emisiones de COV y PM de fuentes puntuales: ambos son relevantes para la salud humana y los impactos en la calidad del aire.
- Revisar y actualizar el marco legal, regulatorio y normativo aplicable a las fuentes fijas, poniendo especial atención a las normas que establecen los límites de emisión de contaminantes para este tipo de fuentes. Dicha revisión debe realizarse con una visión metropolitana, para cubrir a todo tipo de establecimiento ya sea con normatividad local o federal. y subsecuentemente establecer un estricto programa de vigilancia tanto en CDMX como en el EDOMEX.
- Reforzar de manera importante las áreas de inspección y fiscalización de la PROFEPA y de las procuradurías ambientales de la CDMX y del EDOMEX para garantizar un cumplimiento estricto de las nuevas normas y reglamentos a prueba de corrupción. El refuerzo debe de incluir capacitación al personal y equipamiento de punta incluyendo sensores remotos que permitan medir con precisión y a distancia las emisiones reales de las empresas en cualquier momento del día.
- Investigar la contribución de fuentes informales en el inventario de emisiones. Para ello es conveniente diseñar un esquema de regulación complementario a la LAU, que comprenda a los pequeños establecimientos y al comercio informal. Adicionalmente es necesario estimar factores de emisión para los tipos de comercio informal más comunes en los que se consumen combustibles, como los son los puestos de comida. Se deben consultar las bases de datos de la Secretaría de Hacienda y la de Economía como primer paso para cuantificar las emisiones del comercio informal.
- Mejorar los enfoques para estimar las emisiones de fuentes pequeñas y abundantes, por ejemplo, lavanderías y otros sitios donde se manejan o comercializan solventes como tlapalerías.
- Reducir las emisiones de COV en las industrias de la CDMX y del EDOMEX. Los estudios de monitoreo y de modelación de la calidad del aire en la ZMVM muestran que tenemos abundantes emisiones de COV que constituyen un factor



fundamental en las altas concentraciones de ozono que se forman en la atmósfera de la ciudad. Entre las medidas de control se proponen: limitar el consumo de pinturas base solvente; revisar y actualizar las normas para regular el contenido de COV en insumos industriales y domésticos. Finalmente, es deseable que se lleve a cabo una medición continua de las industrias más contaminantes que cuentan con emisiones de COV.

- Fortalecer la normatividad actual que ya es antigua y crear nuevas normas, principalmente de partículas y COV.

C) Fuentes de Área e Impactos en Vegetación

- Implementar y fiscalizar adecuadamente mejores sistemas de control de emisiones en estaciones de servicio (gasolineras) y estudiar la exposición personal de los despachadores de combustible.
- Regular el contenido de COV en productos de cuidado personal, pinturas y recubrimientos, así como campañas de comunicación para concienciar a la población sobre este tipo de productos. Regular talleres de imprenta y pintura.
- Mejorar la evaluación de la resuspensión del polvo en zonas erosionadas desprovistas de vegetación, que puede ser una fuente importante de emisión de material particulado a nivel regional. Esto incluye generar información sobre las diferentes variables involucradas en el cálculo (humedad del suelo, carga de sedimentos); Actualizar los programas de reforestación para promover el uso de barreras naturales para reducir las emisiones de partículas del suelo.
- Limitar el contenido y emisiones de COV en diversos productos, especialmente aquellos altamente reactivos y de elevada toxicidad para la población como por ejemplo algunos solventes. Para ello se debe actualizar y refinar el diagnóstico de los productos que más se utilizan para cuantificar el contenido de COV por medio de la especiación de estos compuestos.
- Considerando que la contaminación del aire por ozono y otros oxidantes fotoquímicos también afectan la vegetación, es conveniente aumentar el monitoreo atmosférico en las áreas rurales alcanzadas por la contaminación del aire proveniente de la ZMVM.
- Llevar a cabo los siguientes estudios: 1) evaluación de los efectos de la deposición atmosférica en el suelo y su afectación a la vegetación y la productividad de los cultivos; 2) evaluar las posibles acciones de adaptación a los impactos del cambio climático y a altos niveles de ozono, como por ejemplo: selección de variedades resistentes de cultivos; aplicación de buenas prácticas; desarrollo de agricultura urbana, etc. 3) evaluación de los servicios ambientales

que se prestan bajo estrés oxidativo; 4) Impactos de la mejora de la calidad del aire en áreas agrícolas.

- Determinar perfiles de emisiones de partículas por heces de mascotas, categoría de reciente inclusión en el Inventario de Emisiones de la CDMX.

D) Sector Residencial

- Realizar una evaluación actualizada de las emisiones de gas licuado de petróleo (GLP) en los hogares, los comercios y durante la distribución de este energético.
- Promover el uso de paneles solares térmicos para calentar el agua y con ello disminuir de forma significativa el consumo de GLP, así como apoyar programas de detección de fugas y de reparación y sustitución de estufas antiguas para disminuir las fugas y los riesgos por accidentes.
- Promover el uso de tanques estacionarios en vez de cilindros intercambiables de menor capacidad así como el uso de calentadores eficientes de paso en vez de los calentadores con depósito de agua que son de mucha menor eficiencia.
- Investigar la influencia de las emisiones evaporativas de los productos de limpieza y cuidado personal en la formación de contaminantes secundarios.
- Realizar estudios sobre la exposición a la contaminación en interiores, incluyendo la evaluación de los impactos del uso de chimeneas de leña y del humo de tabaco.

E) Aguas Residuales

- Revisar los factores de emisión para el metano de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y ajustarlos considerando las condiciones locales de la ZMVM y las diferentes tecnologías utilizadas en cada planta. Algunos estudios recientes en México muestran diferencias con los factores de emisión propuestos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático.
- Promover estudios para determinar factores de emisión de metano en aguas colectadas pero que no son tratadas, ya que aproximadamente el 86% de las aguas residuales se van al drenaje sin tratamiento previo.
- Caracterizar el volumen y manejo de los lodos activados producidos por las aguas residuales tratadas (el 14% de las generadas) y determinar sus impactos ambientales y en particular sus emisiones de metano a la atmósfera.
- Promover estudios para evaluar las emisiones de ácido sulfhídrico (H₂S), amoníaco (NH₃), óxido nitroso (N₂O), metano, COT y COV en las plantas de tratamiento.



-
- Promover diversas estrategias de control de emisiones de metano (por ejemplo, el uso de sistemas de captura de gas, mejorar las prácticas de mantenimiento y las tecnologías de tratamiento).
 - Mejorar la estimación de las emisiones del “drenaje profundo” en la Ciudad de México en el inventario de emisiones. Es una importante fuente de emisiones de metano y COV tóxicos.

F) Quema de Biomasa

- Desarrollar factores locales de emisión de contaminantes y mejorar la recopilación de datos de actividad para reducir las incertidumbres en las estimaciones actuales de quema de biomasa en los hogares, quema de basura, ladrilleras, limpieza agrícola e incendios forestales. Determinar el perfil temporal de quema y la especiación de PM y compuestos orgánicos totales.
- Diseñar políticas y regulaciones para reducir la generación de desechos a escala local y regional y mitigar la quema de basura. Promover estudios que evalúen los impactos de la quema de biomasa a escala regional.
- Implementar un programa de seguimiento de la quema de residuos que incluya la evaluación de los efectos ambientales y de salud pública derivados de la quema a cielo abierto de residuos.
- Incorporar suficiente personal de vigilancia en rellenos sanitarios y verificar el cumplimiento en la gestión de residuos sólidos.

1.3. Ciencia Atmosférica

Hubo una importante mejoría de la calidad del aire desde la década de 1990 hasta aproximadamente 2010, a pesar de que durante ese período de tiempo hubo un incremento significativo de la flota vehicular, del consumo de combustibles y de la expansión de la mancha urbana de la ZMVM. Los datos obtenidos de las campañas de medición MCMA-2003 y MILAGRO 2006 ayudaron a comprender mejor la química en la región.

Sin embargo, desde 2010 la reducción de las concentraciones ambientales de ozono y PM finas han sido mucho menores que en la década anterior, lo que parece sugerir al menos dos tipos de conclusiones. En primer lugar, que ha habido cambios en las emisiones, la meteorología y la química atmosférica en la ZMVM. En segundo lugar, que las políticas implementadas en los últimos años han impedido un repunte de la contaminación a pesar de que las tendencias de crecimiento urbano y motorización continúan, pero no han logrado bajar considerablemente los niveles de contaminación.

Por tanto, ante condiciones cada vez más adversas, será indispensable contar con una sólida y rigurosa comprensión de los aspectos técnicos y de los procesos que controlan

hoy en día la formación de ozono y material particulado en la ZMVM. Con estos elementos científicos como base, deberá diseñarse e implementarse un nuevo programa de calidad del aire (PROAIRE) que intente alcanzar mayores reducciones de las emisiones y los picos de contaminación.

Los siguientes puntos clave fueron identificados como las actividades de investigación más importantes que pueden conducir a una mejor comprensión de los cambios en la química atmosférica de la ZMVM.

- Investigar la evidencia de que la sensibilidad COV/NO_x ha cambiado en la ZMVM en los últimos años. Mediciones continuas de COV (con especiación de múltiples compuestos), semanales o quincenales, son necesarios para comprender mejor los cambios en la reactividad de la atmósfera de la ZMVM y para evaluar el desempeño de los modelos utilizados para evaluar las estrategias de control de emisiones propuestas.
- Apoyar las actividades de medición y modelación destinadas a comprender los cambios en la química COV/NO_x en la ZMVM en los últimos años. Una nueva campaña de campo focalizada e intensiva ayudaría también a comprender los cambios en la química atmosférica.
- Utilizar los inventarios de emisiones y los datos ambientales revisados para probar y mejorar el desempeño de los sistemas de pronóstico de la calidad del aire.
- Realizar estudios de sensibilidad para definir tóxicos a monitorear dependiendo de su representatividad. Considerando la cantidad de COV emitidos a la atmósfera en el sector comercial y de servicios es el mayor emisor, seguido del transporte y la industria. Se recomienda estudiar con mayor profundidad la distribución horaria de estas emisiones las cuales repercuten principalmente en la formación de ozono.
- Llevar a cabo mediciones rutinarias de depositación ácida en la ZMVM, para identificar mejor sus principales fuentes y sus impactos. Debido a las afectaciones a la vegetación en las zonas agrícolas y forestales, se deberán realizar mediciones y caracterización del depósito atmosférico ya que de acuerdo con el SIMAT, durante 2015 alrededor del 62% de las muestras de depósito atmosférico húmedo analizadas reportaron un valor del pH menor a 5.6, que indica la presencia de lluvia ácida. La mayor frecuencia de episodios de lluvia ácida se observó en suelo de conservación.
- Evaluar detalladamente el desempeño de las herramientas de modelación de la calidad del aire utilizando mediciones de COV, NO_x y PM de alta resolución (por ejemplo, pruebas de tendencias de ozono, efectos de fin de semana y días



laborables) así como datos meteorológicos para capturar de mejor manera los picos de ozono.

- Investigar las variaciones espaciales de la composición de PM en la ZMVM a través de mediciones continuas, incluidos los precursores de aerosoles orgánicos e inorgánicos secundarios (COV, SO₂, NO_x, HONO, NH₃ y HNO₃).
- Realizar estudios para caracterizar fuentes emisoras de NH₃, que no están bien identificadas y podrían venir de la fabricación de productos químicos o bien provenir de los sistemas recolectores y de tratamiento de aguas residuales.
- Regular y fiscalizar adecuadamente el uso de gas LP y gas natural comprimido en vehículos automotores para que cumplan con requerimientos de seguridad y ambientales adecuados. Se deben controlar las fugas en las estaciones de recarga, actividad que ha pasado a ser competencia Federal, en donde existen varias áreas de oportunidad para mejorar y cuyo impacto respecto a la emisión de contaminantes no se conoce de manera precisa.
- Monitorear el desempeño de las tecnologías de control de emisiones en vehículos diésel de servicio pesado en condiciones reales de manejo, puesto que este tipo de vehículos tienen una alta importancia relativa en cuanto a sus emisiones de NO_x.
- Estudiar el efecto potencial de los proyectos de energía renovable y en particular de energía solar distribuida aunado a un programa de electro movilidad, para contribuir a la disminución de emisiones contaminantes en la ZMVM.
- Profundizar la evaluación del posible impacto negativo o positivo de la introducción de gasolinas con etanol en las zonas metropolitanas del país, como consecuencia de las modificaciones a la NOM-016 de calidad de combustibles. Esta evaluación debe incorporar simulaciones de química atmosférica con diferentes escenarios de uso de etanol, pero también debe evaluar los potenciales efectos adversos a la salud.
- Considerar los impactos del cambio climático en la calidad del aire en el nuevo PROAIRE.
- Realizar estudios para evaluar el impacto de las islas de calor urbano en las reacciones atmosféricas y del cambio climático, que empieza a repercutir en el incremento de los máximos de temperaturas alcanzados año con año en todo el país. Es bien conocida la relación entre temperatura y los procesos que determinan la formación de ozono y otros oxidantes fotoquímicos.
- Incorporar herramientas de modelación bien evaluadas (combinadas con observaciones) en el proceso de toma de decisiones sobre políticas de gestión de la calidad del aire. Dado que existe evidencia de cambios en la química atmosférica en la ZMVM, se deben promover nuevos estudios que ayuden a

evaluar las acciones antes de la implementación (por ejemplo, el uso de etanol en la gasolina).

- Desarrollar una estrategia para enfrentar el desafío de incorporar resultados científicos en el diseño de políticas específicas de control de emisiones en PROAIRE.

1.4. Impactos en la Salud por la Contaminación del Aire



Hay muchas acciones en el PROAIRE. La mayoría de ellas están relacionados en última instancia con la disminución de los impactos de la calidad del aire en la salud humana, pero PROAIRE también enumera explícitamente estrategias para proteger la salud pública, incluyendo: 1) actualizar las regulaciones, 2) fortalecer el sistema de alerta temprana, 3) la comunicación de riesgos, 4) la actualización del programa de contingencias ambientales, 5) prevenir impactos del clima en la salud, 6) establecer un sistema para la evaluación de los costos de los impactos en la salud y 7) rediseñar y actualizar el SIMAT.

La calidad del aire ha mejorado con respecto a 1990, lo que sugiere que se han logrado beneficios importantes para la salud en términos de reducir la exposición crónica. Sin embargo, los estándares de calidad del aire todavía no se cumplen en la ZMVM.

El estudio de colaboración entre SEDEMA y la Escuela de Salud Pública de Harvard desde 2014 es parte de las estrategias recientes para mejorar la información con la que se cuenta para la toma de decisiones en materia de calidad del aire. El objetivo fue estimar los beneficios en salud pública relacionados con las mejoras a largo plazo en la



calidad del aire en el CDMX. Los estudios confirmaron que la contaminación del aire es uno de los principales factores de riesgo de muerte prematura. En el caso de la CDMX, se estima que existen alrededor de 2000 muertes prematuras por año por exposición a PM2.5 y aproximadamente 200 por exposición al ozono. Los siguientes son algunas de las recomendaciones clave del estudio que se adelantaron durante el taller:

- Investigar la toxicidad para partículas e impactos a exposiciones crónicas. También es necesario implementar un sistema para evaluar los costos por los impactos en la salud y mejorar aún más el sistema de alerta temprana.
- Mejorar la recopilación de datos en el sistema de salud en México, los cuales son inadecuados para investigar los impactos de la exposición a contaminantes del aire. Esta mejora incluye la recopilación de datos con una mejor resolución temporal y espacial, diagnósticos y datos históricos de exposición.
- Realizar estudios epidemiológicos de dosis-respuesta, así como estudios que relacionen los beneficios económicos y en salud por reducción de emisiones contaminantes considerando las condiciones específicas de la Ciudad de México.
- Incluir al ruido como un contaminante atmosférico. Integrar estudios y mediciones de ruido en los estudios de campo en los que se evalúa la química atmosférica.
- Realizar estudios y modelaciones de formación de partículas secundarias y ultrafinas, considerando toxicidad y reactividad tomando en cuenta que el tamaño de las partículas es inversamente proporcional a los daños a la salud de las personas.
- Actualizar continuamente los estándares de calidad del aire para la protección de la salud humana.

1.5. Comunicación y Participación con las Partes Interesadas

El éxito y la sostenibilidad de las políticas ambientales dependen en gran medida de elevar considerablemente el nivel de conciencia pública y de la participación activa e informada de los interesados. Los cambios permanentes en las actitudes y el comportamiento requieren el desarrollo de una cultura ambiental. Para alcanzar estos objetivos se recomienda:

- Involucrar a las partes y actores relevantes interesados y al público en general en el diseño e implementación de estrategias de reducción de emisiones; esto incluye el desarrollo de campañas de información sobre los beneficios de la reducción de emisiones para la población y la promoción de asociaciones públicas/privadas para el mejoramiento ambiental.
- Aumentar la conciencia pública sobre los impactos de la calidad del aire para promover cambios positivos en la reducción de la exposición y las prácticas de comportamiento (por ejemplo, quema de basura).
- Apoyar el fortalecimiento de los sistemas de vigilancia epidemiológica, de alerta y vigilancia.
- Considerar el uso de indicadores cuantitativos de la efectividad de las medidas políticas en el nuevo PROAIRE. Las medidas deben estar claramente definidas en los protocolos de implementación y evaluación, así como los cronogramas para la implementación. Los procedimientos de verificación deben incluir revisiones internas y externas.
- Fortalecer la coordinación regional integral (monitoreo del aire ambiente, inventario de emisiones y estrategias de control de emisiones) entre los estados de la Megalópolis y también la colaboración entre los tres niveles de gobierno y con el poder legislativo también.



2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



Una revisión de las cuatro décadas de gestión de la calidad del aire en la Ciudad de México nos lleva a las siguientes conclusiones.

- La Ciudad de México ha realizado importantes avances hacia la solución de los problemas de contaminación atmosférica a través de programas integrales de gestión de la calidad del aire basados en consideraciones científicas, técnicas, sociales y políticas.
- La Ciudad de México también ha integrado planes de acción de calidad del aire y cambio climático en el diseño de política ambiental para obtener potenciales beneficios sinérgicos, tales como las normas de control de emisiones para vehículos, renovación del transporte público y promoción del transporte no motorizado, los programas Hoy No Circula y Programa de Verificación Vehicular Obligatorio, programas de eficiencia energética para edificios públicos y privados, mejoras en la recolección y eliminación de residuos sólidos con soluciones más eficientes.

-
- Las normas de calidad del aire y el programa de contingencias ambientales se han hecho más estrictas, reconociendo la evidencia científica que ha documentado impactos a la salud asociados con concentraciones cada vez más bajas de contaminación.
 - Las concentraciones atmosféricas de plomo, dióxido de azufre y monóxido de carbono se han reducido significativamente y están por debajo de los estándares actuales de calidad del aire. Disminuyeron además notablemente las concentraciones de ozono y de partículas PM₁₀ y PM_{2.5}, pero estos contaminantes todavía se encuentran en niveles que están lejos de cumplir con las normas de calidad del aire respectivas.
 - Se deben implementar medidas de control adicionales que requerirán inversiones sustanciales, en particular en el sector del transporte, así como decisiones políticas firmes del Gobierno Federal y las autoridades de los Gobiernos del Estado de México y la Ciudad de México.
 - La gestión adecuada de la calidad del aire debe incluir el análisis y la evaluación de los siguientes componentes en la cuenca:
 - inventario detallado de las emisiones de fuentes contaminantes;
 - modelación del transporte y dispersión de contaminantes;
 - monitoreo atmosférico de contaminantes, y la determinación de los patrones espaciales y temporales de sus concentraciones;
 - la identificación y evaluación de los impactos en la salud a través de la exposición y estudios epidemiológicos.
 - Sobre la base de esta información técnico-científica, deben formularse e implementarse los reglamentos, normas y políticas públicas para la reducción de emisiones contaminantes, que junto con una vigilancia adecuada que garantice su aplicación y cumplimiento adecuados, conducirán a una mejora progresiva de la calidad del aire.
 - Mejorar la coordinación y colaboración metropolitana y regional.
 - Involucrar a las partes interesadas y al público en general en el diseño e implementación de estrategias de reducción de emisiones; esto incluye el



desarrollo de campañas de información sobre los beneficios de la reducción de emisiones para la población. Un resultado exitoso será llegar a estrategias de control integradas que sean implementadas y aceptadas de manera efectiva por el público.

Las siguientes son recomendaciones específicas para los diferentes aspectos de la calidad del aire mencionados anteriormente.

2.1. Visión General

Es necesario mejorar la coordinación y colaboración metropolitana y regional en las diferentes tareas relacionadas con la gestión de la calidad del aire, tales como: monitoreo atmosférico, desarrollo del inventario de emisiones, y el desarrollo, implementación y aplicación de medidas de control. Los programas de verificación de vehículos, el “Hoy no Circula” y la inspección y control de industrias y actividades contaminantes deben aplicarse con los mismos estándares y efectividad regionalmente, para eliminar las obvias asimetrías que existen actualmente entre la Ciudad de México y el Estado de México. Se debe fortalecer la colaboración entre los seis estados de Megalópolis y con las autoridades municipales correspondientes.

La ZMVM, que incluye 16 delegaciones de la Ciudad de México (CDMX), 59 municipios del Estado de México (EDOMEX) y el municipio de Tizayuca en el Estado de Hidalgo, es el dominio geográfico más relevante. La ZMVM es el centro de atención de este documento porque contiene la gran mayoría de las fuentes de emisión que determinarán los patrones espaciales y temporales de contaminación en la cuenca regional y es donde la aplicación de medidas de control y programas debe homogeneizarse.

2.2. Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire

El Gobierno de la Ciudad de México ha apoyado firmemente un programa de monitoreo de la calidad del aire ambiente desde la década de 1980. Como resultado, el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT) tiene una amplia capacidad de recolección de datos. En vista de los cambios en las fuentes de emisiones y los contaminantes y la expansión de las áreas urbanas a la periferia, es necesario asignar recursos adecuados para mantener, expandir y mejorar las capacidades de SIMAT como una herramienta eficiente de gestión de la calidad del aire.

A continuación se enumeran algunas áreas de oportunidad para fortalecer la red de monitoreo de calidad del aire:

- Garantizar el presupuesto para la operación, actualización y mantenimiento de la red de monitoreo, incluyendo el Laboratorio de Análisis Ambiental y el Centro de Datos.
- Fortalecer la coordinación entre el gobierno de la CDMX y las entidades que integran la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME) para asegurar control de calidad adecuado de los contaminantes monitoreados. Es necesario también homologar las actividades de mantenimiento y operación de los equipos de monitoreo para garantizar la comparabilidad y confiabilidad de sus mediciones.
- Aumentar la inversión en infraestructura y personal para monitorear contaminantes adicionales como los compuestos orgánicos volátiles (COV) tóxicos y reactivos, la composición de partículas, el amoníaco (NH_3) y medición de parámetros meteorológicos en la vertical.
- Investigar el uso de los monitores ambientales de "bajo costo" que pueden usarse en campañas para evaluar la calidad del aire o la exposición en circunstancias espaciales y temporales particulares.
- Ampliar el monitoreo atmosférico a zonas periféricas de acuerdo al crecimiento de la mancha urbana para asegurar una cobertura adecuada.

2.3. Inventario de fuentes de emisiones de contaminantes

El Gobierno de la Ciudad de México, a través de SEDEMA, integra y actualiza el inventario de emisiones cada dos años en cumplimiento con las regulaciones mexicanas. El nuevo inventario de emisiones para el año 2016 incluye las emisiones de 16 delegaciones de la CDMX, 59 municipios del Estado de México y el municipio de Tizayuca, Hidalgo. Incluye las emisiones de contaminantes criterios, tóxicos, el carbono negro y de gases de efecto invernadero; cuenta con varias mejoras en cuanto al número y la especificidad de las categorías de emisión reportadas, y el uso del modelo MOVES-México adaptado para el CDMX. Sin embargo, todavía hay grandes brechas de información que afectan las incertidumbres en el inventario. A continuación se enumeran las áreas de oportunidad más importantes para mejorar el uso del inventario



de emisiones de la ZMVM como herramienta de gestión de la calidad del aire en el nuevo PROAIRE.

- Actualizar factores de emisión para partículas provenientes de unidades pesadas y COV en productos químicos de uso doméstico y comercial.
- Desarrollar modelos de tráfico y generar insumos más detallados sobre datos de actividad para diferentes días de la semana (así como días festivos); vialidades pavimentadas y no pavimentadas.
- Iniciar el desarrollo de datos de actividad para las fuentes de emisiones diferenciados por los fines de semana y días festivos.

2.3.1. Sector Transporte-Fuentes Móviles

Dado que la demanda de viajes en la ZMVM así como su duración y distancia tienen una estrecha relación con los usos del suelo y en particular la ubicación de las viviendas con respecto a los principales centros de trabajo, es indispensable llevar a cabo una planificación integral y sustentable del desarrollo urbano y habitacional en la ZMVM.

La planificación urbana sustentable requiere de una estrecha colaboración de autoridades responsables de diferentes carteras tanto a nivel local como federal: medio ambiente, transporte, desarrollo urbano, vivienda y obras públicas. Esta forma de planificación conllevará enormes beneficios tanto en la reducción de emisiones contaminantes que afectan la salud como en la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Es necesario que el crecimiento y transformación futuros de la ZMVM busque promover que la ciudad sea compacta, con mayor densidad poblacional en sus áreas centrales (que ya cuentan con todo tipo de servicios) y que mejore su conectividad atendiendo con más y mejor transporte público a los principales corredores de origen y destino. Con un crecimiento urbano sustentable se reducirá el número de viajes necesarios, los tiempos promedio de traslado, el consumo de combustibles y las emisiones contaminantes asociadas con los viajes motorizados.

Las siguientes son áreas de oportunidad y mejoras para reducir las emisiones del sector transporte y crear un sistema sostenible para el transporte, la movilidad y un entorno saludable:

Tecnología de vehículos y combustibles

- Implementar un programa de gran escala de retrofit de filtros de partículas para reducir las emisiones de los vehículos a diésel de pasajeros (autobuses), por su gran impacto en la salud por contribuir de forma significativa a las emisiones de partículas finas, óxidos de nitrógeno y carbono negro.
- Promover vehículos de alta eficiencia energética como los eléctricos, híbridos de bajo cilindraje y subcompactos de alta eficiencia; por ejemplo, por medio de incentivos vinculados con la tenencia, la exención de la verificación, pagos en parquímetros y en zonas donde se lleguen a aplicar cargos por congestamiento.
- El Gobierno Federal debe actualizar con urgencia la normatividad federal sobre: niveles permisibles de emisiones contaminantes en vehículos a diésel (introducir vehículos EURO VI o EPA2010); emisiones en vehículos nuevos a gasolina (incluyendo criterios más estrictos de durabilidad); eficiencia de combustible (emisiones de bióxido de carbono por kilómetro) y corregir las deficiencias y ambigüedades de la normatividad referente a los sistemas de diagnóstico a bordo (OBD-II). Es importante considerar que la edad de la flota federal en promedio es de 15 a 18 años, contra 10 años en otros países.
- El Gobierno Federal también debe exigir a PEMEX y a los nuevos comercializadores de combustibles que suministren sólo gasolinas y diésel de ultra-bajo contenido de azufre en todo el país; verificación en planta del cumplimiento de las normas de emisiones en vehículos nuevos y de la incorporación de sistemas de diagnóstico a bordo funcionales y con el número y tipo de sensores adecuados para monitorear el desempeño del vehículo.
- No se deben introducir cambios en la composición del combustible en el CDMX hasta que se hayan realizado estudios adecuados y completos (por ejemplo, etanol). Actualmente el acuerdo publicado para la actualización de la NOM-016 de calidad de los combustibles, propuso el incremento de contenido de etanol al 10% en las gasolinas, excepto en las zonas metropolitanas.
- Plantear un reto a la industria automotriz para fabricar vehículos híbridos y eléctricos a precios más accesibles para el transporte público principalmente,



pero también para reemplazar los vehículos convencionales de combustión interna utilizados para la movilidad individual.

Transporte Público

- Ampliar significativamente la cobertura de los sistemas de Metrobús así como concluir con la sustitución de microbuses por autobuses a diésel de alta tecnología. Fiscalizar estrechamente la operación del transporte público concesionado para garantizar que se brinde un adecuado mantenimiento de las unidades reduciendo de esta manera la contaminación y los accidentes.
- Integrar los autobuses urbanos/suburbanos de manera más efectiva con el metro, proporcionando así importantes servicios de alimentación a las estaciones terminales del metro.
- Reducir los subsidios para el transporte público y utilice los ingresos adicionales generados para la mejora de la operación y el mantenimiento.

Vehículos Privados y Motocicletas

- Establecer incentivos para la introducción de vehículos de baja emisión, como los automóviles eléctricos e híbridos, así como las motocicletas eléctricas.
- Evaluar la instalación de equipos de control de contaminación en motocicletas que se venden y conducen en la ZMVM, dado el rápido aumento en el número de estos vehículos en circulación. Además, los programas de introducción de motocicletas eléctricas deben ser alentados. Los programas y reglamentos deben centrarse en las motocicletas nuevas.
- Diseñar un programa con medidas para el control de la demanda de los viajes realizados en automóviles privados, el cual debe considerar entre otras acciones como: extender la cobertura de los parquímetros y elevar sus tarifas, y cargos por congestionamiento por acceso a la zona céntrica de la metrópoli (como el esquema aplicado en Londres).

Transporte de Carga

- Controlar las emisiones de carbono negro y otros contaminantes provenientes de los camiones de carga por medio de programas de instalación de trampas de partículas y catalizadores de oxidación.
- Establecer plataformas logísticas en la periferia de la ciudad para cargar y descargar mercancías, evitando la circulación de vehículos pesados en la ciudad.

Programas de Verificación y “Hoy No Circula”

- Reforzar la vigilancia y fiscalización de emisiones vehiculares por medio de campañas permanentes con sensores remotos. Además, analizando las bases de datos generadas con estos sensores se puede identificar a centros de verificación con prácticas de corrupción y también informar a los consumidores sobre las emisiones de los diferentes modelos y marcas de vehículos que se venden en México.
- Proporcionar incentivos para aumentar la tasa de renovación de los camiones, taxis, microbuses y automóviles privados, por ejemplo, aumentar gradualmente la tenencia y el impuesto de propiedad anual para que los vehículos más antiguos paguen cantidades más altas. Los ingresos adicionales se pueden utilizar para subsidiar la rotación de la flota y adaptar vehículos adecuados con dispositivos de control de emisiones.
- Revisar los criterios para la aplicación de los programas Hoy no Circula (HNC) y de Verificación Vehicular Obligatoria (VVO) para no solo incluir las emisiones de contaminantes de las diferentes clases de vehículos, sino también las posibles diferencias en los usos de los diferentes modos de transporte (kilómetros recorridos, distribución temporal de los viajes, etc.). Actualmente la edad promedio de los autos a gasolina en la CDMX es de 6.5 años.
- Evaluar el potencial de modificar la implementación de los programas HNC y VVO para promover el uso de nuevas tecnologías y de vehículos más limpios y eficientes, como se hizo en su momento con el esquema DOBLE CERO, que permitió acelerar la introducción de normas de emisiones más estrictas para vehículos nuevos.



Movilidad

- Desarrollar políticas metropolitanas de transporte público que enlacen con rutas suficientes y eficientes a los municipios conurbados con la CDMX.
- Promover y ampliar significativamente la infraestructura para el transporte no motorizado (ciclismo y caminar); mejorar el transporte público en su seguridad, confiabilidad, conectividad y comodidad.
- Desarrollar e implementar un sistema regional integrado de gestión del uso de suelo, el transporte, y la calidad del aire que involucre la cooperación cercana de las autoridades relevantes (medio ambiente, transporte, desarrollo urbano y obras públicas) con la participación pública.
- Realizar estudios de transporte (incluyendo actividad vehicular, flujo, velocidad, etc.) como insumo para los modelos de tráfico y los de calidad del aire, estimación de emisiones, así como actualizar la información sobre tendencias y patrones de movilidad (origen y destino).

Vehículos Fuera de Carretera

- Diseñar estrategias de control de emisiones y estándares de emisiones para vehículos fuera de carretera en uso. Actualmente, no hay un padrón de unidades ni legislación disponible sobre niveles de emisiones para estos vehículos en México, y no existen incentivos legales para instalar tecnologías de control de emisiones. Debido a su durabilidad, los vehículos fuera de carretera a menudo se mantienen en servicio durante varias décadas y, por lo tanto, sus emisiones aumentan con el tiempo más rápido en comparación con los vehículos en carretera cuyas emisiones disminuyen con las mejoras tecnológicas.

Otros

- Desarrollar actividades y programas de investigación con participación de la academia y de expertos en áreas como: desarrollo de pruebas de nuevas tecnologías; técnicas de aprendizaje automático para detectar sitios de elevadas emisiones (hot spots); programas de conducción inteligente para mejorar la eficiencia y reducir las emisiones de los vehículos pesados.

□

2.3.2. Fuentes Fijas

- Revisar y actualizar el marco legal, regulatorio y normativo aplicable a las fuentes fijas, poniendo especial atención a las normas que establecen los límites de emisión de contaminantes para este tipo de fuentes. Dicha revisión debe realizarse con una visión metropolitana.
- Promover estudios sobre la especiación química de las emisiones de COV y PM de fuentes puntuales; ambos son relevantes para la salud humana y los impactos en la calidad del aire. Por ejemplo, la campaña de monitoreo de aerosoles AERAS 2013-2014 realizada por la SEDEMA. En 2017 la SEDEMA adquirió un sistema TAG-GC/MS (Thermal Desorption Aerosol-Gas), equipo con el cual se podrá conocer la composición de algunos compuestos orgánicos primarios y secundarios y determinar la contribución y posibles fuentes contaminantes.
- Regular y fiscalizar adecuadamente el uso de gas LP y gas natural comprimido en vehículos automotores para que cumplan con requerimientos de seguridad y ambientales adecuados, incluyendo el control de las fugas en las estaciones de recarga.
- Reducir las emisiones de COV en las industrias de la CDMX y del EDOMEX. Limitar el consumo de pinturas base solvente; revisar y actualizar las normas para regular el contenido de COV en insumos industriales y domésticos.
- Reforzar de manera importante las áreas de inspección y fiscalización de la PROFEPA y de las procuradurías ambientales de la CDMX y del EDOMEX para garantizar un cumplimiento estricto de las nuevas normas y reglamentos a prueba de corrupción. El refuerzo debe de incluir capacitación al personal y equipamiento de punta incluyendo sensores remotos que permitan medir con precisión y a distancia las emisiones reales de las empresas en cualquier momento del día.
- Mejorar los protocolos de recolección de datos (formato, frecuencia, tipo de datos, etc.) para fuentes federales y locales a través de modificaciones en la Licencia Ambiental Única (en particular, para la CDMX se requiere de la automatización del trámite), la Cédula de Operación Anual y otra normatividad aplicable. Adicionalmente, mejorar la colaboración y el intercambio de datos de actividad para fuentes puntuales entre el Estado de México y CDMX.



2.3.3. Fuentes de Área y Sector Residencial

- El Gobierno Federal debe implementar y fiscalizar adecuadamente mejores sistemas de control de emisiones en estaciones de servicio (gasolineras) y estudiar la exposición personal de los despachadores de combustible.
- Regular el contenido de COV en productos de cuidado personal, pinturas, solventes y recubrimientos (como se hace por ejemplo en Los Ángeles, EE.UU.) a nivel regional, así como campañas de comunicación para concienciar a la población sobre este tipo de productos. Regular talleres de imprenta y pintura.
- Evaluar las emisiones de gas licuado de petróleo (GLP) en los hogares, los comercios y durante la distribución de este energético.
- Promover el uso de paneles solares térmicos para calentar el agua y con ello disminuir de forma significativa el consumo de GLP, así como apoyar programas de detección de fugas y de reparación y sustitución de estufas antiguas para disminuir las fugas y los riesgos por accidentes. Promover el uso de tanques estacionarios en vez de cilindros intercambiables y eliminar los calentadores a gas con depósito de agua, para dejar lugar sólo a los calentadores de paso, que tienen mayor eficiencia.

2.3.4. Tratamiento de Aguas Residuales

- Revisar los factores de emisión para el metano de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y ajustarlos considerando las condiciones de la ZMVM y las tecnologías utilizadas en cada planta.
- Promover estudios para evaluar las emisiones de ácido sulfhídrico (H_2S), amoníaco (NH_3), óxido nitroso (N_2O) y compuestos orgánicos volátiles (COVs) en las plantas de tratamiento.
- Promover diversas estrategias de control de emisiones de metano (por ejemplo, el uso de sistemas de captura de gas, mejorar las prácticas de mantenimiento y las tecnologías de tratamiento).

2.3.5. Quema de Biomasa

- Desarrollar factores de emisión de partículas $PM_{2.5}$ y compuestos orgánicos (incluyendo su especiación) y recopilar datos de actividad relacionados con la quema de basura, hornos ladrilleros, limpieza agrícola e incendios forestales.
- Implementar un programa de seguimiento de la quema de residuos que incluya la evaluación de los efectos ambientales y de salud pública derivados de la quema a cielo abierto de residuos.

2.4. Ciencia Atmosférica

A lo largo de los últimos 20 años ha habido una reducción significativa de las concentraciones atmosféricas de contaminantes en la ZMVM, lo que refleja cambios en las emisiones de contaminantes. La meteorología y la química atmosférica también han cambiado con los años y por tanto es necesario garantizar que se sigue contando con una sólida y rigurosa comprensión de los aspectos técnicos y de los procesos que controlan hoy en día la formación de ozono y material particulado en la ZMVM. Con estos elementos científicos como base, deberá diseñarse e implementarse un nuevo programa de calidad del aire (PROAIRE) que intente alcanzar mayores reducciones de las emisiones y los picos de contaminación. Además, dado que hay evidencia de cambios en la química atmosférica en la ZMVM desde las principales campañas de medición de campo (MCMA-2003 y MILAGRO-2006), se deben promover nuevos estudios que ayuden a comprender los cambios en las fuentes y el procesamiento de emisiones y la evaluación de acciones estratégicas *antes* de su implementación.

Entre las actividades prioritarias de investigación para el apoyo a la gestión de la calidad del aire en la ZMVM se han identificado las siguientes:

- Investigar por medio de campañas de mediciones continuas la sensibilidad del ozono al COV y NO_x en la ZMVM y si pudo haber tenido cambios en los últimos años. Una nueva campaña de campo enfocada e intensiva también ayudaría a comprender los cambios en la atmósfera química de la ZMVM y asegurar que los modelos proporcionen información confiable sobre las estrategias de regulación propuestas.
- Mejorar el rendimiento de los sistemas de pronóstico de la calidad del aire utilizando inventarios de emisiones y datos ambientales actualizados.



-
- Evaluar los posibles impactos negativos o positivos causados por la introducción de gasolina con etanol en las áreas metropolitanas del país, como resultado de las modificaciones a la NOM-016 de la calidad del combustible. Esta evaluación debe incorporar simulaciones de química atmosférica con diferentes escenarios de uso de etanol, pero también debe evaluar los posibles efectos adversos para la salud.
 - Profundizar el análisis del incremento en la temperatura atmosférica en la calidad del aire en la ZMVM. El impacto de la meteorología en la contaminación del aire se puede incluir en el análisis de los datos de contaminantes para ver si algunas de las tendencias recientes de contaminantes del aire se deben a cambios en la meteorología (temperatura, humedad, velocidad del viento, alturas de mezcla) o si son un resultado de las emisiones cambiantes. También se debe explorar la fuerza variable del efecto de isla de calor urbano.
 - Investigar las variaciones espaciales de $PM_{2.5}$ en la ZMVM a través de mediciones continuas, incluidos los precursores de aerosoles secundarios (COV, SO_2 , NO_x , HONO, NH_3 y HNO_3).
 - Monitorear el desempeño de las tecnologías de control de emisiones de NO_x y partículas en vehículos diésel de servicio pesado en condiciones reales de manejo.
 - Desarrollar un programa práctico de observación para documentar los cambios en la exposición debido a cambios importantes en las emisiones para comprender mejor los efectos en la salud de las acciones de gestión de la calidad del aire.
 - Investigar los impactos de la contaminación del aire en la vegetación: 1) evaluación de los efectos de la deposición atmosférica en el suelo y su afectación a la vegetación y la productividad de los cultivos; 2) evaluar las posibles acciones de adaptación a los impactos del cambio climático y a altos niveles de ozono, como por ejemplo: selección de variedades resistentes de cultivos; aplicación de buenas prácticas; desarrollo de agricultura urbana, etc. 3) evaluación de los servicios ambientales que se prestan bajo estrés oxidativo; 4) impactos de la mejora de la calidad del aire en áreas agrícolas.

2.5. Impactos en la Salud por Contaminación del Aire

El estudio de colaboración entre SEDEMA y la Escuela de Salud Pública de Harvard iniciado en 2014 ha demostrado que ha habido importantes beneficios en salud en la población de la ZMVM como resultado de la notable mejoría en la calidad del aire que ha ocurrido en los últimos 20 años. A pesar de este hallazgo, el estudio estima que aún existen alrededor de 2000 muertes prematuras por año por exposición a $PM_{2.5}$ y aproximadamente 200 por exposición al ozono.

Las principales recomendaciones del estudio son:

- Mejorar la recopilación de datos en el sistema de salud en México, incluyendo una mejor resolución temporal y espacial, diagnósticos y datos históricos de exposición.
- Realizar estudios sobre exposición personal a la contaminación en grupos ocupacionalmente expuestos como los despachadores de combustible en estaciones de servicio, choferes de taxis y de vehículos de transporte público, vendedores ambulantes y policías de crucero, entre otros.
- Realizar estudios epidemiológicos de dosis-respuesta, así como estudios que relacionen los beneficios económicos y en salud asociados con la reducción adicional de emisiones contaminantes a futuro.
- Apoyar el fortalecimiento de los sistemas de alerta y vigilancia epidemiológica, mejorando la captura, estandarización y sistematización de datos en las clínicas y hospitales de la ZMVM.
- Realizar estudios de exposición humana para probar la efectividad de las estrategias de mitigación de emisiones a nivel de calle y dentro de vehículos del sistema de transporte público, comparando los resultados con los de estudios de exposición previos realizados dentro de diferentes tipos de vehículos en la CDMX.
- Realizar estudios sobre la exposición a la contaminación en interiores, incluyendo la evaluación de los impactos del uso de chimeneas de leña y del humo de tabaco.
- Revisión del Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas, para actualización de umbrales e inclusión de un esquema de activación por $PM_{2.5}$.
- Dar continuidad al índice personal de riesgo, así como ampliar el programa a toda la población.



2.6. Comunicación y Participación con las Partes Interesadas

El éxito y la sostenibilidad de las políticas ambientales dependen en gran medida de elevar considerablemente el nivel de conciencia pública y de la participación activa e informada de los interesados. Los cambios permanentes en las actitudes y el comportamiento requieren el desarrollo de una cultura ambiental. Para alcanzar estos objetivos se recomienda:

- Ampliar la divulgación de los datos de calidad del aire a través de las redes sociales para aumentar la conciencia pública. Esto ayudará a aumentar la conciencia pública sobre los impactos de la calidad del aire para promover cambios positivos en la reducción de la exposición y las prácticas de comportamiento (por ejemplo, quema de basura).
- Ampliar la comunicación al público sobre los beneficios ambientales y de salud de los programas HNC y VVO, para que la información no quede limitada a las obligaciones y restricciones con las que deben cumplir los automovilistas.
- Involucrar a las partes interesadas y al público en general en el diseño e implementación de estrategias de reducción de emisiones; esto incluye el desarrollo de campañas de información sobre los beneficios de la reducción de emisiones para la población.
- Involucrar a las comunidades y grupos no gubernamentales en estudios de monitoreo y detección de áreas de alta contaminación por medio del uso de sensores de contaminantes de bajo costo.





La siguiente tabla lista las recomendaciones anteriormente descritas, junto con el nivel de prioridad y tiempos de implementación sugeridos, los cuales fueron seleccionados en consulta con las autoridades de SEDEMA.

Categoría	Subcategoría	Acciones	Prioridad	Tiempos de implementación sugeridos
			Alta=3; Media=2	Corto plazo (1-2 años) = 3; Mediano plazo (3-5 años) = 2
Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Calidad del Aire		Garantizar el presupuesto para la operación, actualización y mantenimiento de la red de monitoreo, incluyendo el Laboratorio de Análisis Ambiental y el Centro de Datos.	Alta	Corto
		Fortalecer la coordinación entre el gobierno de la CDMX y las entidades que integran la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME) para asegurar control de calidad adecuado de los contaminantes monitoreados. Es necesario también homologar las actividades de mantenimiento y operación de los equipos de monitoreo para garantizar la comparabilidad y confiabilidad de sus mediciones.	Alta	Corto
		Aumentar la inversión en infraestructura y personal para monitorear contaminantes adicionales como los compuestos orgánicos volátiles (COV) tóxicos y reactivos, la composición de partículas, el amoníaco (NH ₃) y medición de parámetros meteorológicos en la vertical.	Alta	Mediano
		Investigar el uso de los monitores ambientales de "bajo costo" que pueden usarse en campañas para evaluar la calidad del aire o la exposición en circunstancias espaciales y temporales particulares.	Media	Mediano
		Ampliar el monitoreo atmosférico a zonas periféricas de acuerdo al crecimiento de la mancha urbana para asegurar una cobertura adecuada.	Media	Mediano
		Actualizar factores de emisión para partículas provenientes de unidades pesadas y COV en productos químicos de uso doméstico y comercial.	Alta	Mediano
		Desarrollar modelos de tráfico y generar insumos más detallados sobre datos de actividad para diferentes días de la semana (así como días festivos); vialidades pavimentadas y no pavimentadas	Media	Mediano
		Iniciar el desarrollo de datos de actividad para las fuentes de emisiones diferenciados por los fines de semana y días festivos.	Media	Mediano
Fuentes Móviles - Sector Transporte	Tecnología de vehículos y combustibles	Implementar un programa de gran escala de retrofit de filtros de partículas para reducir las emisiones de los vehículos a diésel de pasajeros (autobuses), por su gran impacto en la salud por contribuir de forma significativa a las emisiones de partículas finas, óxidos de nitrógeno y carbono negro.	Alta	Corto
		Promover vehículos de alta eficiencia energética como los eléctricos, híbridos de bajo cilindraje y subcompactos de alta eficiencia, por ejemplo, por medio de incentivos vinculados con la tenencia, la exención de la verificación, pagos en parquímetros y en zonas donde se lleguen a aplicar cargos por congestiónamiento.	Alta	Corto
		El gobierno federal debe actualizar con urgencia la normatividad federal sobre: niveles permisibles de emisiones contaminantes en vehículos a diésel (introducir vehículos EURO VI o EPA2010); emisiones en vehículos nuevos a gasolina (incluyendo criterios más estrictos de durabilidad); eficiencia de combustible (emisiones de bióxido de carbono por kilómetro) y corregir las deficiencias y ambigüedades de la normatividad referente a los sistemas de diagnóstico a bordo (OBD-II). Es importante considerar que la edad de la flota federal en promedio es de 15 a 18 años, contra 10 años en otros países.	Alta	Corto

Categoría	Subcategoría	Acciones	Prioridad	Tiempos de implementación sugeridos
			Alta=3; Media=2	Corto plazo (1-2 años) = 3; Mediano plazo (3-5 años) = 2
		El gobierno federal también debe exigir a PEMEX y a los nuevos comercializadores de combustibles que suministren sólo gasolinas y diésel de ultra-bajo contenido de azufre en todo el país; verificación en planta del cumplimiento de las normas de emisiones en vehículos nuevos y de la incorporación de sistemas de diagnóstico a bordo funcionales y con el número y tipo de sensores adecuados para monitorear el desempeño del vehículo.	Alta	Corto
		No se deben introducir cambios en la composición del combustible en el CDMX hasta que se hayan realizado estudios adecuados y completos (por ejemplo, etanol). Actualmente el acuerdo publicado para la actualización de la NOM-016 de calidad de los combustibles, propuso el incremento de contenido de etanol al 10% en las gasolinas, excepto en las zonas metropolitanas.	Alta	Corto
		Plantear un reto a la industria automotriz para fabricar vehículos híbridos y eléctricos a precios más accesibles para el transporte público principalmente, pero también para reemplazar los vehículos convencionales de combustión interna utilizados para la movilidad individual.	Alta	Corto
	Transporte Público	Ampliar significativamente la cobertura de los sistemas de Metrobús así como concluir con la sustitución de microbuses por autobuses a diésel de alta tecnología. Fiscalizar estrechamente la operación del transporte público concesionado para garantizar que se brinde un adecuado mantenimiento de las unidades reduciendo de esta manera la contaminación y los accidentes.	Alta	Mediano
		Integrar los autobuses urbanos / suburbanos de manera más efectiva con el metro, proporcionando así importantes servicios de alimentación a las estaciones terminales del metro.	Alta	Mediano
	Vehículos privados, Motocicletas	Establecer incentivos para la introducción de vehículos de baja emisión, como los automóviles eléctricos e híbridos, así como las motocicletas eléctricas.	Alta	Corto
		Evaluar la instalación de equipos de control de contaminación en motocicletas que se venden y conducen en el MCMA, dado el rápido aumento en el número de estos vehículos en circulación. Además, los programas de introducción de motocicletas eléctricas deben ser alentados. Los programas y reglamentos deben centrarse en las motocicletas nuevas.	Alta	Corto
		Diseñar un programa con medidas para el control de la demanda de los viajes realizados en automóviles privados, el cual debe considerar entre otros acciones como: extender la cobertura de los paraquímetros y elevar sus tarifas, y cargos por congestiónamiento por acceso a la zona céntrica de la metrópoli (como el esquema apliado en Londres).	Media	Mediano
	Transporte de Carga	Controlar las emisiones de carbono negro y otros contaminantes provenientes de los camiones de carga a diésel por medio de programas de instalación de trampas de partículas y catalizadores de oxidación.	Alta	Corto
		Establecer plataformas logísticas en la periferia de la ciudad para cargar y descargar mercancías, evitando la circulación de vehículos pesados en la ciudad.	Media	Mediano
	Verificación y Hoy No Circula	Reforzar la vigilancia y fiscalización de emisiones vehiculares por medio de campañas permanentes con sensores remotos. Además, analizando las bases de datos generadas con estos sensores se puede identificar a centros de verificación con prácticas de corrupción y también informar a los consumidores	Alta	Corto



Categoría	Subcategoría	Acciones	Prioridad	Tiempos de implementación sugeridos
			Alta=3; Media=2	Corto plazo (1-2 años) = 3; Mediano plazo (3-5 años) = 2
		sobre las emisiones de los diferentes modelos y marcas de vehículos que se venden en México.		
		Proporcionar incentivos para aumentar la tasa de renovación de los camiones, taxis, microbuses y automóviles privados, por ejemplo, aumentar gradualmente la tenencia y el impuesto de propiedad anual para que los vehículos más antiguos paguen cantidades más altas. Los ingresos adicionales se pueden utilizar para subsidiar la rotación de la flota y adaptar vehículos adecuados con dispositivos de control de emisiones.	Alta	Mediano
		Revisar los criterios para la aplicación de los programas Hoy no Circula (HNC) y de Verificación Vehicular Obligatoria (VVO) para incluir no solo la antigüedad de la flota y las emisiones de contaminantes de las diferentes clases de vehículos, sino también las posibles diferencias en los usos de los diferentes modos de transporte (kilómetros recorridos, distribución temporal de los viajes, etc.). Actualmente la edad promedio de los autos a gasolina en la CDMX es de 6.5 años.	Alta	Mediano
		Evaluar el potencial de la utilización de los programas HNC y VVO para promover el uso de nuevas tecnologías y a los vehículos más limpios y eficientes, como se hizo en su momento con el esquema DOBLE CERO, que permitió acelerar la introducción de normas de emisiones más estrictas para vehículos nuevos.	Media	Corto
	Mobilidad	Desarrollar políticas metropolitanas de transporte público que enlacen con rutas suficientes y eficientes a los municipios conurbados con la CDMX.	Alta	Corto
		Promover y ampliar significativamente la infraestructura para el transporte no motorizado (ciclismo y caminar); mejorar el transporte público en su seguridad, confiabilidad, conectividad y comodidad.	Alta	Mediano
		Desarrollar e implementar un sistema regional integrado de gestión del uso de suelo, el transporte, y la calidad del aire que involucre la cooperación cercana de las autoridades relevantes (medio ambiente, transporte, desarrollo urbano y obras públicas) con la participación pública.	Alta	Mediano
		Realizar estudios de transporte (incluyendo actividad vehicular, flujo, velocidad, etc.) como insumo para los modelos de tráfico y los de calidad del aire así como actualizar la información sobre tendencias y patrones de movilidad (origen y destino).	Media	Mediano
	Vehículos Fuera de Carretera	Disear estrategias de control de emisiones y estándares de emisiones para vehículos fuera de carretera en uso. Actualmente, no hay legislación disponible sobre niveles de emisiones para estos vehículos en México, y no existen incentivos legales para instalar tecnologías de control de emisiones. Debido a su durabilidad, los vehículos fuera de carretera a menudo se mantienen en servicio durante varias décadas y, por lo tanto, sus emisiones aumentan con el tiempo más rápido en comparación con los vehículos en carretera cuyas emisiones disminuyen con las mejoras tecnológicas.	Alta	Corto
		Otros	Desarrollar actividades y programas de investigación con participación de la academia y de expertos en áreas como: desarrollo de pruebas de nuevas tecnologías de control de emisiones; técnicas de aprendizaje automático para detectar sitios de elevadas emisiones (<i>hot spots</i>); programas de conducción inteligente para mejorar la eficiencia y opciones tecnológicas para reducir las emisiones de los vehículos pesados a diésel.	Media

Categoría	Subcategoría	Acciones	Prioridad	Tiempos de implementación sugeridos
			Alta=3; Media=2	Corto plazo (1-2 años) = 3; Mediano plazo (3-5 años) = 2
Fuentes Fijas		Revisar y actualizar el marco legal, regulatorio y normativo aplicable a las fuentes fijas, poniendo especial atención a las normas que establecen los límites de emisión de contaminantes para este tipo de fuentes. Dicha revisión debe realizarse con una visión metropolitana.	Alta	Corto
		Promover estudios sobre la especiación química de las emisiones de COV y PM de fuentes puntuales; ambos son relevantes para la salud humana y los impactos en la calidad del aire; por ejemplo, la campaña de monitoreo de aerosoles AERAS 2013-2014 realizada por la SEDEMA. En 2017 la SEDEMA adquirió un sistema TAG-GC/MS (Thermal Desorption Aerosol-Gas), equipo con el cual se podrá conocer la composición de algunos compuestos orgánicos primarios y secundarios y determinar la contribución y posibles fuentes contaminantes	Alta	Corto
		Regular y fiscalizar adecuadamente el uso de gas LP y gas natural comprimido en vehículos automotores para que cumplan con requerimientos de seguridad y ambientales adecuados, incluyendo el control de las fugas en las estaciones de recarga.	Alta	Corto
		Reducir las emisiones de COV en las industrias de la CDMX y del EDOMEX. Limitar el consumo de pinturas base solvente; revisar y actualizar las normas para regular el contenido de COV en insumos industriales y domésticos.	Alta	Mediano
		Reforzar de manera importante las áreas de inspección y fiscalización de la PROFEPA y de las procuradurías ambientales de la CDMX y del EDOMEX para garantizar un cumplimiento estricto de las nuevas normas y reglamentos a prueba de corrupción. El refuerzo debe de incluir capacitación al personal y equipamiento de punta incluyendo sensores remotos que permitan medir con precisión y a distancia las emisiones reales de las empresas en cualquier momento del día.	Media	Mediano
		Mejorar los protocolos de recolección de datos (formato, frecuencia, tipo de datos, etc.) para fuentes federales y locales a través de modificaciones en la Licencia Ambiental Única, la Cédula de Operación Anual y otra normatividad aplicable. Adicionalmente, mejorar la colaboración y el intercambio de datos de actividad para fuentes puntuales entre el Estado de México y CDMX.	Media	Corto
Fuentes de Área y Sector Residencial		El gobierno federal debe implementar y fiscalizar adecuadamente mejores sistemas de control de emisiones en estaciones de servicio (gasolineras) y estudiar la exposición personal de los despachadores de combustible.	Alta	Corto
		Regular el contenido de COV en productos de cuidado personal, pinturas, solventes y recubrimientos, así como campañas de comunicación para concienciar a la población sobre este tipo de productos. Regular talleres de imprenta y pintura.	Alta	Mediano
		Evaluar las emisiones de gas licuado de petróleo (GLP) en los hogares, los comercios y durante la distribución de este energético.	Alta	Mediano
		Promover el uso de paneles solares térmicos para calentar el agua y con ello disminuir de forma significativa el consumo de GLP, así como apoyar programas de detección de fugas y de reparación y sustitución de estufas antiguas para disminuir las fugas y los riesgos por accidentes. Promover el uso de tanques estacionarios en vez de cilindros intercambiables y eliminar los calentadores a gas con depósito de agua, para dejar lugar sólo a los calentadores de paso, que tienen mayor eficiencia.	Alta	Mediano
Aguas residuales		Revisar los factores de emisión para el metano de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y ajustarlos considerando las condiciones de la ZMVM y las tecnologías utilizadas en cada planta.	Media	Mediano



Categoría	Subcategoría	Acciones	Prioridad	Tiempos de implementación sugeridos
			Alta=3; Media=2	Corto plazo (1-2 años) = 3; Mediano plazo (3-5 años) = 2
		Promover estudios para evaluar las emisiones de ácido sulfhídrico (H ₂ S), amoníaco (NH ₃), óxido nitroso (N ₂ O) y compuestos orgánicos volátiles (COVs) en las plantas de tratamiento.	Media	Mediano
		Promover diversas estrategias de control de emisiones de metano (por ejemplo, el uso de sistemas de captura de gas, mejorar las prácticas de mantenimiento y las tecnologías de tratamiento).	Media	Mediano
Quema de biomasa		Desarrollar factores de emisión de partículas PM _{2.5} y compuestos orgánicos (incluyendo su especiación) y recopilar datos de actividad relacionados con la quema de basura, hornos ladrilleros, limpieza agrícola e incendios forestales.	Alta	Mediano
		Implementar un programa de seguimiento de la quema de residuos que incluya la evaluación de los efectos ambientales y de salud pública derivados de la quema a cielo abierto de residuos.	Alta	Mediano
Ciencia Atmosférica		Investigar por medio de campañas de mediciones continuas la sensibilidad del ozono al COV y NO _x en la ZMVM y si pudo haber tenido cambios en los últimos años. Una nueva campaña de campo enfocada e intensiva también ayudaría a comprender los cambios en la atmósfera química de la ZMVM y asegurar que los modelos proporcionen información confiable sobre las estrategias de regulación propuestas.	Alta	Corto
		Mejorar el rendimiento de los sistemas de pronóstico de la calidad del aire utilizando inventarios de emisiones y datos ambientales actualizados.	Alta	Corto
		Evaluar los posibles impactos negativos o positivos causados por la introducción de gasolina con etanol en las áreas metropolitanas del país, como resultado de las modificaciones a la NOM-016 de la calidad del combustible. Esta evaluación debe incorporar simulaciones de química atmosférica con diferentes escenarios de uso de etanol, pero también debe evaluar los posibles efectos adversos para la salud.	Alta	Corto
		Profundizar el análisis del incremento en la temperatura atmosférica en la calidad del aire en la ZMVM. El impacto de la meteorología en la contaminación del aire se puede incluir en el análisis de los datos de contaminantes para ver si algunas de las tendencias recientes de contaminantes del aire se deben a cambios en la meteorología (temperatura, humedad, velocidad del viento, alturas de mezcla) o si son un resultado de las emisiones cambiantes. También se debe explorar la fuerza variable del efecto de isla de calor urbano.	Alta	Mediano
		Investigar las variaciones espaciales de PM _{2.5} en la ZMVM a través de mediciones continuas, incluidos los precursores de aerosoles secundarios (COV, SO ₂ , NO _x , HONO, NH ₃ y HNO ₃).	Alta	Mediano
		Monitorear el desempeño de las tecnologías de control de emisiones de NO _x y partículas en vehículos diésel de servicio pesado en condiciones reales de manejo.	Alta	Mediano
		Desarrollar un programa práctico de observación para documentar los cambios en la exposición debido a cambios importantes en las emisiones para comprender mejor los efectos en la salud de las acciones de gestión de la calidad del aire.	Media	Mediano
		Investigar los impactos de la contaminación del aire en la vegetación: 1) evaluación de los efectos de la deposición atmosférica en el suelo y su afectación a la vegetación y la productividad de los cultivos; 2) evaluar las posibles acciones de adaptación a los impactos del cambio climático y a altos niveles de ozono, como por ejemplo: selección de variedades resistentes de cultivos; aplicación de buenas prácticas; desarrollo de agricultura urbana, etc. 3) evaluación de los servicios ambientales que se prestan bajo estrés oxidativo; 4)	Media	Mediano

Categoría	Subcategoría	Acciones	Prioridad	Tiempos de implementación sugeridos
			Alta=3; Media=2	Corto plazo (1-2 años) = 3; Mediano plazo (3-5 años) = 2
		Impactos de la mejora de la calidad del aire en áreas agrícolas.		
Impactos en la Salud por la Contaminación del Aire		Mejorar la recopilación de datos en el sistema de salud en México, incluyendo una mejor resolución temporal y espacial, diagnósticos y datos históricos de exposición.	Alta	Mediano
		Realizar estudios sobre exposición personal a la contaminación en grupos ocupacionalmente expuestos como los despachadores de combustible en estaciones de servicio, choferes de taxis y de vehículos de transporte público, vendedores ambulantes y policías de cruceo, entre otros	Media	Mediano
		Realizar estudios epidemiológicos de dosis-respuesta, así como estudios que relacionen los beneficios económicos y en salud asociados con la reducción adicional de emisiones contaminantes a futuro.	Media	Mediano
		Apoyar el fortalecimiento de los sistemas de alerta y vigilancia epidemiológica, mejorando la captura, estandarización y sistematización de datos en las clínicas y hospitales de la ZMVM.	Media	Mediano
		Realizar estudios de exposición humana para probar la efectividad de las estrategias de mitigación de emisiones a nivel de calle y dentro de vehículos del sistema de transporte público, comparando los resultados con los de estudios de exposición previos realizados dentro de diferentes tipos de vehículos en la CDMX.	Media	Mediano
		Realizar estudios sobre la exposición a la contaminación en interiores, incluyendo la evaluación de los impactos del uso de chimeneas de leña y del humo de tabaco.	Media	Mediano
		Revisión del Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas para actualización de umbrales e inclusión de un esquema de activación por PM _{2.5} .	Media	Mediano
		Dar continuidad al índice personal de riesgo, así como ampliar el programa a toda la población.	Media	Mediano
Comunicación y Participación con las Partes Interesadas		Ampliar la divulgación de los datos de calidad del aire a través de las redes sociales para aumentar la conciencia pública. Esto ayudará a aumentar la conciencia pública sobre los impactos de la calidad del aire para promover cambios positivos en la reducción de la exposición y las prácticas de comportamiento (por ejemplo, quema de basura).	Alta	Corto
		Involucrar a las partes interesadas y al público en general en el diseño e implementación de estrategias de reducción de emisiones; esto incluye el desarrollo de campañas de información sobre los beneficios de la reducción de emisiones para la población.	Alta	Mediano
		Ampliar la comunicación al público sobre los beneficios ambientales y de salud de los programas HNC y VVO, para que la información no quede limitada a las obligaciones y restricciones con las que deben cumplir los automovilistas.	Alta	Corto
		Involucrar a las comunidades y grupos no gubernamentales en estudios de monitoreo y detección de áreas de alta contaminación por medio del uso de sensores de contaminantes de bajo costo.	Media	Mediano



*Esta recomendación ha sido ya incluida en el PROAIRE 2011-2020; sin embargo, no ha sido aún implementada completamente o se propone expandir su marco de acción, por lo que se incluye en estas recomendaciones.



3. ORGANIZACIÓN DEL TALLER Y PRESENTACIONES

En coordinación con SEDEMA, los organizadores del taller han desarrollado la agenda del taller e identificado una lista de participantes (ver Anexo 1). Un resumen de las presentaciones y discusiones se proporciona en el Anexo 2.



4. REFERENCIAS

- Barcelona Supercomputing Center y Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (BSC-SEDEMA). Aplicación del pronóstico para la evaluación de políticas de reducción de emisiones. Diciembre, 2017.
- Blake, D. R. and Rowland, F. S.: Urban leakage of liquefied petroleum gas and its impact on Mexico City air quality. *Science*. Aug 18; 269(5226):953-6, 1995.
- Borja-Aburto, V. H., Loomis, D. P., Bangdiwala, S. I., Shy, C. M., and Rascon-Pacheco, R. A.: Ozone, Suspended Particulates, and Daily Mortality in Mexico City. *Am J Epidemiol*; 145:258-68, 1997.
- Borja-Aburto, V. H., Castillejos, M., Gold, D. R., Bierzwinski, S., Loomis, D.: Mortality and Ambient Fine Particles in Southwest Mexico City, 1993-1995. *Environ Health Perspect*; 106: 849-855, 1998.
- Castillejos, M., Borja-Aburto, V. H., Dockery, D. W., Gold, D. R., Loomis, D.: Airborne Coarse Particles and Mortality. *Inhalation Toxicology*; 12(Supplement 1):61–72, 2000.
- Centro de Ciencias de la Atmósfera, Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (CCA-IG-UNAM): Consideraciones sobre la situación actual de contaminación atmosférica en el centro de México. 30 de mayo de 2016.
- Centro Mario Molina: Mejorar la calidad del aire en el Valle de México es urgente y un gran reto para la sociedad. Febrero de 2016a.
- Centro Mario Molina: Soluciones de fondo para mejorar la calidad del aire del Valle de México. Mayo de 2016b.
- Comisión Ambiental Metropolitana (CAM): Programa para mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010. Mexico D.F, GDF, GEMEX, SEMARNAT, SS. 2002. Disponible en <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>
- Comisión Ambiental Metropolitana (CAM): Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2011 – 2020. 2011. Disponible en <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>
- Comité Científico Asesor de la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME): Propuesta de actuación inmediata para el mejoramiento de la calidad del aire en la Megalópolis. 02 de junio de 2016.
- Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal (CDHDF): Propuesta General 1/2016. Sobre calidad del aire y derechos humanos. Diciembre 2016, Ciudad de México. Disponible en <https://cdhdf.org.mx/wp-content/uploads/2017/11/Propuesta-General-1-2016-Sobre-calidad-del-aire-y-derechos-humanos.pdf>

-
- Consejo Nacional de Población (CONAPO): Población por delegación y municipio, 2016. Consejo Nacional de Población. Consultado en 2018. https://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos.
- Cui, Yu Yan, and Benjamin de Foy: Seasonal variations of the urban heat island at the surface and the near-surface and reductions due to urban vegetation in Mexico City. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 51, no. 5 (2012): 855-868.
- Doran, J. C., Abbott, S., Archuleta, J., Bian, X., Chow, J., Coulter, R. L., de Wekker, S. F. J., Edgerton, S., Elliott, S., Fernandez, A., Fast, D. J., Hubbe, J. M., King, C., Langley, D., Leach, J., Lee, J. T., Martin, T. J., Martinez, D., Martinez, J. L., Mercado, G., Mora, V., Mulhearn, M., Pena, J. L., Petty, R., Porch, W., Russell, C., Salas, R., Shannon, J. D., Shaw, W. J., Sosa, G., Tellier, L., Templeman, B., Watson, J. G., White, R., Whiteman, C. D., and Wolfe, D.: The IMADA-AVER boundary-layer experiment in the Mexico City area, *B. Am. Meteor. Soc.*, 79, 2497–2508, 1998.
- Doran, J. C., and Zhong, S.: Thermally driven gap winds into the Mexico City basin. *Journal of Applied Meteorology*, 39(8), 1330-1340, 2000.
- Edgerton, S. A., et al., 1999. Particulate air pollution in Mexico City: a collaborative research project, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 49(10): 1221-1229, 1999.
- Evans, J. S., Hammitt, J. K., Rojas-Bracho, L., and Dockery, D. W.: Historical analysis of air quality-related health benefits in the population in Mexico City from 1990 to 2012. Phases IV and IIIa. Phase IV. Public policy and Economic Valuation of the health benefits of air quality improvements. Final Report. Conducted for the Secretary of Environment of the Government of Mexico City under agreement ACCSG/016A/2017. October, 2017.
- Fast, J. D., and Zhong, S. Y.: Meteorological factors associated with inhomogeneous ozone concentrations within the Mexico City basin. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 103(D15), 18927-18946, 1998.
- García-Franco, J. L., Strmme, W., Bezanilla, A., Ruiz-Angulo, A., Grutter, M.: Variability of the mixed-layer height over Mexico City. *Boundary Layer Meteorology*, 167(3), 493-507, 2018.
- García-Yee, J. S., Torres-Jardón, R., Barrera-Huertas, H., Castroa, T., Peralta, O., García, M., Gutiérrez, W., Robles, M., Torres-Jaramillo, J. A., Ortínez-Álvarez, A., Ruiz-Suárez, L. G.: Characterization of NO_x-O_x relationships during daytime interchange of air masses over a mountain pass in the Mexico City megalopolis. *Atmos. Environ.* 177, 100-110, 2018.



-
- Garzón, J. P., Huertas, J. I., Magaña, M., Huertas, M. E., Cárdenas, B., Watanabe, T., Maeda, T., Wakamatsu, S., Blanco, S.: Volatile organic compounds in the atmosphere of Mexico City, *Atmospheric Environment*, 119, 415-429, 2015.
- Guerrero, F., Álvarez-Ospina, H., Retama, A., López-Medina, A., Castro, T., Salcedo, D.: Seasonal changes in the PM1 chemical composition north of Mexico City. *Atmósfera*, 30, 243–273, 2017.
- Guevara, M., Tena, C., Soret, A., Serradell, K., Guzmán, D., Retama, A., Camacho, P., Jaimes-Palomera, M., Mediavilla, A.: An emission processing system for air quality modelling in the Mexico City metropolitan area: Evaluation and comparison of the MOBILE6. 2-Mexico and MOVES-Mexico traffic emissions. *Science of the Total Environment*, 584, 882-900, 2017.
- HEI Review Committee Commentary, in Romieu, I., Gouveia, N., Cifuentes, L. A., Ponce de Leon, A., Junger, W., Hurtado-Díaz, M., Miranda-Soberanis, V., Vera, J., Strappa, V., Rojas-Bracho, L., Carbajal-Arroyo, L., Tzintzun-Cervantes, G.: Multicity Study of Air Pollution and Mortality in Latin America (the ESCALA Study). Research Report 171. Health Effects Institute, Boston, MA, 2012.
- IHME. GBD Compare, 2016. Institute for Health Metrics and Evaluation. University of Washington, Seattle, USA, 2016. <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare>. Consulta 2016.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC): Acciones estratégicas para mejorar la calidad del aire de la Megalópolis (AECAM 2017-2030). Informe Final. Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Ciudad de México, Abril de 2017.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC): Estudios de Calidad del Aire y su Impacto en la Región Centro de México (ECAIM). Informe Final, Tomo II. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, 2015.
- International Transport Forum (ITF): Strategies for Mitigating Air Pollution in Mexico City, International best practice. Case-Specify Policy Analysis. 2017.
- IMP (Instituto Mexicano del Petróleo), 1998: Investigación sobre materia particulada y deterioro atmosférico, Subdirección de Protección Ambiental, 1994-1998.
- Jaimes-Palomera, M., Retama, A., Gabriel Elias-Castro, G., Neria-Hernández, A., Rivera-Hernández, O., Velasco, E.: Non-methane hydrocarbons in the atmosphere of Mexico City: Results of the 2012 ozone-season campaign, *Atmospheric Environment*, 132, 258-275, 2016.
- Jauregui, E.: Heat island development in Mexico City, *Atmospheric Environment*, 31(22), 3821-3831, 1997.

-
- Jauregui, E., and Luyando, E.: Global radiation attenuation by air pollution and its effects on the thermal climate in Mexico City. *International Journal of Climatology*, 19(6), 683-694, 1999.
- Jauregui, E., and Romales, E.: Urban effects on convective precipitation in Mexico city, *Atmospheric Environment*, 30(20), 3383-3389, 1996.
- Jauregui, E., and Tejeda, A.: Urban-rural humidity contrasts in Mexico City, *International Journal of Climatology*, 17(2), 187-196, 1997.
- Jazcilevich, A., Fuentes, V., Jauregui, E., and Luna, E.: Simulated urban climate response to historical land use modification in the Basin of Mexico. *Climatic Change*, 44(4), 515-536, 2000.
- Jazcilevich, A. D., Garcia, A. R., and Ruiz-Suarez, L. G.: A study of air flow patterns affecting pollutant concentrations in the Central Region of Mexico, *Atmospheric Environment*, 37(2), 183-193, 2003.
- LANL and IMP (Los Alamos National Laboratory and Instituto Mexicano del Petróleo): Mexico City Air Quality Research Initiative (MARI) Los Alamos Rep. LA-12699, 1994.
- Loomis, D., Castillejos, M., Gold, D. R., McDonnell, W., Borja-Aburto, V. H.: Air Pollution and Infant Mortality in Mexico City. *Epidemiology*; 10:118-123, 1999.
- MCE2-INE (Molina Center for Energy and the Environment and Instituto Nacional de Ecología): “Estudio sobre los Impactos de las Emisiones de SO₂ Provenientes de la Región de Tula en la Calidad del Aire de la ZMVM” in “Análisis y síntesis de los resultados de las Campañas MCMA-2003 y MILAGRO-2006 para su uso en la formulación de estrategias en materia de cambio climático y contaminación local en la ZMVM.” Informe Final, Convenio No. INE/ADE-051/2009, October 12, 2009.
- MIT IPURGAP (MIT Integrated Program on Urban, Regional and Global Air Pollution). “Diseño de una Estrategia Integral de Gestión de la Calidad del Aire en el Valle de México 2001-2010.” Informe Final. Preparado por Comisión Ambiental Metropolitana, Noviembre, 2000.
- Molina, L. T. and Molina, M. J., eds., *Air Quality in the Mexico Megacity: An Integrated Assessment*, 390 pp., Kluwer Academic Publishers, 2002. ISBN 1-4020-0507-5.
- Molina, L. T., Kolb, C. E., de Foy, B., Lamb, B. K., Brune, W. H., Jimenez, J. L., Ramos-Villegas, R., Sarmiento, J., Paramo Figueroa, V. H., Cardenas, B., Gutierrez-Avedoy, V., and Molina, M. J.: Air quality in North America’s most populous city – overview of the MCMA-2003 campaign, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 2447–2473, doi:10.5194/acp-7-2447-2007, 2007.



-
- Molina, L. T., Madronich, S., Gaffney, J. S., Apel, E., de Foy, B., Fast, J., Ferrare, R., Herndon, S., Jimenez, J. L., Lamb, B., Osornio-Vargas, A. R., Russell, P., Schauer, J. J., Stevens, P. S., Volkamer, R., and Zavala, M.: An overview of the MILAGRO 2006 Campaign: Mexico City emissions and their transport and transformation, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 8697-8760, <https://doi.org/10.5194/acp-10-8697-2010>, 2010.
- Paredes-Miranda, G., Arnott, W. P., Moosmuller, H., Green, M. C., and Gyawali, M.: Black Carbon aerosol concentration in five cities and its scaling with city population. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(1), 41-50, 2013.
- Retama, A., Baumgardner, D., Raga, G. B., McMeeking, G. R., Walker, J. W.: Seasonal and diurnal trends in black carbon properties and co-pollutants in Mexico City *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, 9693–9709, 2015.
- Riojas-Rodríguez H: Health impact assessment of decreases in PM10 and ozone concentrations in the Mexico City Metropolitan Area. A basis for a new air quality management program. *Salud Pública Méx*; Vol. 56(6):579-591, 2014.
- Salcedo, D., Alvarez-Ospina, H., Peralta, O., Castro, T.: PM1 Chemical Characterization during the ACU15 Campaign, South of Mexico City, *Atmosphere*, 9(6), 232, doi:10.3390/atmos9060232, 2018.
- School of Public Health Harvard (SPH-Harvard): Análisis histórico de los beneficios para la salud asociados a una mejor calidad del aire en la Ciudad de México (CDMX) entre 1990 y 2014. Resumen ejecutivo Fases I y II, realizado para la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Instituto Nacional de Salud Pública y Harvard School of Public Health. 2016.
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México y Eastern Research Group (SEDEMA-ERG): Actualización de factores de emisión y datos de actividad para mejorar la estimación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero y contaminantes criterio de los vehículos de la Ciudad de México. 2017.
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México (SEDEMA): Inventario de Emisiones de la CDMX, 2016. Ciudad de México, México, 2018. Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=Z6Bhnml=&dc=Zg==>
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México (SEDEMA): Avance general de las acciones de competencia local del PROAIRE 2011-2020, 2018. Disponible en: www.sedema.cdmx.gob.mx.
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México (SEDEMA): Calidad del aire en la Ciudad de México, informe 2017. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire, Dirección de Monitoreo Atmosférico. Ciudad de México. Septiembre, 2018.

-
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT): Programa de gestión federal para mejorar la calidad del aire de la Megalópolis, 2017 – 2030, México, 2017.
https://frameworkgb.cdn.gob.mx/data/institutos/semarnat/Programa_de_Gesti%C3%B3n_Federal_2017-2030_final.pdf
- Singh, H.B., W. H. Brune, J. H. Crawford, F. Flocke, and D. J. Jacob, Chemistry and transport of pollution over the Gulf of Mexico and the Pacific: spring 2006 INTEX-B campaign overview and first results, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 2301-2318, 2009.
- Stevens, G. A., Dias, R. H., and Ezzati, M.: The effects of 3 environmental risks on mortality disparities across Mexican communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, (105), 44:16860-16865, 2008.
- Streit, G. E., F. Guzmán: Mexico City air quality: progress of an international collaborative project to define air quality management options, *Atmospheric Environment*, 30(5): 723-733, 1996.
- Tzompa-Sosa, Z. A., Sullivan, A. P., Retama, A., Kreidenweis, S. M.: 2016. Contribution of biomass burning to carbonaceous aerosols in Mexico City during May 2013. *Aerosol and Air Quality Research*, 16(1), 114-124.
- Velasco, E., Retama, A.: Ozone's threat hits back Mexico City. *Sustainable Cities and Society*, 31, 260-263, 2017.
- Velasco, E., Perrusquia, R., Jiménez, E., Hernández, F., Camacho, P., Rodríguez, S., Retama, A., Molina, L. T.: Sources and sinks of carbon dioxide in a neighborhood of Mexico City. *Atmospheric Environment*, 97, 226-238, 2014.
- Cady-Pereira, K. E., Payne, V.H., Neu, J. L., Bowman, K. W., Miyazaki, K., Marais, E. A., Kulawik, S., Tzompa-Sosa, Z. A., Hegarty, J. D.: Seasonal and spatial changes in trace gases over megacities from AURA TES observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17, 9379-9398, 2017.
- Whiteman, C. D., Zhong, S., Bian, X., Fast, J. D., and Doran, J. C.: Boundary layer evolution and regional-scale diurnal circulations over the Mexico Basin and Mexican plateau. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 105(D8), 10081-10102, 2000.



ANEXO 1

Agenda del taller y lista de participantes



Residential Sector

- Continuous evaluation of household emissions accounts will provide emissions changes (e.g. BPP study on LPG usage)
- There is a need for workforce policies to reduce LPG usage for commercial and distribution
- Promote the use of solar heating devices and replacement of existing gas water heaters
- There is a need to accelerate the replacement of gas water heaters
- Promote the awareness and culture of reducing leaks in the

TALLER PARA LA EVALUACIÓN DEL PROAIRE 2011-2020 E IDENTIFICACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CDMX

Septiembre 26-27, 2018
Hotel Fiesta Inn Centro Histórico

AGENDA

OBJETIVO: Identificar acciones estratégicas efectivas en la mejora de la calidad del aire de la CDMX, ya sea aquellas contenidas en el PROAIRE 2011-2020, u otras que sea necesario incluir o re-orientar, a través del análisis y evaluación de los hallazgos técnico-científicos en materia de contaminación atmosférica.

Sesión 1. Estado de la Calidad del Aire en la Ciudad de México

- Los panelistas presentarán el estado actual de la calidad del aire en la CDMX, incluyendo información sobre el sistema de monitoreo de la calidad del aire, inventario de emisiones, pronósticos de la calidad del aire, y los impactos en la salud pública.

Sesión 2. Experiencia Internacional

- Los panelistas presentarán información de los estudios técnicos y científicos recientes más relevantes sobre emisiones, transporte y transformación de los contaminantes en la CDMX, y compartirán su experiencia internacional sobre el control de la contaminación del aire.

Sesión 3. Emisiones en la CDMX y Estrategias de Control del PROAIRE

- El moderador presentará el estado del arte (5 a 10 minutos) e información actual de las emisiones en la CDMX y las estrategias de control implementadas en los principales sectores de emisiones; posteriormente moderará la discusión.

Sesión 4. Pasos a Seguir

- Los participantes discutirán los hallazgos de las diferentes sesiones y la priorización de acciones con base en la información y conocimientos obtenidos.



Día 1: Miércoles 26 de septiembre 2018

Hora	Sesión	Actividad	Moderador / Presentador	Tema
08:30-09:00		REGISTRO		
09:00-09:30		Bienvenida / Introducción	Adrián Fernández, ICM; Dra. Luisa Molina, MCE2; Dra. Beatriz Cárdenas, SEDEMA	Presentación de los objetivos del taller; Introducción de los participantes
SESIÓN 1: ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE MÉXICO				
09:30-09:55	1.1	Monitoreo de la calidad del aire en la CDMX	M. I. Olivia Rivera, SEDEMA	Estatus del sistema de monitoreo de la calidad del aire
09:55-10:20	1.2	Informes de la calidad del aire de la CDMX	Quím. Armando Retama Consultor	Informe de Calidad del Aire
10:20-10:45	1.3	Inventario de Emisiones de la CDMX	Dra. Beatriz Cárdenas SEDEMA	Inventario de emisiones, sectores contaminantes
10:45-11:10	1.4	Modelación de escenarios de la calidad del aire en la CDMX	Dr. Marc Guevara Barcelona Supercomputing Center, España	Modelación de escenarios y mejoras del Sistema de Pronóstico y modo diagnóstico
11:10-11:30		RECESO		
11:30-12:00	1.5	PROAIRE 2011-2020	M. C. Tanya Müller García Secretaría del Medio Ambiente	Presentación de los avances de acciones del PROAIRE
12:00-12:25	1.6	Impactos en salud por calidad del aire en la Ciudad de México	Dra. Leonora Rojas, Investigadora	Salud y calidad del aire
12:25-12:50		Discusión	Moderador: Adrián Fernández, ICM	
13:00-14:00		COMIDA		
SESIÓN 2: EXPERIENCIA INTERNACIONAL				
14:00-14:30	2.1	Mediciones de COV en la ZMVM	Dr. Erik Velasco, Investigador	Concentraciones y distribuciones espaciales, patrones diurnos, reactividad, formación de ozono y aerosoles orgánicos secundarios
14:30-15:00	2.2	Evaluación de emisiones de COV a partir de mediciones	Dr. Johan Mellqvist Chalmers University of Technology, Suecia	Inventario de emisiones (bottom-up)
15:00-16:00	2.3	Fotoquímica urbana y regional	Dr. William Brune Pennsylvania State University, E.E.U.U.	Los procesos meteorológicos y fotoquímicos que contribuyen a la formación de ozono
16:00-16:30	2.4	Evaluación de fuentes y composición de material particulado en la ZMVM	Dra. Dara Salcedo, UNAM - Juriquilla, Querétaro	Composición, distribución del tamaño y cargas de masa atmosféricas de partículas finas primarias y secundarias
16:30-17:00	2.5	Experiencia de California	P.E. Bart Croes, California Air Resources Board, E.E.U.U.	Políticas de calidad del aire
17:00-17:30	2.6	Lecciones aprendidas de la experiencia internacional	Moderador: Dra. Luisa Molina, MCE2	Políticas de calidad del aire
17:30-18:00		Discusión de los hallazgos	Moderador: Dra. Luisa Molina, MCE2	
18:00		Fin del día		

Día 2: Jueves 27 de septiembre 2018

Hora	Sesión	Actividad	Moderador/ Facilitador	Tema
SESIÓN 3: EMISIONES EN LA CDMX Y ESTRATEGIAS DE CONTROL DEL PROAIRE				
09:00-09:10		Introducción	Facilitador: Dra. Beatriz Cárdenas, SEDEMA	
09:10-09:40	3.1	Emisiones del Sector Transporte	Moderador: Dr. Aron Jazcilevich, UNAM-CCA	Fuentes de emisiones y acciones
09:40-10:10	3.2	Programas para el Sector Transporte (Programa de verificación vehicular, Hoy No Circula, Autorregulación)	Moderador: M. en C. Verónica Garibay, Consultora	Fuentes de emisiones y acciones
10:10-10:40	3.3	Fuentes Fijas y Normatividad	Moderador: Dr. Omar Amador, UNAM-CCA	Fuentes de emisiones y acciones
10:40-11:10	3.4	Fuentes de Área e Impacto en Vegetación	Moderador: Dr. Gerardo Ruíz, UNAM-CCA	Fuentes de emisiones y acciones
11:10-11:40	3.5	Emisiones Residenciales	Moderador: Ing. José Javier Vázquez, IMP	Fuentes de emisiones y acciones
11:40-12:00		RECESO		
12:00-12:30	3.6	Tratamiento de Aguas Residuales	Moderador: Dra. Guadalupe Paredes, UNAM-Instituto de Ingeniería	Emisiones y acciones
12:30-13:00	3.7	Incineración de Biomasa (estufas de leña, residuos agrícolas, basura, incendios forestales)	Moderador: M. I Patricia Camacho, SEDEMA	Emisiones y acciones
13:00-14:30		COMIDA		
SESIÓN 4: PASOS A SEGUIR				
14:30-15:30	4.1	Resumen de hallazgos de las diferentes sesiones	Moderador Dr. Adrián Fernández ICM	
15:30-16:30	4.2	Revisión de la priorización de acciones con base en información y conocimiento	Moderador Dr. Adrián Fernández ICM	
16:30-17:30	4.3	Conclusiones Finales	Moderador Dr. Adrián Fernández ICM	
18:00		CLAUSURA		



Lista de Participantes

No	NOMBRE	CARGO	INSTITUCIÓN	GRUPO
1	Dr. Omar Amador Muñoz	Investigador del Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM	Centro de Ciencias de la Atmósfera Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM-CCA)	Expertos Nacionales
2	M.C. Ramiro Barrios	Consultor Internacional		Expertos Nacionales
3	Ing. Stephan Brodziack	Analista de Política Ambiental	El Poder del Consumidor	Expertos Nacionales
4	Dr. William Brune	Investigador en Meteorología	Pennsylvania State University (PSU)	Expertos Internacionales
5	M.I. Patricia Camacho Rodríguez	Directora de Programas de Calidad del Aire e Inventario de Emisiones	Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire de la Secretaría del Medio Ambiente (DGGCA-SEDEMA)	SEDEMA
6	Dra. Beatriz Cárdenas González	Directora General de Gestión de la Calidad del Aire SEDEMA	Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire de la Secretaría del Medio Ambiente (DGGCA-SEDEMA)	SEDEMA
7	Dra. Telma Castro Romero	Directora del Centro de Ciencias de la Atmósfera	Centro de Ciencias de la Atmósfera Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM-CCA)	Comité Científico Asesor CAME
8	M.I. Eunice Cortés Alfaro	JUD de Modelación y SIG	Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire de la Secretaría del Medio Ambiente (DGGCA-SEDEMA)	SEDEMA
9	P.E. Bart Croes	Director de investigación	California Air Resources Board (CARB)	Expertos Internacionales
10	T.S.U. Alejandro Gallardo	JUD de Estadística	Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire de la Secretaría del Medio Ambiente (DGGCA-SEDEMA)	SEDEMA
11	Ing. César Gálvez Hernandez	Subdirección de Promoción de Transporte Sustentable	Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire de la Secretaría del Medio Ambiente (DGGCA-SEDEMA)	SEDEMA
12	Mtra. Gisselle García	Analista de Política Ambiental	Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA)	Experto nacional
13	M.C. Verónica Garibay	Consultora independiente	Independiente	Expertos Nacionales
14	Dr. Marc Guevara Vilardell	Investigador del Centro de Supercomputo de Barcelona	Barcelona Supercomputing Center (BSC)	Expertos Internacionales
15	Dr. David Heres	Investigador en Economía Ambiental	Centro de Investigación y Docencia Económica (CIDE)	Expertos Nacionales

No	NOMBRE	CARGO	INSTITUCIÓN	GRUPO
16	Dra. Magali Hurtado	Investigadora Instituto Nacional de Salud Pública	Instituto Nacional de Salud Pública (INSP)	Expertos Nacionales
17	Dra. Mónica Jaimes Palomera	Subdirectora de Análisis	Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire de la Secretaría del Medio Ambiente (DGGCA-SEDEMA)	SEDEMA
18	Dr. Aron Jazcilevich	Investigador Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM	Centro de Ciencias de la Atmósfera Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM-CCA)	Expertos Nacionales
19	Ing. Hugo Landa Fonseca	Subdirector de Gestión y Regulación	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	SEMARNAT
20	Ing. Jorge Lara Osorio	Subdirección de Planeación y Evaluación de Programas de Calidad del Aire	Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire de la Secretaría del Medio Ambiente (DGGCA-SEDEMA)	SEDEMA
21	Dr. Leonardo Martínez Flores	Investigador	Independiente	Comité Científico Asesor CAME
22	Dr. Johan Mellqvist	Investigador en Chalmers University of Technology, Suecia	Chalmers University of Technology (CUT)	Expertos Internacionales
23	M.C. Tanya Muller García	Secretaria del Medio Ambiente CDMX	Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA)	SEDEMA
24	Dr. Adalberto Noyola Robles	Investigador	Instituto de Ingeniería Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM-II)	Expertos Nacionales
25	Laura Elizabeth Ramos Casillas	Jefa de departamento de caracterización de fuentes móviles	Instituto Nacional de Energía y Cambio Climático (INECC)	INECC
26	Dra. Guadalupe Paredes	Investigadora	Instituto de Ingeniería Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM-II)	Expertos Nacionales
27	Ing. Petra Paz Ramírez	Subdirectora de Inventario y modelación	Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire de la Secretaría del Medio Ambiente (DGGCA-SEDEMA)	SEDEMA
28	Jesus Valladolid	Logística y eventos	SEDEMA	SEDEMA
29	Quim. Armando Retama	Experto en Monitoreo Atmosférico y Calidad del Aire	Independiente	Expertos Nacionales

No	NOMBRE	CARGO	INSTITUCIÓN	GRUPO
30	M.I. Olivia Rivera Hernandez	Directora de Monitoreo Atmosférico	Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire de la Secretaría del Medio Ambiente (DGGCA-SEDEMA)	SEDEMA
31	Dra. Leonora Rojas Bracho	Investigadora	Independiente	Expertos Nacionales
32	Dr. Luis Gerardo Ruíz	Investigador	Centro de Ciencias de la Atmósfera Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM-CCA)	Expertos Nacionales
33	Dra. Dara Salcedo González	Investigadora	Universidad Nacional Autónoma de México Campus Juriquilla (UNAM-Juriquilla)	Expertos Nacionales
34	Dr. Gustavo Sosa	Investigador	Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)	Expertos Nacionales
35	Dr. Rodolfo Sosa Echeverría	Investigador	Centro de Ciencias de la Atmósfera Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM-CCA)	Expertos Nacionales
36	Ing. Fernando Tena Gutierrez	Subdirector de Programas de Calidad del Aire	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	SEMARNAT
37	M.C. Jose Luis Texcalac Sangrador	Investigador	Instituto Nacional de Salud Pública (INSP)	Expertos Nacionales
38	Dr. Adrián Vázquez	Investigador	Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ)	Expertos Nacionales
39	Ing. José Javier Vázquez Martínez	Especialista de Aire de la Gerencia de Eficiencia Energética y Sustentabilidad	Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)	IMP
40	Dra. Elizabeth Vega	Investigadora	Centro de Ciencias de la Atmósfera Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM-CCA)	Expertos Nacionales
41	Dr. Erik Velasco Saldaña	Investigador	Independiente	Expertos Internacionales
42	Dr. Adrian Fernandez Bremauntz	Director Ejecutivo Iniciativa Climática de Mexico AC	ICM	Organizador
43	Dra. Luisa Molina	Molina Center for Energy and the Environment	MCE2	Organizador
44	Dr. Miguel Zavala	Molina Center for Energy and the Environment	MCE2	Organizador



ANEXO 2

Resumen de las Presentaciones y Discusiones



RESUMEN DE PRESENTACIONES Y DISCUSIONES SEPTEMBER 26-27, 2018

SESIÓN I CALIDAD DEL AIRE EN LA CDMX



1.1 Sistema de monitoreo de la Ciudad de México Olivia Rivera (SEDEMA)

- Olivia Rivera presentó un resumen breve de la historia del monitoreo atmosférico en la Ciudad de México. La red de monitoreo de calidad del aire se estableció en 1986.
- SIMAT se compone de los siguientes elementos: red automática (34 sitios), red manual (11 sitios), red de depósito atmosférico (17 sitios), red meteorológica (27 sitios, 1 perfilador de viento), centro de información de calidad del aire, laboratorio de análisis ambientales, y un centro de datos.
- A pesar del gran incremento en la infraestructura desde la administración previa (2006-2012) y la actual (2012-2018), la cantidad de personal no ha incrementado.
- El presupuesto total asignado al SIMAT ha incrementado de aproximadamente 119.4 millones de personas en 2006-2012 a un total de 140.7 millones de personas en 2012-2018.
- Los siguientes puntos representan las necesidades más importantes para SEDEMA:
 - Renovar equipos para las redes automáticas y meteorológicas
 - Adquirir equipo para el aseguramiento de la calidad
 - Renovar equipo del centro de datos para evaluar las acciones políticas
 - Colaborar con los institutos de investigación para generar información que ayude en la implementación de acciones para mejorar la calidad del aire



Discusiones

Rodolfo Sosa (UNAM): Invertir en una nueva infraestructura, particularmente para el monitoreo de compuestos VOC's tóxicos.

Respuesta (Olivia Rivera): El Laboratorio de análisis ambientales cuenta con instrumentación para medir COV pero tienen una gran necesidad de ser actualizados e incrementar su infraestructura. Los costos de operación y mantenimiento de los equipos también son aspectos importantes a considerar.

Leonora Rojas (Consultora): A qué se refiere con renovar equipo? ¿Y por qué el plomo sigue siendo monitoreado?

Respuesta (Olivia Rivera): El plomo se monitorea para dar cumplimiento a su norma. En términos de la necesidad de renovar el equipo, hay varias opciones incluyendo equipos con sensores de bajo costo y sensores remotos.

William Brune (PSU):Cuál sería el costo asociado (de personal y equipo) de monitorear COV?

Respuesta (Olivia Rivera): SIMAT no lo ha cuantificado. Armando Retama comentó que el costo de monitorear COV fue de 2 millones de pesos para el monitoreo de tres sitios durante 3 meses usando canisters. William Brune mencionó que la inversión inicial puede ser alta, pero decrece con el paso del tiempo.

Adrian Fernández (ICM): Una buena propuesta es realizar una evaluación de los costos para medir COV

Omar Amador (UNAM): Es importante distinguir entre COV tóxicos y medir COV que son precursores relevantes en la formación de ozono. El Platino en el aire ha incrementado debido al uso de convertidores catalíticos.

1.2 Calidad del Aire en la Ciudad de México (Reporte anual 2017)

Armando Retama (Consultant)



- Armando Retama sintetizó las condiciones meteorológicas y de calidad del aire de la CDMX para el 2017 (a partir del borrador del Reporte anual 2017, preparado en 2018).
- Las observaciones mostraron un incremento en la temperatura en los últimos años. El año 2017 fue más cálido que el promedio del periodo 2000-2016. Fueron observadas anomalías positivas en la temperatura y en marzo fueron más frías y húmedas debido a ondas frías y frentes con lluvias.
- La humedad relativa fue afectada por ondas frías y frentes con lluvias en marzo. La velocidad del viento también incrementó en este periodo con vientos desde el norte.
- Armando Retama describió el extraño evento del 9 al 11 de marzo de 2016 en el cual vientos fuertes de la corriente en chorro llegaron a la cuenca, reduciendo drásticamente los nieles de contaminación. Después de este periodo, un evento de alta presión produjo condiciones de altos niveles de ozono durante varios días.
- La energía solar es un recurso abundante en la Ciudad de México a lo largo del año. La población debería tener cuidado de exponerse a la radiación solar UV a lo largo del año.
- En términos de la calidad del aire con respecto a las concentraciones de CO, SO₂, NO₂ y Pb, éstas estuvieron por debajo de la norma correspondiente. La norma de O₃ 1-h (0.095 ppm) se excedió en 233 días. El límite normado para O₃ 8-h (0.07 ppm) se excedió en 235 días. El valor de PM₁₀ 24-h y los promedios anuales estuvieron por arriba de la norma de 75 y 40 µg/m³, respectivamente. Las PM_{2.5} 24-h y los promedios anuales de 45 y 12 µg/m³ se excedieron.
- El promedio de SO₂ se ha reducido continuamente; altas concentraciones se observan en invierno. Sin embargo, los picos pueden observarse durante la noche. Las concentraciones fueron más altas en sitios ubicados al norte.



-
- Las concentraciones promedio de NO_x disminuyeron algo con respecto a los valores de 1980 pero no mucho como en el caso de SO_2 . Los NO_x juegan un papel importante en la fotoquímica atmosférica y química nocturna. Se han reportado altas concentraciones de nitratos en aerosoles y despositación. La química del nitrógeno (diurno/nocturno) ha sido pobremente estudiada en las últimas décadas.
 - Las concentraciones promedio de CO han sido reducidas con respecto a los años 1980's. Durante la temporada de ozono, se observó que las concentraciones de CO aumentaron, sugiriendo altas emisiones.
 - La temporada de ozono inicia alrededor del 15 de febrero y termina aproximadamente el 15 de junio.
 - Las tendencias de ozono no muestran una disminución estadísticamente significativa en los 10 años anteriores. Las altas concentraciones de ozono son observadas con mayor frecuencia en las estaciones del sur. Sin embargo, algunas estaciones ubicadas al norte (ej. GAM) también registraron concentraciones muy altas de ozono. Todos estos cambios sugieren que existe la necesidad de revisar la química de formación de ozono (y de la meteorología) en la ZMVM.
 - SIMAT ha observado concentraciones de fondo realmente altas para ozono. Este fenómeno requiere de más estudios.
 - Los análisis de tendencias indican que no ha habido un cambio estadísticamente significativo en las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ desde 2006. Se observan dos picos para $\text{PM}_{2.5}$ (uno en invierno y el otro en primavera), indicando que existen diferentes procesos que controlan la formación de material particulado (y por lo tanto su composición) a través de los años.
 - Es necesario incrementar nuestro conocimiento en la composición de partículas finas (PM), la química atmosférica y sus precursores.
 - Existe una buena correlación de BC, NO_x y CO. Sin embargo, durante días festivos cuando es común que se quemen juegos pirotécnicos, esta correlación cambia drásticamente. El análisis de las trayectorias de retroceso mostró evidencia de los impactos de emisiones debió a la quema de biomasa en las concentraciones de BC en la ZMVM.

-
- Ocurrieron 2 episodios extremos de contaminación en 2017: El 6 de enero fue activada una fase de contingencia por PM debido a incendios como parte de una demostración del “gasolinazo”. Un episodio de altos niveles de ozono fue observado entre el 15 – 22 de mayo, debido a un sistema de alta presión.
 - Cerca del 30-40% de las muestras colectadas por la red de depósito atmosférico muestra niveles de acidez. Ocurrieron grandes impactos en el sur de la ciudad.
 - Los resultados de las mediciones realizadas para el periodo de noviembre de 2013 a febrero de 2014 en un sitio cerca de T0 (sitio IMP durante la Campaña MILAGRO), mostró que cerca del 33% de $PM_{2.5}$ estuvo formado por iones inorgánicos, de los cuales los sulfatos y nitratos fueron los más abundantes. Preguntas para la discusión:
 - No hay duda de que la calidad del aire ha mejorado desde los años 1990's, pero recientemente la disminución de las concentraciones de O_3 se ha detenido, ¿Por qué?
 - ¿Ha cambiado la reactividad y precursores de O_3 (COV, NO_y , OH, HO_2 , HCHO, etc.) desde la campaña MILAGRO? ¿Cómo? ¿Por qué?
 - ¿Por qué no se han observado cambios importantes en niveles de $PM_{2.5}$ desde 2004?
 - ¿Cuánto sabemos acerca de los aerosoles orgánicos primarios (POA) y aerosoles orgánicos secundarios (SOA)? ¿Cuáles fuentes? ¿Qué mecanismos participan?
 - La química del nitrógeno parece jugar un rol importante en la química diurna y nocturna, ¿Cuánto sabemos acerca de esto?
 - ¿Cómo impactarán los cambios en meteorología sobre la calidad del aire? ¿Qué necesitamos saber?
 - ¿Cómo se debería negociar la gestión de la calidad del aire con las fuentes regionales?
 - ¿Qué debemos hacer para mejorar el pronóstico de calidad del aire?



-
- ¿El último PROAIRE verdaderamente refleja el conocimiento obtenido de las campañas MCMA-2003 y MILAGRO? ¿Tenemos (o necesitamos) una actualización de las bases científicas para el diseño de un nuevo PROAIRE?

Discusiones

Adrián Fernandez (ICM): Existen fuertes retos para incorporar resultados científicos sobre la calidad del aire en el diseño de la calidad del aire y su implementación. Hemos tomado mucha información, pero hemos fallado en traducir esta información en políticas específicas y su implementación. Tenemos que trabajar juntos hacia este objetivo.

Johan Mellgyst (Chalmers Univ.): El ozono no ha mejorado en los últimos 10 años. Se han realizado muchos esfuerzos para reducir NO_x pero se han ejercido mucho menores esfuerzos para reducir los COV. Hay muy pocas mediciones de COV.

Armando Retama: Erick Velasco mostrará algunos resultados de mediciones de COV.

1.3 Inventario de Emisiones de la Ciudad de México Beatriz Cárdenas (SEDEMA)

- La Ciudad de México, a través de la SEDEMA, integra una actualización del inventario de emisiones de la ciudad en cumplimiento de la regulación mexicana. La CDMX es la única entidad en México que actualiza su inventario de emisiones cada dos años.
- El nuevo inventario de emisiones tiene varias mejoras en términos del número y la especificidad de las categorías reportadas, incluyendo los contaminantes criterio, tóxicos, carbono negro y gases de efecto invernadero (GEI), y el uso de MOVES-México adaptado para la CDMX. El inventario de la CDMX incluye 16 municipios, el Estado de México 59, y el municipio de Tizayuca Hidalgo.
- Aún existen grandes huecos de información que afectan la incertidumbre en el inventario. Un ejemplo de esto es el número de la flota vehicular para algunos municipios del Estado de México: No hubo datos disponibles (PVVO) y las estimaciones utilizadas fueron proyecciones de datos previos. De esta manera, junto con el efecto observado del registro de placas en diferentes municipios, este aspecto tendrá que ser abordado en las nuevas versiones del inventario.



-
- El sector transporte representa más del 60% del consumo total de energía en la CDMX, cuatro veces más alto que el sector industrial.
 - Algunas mejoras en el inventario de 2016 incluyen: la estimación de emisiones en el tratamiento biológico de residuos, emisiones de CO₂ por fumar, emisiones de partículas debidas a las heces de perros y gatos, mejoras en los cálculos de incendios a cielo abierto y emisiones de residuos sólidos, estimaciones de fuentes puntuales por tipo y tamaño de sus equipos de combustión y actualizaciones de los factores de emisión para Gas L.P.
 - Los resultados muestran que las emisiones locales debidas a las actividades de la población incluyen el uso de disolventes y combustibles en el sector residencial, son grandes emisores de COV, NH₃, SO₂ y compuestos tóxicos en aire. Las fuentes móviles tienen altas emisiones de PM₁₀, PM_{2.5}, NO_x, CO, BC y GEI. Las fuentes móviles locales contribuyen con grandes emisiones de PM₁₀, NO_x, CO y GEI por vehículos a gasolina, taxis y “microbuses”. Las fuentes federales son grandes emisores de PM_{2.5} y BC provenientes de vehículos pesados a diésel.
 - Otros resultados incluyen: 1) La resuspensión de polvos de caminos pavimentados representan 23% del total de las emisiones de PM₁₀; 2) Camiones federales representan solo 3% de la flota vehicular de la CDMX pero contribuyen con el 14% del total de PM₁₀; 3) Debido a que el 84% de la flota vehicular de camiones pesados son de jurisdicción federal, es importante homologar los procedimientos de inspección de vehículos y promover la introducción de vehículos con nueva tecnología. 4) Altas emisiones de COV provienen de fugas de Gas L.P. (20%) provenientes del sector residencial, seguidos por el uso de disolventes en el sector de artes gráficas (7%) y de la limpieza de superficies industriales (6%); 5) El 70% de las emisiones de PM₁₀ y 64% de PM_{2.5} en la ZMVM provienen del Estado de México (59 municipios); 6) Fueron evaluados 172 compuestos tóxicos, que representan el 30% del total de los COV. 7) Las principales fuentes de compuestos tóxicos son de la industria, pintura automotriz, artes gráficas, pesticidas domésticos y aguas residuales; 8) Las fuentes móviles son los contribuidores más grandes de emisiones de CO₂.
 - Es necesario recalcular los inventarios previos utilizando los nuevos métodos y herramientas desarrolladas.



Discusiones

Gerardo Ruíz (UNAM): ¿Cómo asegurar que no existe un conteo duplicado cuando se reporta COT, COV y compuestos tóxicos?

Erick Velasco (Investigador): El desarrollo de inventarios de emisión refleja la evolución de los compromisos de la CDMX para mejorar la calidad del aire. Sin embargo, es imperativo evaluar los inventarios con mediciones. La pregunta es ¿Cómo propone el SIMAT evaluar la incertidumbre en los inventarios?

Gustavo Sosa (IMP): Respecto a las emisiones de NH_3 , ¿Qué factores de emisión fueron usados? Esto es especialmente importante para fuentes móviles.

Respuesta (Beatriz Cárdenas): Está claro, que una de las actividades que necesitan realizarse es la evaluación del inventario, incluyendo la identificación sobre cuáles de las incertidumbres son mayores. Existen grandes incertidumbres en los datos de actividad (incluso más que los factores de emisión). Es necesaria mucha integración entre las agencias (inventarios de emisión y monitoreo) dentro de SEDEMA. El uso de modelos en la actividad ha ayudado también a investigar la incertidumbre en los inventarios, pero se necesita mucho más (incluyendo colaboraciones con otros grupos).

En términos de la posibilidad de un conteo duplicado, los COV están incluidos en el Carbono Orgánico Total (COT, o TOC en sus siglas en inglés) y sus compuestos tóxicos están incluidos en los COV. Una recomendación es la de incluir estas aclaraciones en el inventario.

En términos de NH_3 , SEDEMA está consciente de que hace falta incluir fuentes de NH_3 y ya ha incluido algunas (descritas arriba). Las emisiones de NH_3 provenientes de fuentes móviles fueron obtenidas utilizando MOVES-Mexico.

Hugo Landa (SEMARNAT): La reciente colaboración entre SEMARNAT, CDMX y otros grupos han sido muy productivos en términos del mejoramiento en el desarrollo de inventario de emisión. Estos incluyen la homologación de los métodos de cálculo. El cálculo de emisiones en el Inventario Nacional de Emisiones de México 2016 (INEM) ha sido estandarizado mucho más que en las versiones previas. Sin embargo, aún hay grandes vacíos de información, particularmente de datos de actividad y su desagregación espacial y temporal.

Aron Jazcilevich (UNAM): El desarrollo de los inventarios de emisión se han reducido a trabajo de gabinete. Existe la necesidad de llevar acabo medir emisiones en laboratorio. Los cálculos están basados en datos encontrados en la literatura, pero no han sido usados datos experimentales para validar estos datos.

Leonora Rojas (Consultor): Ella está de acuerdo que se necesitan mucho más datos experimentales y mediciones para evaluar el inventario, así como, colaboraciones entre el gobierno de la CDMX y las agencias del Estado de México.

Respuesta (Beatriz Cárdenas): Sólo para aclarar, que incluso con el trabajo experimental, el trabajo de gabinete aún requiere realizarse. En realidad, ha habido alguna incorporación de resultados de trabajos científicos, pero no son suficientes. Un ejemplo es el estudio de fugas de Gas L.P. Otro ejemplo, es el uso de los programas PVVO.

1.4 Un sistema de modelación para el pronóstico de la calidad del aire y gestión de la calidad del aire en la CDMX

Marc Guevara (Barcelona Supercomputing Center)

- Uno de los objetivos de los sistemas de modelación de la calidad del aire para la Ciudad de México es la de tener una alta resolución y un pronóstico flexible y ser una herramienta de planeación para los tomadores de decisiones. A través de la aplicación de calidad del aire se ha tenido mucho progreso para comunicar los niveles de calidad del aire en la ZMVM.
- El procedimiento utilizado en el desarrollo de los productos de modelación operacional de los pronósticos en SEDEMA incluyen: meteorología usando el WRF (GFS para condiciones iniciales y de frontera), modelación de la calidad del aire usando CMAQ, el uso del modelo de emisiones HERMES-Mex y el INEM 2013, post proceso para producir mapas y series de tiempo.
- La plataforma flexible de HERMES-Mex tiene 101 categorías de fuentes de emisión (tipo de fuente, combustibles, y tecnología), instalaciones industriales individuales, y opciones para crear escenarios de emisión.
- El pronóstico es evaluado usando los datos de las estaciones de la RAMA. En general, el modelo reproduce las observaciones de ozono, pero existen grandes diferencias en periodos específicos. El modelo no tiene un buen desempeño para las estaciones localizadas en la periferia, sugiriendo que se mejore el inventario de emisiones en estas regiones.



-
- Las observaciones también son usadas para “corregir” el sesgo de las salidas del modelo. Además, ellos interpolan las correcciones en otras partes del dominio.
 - El modelo se corrió utilizando las emisiones de MOBILE6-México para el sector transporte y los resultados fueron comparados con aquellos obtenidos utilizando el modelo MOVES-Mex. La comparación de los resultados mostró que el modelo reprodujo mejor las observaciones utilizando el modelo MOVES-Mex. Sin embargo, existe aún una gran necesidad de mejorar la especiación de COV.
 - Reemplazando el CMAQv5.0.2 por el CMAQv5.2 en las simulaciones de PM_{2.5} ha permitido un impacto positivo. La versión más reciente incluye esquemas de partición y envejecimiento de POA semivolátil, así como, potencial de formación de SOA a partir de emisiones de combustión.
 - Fue evaluado el impacto de los programas PCAA para un caso de estudio durante el 15 al 24 de mayo de 2017. Los resultados para el 23 de mayo sugieren reducciones de ozono, variando de 6.3 ppb a 12.2 ppb en promedio, dependiendo del escenario.
 - La evaluación de los impactos en las acciones del PROAIRE, usando como base el caso de estudio del 26 de abril de 2016 y la reducción de las emisiones estimadas por SEDEMA sugieren que la aplicación del PROAIRE tiene importantes beneficios en la calidad del aire de NO₂ y PM_{2.5}.
 - Temas presentados para la discusión:
 - El uso de modelos como herramientas y las observaciones son cruciales para el proceso de toma de decisiones sobre la gestión de políticas de calidad del aire.
 - Las emisiones son la clave de los datos de entrada. Es necesario el uso de factores de emisión basados en las mediciones en condiciones reales a nivel local para mejorar su caracterización.
 - Deben incluirse más acciones para abordar las emisiones de COV en los planes futuros para reducir efectivamente los niveles actuales de O₃ (la producción de O₃ en la CDMX está limitada por COV).

-
- Los programas PVVO y HNC, que han demostrado ser eficaces para reducir el NO₂ y las PM_{2.5}, deben actualizarse periódicamente en los planes futuros para extender su efecto sobre un número mayor de vehículos.
 - Los planes/acciones de calidad del aire a corto plazo versus a largo plazo: ¿dónde debemos poner más esfuerzos? (reducir el pico o los niveles medios)
 - La contaminación del aire no tiene límites administrativos: Es necesaria la coordinación de políticas con otras autoridades regionales y el gobierno central para controlar las emisiones que se producen en el CDMX pero que están fuera de su jurisdicción (por ejemplo, automóviles provenientes de otros municipios, contenido de solventes en los productos).

Discusiones

Telma Castro (UNAM): Por más de seis meses no hubo aplicación del programa PVVO. ¿Esto fue considerado en las simulaciones, o evaluado?

Respuesta (Marc Guevara): SEDEMA estimó las emisiones año por año desde 2012, por lo que esto puede haberse reflejado en las estimaciones.

Gustavo Sosa (IMP): El cambio al modelo MOVES representó reducciones del 30-50% en COV y NO_x, que son mucho más altos que los escenarios reales considerados.

Respuesta (Marc Guevara): Eso es verdad; Las reducciones son para las emisiones totales.

Gerardo Ruiz (UNAM): ¿Los escenarios de reducción de emisiones consideraron los efectos del aumento en conducir vehículos debido a la aplicación de la HNC?

Respuesta (Marc Guevara): Nos interesó la respuesta general del modelo a estos cambios, no una respuesta precisa.

Erik Velasco (Investigador): ¿Qué tan bien el modelo ha reproducido la micro-meteorología, PBL, vientos?

Respuesta (Marc Guevara): La PBL no ha sido evaluado. Los vientos están mal reproducidos, particularmente en algunas estaciones. La temperatura está bien reproducida. Esto sugiere que se pueden necesitar nuevas parametrizaciones.



Patricia Camacho (SEDEMA): Patricia Camacho (SEDEMA): Las reducciones de emisiones se estiman antes de ejecutar el modelo. En el caso del HNC/PVVO, las reducciones incluyen la eficiencia de la aplicación de los programas



1.5 Calidad del Aire y Salud CDMX

Leonora Rojas (Consultant)

- Hay muchas acciones en el PROAIRE. Indirectamente, la mayoría de ellas están relacionados con la disminución de los impactos de la calidad del aire en la salud humana. PROAIRE enumera explícitamente 9 estrategias para proteger la salud: actualizar las regulaciones, fortalecer el sistema de alerta temprana, la comunicación de riesgos, actualizar el PCAA, prevenir impactos en el cambio climático y salud, establecer un sistema para la evaluación de los costos de los impactos en la salud, y rediseñar y actualizar el SIMAT.
- La calidad del aire (O_3) ha mejorado con respecto a 1980 lo que sugiere cambios en los beneficios para la salud en términos de exposición crónica. Sin embargo, los estándares de calidad del aire todavía no se cumplen en la ZMVM.
- Los resultados actuales confirman que la contaminación del aire es uno de los principales factores de riesgo de muerte prematura. Esto también se aplica a la CDMX (se estiman alrededor de 2000 muertes prematuras asociadas con $PM_{2.5}$ y aproximadamente 200 con el ozono).
- El estudio de colaboración entre SEDEMA y Harvard desde 2014 es parte de las estrategias apoyadas por SEDEMA para mejorar la calidad del aire. El objetivo fue estimar los beneficios en salud pública relacionados con las mejoras a largo plazo en la calidad del aire de la CDMX. El estudio constó de cuatro fases; Los resultados serán presentados dentro de pocas semanas.
- México necesita investigar la toxicidad para PM e impactos a exposiciones crónicas. También es necesario implementar un sistema para evaluar los costos por los impactos en la salud y mejorar aún más el sistema de alerta temprana.



Discusiones

David Heres (CIDE): También deben desarrollarse en México los estudios de exposición-respuesta. Es preocupante que haya muy pocos datos sobre los niveles reales de exposición en México. En la CDMX, la mayor parte de la exposición ocurre en interiores mientras se transporta de un lugar a otro. Además, hay pocos estudios sobre los beneficios económicos de los impactos en la salud.



David Heres (CIDE): Otra necesidad en México es el desarrollo de datos de exposición del Sistema de Salud Mexicano en la desagregación espacial y temporal que podría usarse para estudios de salud.

Erik Velasco (Investigador): Los estudios de exposición deben considerar las concentraciones en los niveles de "nariz" y no la altura de las estaciones de monitoreo.

Aron Jazcilevich (UNAM): También se deben incluir estudios para pólenes y bio-aerosoles.

Respuesta (Leonora Rojas): Los estudios de exposición deben ser una prioridad. Con respecto a la altura de medición, estamos utilizando los procedimientos internacionales para este tipo de estudios.

1.6 PROAIRE 2011-2020: Revisión e identificación de estrategias para mejorar la calidad del aire en la Ciudad de México

Tanya Müller (SEDEMA)

- La Secretaria Tanya Müller presentó información de antecedentes sobre los desafíos para mejorar la calidad del aire en el CDMX. Mostró las tendencias de calidad del aire en la CDMX. SEDEMA ha aumentado las capacidades de monitoreo ambiental.
- SEDEMA cree en la importancia de compartir la información con el público. La App "Aire" es una gran herramienta desarrollada "in-house" para este propósito.
- El inventario de emisiones ha mejorado sustancialmente en esta administración; esto ha permitido la aplicación de herramientas de modelación para evaluar acciones y políticas en materia de calidad del aire.
 - • Los siguientes puntos podrían considerarse en el desarrollo del nuevo PROAIRE:
 - - Definir indicadores en el PROAIRE en lugar de solo acciones realizadas; necesitamos indicadores de efectividad.

-
- - Armonización efectiva de acciones en la región metropolitana/megalópolis.
 - - Se necesita una institución independiente con poder de convocatoria y resolución para trabajar en temas relacionados con el transporte, el desarrollo urbano y la eficiencia energética, entre otros.
 - - Se necesitan acciones cada vez más efectivas para reducir las concentraciones ambientales de PM2.5. Definición de objetivos claros, cuándo y cómo.
 - - Realizar una revisión continua del Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA).
- Incluir acciones para reducir la emisión de COV y PM2.5.
 - Examinar si los mecanismos de exención al PCAA para industrias, negocios y servicios podrían ser un buen incentivo.
 - Desarrollar acciones para reducir las emisiones de COV (fuentes industriales, combustible, uso de solventes en tiendas, servicios y uso residencial).
 - Dar seguimiento continuo de PROAIRE por otros sectores (no solo el gobierno).
 - Incrementar la participación de los municipios en diferentes acciones.
 - Enviar mensajes claros: la calidad del aire ha mejorado, pero aún nos queda mucho camino por recorrer.
 - Fortalecer PROAIRE con objetivos claros: un calendario concreto con la fecha de vencimiento específica de cada objetivo, indicadores para cada acción y para el progreso general.
 - Priorizar acciones que PROAIRE debe implementar lo antes posible.
 - Identificación de acciones efectivas para la reducción de COV.
 - Definir las acciones regulatorias que debe implementar la Ciudad de México.
 - Vigilancia: identificar acciones que son urgentes y necesarias.



-
- Actualizar e innovar programas para reducir las emisiones de transporte.



SESIÓN II

EXPERIENCIA INTERNACIONAL

2.1 La insoportable presencia de COV en el ambiente de la Ciudad de México.

Erik Velasco (Researcher)



- Erik Velasco presentó una descripción general de la información básica sobre la contaminación del aire en la Ciudad de México. Los niveles de ozono no se han reducido desde 2006; Los niveles de NO_2 tampoco se han reducido durante el mismo período. Hay información muy limitada sobre las mediciones de COV.
- En 2012, Armando Retama coordinó una campaña de medición de COV (2 sitios, 6 meses, 22 especies). Los resultados de las mediciones sugieren un "efecto de fiesta" en los niveles de VOC, que se identificó a partir de las abundantes actividades sociales y de entretenimiento durante las noches de viernes y sábado, lo que llevó a niveles más altos de tráfico vehicular y mayores índices de mezcla de varios NMHC. Esto se acompaña de mayores niveles de ozono durante los fines de semana. Los resultados también mostraron variaciones mensuales distintivas que están relacionadas con cambios en la fotoquímica y los patrones meteorológicos.
- Las comparaciones con las concentraciones en 2003 en La Merced y Pedregal con respecto a los días de la semana mostraron un aumento en las olefinas y una disminución en los alquenos y aromáticos en 2012. Estos resultados sugieren cambios en las emisiones de COV y en la reactividad en la atmósfera de la ZMVM. Sin embargo, estos estudios necesitan ser actualizados. También encontraron concentraciones de isopreno que varían con la temperatura mensual.
- Los cambios en el programa HNC después de julio de 2014 pueden haber reducido aún más las emisiones de COV. Sin embargo, las emisiones de evaporación en la Ciudad de México pueden ser más altas de lo que se pensaba anteriormente. Estos criterios deben ser considerados en el nuevo PROAIRE.



-
- La atmósfera de la Ciudad de México ha cambiado desde 2006. Al igual que en otras grandes ciudades, se necesita información científica actualizada para abordar la amenaza de O₃.
 - A medida que la tecnología reduce las emisiones de fuentes móviles, las emisiones de COV de las fuentes del área aumentan su importancia relativa.

Discusiones

Gustavo Sosa (IMP): ¿Por qué hay diferencias de aumentos/reducciones de COV específicos entre 2003 y 2012?

Respuesta (Erik Velasco): Las olefinas tienen diferentes fuentes de emisión, pero las fuentes móviles son predominantes.

Dara Salcedo (UNAM): La reactividad de las olefinas aumenta y los aromáticos disminuyen. ¿Cuál es el efecto neto en la reactividad?

Respuesta (Erik Velasco): No es posible estimar el efecto neto en la reactividad porque el número de COV medidos fue limitado. Los aldehídos, por ejemplo, no se midieron y son muy importantes.

Elizabeth Vega (UNAM): ¿Cuáles fueron las medidas para reducir las fugas de GLP? Esto se debe a que es difícil atribuir reducciones observadas a medidas específicas cuando varias fuentes emiten los mismos compuestos.

Respuesta (Erik Velasco): SEDEMA indicó que existe un programa para sustituir los cilindros de GLP en los hogares.

Johan Mellqvist (Chalmers Univ.): El presentador comparó las concentraciones entre 2003 y 2012. Sin embargo, uno debe tener en cuenta los cambios de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, PBL, etc., todos los cuales también afectan las concentraciones y, por tanto, las comparaciones.

Respuesta (Erik Velasco): Así es. Estos otros factores no fueron tomados en consideración y pueden afectar las comparaciones presentadas.

Beatriz Cárdenas (SEDEMA): El uso de GLP en microbuses en 2003 fue mayor que en la actualidad. También ha habido cambios hacia el GNC. Además, existen muchas incertidumbres sobre el tamaño de la flota de vehículos para evaluar las razones de los cambios.



Marc Guevara (BSC): En el modelo, vemos que tenemos menos o más estimaciones en COV según las familias de COV, por lo que existe la necesidad de especificar mejor estas emisiones.



2.2 Cuantificación e identificación de emisiones de COV difusas utilizando sensores remotos ópticos móviles Johan Mellqvist (Chalmers University of Technology)



- Los COV son compuestos orgánicos que tienen una presión de vapor de 0.01 kPa o más a 293 K (propano, benceno, etanol, eteno), son semi-volátiles y causan formación de partículas secundarias (SOA) y son ingredientes clave en la producción de ozono fotoquímico.
- Existen importantes desafíos para las mediciones de emisiones de COV de fuentes de área difusas (fuentes pequeñas como pozos petroleros, industria pequeña, estaciones de servicio). A menudo las emisiones muestran grandes diferencias entre los valores observados y reportados.
- Durante las campañas de campo MCMA-2003 y MILAGRO 2006, el grupo de Chalmers analizó las correlaciones de especies durante las horas pico de la mañana para distinguir entre las contribuciones primarias y secundarias a los COV.
- Las correlaciones de VOC podrían ser una forma útil de evaluar los impactos de las acciones de calidad del aire.
- El grupo Chalmers ha implementado varias técnicas de medición para la medición y cartografía del flujo de gas, incluido el Flujo de Ocultación Solar (SOF), Sky DOAS, FTIR extractivo móvil (MeFTIR) y MW-DOAS.
- SOF es la mejor tecnología disponible en Europa para refinerías y varias otras fuentes para la validación de las emisiones de COV calculadas. Las técnicas se utilizan operativamente en el norte de Europa para el informe de emisiones (+100 campañas). Actualmente se están estandarizando varias técnicas en el CEN europeo (SOF, Tracer, DIAL, OGI). El estándar final estará disponible en 2020.
- El Distrito de Administración de la Calidad del Aire de la Costa Sur de California (SCAQMD) en California adquirió un laboratorio óptico móvil para medir las emisiones de COV difusas a partir de febrero de 2019. Las mediciones son valiosas para el control de cumplimiento.

-
- Los estudios de la campaña SOF se han llevado a cabo en muchos lugares (California, Texas, Sarnia-Canadá, Medio Oriente, China y Europa).
 - Estas técnicas se han aplicado en California desde 2013, incluidas refinerías, instalaciones de producción de petróleo y gas, estaciones de servicio, tanques de tanques, etc. Por ejemplo, las emisiones estimadas del sector del gas y el petróleo aumentaron de 1550 kg/hora a 13317 kg/hora (un factor de 8.6) comparando con el inventario de 2012. Según el inventario de la CARB, esto aumentaría en un 70% las emisiones totales de COV en la cuenca de Los Ángeles, incluidas las fuentes de área, móviles y estacionarias.
 - Conclusiones y perspectivas:
 - Las técnicas ópticas móviles son una forma eficiente de identificar las grandes emisiones en un área compleja.
 - Las técnicas ópticas se están estandarizando y son la mejor técnica disponible para la industria en Europa.
 - Las mediciones de validación muestran incertidumbres del 20-40%.
 - El trabajo en California muestra que hay una discrepancia de 500% en promedio entre las emisiones reportadas y medidas para las refinerías. Pero existen discrepancias mayores para fuentes más pequeñas y menos reguladas.

Discusiones

Omar Amador (UNAM): ¿Cuál es la selectividad de especies COV de estas técnicas en comparación con la cromatografía de gases (GC)?

Respuesta (Johan Mellqvist): No es tan bueno como GC. Es necesario entender lo que se está haciendo al aplicar estas técnicas.

Gustavo Sosa (IMP): Gustavo Sosa (IMP): Esto es más un comentario. IMP está interesado en medir COV para las industrias de petróleo y gas y también metano en refinerías, así como implementar un sistema para medir metano isotópico para distinguir fuentes antropogénicas y naturales.



2.3 Los procesos meteorológicos y fotoquímicos que contribuyen a la formación de ozono.

William Brune (Pennsylvania State University)

- Los temas de la presentación incluyeron la meteorología que afecta la formación de ozono y SOA; una comparación meteorológica con cuatro ciudades de los EE. UU., una comparación de la calidad del aire en la ZMVM y los EE. UU., una revisión de las tendencias del ozono en la ZMVM.
- Los campos de viento en la ZMVM son relativamente ligeros en comparación con otras ciudades. Eso tiene afecta las tasas de ozono y producciones de SOA. Las direcciones son norte-sur la mayor parte del tiempo con movimientos en pendientes ascendentes y descendentes.
- Un aspecto interesante a considerar es si los aumentos observados en la humedad relativa se han traducido en una mayor nubosidad. Tener una humedad relativa más alta en ausencia de nubes aumentará la cantidad de OH. Por otro lado, con mayor nubosidad la fotoquímica se reduce. Durante MILAGRO la mayoría de las mañanas eran despejadas, pero algunas tardes estaban parcialmente nubladas, disminuyendo la fotoquímica. Esto significa que una gran cantidad de fotoquímica ocurre en un corto período de tiempo.
- Una comparación entre la ZMVM y Houston, Los Ángeles, Nashville y Nueva York muestra que la capa de límite planetario (PBL) en la ZMVM es relativamente alta en comparación con las otras ciudades. La meteorología que impulsa los excedentes de ozono es diferente en todos estos lugares. En la ZMVM, las condiciones son impulsadas por una combinación de topografía, alta radiación solar y vientos ligeros.
- Una comparación de los estudios en Houston (TEXAQS2000; TRAMP2006), Nueva York (NYC2001) y Ciudad de México (MCMA-2003) mostró que la producción de ozono en la ZMVM en 2003 fue mucho mayor que en los otros lugares. Sin embargo, la contribución a la reactividad de varios contaminantes fue muy diferente en todos los lugares. Esto resalta la necesidad de comprender la composición de VOC en la atmósfera de la ZMVM.



-
- Tendencias de comparación preliminares (utilizando estaciones individuales) para CO y NO₂ en la ZMVM con cuatro ciudades de EE. UU. (Houston, Los Ángeles, Nashville y Nueva York): El CO mostró una tendencia a la baja más pronunciada en la ZMVM a partir de 2009 que en otras ciudades, mientras que las tendencias de NO₂ son similares. Las tendencias del ozono también se aplanan en las cinco ciudades en los últimos 15 años. La excepción fue Houston, donde las tendencias del ozono han ido disminuyendo constantemente. Sin embargo, argumentó que se deben a cambios en las condiciones meteorológicas.
 - Con respecto al efecto del fin de semana en el que las reducciones drásticas de CO, NO_x y COV no producen cambios significativos en el ozono: esto debe investigarse más a fondo a través de los cambios en la reactividad del OH.
 - Una comparación preliminar de CO, NO_x y O₃ mostró que el efecto del fin de semana todavía está presente en la ZMVM. Sin embargo, las tendencias de día y domingo y CO y buey están convergiendo.
 - Necesitamos repensar qué controla la producción actual de ozono en la ZMVM. La noción de que la ciudad es sensible a VOC o NO_x no es adecuada para representar las complejas combinaciones de ciclismo radical que ocurren durante el día y en diferentes partes de la ciudad. Esto a su vez significa que la ZMVM debe tener cuidado al elegir qué considerar más a fondo como opciones de políticas para controlar el ozono. Conclusiones:
 - En la ZMVM las temperaturas medias están aumentando.
 - Tanto el NO_x como el CO (y algunos COV) han disminuido drásticamente desde 2003.
 - El ozono se ha reducido, pero recientemente parece haberse estancado tanto para la ZMVM como para algunas ciudades de EE. UU. ¿Por qué?
 - Es más importante estudiar O_x que O₃ para comprender la respuesta del ozono a los cambios de COV y NO_x.
 - Las pendientes del domingo disminuyen menos que las pendientes del día de la semana disminuyen. ¿Es esto debido a que la mayoría de las reducciones están en el sector del transporte?



-
- Se necesitan reducciones de COV y O_x para reducir el O₃.
 - Si las concentraciones son más importantes que las relaciones de mezcla para la salud, entonces para [CO], [NO_x] y [O₃] las cantidades en la ZMVM son casi similares a las de las cuatro ciudades de los EE. UU.
 - En cuanto a las necesidades críticas se pueden identificar: 1) Mediciones a largo plazo de COV, particularmente aquellas especies con mayor reactividad de OH; 2) Asegurar de que los modelos puedan capturar las tendencias de los días laborables del domingo a largo plazo; 3) Llevar a cabo otra campaña de campo intensiva para verificar el progreso desde MCMA-2003 y MILAGRO-2006.

Discusiones

Leonora Rojas (Consultora): La noción de que las respuestas de sensibilidad COV/NO_x de la atmósfera de la ZMVM ha cambiado es muy útil para el objetivo de diseñar nuevas estrategias de política.

Respuesta (William Brune): Para abordar estos problemas, es necesario comprender mejor el papel de las contribuciones de NO_x y COV. Sin embargo, los vehículos diésel son un objetivo atractivo de reducción de NO_x. El diésel no es bueno para el medio ambiente.

Marc Guevara (BSC): La idea de probar la capacidad del modelo para reproducir las tendencias es un tema de investigación actual en Europa. En México el problema es que los inventarios de emisiones no son consistentes en el tiempo.

Johan Mellqvist (Chalmers): Parece que está promoviendo reducciones de NO_x, pero esto es lo que la ZMVM ha estado haciendo en los últimos 20 años sin mucho impacto. Un gran problema es que no hay mediciones de COV.

Respuesta (William Brune): El punto es que hay algunos ciclos entre OH y HO₂ que no se pueden explicar en este momento. Simplemente no lo sabemos.

Gerardo Ruiz (UNAM): Un estudio reciente muestra que el efecto del fin de semana ahora es más fuerte como resultado del éxito de las políticas de control.

Respuesta (William Brune): Este es un buen punto porque el efecto sobre la HO₂ desaparece en lugares con alta reactividad.



Erik Velasco (Investigador): Los resultados del modelado del BSC mostraron grandes reducciones de NO_x por parte de los programas HNC/PVVO y una menor reducción de COV. Durante el episodio de ozono alto de 2016 no vimos una disminución clara en el ozono.

Respuesta (William Brune): No puedo explicar esto tampoco. Hay evidencia en conflicto.

Beatriz Cárdenas (SEDEMA): Las comparaciones con otras ciudades han sido muy ilustrativas. Además, en respuesta al comentario de Johan: las mediciones muestran que los niveles de NO_x aún son muy altos en la ZMVM, por lo que debemos seguir controlando el NO_x .

2.4 Evaluación de fuentes y composición de material particulado en la ZMVM

Dara Salcedo (UNAM)

- Dara Salcedo presentó los resultados de las mediciones en el sitio del Laboratorio de Análisis Ambiental (LAA) de noviembre de 2014 a abril de 2015 y en el sitio de CCA (enero-marzo de 2015) obtenidos mediante el uso de la Espectrometría de Masas de Aerosol (iones inorgánicos PM_1 no refractarios NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , Cl^- y compuestos orgánicos, Monitoreo de AeRosols y GAses en el aire ambiente (MARGA) (iones inorgánicos NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , Cl^- , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , y el medidor de extinción fotoacústico (BC). los resultados también se compararon con la medición de las campañas MCMA-2003 y MILAGRO-2006.
- La temporada alta de ozono no corresponde a la temporada alta de PM. $\text{PM}_{2.5}$ tiende a ser mayor a principios de año. Las observaciones muestran que BC ha permanecido más o menos constante durante 15 años.
- Los resultados muestran un pico claro de NO_3^- y NH_4^+ . Se observaron grandes diferencias en los sitios, pero esto podría deberse al lapso de tiempo entre los años de las mediciones, así como a la distribución espacial de la química de PM en la ciudad. Una comparación con $\text{PM}_{2.5}$ de estaciones cercanas a los sitios también muestra una gran variabilidad.
- SO_4^{2-} también varió sustancialmente entre los sitios; son más altos en el sitio del sur. Esto sugiere que la PM es más oxigenada (envejecida) en el sur.



-
- La composición de PM no fue muy diferente entre las mediciones de 2003, 2006 y 2014 en el sitio de LAA, pero sí algo diferente en el sitio de CCA (tanto para componentes orgánicos como inorgánicos: la fracción orgánica es más oxigenada en el sur).

 - La acidez de los aerosoles tiene implicaciones para las velocidades de reacción de los componentes inorgánicos y la solubilidad de los metales asociados con el polvo mineral. En MCMA-2003, solo se observó un corto período de acidez, que se asoció con alto contenido de SO_4^{2-} y SO_2 . Durante MILAGRO no hubo periodos ácidos. Sin embargo, en el sitio de LAA, los aerosoles fueron ácidos durante noviembre y diciembre. Esto sugiere una gran variabilidad estacional de la composición de PM a lo largo del año. Esto también destaca la necesidad de medir el NH_3 de forma continua. Conclusiones:
 - No se observaron cambios significativos en la concentración y composición de partículas en 10 años al norte de la ciudad durante la estación seca-cálida
 - Las observaciones recientes indican variabilidad: estaciones secas-cálidas versus estaciones secas-frías, sur contra norte
 - El aerosol es más envejecido en el sur, y los iones secundarios inorgánicos son más importantes.
 - La acidez puede variar según la estación debido a cambios en T, RH, SO_2 y NH_3 .
 - Se necesita más información sobre PM: 1) escalas de tiempo y espacio más grandes, 2) precursores de aerosoles secundarios, orgánicos e inorgánicos (incluidos HNO_3 y NH_3).

Discusiones

Gustavo Sosa (IMP): La acidez del aerosol es muy importante. Es sorprendente que la acidez fuera tan alta durante dos meses. Esto sugiere que las fuentes de SO_2 fueron particularmente altas durante ese período o que las fuentes de NH_3 son heterogéneas a lo largo del año.

Respuesta (Dara Salcedo): Eso es cierto, aunque también debemos considerar los cambios en el viento predominante durante ese tiempo. Es importante investigar las fuentes de NH_3 .



Adrian Fernández (ICM): ¿Puede describir nuevamente las razones de los posibles cambios de acidez observados en el sitio de CCA? Además, ¿Puede especular sobre los impactos de los cambios a largo plazo en la meteorología en la composición de PM?

Respuesta (Dara Salcedo): No observamos aerosoles ácidos en el sitio de CCA, fue neutral. Es la primera vez que tenemos mediciones en este sitio, por lo que es necesario aumentar el número de sitios. Con respecto a la segunda pregunta, la temperatura tiene un efecto sobre la acidez de PM, pero el jugador real es la concentración de NH_3 .

Elizabeth Vega (UNAM): Desde IMADA encontramos que las partículas fueron neutralizadas por el NH_3 . En el caso de Tula, el SO_2 y el SO_4^{2-} fueron muy altos y los aerosoles muy ácidos.

Respuesta (Dara Salcedo): En el sitio sur CCA también observamos altas concentraciones de SO_4^{2-} , pero el aerosol no era ácido. Esto probablemente tiene que ver con las fuentes circundantes de NH_3 .

Rodolfo Sosa (UNAM): Sabemos que el SO_2 no es un problema para la calidad del aire, pero el SO_4^{2-} puede contribuir mucho a la lluvia ácida. Otro aspecto es que el SO_4^{2-} puede ser emitido en pequeña cantidad por la combustión de combustible pesado. Sabemos que en las regiones de Tula, el combustible pesado todavía se usa ocasionalmente.

2.5 Control de la Contaminación del Aire en California Bart Croes (CARB)

- El sector del transporte desempeña un papel importante en los problemas de calidad del aire de California y en las emisiones de gases de efecto invernadero. Se ha alcanzado el cumplimiento de los estándares de calidad del aire para plomo, SO_2 , sulfatos y NO_2 . Los niveles máximos de ozono y $\text{PM}_{2.5}$ se han reducido en al menos un 75%. Sin embargo, todavía hay muchos días de ozono y $\text{PM}_{2.5}$ inaceptables en la mayor parte del Estado. Las estimaciones del número de muertes prematuras asociadas con $\text{PM}_{2.5}$ y ozono son altas, la exposición a largo plazo a $\text{PM}_{2.5}$ parece ser responsable de hasta el 90% de estas muertes y se ha convertido en el foco de los esfuerzos de control.



-
- California financió un estudio de salud infantil con la Universidad del Sur de California. Los resultados muestran que el impacto de la contaminación del aire incluye un menor crecimiento de la función pulmonar y un aumento de la bronquitis y el absentismo escolar. El estudio es uno de los primeros en indicar un posible papel causal de la contaminación del aire en el desarrollo del asma.
 - El programa de investigación de la ARB continúa desempeñando un papel importante para enfrentar los desafíos de los estándares federales de calidad del aire cada vez más estrictos y los objetivos climáticos a largo plazo. Los proyectos incluidos en el plan de investigación ayudarán a mantener la base científica de la ARB, identificar nuevas estrategias de reducción de emisiones y monitorear el progreso de las regulaciones que ya existen para garantizar que los programas se implementen con éxito.
 - El objetivo de reducción de los GEI a los niveles de 1990 para 2020 y el 80 por ciento por debajo de los niveles de 1990 para 2050 se aplica a todas las fuentes importantes de la economía. En abril de 2015, el Gobernador Brown firmó la Orden Ejecutiva B-30-15, estableciendo un nuevo objetivo de reducción de GEI de California de 40 por ciento por debajo de los niveles de 1990 para 2030. La vía para alcanzar el objetivo de reducción de 40 por ciento se basa en cinco pilares de la estrategia de cambio climático ”:
 - Reducir el uso de petróleo en automóviles y camiones hasta en un 50%;
 - Incremento de un tercio a 50% de electricidad derivada de fuentes renovables;
 - Duplicar el ahorro de eficiencia alcanzado en los edificios existentes y hacer que los combustibles para calefacción sean más limpios;
 - Reducir la emisión de metano, carbono negro y otros contaminantes climáticos de corta duración; y
 - Administrar granjas y pastizales, bosques y humedales para que puedan almacenar carbono.
 - ARB estableció un sistema de alerta de tres etapas (Etapa 1: aviso de salud a 200 ppb; Etapa 2: advertencia a 350 ppb; Etapa 3: Emergencia a 500 ppb) para advertir a los residentes cuando los niveles de smog en Los Ángeles. No han experimentado una alerta de ozono desde principios de los años 2000.

-
- La comparación de la calidad del aire en ciudades de California con la de otras ciudades del mundo muestra cómo las personas de todo el mundo se han beneficiado y pueden lograr enormes beneficios en el futuro, al adoptar estrategias y tecnologías de control pioneras en California.
 - La justicia ambiental surgió como una preocupación clave cuando los grupos comunitarios e investigadores académicos señalaron a la atención pública que los beneficios de los programas de control no eran compartidos por igual por todos los californianos.
 - Los beneficios económicos de los controles de contaminación del aire en las últimas cinco décadas han sido sustanciales. Teniendo en cuenta la valoración económica de los beneficios de salud, cada dólar gastado en el control de la contaminación del aire en California ha dado como resultado 38 dólares en beneficios.
 - Los controles de contaminación del aire crearon oportunidades de mercado que llevaron a la creación de aproximadamente 42,000 empleos e ingresos de \$8,000 millones solo en la industria de control de la contaminación del aire. El efecto neto de las regulaciones de calidad del aire ha sido cambiar los empleos a industrias verdes.
 - Las emisiones totales de GEI disminuyeron un 0.3%, mientras que las emisiones de GEI per cápita disminuyeron un 1%. Si bien la economía y el PIB de California siguieron creciendo en 2013, la intensidad del carbono de GEI de la economía (emisiones por PIB \$) siguió disminuyendo.
 - La investigación futura incluye una estrategia de varios niveles: satélite, aérea, torres de monitoreo, sensores remotos, levantamientos móviles, mediciones de campo, laboratorio y modelado.
 - En resumen:
 - Los niveles de contaminantes disminuyeron en un 75-99% (en todas las comunidades) a pesar de la duplicación de la población y la cuadruplicación del uso de vehículos.
 - 29.500 muertes prematuras evitadas cada año.
 - El valor económico de los beneficios de salud supera los \$ 250 mil millones.



-
- La Justicia Ambiental de las comunidades clave inicialmente se rezagó, pero la brecha se está reduciendo.
 - Los costos directos de control de la contaminación del aire son menos del 1% del PNB, pero han llevado a la creación de 42,000 empleos e ingresos de \$ 8 mil millones solo en la industria de control de la contaminación del aire.
 - El enfoque actual está centrado en la identificación de super-emisores en comunidades afectadas.

Discusiones

Aron Jazcilevich (UNAM): ¿Puede explicar la idea de que el SCR no ha funcionado en CA? Este tipo de tecnología será introducida en México.

Respuesta (Bart Croes): Es un problema con el propio catalizador. Necesita alta temperatura durante las operaciones para que la tecnología funcione. Hay otros factores que lo han hecho menos efectivo (velocidades, etc.). Ahora estamos buscando tecnologías ultra bajas de NO_x (99% de control).

Stephan Brodziack (El Poder del Consumidor): ¿Ha visto en las tendencias alguna variabilidad en el ozono por la adopción de etanol en la gasolina?

Respuesta (Bart Croes): Hicimos un gran estudio sobre eso hace 12 años con el uso de MBTE. Hubo grandes impactos en las deposiciones tóxicas en el agua y en los suelos, no tanto en el ozono. Esto solo se aplica a E10 y E15 (a diferencia de E85). También vemos exceso de NO_x y COV. Sin embargo, existe otro componente relacionado con el cambio climático debido al origen del etanol.

David Heres (CIDE): Es una buena idea clasificar las estrategias y los beneficios. ¿Los que son más rentables realmente se han implementado en CA?

Respuesta (Bart Croes): En California tenemos que ir tan bajo en muchas fuentes que en realidad las hemos abordado todas con controles.

Beatriz Cárdenas (SEMARNAT): ¿Cuál es la percepción del público en CA sobre la calidad del aire?

Respuesta (Bart Croes): El público todavía apoya firmemente el control de la calidad del aire y el cambio climático.



2.6a La Calidad del Aire en Singapur

Erik Velasco (Researcher)

- La calidad del aire es un tema extremadamente sensible para el gobierno en Singapur. Prácticamente no hay información compartida al público. Así que no hay mucha información para trabajar. Singapur tiene una de las tasas más altas de asma en el mundo.
- Un poco de presión a través de los medios de comunicación ha abierto lentamente la presentación de la información. Sin embargo, los datos históricos no se comparten.
- Uno de los mayores eventos de contaminación del aire son los episodios de quema de biomasa en Sumatra. Muy altas concentraciones de PM son probables durante estos episodios.
- Singapur tiene un fuerte control del tamaño de la flota vehicular a través de tarifas muy altas para la propiedad del vehículo. Tienen además un complejo de refinería muy grande. Singapur tiene uno de los puertos marítimos más grandes y no tiene restricciones de emisiones para los buques. Otra fuente importante de emisiones es la quema tradicional que a menudo realiza el público.

2.6b Experiencias de otras Ciudades

Johan Mellqvist (Chalmers University of Technology)

- Describió que muy a menudo hay grandes discrepancias entre las tasas de emisión observadas y las estimaciones de los inventarios de emisiones. Esto se ha observado en muchas ciudades donde se han realizado mediciones (Houston, Los Ángeles, Amberes, etc.).
- También observan mucha más variabilidad en las emisiones que simplemente no se contabilizan en los inventarios. Esto tiene fuertes implicaciones para el modelado de la calidad del aire.



Discusiones

Leonora Rojas (Consultora): Es importante considerar cómo comunicarse mejor con otras partes interesadas. Una herramienta poderosa es la comunicación de costos y beneficios.

David Heres (CIDE): Una buena opción es hablar directamente con el público, no solo sobre un índice de calidad del aire, sino también sobre los costos y beneficios.

Gustavo Sosa (IMP): Los combustibles fósiles estarán disponibles por algunos años más, pero otros combustibles más limpios eventualmente serán predominantes. Tenemos que considerar esto para el nuevo PROAIRE.

Rodolfo Sosa (UNAM): La calidad del aire es un problema que a menudo no se aborda con bases científicas. Un ejemplo de esto es la introducción del etanol. Esta acción debe ser evaluada por métodos científicos antes de su implementación.

SESIÓN III

EMISIONES DE LA CDMX Y ESTRATEGIAS DE CONTROL DEL PROAIRE

3.1. Emisiones del sector transporte: Retos y Oportunidades

Aron Jazcilevich (UNAM)

- El cinco por ciento de la flota vehicular está conformada por vehículos a diésel, sin embargo son responsables de más de dos terceras partes de los impactos a la salud causados por el sector transporte.
- Una condición esencial para integrar mejoras tecnológicas es el contar con buena calidad en la gasolina y el diésel. Estudios sugieren que esta condición si se cumple para CDMX.
- De entre las “nuevas” tecnologías para el sector transporte se encuentran EPA 2010 para diésel, mejoras a los motores a gasolina, vehículos híbridos y eléctricos, transporte masivo eléctrico y vehículos autónomos. En general la relación de compresión ha mejorado históricamente mientras que el octanaje continuara subiendo. Estas tecnologías deberían ser consideradas en el siguiente PROAIRE.
- En un estudio del 2011 encontraron beneficios del 5 al 6 % de reducción de ozono y otros beneficios energéticos por la introducción de vehículos híbridos y otras tecnologías.
- Uno de los problemas del PROAIRE es como realizar la vigilancia y procuración de reglamentos del sector transporte. Para ello, hay recientes técnicas como redes neuronales, machine learning, Google Maps, y la posibilidad de monitorear la exposición a nivel personal y comunitario.
- Recientemente se aprobó la NOM 044 sobre diésel para introducir EPA 2010 en México, se aprobó también las normas de gasolinas que permiten introducir mejores tecnologías. Sin embargo, un problema muy importante es que a nivel Federal la mayor parte de los vehículos son de los llamados “hombre-camión”. Con ello es muy difícil establecer programas de mantenimiento preventivo, lo cual es necesario para el éxito de nuevas tecnologías.



-
- Otra pregunta importante es sobre si los ciclos de manejo en México incluyen periodos suficientes con los rangos de temperatura necesarios para que las nuevas tecnologías sean efectivas. La regeneración de los nuevos dispositivos debe considerarse también.
 - Para la introducción del CNG en la flota vehicular se debe considerar el ciclo de vida completo desde la extracción hasta el uso final. Esto es porque las emisiones por fugas en todo el proceso pueden ser considerables.
 - Es conveniente que exista un laboratorio de emisiones que permita evaluar los impactos de nuevas tecnologías en México.
 - Es necesario contar con mediciones en campo de emisiones de motocicletas. Además, la exposición personal dentro de los sistemas de transporte público debe ser mejor estudiada y servir como criterio en el establecimiento de acciones en el PROAIRE.
 - Las siguientes ideas fueron presentadas para la discusión:
 - Considerando los altos beneficios ambientales de los Programas de Verificación y del Programa Hoy No Circula en la CDMX:
 - ¿cómo mejorar su impacto? ¿impacto ambiental, social y económico del HNC sabatino?
 - ¿Cómo se puede mejorar la estimación de emisiones evitadas?
 - Considerando los impactos en la reducción de emisiones cuando los vehículos se encuentran en buenas condiciones físico mecánicas, ¿qué estudios y proyectos se pueden realizar con los resultados de las nuevas pruebas físico-mecánicas?,
 - ¿gas natural para el transporte público la solución?
 - ¿verificación vehicular a motocicletas?
 - ¿Cuál es el impacto en calidad del aire cuando se logre los cambios a taxis eléctricos e híbridos?

-
- Los Programas de Transporte Escolar y de Autorregulación, ¿qué cambios deben tener?
 - Considerando el alto número de vehículos de carga con placa federal que circulan en la CDMX, ¿qué acciones deben implementarse para reducir su impacto? ¿restringir su circulación?

Discusiones

Adrián Fernández (ICM): Son varios los factores que influyen la exposición dentro de los vehículos. Los Metrobuses tienen el escape en diferentes puntos, lo cual hace gran diferencia en los niveles de exposición.

Respuestas: El punto que he querido hacer es que la exposición debe ser un criterio al momento de seleccionar acciones.

Beatriz Cardenas (SEDEMA): Sería interesante hacer un recuento de los diferentes estudios de exposición de la línea del Metrobús en años anteriores.

Erik Velasco (Investigador): Desde el 2004 hicimos estudios de exposición personal en otros países. Hemos encontrado que más que evaluar la exposición personal hay que evaluar la dosis y dependiendo del contaminante. Hay que enfocarse en ultrafinas no necesariamente en $PM_{2.5}$.

Respuesta: Así es, nosotros también hemos considerado la dosis.

No identificado: En una zona de la CDMX hay gran prevalencia de moto-taxis. Esto debe ser evaluado en función de la exposición personal.

Respuesta: Ese transporte es ilegal, debe ser prohibido inclusive por cuestiones de seguridad.

R. Sosa (UNAM): Más allá de los aspectos tecnológicos, los problemas del sector transporte incluyen aspectos económicos, sociales y de seguridad. Hace falta también regularizar muchos vehículos y cumplir la normatividad de tránsito. Con respecto al gas natural, hay muchas ventajas de su uso aunque no es la panacea. Hay también un problema de disponibilidad de este combustible. Ejemplo de ello es la termoeléctrica de Tula.

Eric Velasco (Investigador): En Tailandia las motos de tres ruedas son muy comunes. En Vietnam las motocicletas son muy usadas. Es posible tener tecnologías limpias



también para las motocicletas, incluyendo eléctricas, por lo que podrían ser una buena opción de transporte.

Respuesta: En México ya se venden las motocicletas eléctricas.

Adrián Velázquez (UACJ): La velocidad de sustitución de transporte urbano antiguo debe ser una política pública que hay que reforzar. En muchas colonias existen bastantes áreas de oportunidad para mejorar el acceso al transporte masivo.

Gerardo Ruiz (UNAM): El servicio concesionado de transporte debe eliminarse porque esconde otras formas de propiedad y limita la inversión en mejores tecnologías.

3.2. Los programas HNC y PVVO

Verónica Garibay (Consultora)

- Personal de SEDEMA explicó que las emisiones reducidas por la aplicación de los programas HNC y PVVO se utiliza el modelo MOVES-Mexico adecuado para la CDMX. La eficiencia del programa PVVO es un parámetro de entrada en el modelo. En el caso del HNC las emisiones se calculan considerando el número de vehículos que dejan de circular de acuerdo a su holograma.
- Verónica Garibay presentó las siguientes preguntas:
 - ¿Qué cambios son deseables o posibles para el binomio HNC/PVVO?
¿Cuáles no?
 - ¿Qué opciones hay para los otros programas?
 - ¿Cómo generar más confianza en estos programas por parte de la ciudadanía?
 - ¿Cómo mejorar la integración de las políticas a escala de la Megalópolis?
- El control de las emisiones del sector transporte son clave para mejorar la calidad del aire en la CDMX. Sin embargo hay grandes problemas de coordinación entre las entidades para cumplir con los lineamientos de los programas. También hay obstáculos de corrupción que impiden el impacto efectivo de los programas. El nuevo PROAIRE debe considerar los obstáculos que se han encontrado para la aplicación de los programas.

-
- Por ello es muy importante la participación de la ciudadanía y la comunicación entre autoridades y la población para impulsar la efectividad de los programas. Solo con una participación decidida de la ciudadanía los programas podrán ser efectivos.

Discusión

Gerardo Ruiz (UNAM): Los programas HNC y PVVO en realidad se trata de un binomio. Ha sido un error comunicarlo a la gente como dos programas diferentes. Dentro de las modificaciones que se le deben hacer es introducir las motocicletas al programa. Además, para reducir la incidencia de registrarse y verificar en otras entidades, hay que darle capacidad de “enforcement” para que se aplique la ley. El programa debe difundir sus logros más efectivamente con la población.

No identificado: No es una buena idea utilizar la edad de la flota vehicular como una medida del éxito del programa. Esto es porque existe la contraparte del crecimiento del tamaño de la flota vehicular. Este efecto en el tamaño de la flota debe ser evaluado. Además, el programa es costoso para las familias. Por lo cual es necesario pensar también en otros programas alternativos. La pregunta central es: ¿Que es lo que hace que la gente siga prefiriendo manejar a pesar del tráfico? Es decir, hay temas de seguridad y comodidad que no se han atendido.

Leonardo (Consultor): Considera que no hay duda de la eficacia del binomio en términos de mantener emisiones bajas. Sin embargo, el binomio tiene un problema estructural. Y es que es muy ineficiente desde el punto de vista de su impacto en la organización de las actividades cotidianas de las personas y empresas. Restringir la circulación hace que las personas y empresas tengan que tomar decisiones muy ineficientes. Podría darse el caso inclusive que con las restricciones se aumenten el número de kilómetros recorridos debidos a cambios en la organización de las actividades. Es necesario incluir nuevas tecnologías en la aplicación de los programas para individualizar las emisiones de cada vehículo en función de su propia tecnología. Las limitaciones deben ser por emisiones totales para cada vehículo y no por día de circulación.

Gustavo Sosa (IMP): El problema mayor del binomio HNC/PVVO es la afectación a la movilidad. La gente ve mal el HNC porque se crea un conflicto de movilidad. Por ello hay que tener una visión más holística. Una opción sería limitar el número de vehículos que circulan en la ciudad. Mejorar la seguridad en el transporte público es clave para que sea una opción viable para los ciudadanos.



Elizabeth Vega (UNAM): Además de la seguridad también hay que mejorar la eficiencia en el transporte público, sobre todo en horas pico. Hay que traducir los beneficios de los programas en impactos directos en la salud.

R. Sosa (UNAM): Hace énfasis que el HNC surgió como una medida de emergencia por los problemas de ozono. Hay que reconocer que aunque hay beneficios en reducción de emisiones de carbono, no ha sido efectivo para controlar ozono. Hay que mejorar la planeación urbana.

Gerardo Ruiz (UNAM): No hay que “cargarle” el problema de la movilidad, seguridad y efectividad en la ciudad a los programas HNC y PVVO. Cada problema debe abordarse integralmente. En el fondo del problema hay que ver las razones por las cuales los ciudadanos optan por la utilización de vehículos.

William Brune (PSU): Han considerado la opción de “Pago por Circulación” como se ha hecho en otros lugares? Respuesta de Beatriz Cardenas: El binomio no fue diseñado para resolver problemas de movilidad, sino solamente para reducir emisiones. A lo mejor hay que revisar estos objetivos.

Hugo Landa (SEMARNAT): Hay que incluir cambios en la comunicación de los beneficios de los programas.

Adrián Fernández (ICM): Si se ha evaluado la opción de “Pago por Circulación”. Por otro lado, hay que considerar la pregunta: cuales son las políticas para el control de la demanda? Como parte de un gran programa de comunicación, es necesario un trabajo mucho más extenso y continuo para informar a la población de los beneficios del programa y de la transparencia. Si una medida es adecuada pero no es manejada con transparencia y con ética, esto debe ser corregido pero no hay que quitar la medida.

No identificado: Reitera que el crecimiento de la flota si es un impacto real. En Estocolmo se hizo un proyecto piloto para introducir “Congestion Charging” y en una primera encuesta la gente no estuvo de acuerdo. Sin embargo el proyecto se llevó a cabo y, después de percibir los beneficios en términos de movilidad, en una segunda encuesta la gente estuvo de acuerdo.

Adrián Vázquez (UACJ): Hay que incentivar la innovación hacia nuevas tecnologías y su implementación.

3.3. Fuentes Fijas y su Regulación

Omar Amador (UNAM)

- Se describió el estado de las emisiones de fuentes fijas de acuerdo al inventario de emisiones 2016 de la CDMX. Se mencionó que solo una fracción relativamente pequeña de las fuentes fijas es considerada (~5200) debido a los criterios utilizados para la definición de una fuente fija.
- La estimación de las emisiones de las fuentes fijas en el inventario se realiza utilizando el reporte de desempeño ambiental de las empresas de jurisdicción local Anexo A (emisiones a la atmósfera) y anexo E (Registro y transferencia de contaminantes), de las solicitudes de Licencia Ambiental Única (LAU) para el Distrito Federal. Para las fuentes fijas de jurisdicción del Estado de México se utilizó el registro de Cédulas de Operación Integral (COI), realizado por la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México (SMAGEM). Para las de jurisdicción del municipio de Tizayuca se utilizó la Cédula de Operación Anual (COA) por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales Hidalgo (SEMARNATH). Para las fuentes de jurisdicción federal se utilizaron las COAs compiladas por SEMARNAT.
- Las fuentes locales emiten gran cantidad de COV, mientras que las fuentes federales además de COV también emiten gran cantidad de NO_x. La importancia de estas fuentes radica en la toxicidad de los COV emitidos.
- En cuanto a la normatividad para fuentes fijas existe el Proyecto NADF-011-AMBT-2018, que establece los límites máximos permisibles de emisiones de COV en fuentes fijas que utilizan solventes orgánicos o productos que los contienen. Otra norma es NADF-017-AMBT-2017 (26 julio 2018) que establece límites máximos permisibles de emisiones fuentes emisoras, que realicen la actividad de cremación de cadáveres humanos, restos humanos áridos o la incineración de cadáveres de animales. Adicionalmente ya existe la norma NADF-016-AMBT-2016 (31 enero 2018) que establece límites permisibles de emisión y su medición, de los equipos de combustión de calentamiento indirecto de 5 CC hasta 15 CC.
- Se mostraron los siguientes puntos para discusión:
 - El inventario de emisiones solo considera 5,122 fuentes fijas de más de 32,000 industrias en la ZMVM:



-
- ¿Cómo incluir el resto?
 - ¿Se deberían incluir todas?
 - ¿Cuáles sí, o cuales no?
 - ¿Cuáles serían los criterios?
 - Los inventarios de emisiones carecen de mediciones que verifiquen los resultados que reportan las empresas. Es necesario implementar estrategias de verificación basadas en mediciones de las emisiones reportadas.
 - ¿Qué políticas adicionales se deben considerar para la reducción de emisiones de COV en comercios y servicios regulados y no regulados en la CDMX?
 - ¿Qué criterios se consideran de mayor beneficio en la normatividad para regular la emisión de partículas en el sector industrial, toda vez que se sabe que las normas federales son obsoletas?
 - ¿Establecer normatividad por sector?
 - ¿Regular equipos o actividades, procesos?
 - ¿Partículas por tamaño?
 - Criterio de normalización.
 - ¿Qué políticas públicas se deben aplicar para controlar la emisión de compuestos orgánicos semivolátiles tóxicos no regulados, VOC, IVOC, SVOC?
 - Asimismo, en México no existe normatividad que regule el contenido de COV en los productos de uso comercial, industrial, ni doméstico, como son limpiadores, plaguicidas y productos de cuidado personal y automotriz, por mencionar algunos. Por lo anterior, es importante la elaboración de normas que regulen la composición de COV en estos productos, el cambio a solventes de menor impacto ambiental y la adopción de buenas prácticas para la reducción de las emisiones en todos los sectores.

Discusión

Patricia Camacho (SEDEMA): La razón por la cual no se incluyen todas las fuentes fijas es porque no todas las industrias tienen obligaciones regulatorias en materia de aire. Se toma también en cuenta el tamaño del establecimiento y el número de empleados como criterios para definir si se considera fuente fija o no. Los establecimientos que no cumplen con estos criterios son considerados como fuentes de área.

Gerardo Ruiz (UNAM): Varias ideas: 1) Con respecto a la normatividad, hay que exigir que se actualicen las normas, 2) muchas de las fuentes que se consideran fuentes de área deberían considerarse como fuentes fijas, 3) una pregunta importante es la regulación de los establecimientos informales con respecto a la cuantificación de sus emisiones, 4) es necesario homologar regionalmente la normatividad en la zona metropolitana.

Omar Amador (UNAM): Un ejemplo son las lavanderías en la Ciudad de México, no están obligadas a presentar LAU pero emiten un compuesto clorado y son miles en la ciudad. Otro ejemplo son las rosticerías, las cuales emiten gran cantidad de partículas.

R. Sosa (UNAM): Que compuestos tóxicos reportan los industriales? Existe un listado oficial en México? Otro problema importante es la informalidad en México. Como cuantificar esto?

Aron J. (UNAM): Se podrían utilizar herramientas de Google Street para verificar la ubicación de las fuentes fijas.

Hugo Landa (SEMARNAT): La colaboración de SEMARNAT con CDMX ha sido muy importante para homogenizar los métodos de estimación de emisiones. Ya existe una especiación de COV para fuentes puntuales. Ya existe también una mejor desagregación espacial entre comercios, servicios e industrias. Esta información es muy útil para actividades de modelación. Lo que falta es que tengamos una regulación adecuada para que tengamos mejor información técnica adecuada para la generación de inventarios.

Mark Guevara (BSC): Es importante que los inventarios en el país incluyan las mejoras metodológicas que se van obteniendo. Un ejemplo de ello es la utilización de MOVES en lugar de MOBILE. La modelación es clave para evaluar el inventario y seguir mejorándolo.

Johan Mellqvist (Chalmers Univ.): Hay que considerar que frecuentemente las estimaciones de fuentes puntuales son muy diferentes a las que se miden en campo utilizando nuevas tecnologías. Por ello es importante evaluar las emisiones de fuentes puntuales con observaciones.

Omar Amador (UNAM): Hay que diferenciar la importancia de COV no solo desde el punto de vista de reactividad y potencial de formación de ozono sino también por su toxicidad.



Jorge (SEDEMA): El perfil de la ciudad está pasando de industrial a servicios. Quedan pocas grandes industrias en la ciudad. Hay que pensar en un esquema diferente para considerar los miles de comercios y servicios que son pequeños y que no pueden entrar en el esquema de LAU.

Hugo Landa (SEMARNAT): 1) El punto anterior es muy importante. Quizá la utilización de un padrón específico podría funcionar, 2) otro punto a mejorar es la documentación del inventario, 3) la estimación de las incertidumbres en el inventario es muy importante.

Aron J. (UNAM): Utilizar nuevas tecnologías para la evaluación de emisiones de fuentes fijas.

Dara Salcedo (UNAM): Es necesario mejorar la comunicación con la población involucrada en actividades en el sector informal es clave para reducir su exposición.

3.4. Fuentes de Área e Impactos en Vegetación

Gerardo Ruiz (UNAM)

- Las tolvaneras pueden ser muy importantes fuentes de emisión de partículas en la periferia de la CDMX. Es necesario realizar más estudios de modelación y de mediciones para evaluar la magnitud de estas fuentes.
- Dentro de las acciones del PROAIRE, se incluyen la actualización y modernización de los programas de reforestación, promover el uso de barreras naturales para reducir las emisiones del suelo, fortalecer la vigilancia de la normatividad para la regulación de las quemas de los residuos agrícolas, y promover acciones que fortalezcan la regulación de las quemas agrícolas. La propuesta es mantener estas acciones, agruparlas y desarrollar guías de buenas prácticas de agricultura utilizando indicadores cuantitativos.
- El inventario muestra la gran contribución del GLP a las emisiones de COV, principalmente por fugas.
- Se mostraron mapas indicando los impactos en las ventas de gasolina (y por lo tanto emisiones de COV) de las diferencias regionales de la aplicación del programa PVVO y HNC así como de la norma 004. Esto indica la necesidad de homologar regionalmente la normatividad.

-
- Se mostraron las siguientes propuestas para la discusión:
 - Estandarizar las áreas de aplicación de la normatividad de COV.
 - Acelerar el remplazamiento de cilindros de gas.
 - Establecer un programa intenso de promoción del uso de energía solar para calentamiento de agua en casas y servicios.
 - Realizar estudios de especiación y factores de emisión de COV.
 - Los impactos en vegetación por contaminación del aire han sido demostrados. Mediciones en zonas rurales muestran concentraciones por arriba de los niveles recomendados para evitar daños en cultivos.
 - Se mostraron las siguientes propuestas para la discusión sobre los impactos en vegetación:
 - Es necesario fortalecer el monitoreo en zonas rurales
 - También es importante realizar estudios locales de funciones dosis-respuesta para especies nativas y variedades que son muy importantes en México.
 - Se propone realizar estudios para definir y probar las acciones de adaptación (selección de cultivos, variedades, buenas prácticas, agricultura urbana).
 - Analizar los servicios ambientales que son provistos en presencia de estrés oxidativo.

Discusión:

R. Sosa (UNAM): La propuesta de homologar regionalmente la normatividad de COV es muy importante. Un ejemplo de ello son las estaciones de servicio, las cuales tienen normatividad distinta y tiene efectos importantes en la exposición a los trabajadores.

Gerardo Ruiz (UNAM): El ejemplo de las estaciones de servicio muestra también lo difícil que es realizar la homologación. Esto es por las luchas sindicales y grupos de intereses para evitar que eso se realice.

No identificado: La instalación de sistemas de calentadores solares en hogares y la conservación de zonas naturales son ejemplos de propuestas que ya se han



presentado pero que por falta de recursos y planeación no son realizadas. Por ello, es importante evaluar políticas alternativas que permitan reducir emisiones por medio de impuestos o elevación de precios de algunos servicios. Los recursos así obtenidos pueden entonces ser utilizadas en las políticas que requieren subsidios.

Mónica (SEDEMA): SEDEMA ya está realizando los estudios de impactos en vegetación con el índice AOT40. Lo que han encontrado es que si ha habido una reducción de los impactos en vegetación. Sin embargo hay que hacer un estudio integral en el que se consideren varios parámetros y que se incluya el monitoreo en esas zonas.

Patricia Camacho (SEDEMA): Es necesario fortalecer las estrategias de educación ambiental hacia la población sobre los problemas de exposición a COV por productos de uso cotidiano. Sin embargo, nos vemos limitados porque muchas veces las atribuciones son federales.

Gerardo Ruiz (UNAM): La idea de introducir impuestos y elevación de costos para subsidiar algunas acciones es buena, siempre que haya buena planeación. Por otro lado, hay que fortalecer las actividades de modelación para evaluar los impactos en vegetación.

Adrián Vázquez (UACJ): Hay una oportunidad en la aplicación de la nueva norma de acuerdo a la cual se van a utilizar evaluadores externos de gasolineras. A lo mejor se puede introducir capacitación ambiental para los evaluadores como un elemento adicional de evaluación.

Gustavo Sosa (IMP): Las concentraciones de ozono para inducir impactos en la vegetación son menores en comparación con aquellas para prevenir impactos en la salud humana. Lo cual extiende el problema más allá de la zona urbana de la ZMVM.

Beatriz Cárdenas (SEDEMA): Es verdad que el problema de los impactos en vegetación existe a nivel nacional. Sin embargo, sí es una responsabilidad de las entidades evaluar los impactos. Esta es una acción que ya está considerada en el PROAIRE PROAIRE.

Erik Velasco (Investigador): Tenemos que considerar también los impactos a suelos por deposición seca. También es necesario estudiar los impactos en la salud de las especies vegetativas. Tenemos que plantear escenarios de cambio climático y evaluar sus impactos en la producción agrícola.



Gerardo Ruiz (UNAM): No hay normatividad sobre monitoreo atmosférico en bosques. El monitoreo rural en la ZMVM es en realidad periurbano (por la cercanía de las zonas urbanas). En cuanto a la adaptación al cambio climático: la agricultura en esta región hay que adaptarla a condiciones de alto ozono.



3.5. Diagnóstico de equipos a gas L.P. y actualización de factores de emisión de fugas y combustión en la ZMCM

Javier Vázquez (IMP)

- Estudios realizados muestran altas concentraciones de propano y butano en la atmósfera de la CDMX, que pueden asociarse al aprovechamiento/uso de gas LP para uso habitacional, comercial y de servicios e industrial. Estimaciones sugieren que en la ZMVM el 65% del gas LP se consume en el sector habitacional.
- Es importante contar con factores locales de emisión por fugas y combustión de gas LP en equipos domésticos como estufas y calentadores. También aplica esto para gas natural.
- Sin embargo, hay que reconocer que también existen emisiones fugitivas importantes en otras etapas de distribución y almacenamiento del gas, las cuales pueden incluso ser focos rojos de seguridad. El consumo comercial de gas LP también debe considerarse en un futuro.
- Se describieron los alcances del estudio realizado por el IMP, las metodologías utilizadas y los resultados obtenidos. Se estimó que el 34% de las viviendas usa tanques estacionarios mientras que el 66% utiliza tanques portátiles en la CDMX (los porcentajes correspondientes en el Estado de México fueron 22 y 78%, respectivamente).
- Se determinaron factores de emisión de COT y COV por fugas en accesorios, conexiones y equipos, identificando que de 206 viviendas muestreadas, 4 de cada 10 viviendas de la ZMVM tienen fuga.
- Al comparar los factores de fugas con los del estudio del año 2000, se observó un incremento para las áreas de tanques portátiles, estacionarios, estufas y calentadores a GLP. Los incrementos se pueden atribuir a la antigüedad de las instalaciones y conexiones, y a la falta de mantenimiento.
- El estudio mostró que el 42% de las estufas cuentan con más de 10 años de antigüedad, lo que indica que la eficiencia de las mismas ha decaído.
- El perfil de fugas en conexiones y accesorios mostró una concentración promedio de propano 79%, n-butano 13%, y el iso-butano 6%, los demás (2%) presentan concentraciones menores. El análisis del flujo de gases de

combustión tanto de las estufas y como de los calentadores mostró que las especies predominantes son propano (58%), n-butano (12%), metano con cerca del 7%, propileno (2%), isobutano (2%), el n-Dodecano (2%), los demás presentan concentraciones menores.

- Las recomendaciones para disminuir las emisiones por el uso de GLP incluyen:
 - Incentivar el uso de calentadores solares para disminuir la dependencia al gas LP.
 - Fomentar el uso de tanques estacionarios y reforzar el programa de sustitución de tanques portátiles.
 - Fomentar la introducción y uso de tecnologías eficientes en equipos de GLP.
 - Realizar programas de inspección y mantenimiento de instalaciones domésticas.
 - Impulsar programas de sustitución de estufas.
 - Introducir buenas prácticas para el consumo eficiente de GLP, por ejemplo:
 - Inspección periódica de instalaciones y equipos.
 - Instalar válvulas de paso y cerrarlas cuando no se utilice el equipo.
 - Para cilindros de gas, cerrar la válvula cuando no se utilice.

Discusión

R. Sosa (IMP): Uno de los componentes menores del GLP es el propileno pero es de gran importancia en reactividad. Encontraron este compuesto en sus mediciones?

Respuesta: No apareció en la especiación.

Johan Mellqvist (Chalmers Univ): No me pareció claro cómo se midieron los COV. En la industria del petróleo se usan cámaras en infrarrojo. Han considerado utilizarlas en sus mediciones?

Respuesta: El equipo que utilizamos de tipo de combustión catalítica y la determinación es instantáneo.



Gerardo Ruiz (UNAM): Los datos obtenidos son muy valiosos. El iso-butano fue muy abundante de acuerdo a los resultados. Compararon esos valores con respecto a la norma?

Gustavo Sosa (IMP): Hay que considerar que el tamaño de la muestra fue relativamente pequeño. Habría que hacer un estudio más extenso para mejorar la incertidumbre. Hay que incluir también en un estudio más amplio el uso del GLP en el sector comercial del cual no existe información.

Erik Velasco (Investigador): Si los factores de emisión disminuyeron esto podría ayudar a explicar los cambios observados en parafinas.

Patricia Camacho (SEDEMA): No disminuyeron. Se estimaron tres tipos de factores: fugas, HCNQ, y por combustión. Los que se incrementaron bastante fueron los de fugas, por eso se sigue encontrando mucho propano y butano en la atmosfera. Consideramos que las acciones en el PROAIRE deben incluir más opciones para reducir las emisiones por el uso de GLP, incluyendo la concientización de la disminución de fugas.

Elizabeth Vega (UNAM): Hay que incluir en el PROAIRE también políticas para aumentar la cultura del mantenimiento de los equipos.

Dara Salcedo (UNAM): Se han considerado las fugas en los camiones repartidores?

Respuesta: No se consideraron en este estudio y habría que incluirlos en un estudio más amplio.

Johan Mellqvist (Chalmers Univ): Cuando se llenan los camiones repartidores de gas se tienen que vaciar primero. Esta práctica se usa en México? (No hubo respuesta).

Hugo Landa (SEMARNAT): Se pueden utilizar estos resultados para otras ciudades de México?

Respuesta: Probablemente si porque son tecnologías similares (aunque las edades de los equipos podrían ser diferentes).

3.6. Emisiones por Aguas Residuales

Guadalupe Paredes (UNAM)

- En México existen alrededor de 2477 plantas de tratamiento de aguas residuales que tratan solo el 43% de las aguas residuales. Las tres principales tecnologías de tratamiento en México son: Lagunas de Estabilización, Lodos Activados, y Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).
- Se mostraron resultados de estudios recientes de caracterización de emisiones de plantas de tratamiento de agua en México.
- Con base en los resultados se propusieron las siguientes acciones de control y manejo de metano:
 - Adaptación de las PTAR existentes de sistemas de Lodos Activados para incluir el proceso de digestión anaerobia con la captura y uso de biogás cuando sea posible (grandes PTAR, mayores a 250 L/s)
 - Instalación de sistemas de captura y quema de biogás en sistemas de TAR anaerobios existentes (pequeñas áreas urbanas y rurales de países en desarrollo).
 - Adoptar el uso de reactores anaerobios en regiones con clima cálido, principalmente para instalaciones de pequeña y mediana escala, asegurando un adecuado manejo del biogás (reducción de emisiones indirectas de CO₂ debido a menor consumo de electricidad).
 - Desarrollar tecnología para recuperar y oxidar el metano disuelto en los efluentes de procesos anaerobios, mediante procesos biológicos.
 - Optimizar las instalaciones/sistemas existentes que no están siendo operados correctamente e implementar prácticas de operación y mantenimiento adecuadas, principalmente enfocadas al uso eficiente de la energía.
- Se resalta la necesidad de investigación en el desarrollo de tecnologías de captación de metano altamente eficientes para lograr un mayor porcentaje de reducción de emisiones de GEI en el sector de TAR.
- Desarrollar tecnologías eficientes y de bajo costo para captar el metano y generar electricidad en pequeñas unidades. Estos serían elementos valiosos



para la opción de sistemas anaerobios para el TAR, lo que resultaría en una menor huella de carbono.

- Los factores de emisión de metano específicos para el país podrán ser empleados para el cálculo de emisiones de metano generados por el tratamiento de aguas residuales en México. Esta información permitirá minimizar la incertidumbre de los inventarios nacionales en este sector (Tier 3 del IPCC).
- En cuanto a las oportunidades de mejoras se presentaron los siguientes puntos:
 - Actualización continua del inventario nacional de emisiones de GEI del sector de tratamiento de aguas residuales en México. (Incorporar óxido nitroso (N₂O)).
 - Continuar con mediciones de campo en PTAR representativas en las diferentes estaciones del año con el fin de caracterizar el comportamiento de las emisiones de CH₄ a lo largo del tiempo.
 - Generar una base de datos de factores de emisión propios en las condiciones reales de funcionamiento de las PTAR.
 - Cuantificar la emisión de CH₄ de redes de drenaje en diferentes zonas del país para establecer factores de emisión respectivos, aspecto atendido por el IPCC.
 - En el caso específico del proceso de digestión anaerobia, es de gran importancia cuantificar las emisiones de CH₄ de los mono-rellenos donde se dispone de los lodos tratados. No existen datos con respecto a las emisiones de metano de estos sitios.
 - Ampliar las opciones de financiamiento para la instalación de sistemas de cogeneración.
 - Evaluación de la viabilidad ambiental, social y económica de los proyectos de desarrollo tecnológico para reducir las emisiones de GEI generadas por el tratamiento de aguas residuales, a través de un enfoque de Análisis de Ciclo de

Discusiones

Gustavo Sosa (IMP): El drenaje profundo en México es una fuente importante de emisiones, incluyendo H₂S. Estas emisiones deben ser mejor caracterizadas y consideradas en los inventarios.

Gerardo Ruiz (UNAM): También hay que incluir otros contaminantes en la caracterización de emisiones de plantas de tratamiento y el drenaje, incluyendo COV tóxicos, NH₃, y otros.

R. Sosa (UNAM): Más del 80% de las aguas residuales en la ZMVM no se están tratando. Falta además caracterizar las emisiones en el drenaje.

No identificado: Las diferencias entre las emisiones reportadas en inventarios de los años 2014 y 2016 fueron por mejoras en las bases de datos utilizados, no tanto por cambios reales en las actividades. También falta incluir la nueva información de factores de emisión en las estimaciones.

Patricia Camacho (SEDEMA): La SEDEMA también está haciendo proyectos para captación de agua pluvial en las escuelas.

Respuesta: Se están proponiendo estudios para caracterizar las emisiones el drenaje. También hay una falta de información de las emisiones de los lodos activados residuales.

Gerardo Ruiz (UNAM): En la ZMVM debería de haber más plantas de tratamiento a escala de colonia.

3.7. Emisiones por Quema de Biomasa

Patricia Camacho (SEDEMA)



- La quema de biomasa es uno de los principales emisores de contaminantes atmosféricos. Sin embargo hay una gran incertidumbre en su estimación de emisiones.
- Una de las mejoras en el inventario de emisiones del 2016 es la inclusión de las emisiones por quema a cielo abierto, se incluyeron también las emisiones por quemas agrícolas, quema de carbón en pequeños comercios y servicios, así como los incendios forestales. Estas emisiones están incluidas en el modelo de pronóstico de la SEDEMA.
- La quema de biomasa a cielo abierta no es significativa en la CDMX pero a nivel metropolitano si es una fuente importante de $PM_{2.5}$. Sin embargo, existe mucha incertidumbre en las emisiones estimadas.
- La SEDEMA ha realizado varias campañas para reducir los residuos sólidos, incluyendo el reciclaje, recolección de baterías, electrónicos y otros.
- Se mostraron las siguientes preguntas para la discusión:
 - ¿Cuáles son las medidas de manejo de residuos recomendadas para ciudades?
 - ¿En atmosferas sensitivas a COV y con altas concentraciones de ozono, cuáles son los tratamientos de residuos más adecuados?
 - ¿Cuáles son las principales fuentes de incertidumbre en la estimaciones de emisiones por quema de biomasa?

Discusiones

Patricia Camacho (SEDEMA): Dentro de PROAIRE solo se encuentra como medida de acción la actualización de la norma. Por ello falta reforzar este aspecto en PROAIRE. Además, la SEDEMA se desarrolló un programa para tener contacto entre SEDEMA y las delegaciones para informarles los resultados diarios del pronóstico.

Gerardo Ruiz (UNAM): Hay tres niveles de quema. Quema domestica a pequeña escala de biomasa, la combustión agrícola, y quemas de desechos. Es necesario establecer programas adecuados para cada uno de estos niveles.

Patricia Camacho (SEDEMA): Hay una gran incertidumbre en las estimaciones. Esto lo sabemos porque en la CDMX está prohibida pero las observaciones indican que si hay quema de biomasa. Las ladrilleras se encuentran en el Estado de México y las emisiones de estas fuentes pueden incluir quemas de muchos tipos de combustibles.

Gustavo Sosa (IMP): Hay que considerar en la nueva normatividad la introducción de biocombustibles.



SESIÓN 4

PASOS A SEGUIR

Moderado por: Adrián Fernández (ICM)



El objetivo de esta sesión fue tener una discusión general entre todos los participantes de cada uno de los temas que se presentaron durante el taller. Los resultados de estas discusiones ayudarán a integrar los resultados del taller, incluidas las recomendaciones y la priorización de los puntos de acción.

4.1. Monitoreo de la Calidad del Aire

Luisa Molina leyó los siguientes puntos clave:

- Renovar equipos para el Centro de Datos: Clusters, Servidores, Unidades de cinta, Unidades de almacenamiento, y adquisición de software. La infraestructura del Centro de Datos se adquirió en 2013..
- Ampliar las redes de monitoreo para incluir diferentes tipos de sitios (urbano, periurbano, frontera, etc.)
- Invertir en infraestructura para monitorear contaminantes adicionales (e.g., COV, NH3).
- Fortalecer la colaboración con institutos de investigaciones nacionales e internacionales, así como con la academia.
- Sensibilizar al público sobre la exposición a contaminantes atmosféricos.
- Involucrar a las partes interesadas relevantes y al público en el diseño e implementación de estrategias de reducción de emisiones.

Discusiones

Patricia Camacho (SEDEMA): Incluir la homologación de programas y acciones a nivel metropolitano. También se deben incluir campañas de educación ambiental.



Gerardo Ruiz (UNAM): 1) La necesidad de expandir la red de monitoreo ya se ha presentado en otras ocasiones; Sin embargo, los objetivos de monitoreo deben establecerse claramente antes de la expansión o adición de la instrumentación de monitoreo (no todas las estaciones tienen objetivos de monitoreo similares). Esta es una buena oportunidad para abogar fuertemente por el monitoreo rural; (2) Hay una gran necesidad de revisar y actualizar la NOM-156. El gobierno y la academia deben participar en la revisión de esa norma.

Gustavo Sosa (IMP): Incluir explícitamente las siguientes necesidades de monitoreo: 1) aerosoles, 2) expansión de la red de deposición atmosférica, 3) monitoreo de los impactos en la salud en sitios críticos (por ejemplo, estaciones de servicio).

Adrián Vázquez (UACJ): Reforzar la red de medición meteorológica, incluidos los ceilómetros y los perfiladores de viento.

Olivia Rivera (SEDEMA): 1) Los objetivos de medición para cada una de las estaciones de monitoreo actuales ya se han definido y están disponibles al público; 2) SEDEMA está a cargo de la red CDMX solamente y, por lo tanto, la expansión puede ser difícil. Es más importante, mejorar la coordinación entre EDOMEX y CDMX para tener una red de monitoreo regional más efectiva.

Omar Amador (UNAM): Añadir lo siguiente: 1) Actualizar la infraestructura para la implementación de procedimientos de control de calidad; 2) Incrementar el personal involucrado en el seguimiento.

Armando Retama (Consultor): 1) No solo es necesario revisar y actualizar la NOM-156, sino también toda la normatividad con respecto al monitoreo ambiental. La normatividad técnica está desactualizada para representar las capacidades actuales de los instrumentos; 2) Se necesita un marco más holístico en el monitoreo de la calidad del aire y la meteorología que también tenga la capacidad de ser usado para propósitos de evaluación del modelo; 3) Se necesita más personal, capacitación técnica permanente (el personal de SIMAT se forma internamente sin capacitación formal).

Erik Velasco (Investigador): Respalda la idea de un marco de monitoreo holístico como se hace en Londres o Seúl, midiendo integralmente la calidad del aire, gases de efecto invernadero, balance de energía, meteorología, etc.

Leonardo Martínez (Consultor): La exposición crónica a niveles medios y bajos de contaminación (es decir, no solo a altas concentraciones) a menudo no se consideran en las políticas de calidad del aire. El PROAIRE se preocupa generalmente por reducir



los picos de alta concentración en una región. Por lo tanto, sus objetivos deben ampliarse para reducir la exposición crónica a concentraciones medias y bajas. La atmósfera de la ZMVM tiene una distribución espacial muy heterogénea. En consecuencia, el PROAIRE también debe considerar los aspectos espaciales en la exposición a la contaminación del aire.

Aron Jazcilevich (UNAM): Incluir: 1) Monitoreo de exposición personal; 2) Sensores remotos y mediciones satelitales.

Ramiro Barrios (Consultor): Aumentar la conciencia pública con el uso de varios medios de comunicación. También es necesario involucrar a los legisladores y otros componentes del gobierno porque ellos desempeñan un papel importante en la toma de decisiones.

Elizabeth Vega (UNAM): Expresa su cautela sobre la idea de expandir las redes de monitoreo dados los recursos limitados económicos y de personal. Antes de expandir, sugiere el uso de sensores de bajo costo para identificar áreas críticas que deben ser cubiertas por el monitoreo. Una mejor estrategia es aumentar drásticamente las capacidades de monitoreo en unos pocos sitios seleccionados (súper sitios) que proporcionarán información muy necesaria.

Beatriz Cárdenas (SEDEMA): La Comisión de Derechos Humanos recomendó a la PROFEPA evaluar si las entidades gubernamentales cumplen con la NOM-156. Sin embargo, los inspectores de PROFEPA no tenían las capacidades técnicas para evaluar el cumplimiento de la norma. Estas cuestiones deben ser consideradas.

Stephan Brodziack (El Poder del Consumidor): Con respecto a la necesidad de aumentar la conciencia pública, el trabajo sobre la norma para el Índice de Calidad del Aire se ha estancado en SEMARNAT. Es una prioridad informar al público sobre los niveles de contaminación a los que están expuestos.

Hugo Landa (SEMARNAT): Sugiere integrar todos los datos meteorológicos que recopilan las distintas redes en un único repositorio o base de datos.

Erik Velasco (Investigador): Sugiere incluir monitoreo a micro-escala. También se debe incluir el monitoreo del ruido. Los dispositivos de monitoreo de bajo costo a menudo proporcionan solo evaluaciones cualitativas.

Gerardo Ruiz (UNAM): Las recomendaciones finales de la red de monitoreo deben diferenciarse en términos de su objetivo: algunas recomendaciones están dirigidas a

mejorar las capacidades de monitoreo, mientras que otras están relacionadas con las necesidades de realizar estudios de investigación. Diferenciar estas recomendaciones es importante porque algunas de las necesidades de investigación se pueden abordar mejor a través de CONACyT u otras entidades. Sin embargo, SEDEMA ciertamente puede colaborar con otros grupos de investigación para avanzar en la agenda científica

Rodolfo Sosa (UNAM): 1) Hay una gran oportunidad de fortalecer la colaboración entre el gobierno y la academia y hacer un mejor uso de los recursos limitados; 2) Incluir monitoreo de tóxicos del aire; priorizar los tóxicos a ser muestreados, dados los recursos limitados.

Beatriz Cárdenas (SEDEMA): Es necesario controlar los tóxicos del aire, pero su monitoreo también es un desafío. Pidió a Bart Croes que compartiera la experiencia de California en términos de monitoreo de tóxicos.

Bart Croes (CARB): California está enfocada en la evaluación de riesgo por exposición a largo plazo a tóxicos que causan cáncer. Por lo tanto, en California las autoridades están interesadas en determinar las exposiciones medias anuales. En efecto, el monitoreo es difícil y costoso: en California se muestrean 1 día cada 12 días en 20 sitios. Las mediciones se realizan en “canisters” y se envían a un laboratorio central para su análisis. Es necesario identificar las áreas de los puntos críticos y convertir las mediciones en evaluaciones de riesgos de cáncer. También hay que realizar estudios de “source apportionment” para evaluar las contribuciones de diferentes tipos de fuentes.

Gustavo Sosa (IMP): Dado que PROAIRE incluye otras entidades además de CDMX, las autoridades de estas entidades deberían participar en estas discusiones. Beatriz Cárdenas aclaró que este es un ejercicio propuesto por CDMX por ahora, pero eventualmente SEMARNAT tendrá que asumir el papel principal para involucrar a todas las entidades.

Rodolfo Sosa (UNAM): Un ejemplo de la necesidad de monitorear los tóxicos del aire se puede ver en la falta de datos ambientales de aldehídos que podrían ser usados para evaluar el impacto de la introducción de etanol en los combustibles de la flota de vehicular.

Armando Retama (Consultor): Una recomendación muy importante para hacer a la nueva administración es la necesidad de aumentar drásticamente el presupuesto operativo para la red de monitoreo.



Gerardo Ruiz (UNAM): Otra recomendación es incluir en el nuevo PROAIRE una lista de estudios necesarios (tal vez priorizados). Tendrán que ser explícitos con una descripción detallada que podría usarse para mejorar la información necesaria para crear e implementar las políticas públicas.

4.2. Inventario de Emisiones

Luisa Molina leyó los siguientes puntos clave:

- El inventario de emisiones debe evaluarse a través de mediciones y actividades de investigación basadas en modelos.
- Es necesario realizar campañas de mediciones dedicadas para identificar:
 - fuentes emisoras no contabilizadas
 - fuentes emisoras faltantes
 - fuentes emisoras emergentes
- Incorporar datos satelitales para comprender las tendencias de NO_2 y otros contaminantes.
- Mejorar la caracterización de las fuentes y variabilidad estacional del NH_3 mediante mediciones ambientales continuas.
- Es necesario volver a calcular las emisiones de los inventarios anteriores utilizando los avances en las nuevas herramientas y metodologías. Esto ayudará a probar el desempeño de los modelos en diversas condiciones de VOC/NO_x .
- Mejorar los datos de actividad para las fuentes de emisiones en los municipios del Estado de México, en particular para la flota de vehículos e industrias.
- Continuar mejorando los métodos, los supuestos y las fuentes de datos para el inventario nacional de emisiones (INEM) y los inventarios locales.

[Discusiones](#)



Marc Guevara (BSC): Sería muy útil contar con una guía metodológica para la estimación de emisiones que tenga en cuenta el nivel de confianza en los datos utilizados, como se hace en Europa.

Participante no identificado (SEDEMA): SEDEMA está trabajando actualmente en la publicación de las guías metodológicas utilizadas durante el desarrollo del inventario.

Hugo Landa (SEMARNAT): SEMARNAT está colaborando con otras organizaciones para crear guías para el desarrollo del inventario. También han considerado la creación de videos de capacitación que podrían usarse para otros desarrolladores.

Leonardo Martínez (Consultor): 1) Incluir los beneficios de las nuevas tecnologías para medir las fuentes de emisión; 2) Modificar los instrumentos actuales de "Licencia Ambiental Única" y "Cedula de Operación Anual" (LAU y COA) para que puedan ser mejor utilizados como herramientas para el desarrollo del inventario de emisiones. Citó los ejemplos de pequeñas fuentes como las tintorerías para enfatizar el último punto.

Beatriz Cárdenas (SEDEMA): Muchos resultados científicos no se han integrado a los desarrollos del inventario de emisiones. La recomendación es establecer una plataforma para facilitar la integración de los resultados científicos. Otro aspecto es la necesidad de establecer protocolos claros para compartir datos de emisiones.

Verónica Garibay (Consultora): Una buena práctica que se está utilizando en otras ciudades es la colaboración del público para obtener datos de actividad para la creación del inventario de emisiones. Esto podría hacerse a través de un proyecto piloto específico.

Gerardo Ruiz (UNAM): Hay dos formas de mejorar el intercambio de datos: 1) mediante la colaboración directa, y 2) mediante el intercambio de datos con el reconocimiento adecuado (por ejemplo, reglas de acceso abierto).

Gustavo Sosa (IMP): Dado que la selección de factores de emisión durante la elaboración de un inventario no es una tarea trivial, debe haber un protocolo de un comité de expertos con guías de selección sobre cómo integrar los resultados científicos de los factores de emisión. Además es necesario actualizar los perfiles de especiación de VOC y PM para fuentes clave, así como para mejorar las distribuciones temporales y espaciales de las emisiones.

Rodolfo Sosa (UNAM): 1) La metodología en el inventario de emisiones desarrollado a nivel local y federal debe ser homogénea. Las fuentes federales puntuales a menudo



tienen datos de emisiones de mediciones que se incorporan en los inventarios, mientras que esta información a menudo no está disponible para las fuentes industriales locales. 2) En términos de resolución temporal, los instrumentos LAU y COA pueden no ser las herramientas más adecuadas para producir un inventario listo para modelación, dado que no hay información sobre los perfiles de emisiones diarios. Por lo tanto, existe una gran necesidad de mejorar la distribución temporal de las fuentes puntuales para fines de modelación.

Johan Mellqvist (Chalmers Univ.): Las fuentes de COV deben caracterizarse mejor en el inventario.

Hugo Landa (SEMARNAT): 1) SEMARNAT está avanzando al establecer guías para el desarrollo de inventarios de emisiones, incluido el control de calidad. 2) Propone la formación de una base de datos de repositorio con información relevante para el desarrollo del inventario de emisiones, incluidos los resultados científicos. 3) Establecer un comité técnico para ayudar a integrar los resultados científicos en las metodologías de estimación de inventario. 4) Mejorar las distribuciones tanto temporales como espaciales.

Patricia Camacho (SEDEMA): Respondiendo al comentario de Rodolfo Sosa: los datos de medición también se consideran en la LAU y, por lo tanto, en el desarrollo del inventario de emisiones una vez que los datos se hayan corroborado con los balances de uso de combustible.

Ramiro Barrios (Consultor): Con respecto a las emisiones estimadas en el inventario utilizando mediciones reportadas de las fuentes puntuales: existe una gran necesidad de modificar la legislación actual para que los datos de emisiones medidos (que ya requieren las normas) se puedan compartir libremente en tiempo real. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que las industrias a menudo pueden engañar en su informe de mediciones mediante un muestreo solo durante condiciones óptimas (o sin emisiones) de operación.

Marc Guevara (BSC): Considerar el inventario de emisiones como un modelo en sí mismo.

Erik Velasco (Investigador): Considerar incluir muestras de emisiones en tiempo real utilizando las nuevas técnicas disponibles.



4.3. Química Atmosférica y Retos Adicionales

Luisa Molina leyó los siguientes puntos clave:

- Existe la necesidad de realizar mediciones continuas de COV (especiadas) para comprender mejor los cambios en la reactividad en la atmosfera de la ZMVM.
- Es necesario comprender mejor la química VOC/NOx para explicar la falta de cambios en las tendencias de O₃ en la ZMVM.
- Investigar las variaciones espaciales de la composición de PM en la ZMVM a través de mediciones continuas, incluyendo los precursores de SIA (NH₃ y HNO₃)
- Realizar estudios de Modelación de la formación de partículas secundarias y acidez.
- Dada la importancia del GLP en México, es necesario tener un programa de detección de GLP basado en mediciones, por ejemplo, una cámara de infrarrojos, un detector PID de mano, etc.
- Considerar el efecto de las energías renovables y otras tecnologías emergentes sobre las emisiones y los cambios en la química atmosférica en la elaboración del PROARIE.
- Considerar el impacto del cambio climático en la calidad del aire.
- Evaluar los impactos de la urbanización en el clima local y regional (por ejemplo, isla de calor urbano, efectos en precipitación, etc.)
- Los inventarios de emisiones revisados y los nuevos datos ambientales deben utilizarse para mejorar el desempeño de los sistemas de pronóstico de la calidad del aire.
- El uso de herramientas de modelación (combinado con observaciones) es crucial para el proceso de toma de decisiones sobre políticas de gestión de la calidad del aire.
- Evaluar los modelos utilizando las tendencias del ozono y el efecto del fin de semana y entre semana.



-
- Todavía hay un gran desafío de cómo incorporar los resultados científicos en el diseño de políticas específicas de control de emisiones.
 - Es necesario considerar la distribución espacial de las emisiones en la aplicación de medidas de control en el PROAIRE.
 - Los datos que se recopilan en el sistema de salud aún son inadecuados para investigar los impactos de la exposición a contaminantes del aire.
 - Es necesario actualizar los estudios de salud con condiciones locales de exposición a contaminantes del aire en la ZMVM, incluidos los estudios de dosis-respuesta.
 - Fortalecer la coordinación regional de las entidades (monitoreo del aire, inventario de emisiones y estrategias de control de emisiones).

Discusiones

Gerardo Ruiz (UNAM): Muchos de los componentes listados en realidad forman parte de una agenda científica. Aquí son pertinentes sus comentarios anteriores sobre la distinción de objetivos científicos y no científicos en las recomendaciones finales.

Rodolfo Sosa (UNAM): El PROAIRE debe indicar explícitamente que cada medida de control debe evaluarse tanto como sea posible con los resultados científicos disponibles (por ejemplo, el caso del etanol en los combustibles).

Adrián Vázquez (UACJ): Las acciones listadas deben estar vinculadas a resultados específicos deseados (o necesidades científicas identificadas).

William Brune (PSU): Hemos visto que aún queda mucha información científica por entender en términos de cómo la atmósfera responderá a varios cambios de emisiones. La generación de información científica es necesaria para apoyar cualquier política aérea.

Marc Guevara (BSU): También deberíamos empezar a pensar en cómo traducir los datos de calidad del aire exterior a exposiciones en interiores.

Leonardo Martínez (Consultor): Es deseable tener herramientas de modelado para evaluar las acciones de PROAIRE. Sin embargo, existen grandes diferencias en los avances en la precisión y el desempeño de las diversas herramientas de modelación

disponibles para evaluar las políticas. Se sugiere el uso de un enfoque eco-sistémico integrado en la creación de PROAIRE.

Gerardo Ruiz (UNAM): El uso de un enfoque eco-sistémico integrado es responsabilidad de todos los desarrolladores de PROAIRE.

William Brune (PSU): Está de acuerdo sobre la necesidad de la integración de diferentes componentes. En términos de modelación, los modelos de calidad del aire deben evaluarse con gran detalle antes de utilizarlos como herramientas de política.

Adrián Vásquez (UACJ): Debemos pensar en integrar los costos y beneficios de los estudios de química atmosférica hacia la evaluación de las políticas de calidad del aire.

Omar Amador (UNAM): Todavía hay muchas cosas que se pueden hacer para controlar el ozono en la ZMVM. Debe haber colaboración entre el gobierno y la academia en términos de objetivos de medición. Los impactos en la salud también deben incluirse como áreas de investigación científica que pueden combinarse con la investigación atmosférica.

Dara Salcedo (UNAM): Las mediciones ambientales de grado de investigación deben dirigirse hacia la evaluación del desempeño de los modelos de calidad del aire. Si los modelos no reproducen las observaciones (o lo hacen por razones incorrectas) no son herramientas útiles. Por lo tanto, debemos mejorar los modelos actuales utilizando observaciones para que puedan ser utilizados como herramientas de evaluación de acciones políticas.





Wastewater Sector

- Review the emission factors for CFC, then wastewater treatment and effluent (WTE).
- Evaluate of emissions of CO₂, CH₄, and N₂O.
- Provide better control strategies (e.g. use of gas capture systems, maintenance practices, treatment technologies).
- There is evidence that the "strong performer" in Mexico City is an industrial source that needs to be incorporated into the regulatory framework.
- There is still a large fraction of waste water that is not treated. There need to be standardized and addressed.
- Evaluate the impacts of advanced design from waste.

RESUMEN DE LA SEGUNDA PARTE DE LA SESIÓN 4

DISCUSIONES SECTOR POR SECTOR

4.4. Sector Transporte

Luisa Molina leyó los siguientes puntos clave:

- Aunque los vehículos pesados a diésel representan solo una pequeña fracción de la flota de vehículos, tienen grandes impactos en la calidad del aire. Todavía representan un gran desafío para desarrollar estrategias de control de emisiones eficientes.
- Considerar la introducción de nuevas tecnologías de vehículos (es decir, automóviles eléctricos e híbridos) en el próximo PROAIRE como un medio para reducir las emisiones.
- Hacer uso de metodologías emergentes para la vigilancia y la regulación de las emisiones vehiculares como parte de los nuevos programas de control.
- Incorporar normas internacionales de emisión. ¿Qué problemas de implementación se enfrentarían? ¿Son adecuados para las calles mexicanas y las condiciones de manejo?
- Desarrollar estrategias para implementar programas de control de emisiones para vehículos pesados a diésel para pequeñas flotas de propietarios (“Hombre-Camión”).
- Evaluar las características de emisión de las motocicletas.
- ¿Deberían (y en caso afirmativo, cómo) los programas HNC/PVVO promover el uso de nuevas tecnologías y una mejor movilidad?
- Mejorar la comunicación pública de los beneficios de los programas HNC/PVVO.
- La transparencia en la gestión de los programas ayudará a su implementación.



Discusiones

Adrián Vázquez (UACJ): Agregar el uso de programas de manejo inteligente.

Gerardo Ruiz (UNAM): La lista propuesta de puntos clave es demasiado sesgada hacia la tecnología. Tenemos que considerar los otros elementos de los problemas en el sector del transporte: desarrollo urbano y planificación, cambios en el uso del suelo, movilidad, componente social, etc. Estos temas deben incluirse al discutir el sector del transporte.

Aron Jazcilevich (UNAM): Agregar: 1) La necesidad de una mejor calidad del combustible, 2) Las tecnologías deben probarse bajo las condiciones de manejo de México antes de ser implementadas, 3) Agregar el componente de exposición personal a la evaluación de las estrategias de mitigación para el sector del transporte, 4) Considerar programas para mejorar la movilidad.

Ramiro Barrios (Consultor): 1) La experiencia muestra que existe la necesidad de fortalecer la certificación del cumplimiento de las nuevas normas de emisión, 2) Mejorar la infraestructura para la adopción de vehículos eléctricos.

Rodolfo Sosa (UNAM): Considere todos estos puntos clave de manera integral, y no independientemente, a nivel de Megalópolis.

Leonardo Martínez (Consultor): Los programas HNC/PVVO ya están diseñados para integrar el uso de mejores tecnologías. Sin embargo, el diseño actual de estos programas no apoya la mejora de la movilidad en la ciudad. Deben ser revisados y actualizados considerando las nuevas tecnologías disponibles.

Gustavo Sosa (IMP): Reforzar los sistemas inteligentes de interconectividad con aplicaciones móviles para aumentar la eficiencia en el sector del transporte.

Erik Velasco (Investigador): Dirigir las metas hacia una ciudad que se mueva principalmente en transporte público, andar en bicicleta y caminar.

Patricia Camacho (SEDEMA): Crear estándares de emisiones para motocicletas.

Stephan Brodziack (El Poder del Consumidor): 1) Añadir convertidores catalíticos a las motocicletas. 2) Mejorar la infraestructura para peatones.

Monica Jaimes (SEDEMA): Incluir programas para "trabajar desde casa" como una forma de mejorar la movilidad.



Marc Guevara (BSC): Las emisiones que no son de escape, como la evaporación y la fricción, deben caracterizarse mejor en México.

Laura Ramos (INECC): Hay muchas áreas de oportunidad en el sector del transporte. Sin embargo, dado que los recursos son limitados, debemos centrarnos en aquellas acciones que brindan más beneficios. En términos de GEI, una de las acciones que tiene más beneficios es la introducción de normatividad para aumentar la eficiencia de la combustión. Este es un trabajo para el Gobierno federal por SEMARNAT, pero todas las partes interesadas deben formar un frente fuerte y único.

Patricia Camacho (SEDEMA): Incluir: Obtener ciclos de manejo locales para ajustar los factores de emisión en la ZMVM.

Gerardo Ruiz (UNAM): El transporte público en condiciones concesionarias genera muchas condiciones de manejo de "stop and go". En el centro del problema se encuentran las condiciones laborales: los conductores deben competir para que los usuarios completen la "tarifa" solicitada por el propietario del vehículo. Por lo tanto, existe la necesidad de regular estas condiciones operativas para mejorar la movilidad.

4.5. Fuentes Puntuales

Luisa Molina leyó los siguientes puntos clave:

- Mejorar los protocolos de recolección de datos (formato, frecuencia, tipo de datos, etc.) para fuentes puntuales federales y locales a través de modificaciones en la normatividad.
- La especiación química de las emisiones de VOC y PM de fuentes puntuales es relevante para los impactos en la salud y la calidad del aire y debe ser mejor caracterizada.
- Evaluar la efectividad de los nuevos estándares de emisión para la industria.
- Revisar criterios para definir fuentes puntuales y de área.
- Hacer uso de modelos y observaciones para evaluar las estimaciones de emisiones de la industria.



-
- Mejorar los enfoques para estimar las emisiones de fuentes pequeñas y abundantes.

Discusiones

Gustavo Sosa (IMP): Agregar a la lista la caracterización de las fuentes industriales emisoras fuera de la ZMVM que influyen la atmosfera metropolitana regional.

Adrián Fernández (ICM): Emplear nuevas tecnologías para detectar y evaluar el cumplimiento de las fuentes industriales.

Rodolfo Sosa (UNAM): Considerar la toxicidad y la reactividad en la especiación de COV.

Ramiro Barrios (Consultor): Mejorar los estándares para COV.

Gerardo Ruiz (UNAM): Respecto a estándares para fuentes puntuales: Formar un grupo de expertos para la revisión de los estándares.



.6. Fuentes de Área

Luisa Molina leyó los siguientes puntos clave:

- La resuspensión del polvo (por ejemplo, la erosión) puede ser una fuente de emisión de PM regional importante que debe evaluarse.
- Considerar la distribución espacial de los servicios y el comercio en la normatividad local y regional.
- Aumentar el monitoreo de la calidad del aire en áreas rurales.
- Diseñar medidas de control considerando costos y mecanismos de financiamiento.
- Mejorar la comunicación pública sobre los beneficios de las nuevas medidas de control para reducir las emisiones de fuentes de áreas pequeñas.

Discusiones

Ramiro Barrios (Consultor): Reitera la necesidad de contar con normatividad estricta para regular las emisiones de COV de fuentes clave (artes gráficas, tintorerías, pintura, etc.).

Rodolfo Sosa (UNAM): Regular las fuentes informales de emisión que emiten grandes cantidades de COV.

Leonardo Martínez (Consultor): Reforzó la idea de la necesidad de modificar los instrumentos actuales de LAU y COA para incluir fuentes de emisión pequeñas pero abundantes.

Gerardo Ruiz (UNAM): 1) Las prácticas de barrido de calles deben mejorarse en todas las áreas de la ZMVM utilizando las nuevas tecnologías que ya están disponibles. 2) Homogeneizar la normatividad para las fuentes de área en todas las regiones de la ZMVM.

4.7. Sector Residencial

Luisa Molina leyó los siguientes puntos clave:



-
- La evaluación continua de las fuentes de emisión domésticas proporcionará información valiosa sobre los cambios en las emisiones (por ejemplo, el estudio IMP sobre fugas de GLP).
 - Es necesario reforzar las políticas para reducir las fugas de GLP de los hogares, el comercio y durante su distribución.
 - Promover el uso de dispositivos de calefacción solar y el reemplazo de estufas antiguas, incluyendo inspecciones periódicas.
 - Es necesario acelerar la sustitución de los cilindros de gas.
 - Promover la sensibilización y cultura de reducción de fugas en la población.

Discusiones

Aron Jazcilevich (UNAM): En varias partes de la ciudad (por ejemplo Coyoacán) el uso de la combustión de madera en las chimeneas es frecuente, incluso cuando no están permitidas. Se debe fortalecer el cumplimiento de la normativa.

Rodolfo Sosa (UNAM): 1) Otro ejemplo de regulaciones que no se cumplen en la ciudad es el cambio en el tipo de uso de suelo: de hogares a actividades comerciales. Estas actividades también pueden afectar la calidad del aire. 2) Utilizar la exposición a contaminantes del aire en microambientes como criterio de evaluación de acciones de control.

Javier Vázquez (IMP): Incluir en la lista los puntos clave similares a los del GLP pero para el gas natural. El uso de GNC también es importante en la ciudad.

4.8. Sector de Tratamiento de Aguas Residuales

Luisa Molina leyó los siguientes puntos clave:

- Revisar los factores de emisión para CH₄ de las plantas de tratamiento de aguas residuales en México (y la ZMVM).
- Evaluar las emisiones de H₂S, NH₃ y COV para este sector.

-
- Promover diversas estrategias de control (por ejemplo, el uso de sistemas de captura de biogás, prácticas de mantenimiento, tecnologías de tratamiento).
 - Hay evidencia de que el drenaje profundo en la Ciudad de México es una fuente importante de emisiones que deben incorporarse al inventario.
 - Todavía hay una gran fracción de aguas residuales que no se tratan. Estas emisiones deben ser caracterizadas.
 - Evaluar los impactos de los lodos activados de las PTAR.

Discusiones

A. Noyola (UNAM): 1) Enfatizó que incluso las PTAR bien operadas emiten metano y que estas emisiones deben incorporarse en los inventarios, 2) Caracterizar las emisiones de aguas residuales en México, 3) Caracterizar las emisiones de N₂O.

Gerardo Ruiz (UNAM): La caracterización de emisiones debe incluir COV, aminas y NH₃.

4.9. Quema de Biomasa

Luisa Molina leyó los siguientes puntos clave:

- Desarrollar factores de emisión locales y mejorar la recopilación de datos de actividad para reducir las incertidumbres en las estimaciones actuales.
- Evaluar los impactos de la quema de biomasa a escala regional.
- Diseñar acciones adicionales para reducir la generación de residuos.
- Considerar acciones específicas y diferenciadas para la quema de biomasa de los hogares, la quema de basura, ladrilleras, la quema agrícola y los incendios forestales.
- Desarrollar las políticas y regulaciones homogenizadas a escala regional.



Discusiones

Beatriz Cárdenas (SEDEMA): La quema de biomasa ya se considera en los inventarios, pero existen grandes incertidumbres en las estimaciones de emisiones.

Tanya Muller (SEDEMA): Las emisiones por quema de biomasa también se incluyeron en el modelo de calidad del aire del BSC, pero es necesario reducir las incertidumbres.

Marc Guevara (BSC): En las simulaciones de BSC se buscaron fuentes faltantes de PM. Para las primeras simulaciones de 2012 se utilizaron estimaciones globales de quema de biomasa. Para las nuevas simulaciones, se han utilizado las estimaciones de SEDEMA, incluida la quema de basura, y el modelo se comporta mejor.

Adrián Fernández (ICM) preguntó si existen datos de campo sobre la prevalencia y la frecuencia de quema de biomasa para la ZMVM. Patricia Camacho (SEDEMA) respondió que las estimaciones no se basan en datos de campo.

Gustavo Sosa (IMP): Añadir la necesidad de caracterizar las emisiones de biocombustibles y su consideración en el nuevo PROAIRE.

No identificado: Caracterizar las emisiones de los vendedores ambulantes que utilizan la madera y carbón.

Patricia Camacho (SEDEMA): Aunque se consideran en el inventario, no se tienen factores de emisión locales para los vendedores ambulantes que utilizan la combustión de carbón.

4.10. Emisiones Biogénicas

Luisa Molina leyó los siguientes puntos clave:

- Tener en cuenta que el O₃ también afecta a la vegetación y los efectos ocurren a concentraciones más bajas de O₃.
- Generar un mapa de excedencias a la norma AOT40.
- Determinar el efecto de la deposición atmosférica en el suelo, que puede afectar la vegetación y la productividad de los cultivos.
- Implementar el monitoreo en las zonas rurales.
- Evaluar los servicios ambientales.

- Considerar que el derecho a un ambiente saludable incluye la seguridad alimentaria y la sostenibilidad.
- Estimar el impacto de mejorar la calidad del aire en regiones agrícolas.

Discusiones

Aron Jazcilevich (UNAM): Incluir la influencia de las emisiones biogénicas que rodean la ZMVM.

Rodolfo Sosa (UNAM): Hemos estado trabajando junto con SEDEMA utilizando los datos de deposición para comprender las cargas críticas de nitrógeno y azufre en la ZMVM. Este es un ejemplo del aprovechamiento de la riqueza de los datos de deposición.

Gerardo Ruiz (UNAM): Considera que la deposición de nitrógeno modifica la biodiversidad. Por lo tanto, las medidas de adaptación deben anticiparse a las acciones políticas.



