

Consideraciones generales sobre la situación actual de la contaminación atmosférica por ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México

Hugo Barrera, Telma Castro, Amparo Martínez, Zuhelen Padilla, Oscar
Peralta, Luis Gerardo Ruiz

Ciudad Universitaria, marzo de 2024
Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático
Universidad Nacional Autónoma de México

Contenido

1. Prefacio.....	1
2. Ozono troposférico.....	2
3. Ozono troposférico en el valle de México.....	4
3.1. Fotoquímica del ozono.....	5
3.2. Transporte de contaminantes atmosféricos y meteorología.....	7
3.3. Calidad de aire y emisiones en el Valle de México.....	8
3.4. Efectos en salud.....	9
3.5. Emisiones.....	11
3.6. Medidas que se han tomado para reducir precursores de ozono.....	14
3.7. Cambio climático (e intercambio troposfera-estratosfera).....	15
4. Programas para abatimiento de ozono troposférico.....	18
4.1. Normatividad.....	21
4.1.1. Normas Oficiales Mexicanas para calidad del aire.....	22
4.1.2. Normas oficiales mexicanas de emisiones vehiculares.....	23
4.2. Normatividad de compuestos orgánicos volátiles (COV).....	28
4.3. Índice de la calidad del aire y salud.....	29
4.4. Hoy No Circula y Verificación Vehicular.....	33
4.4.1. Situación de la flota vehicular de la CDMX y Edo. de México.....	35
4.5. PROAIRE.....	37
5. Factores socioculturales y socioeconómicos que impactan en los programas	41
5.1. Educación ambiental y mayor difusión sobre causas y consecuencias de la contaminación atmosférica a nivel local y regional.....	43

5.2.	Promover la participación ciudadana en acciones para mejorar la calidad del aire y la salud, en sinergia con medidas para la mitigación y adaptación al cambio climático.....	44
5.3.	Alinear acciones para calidad del aire, cambio climático y salud.....	44
6.	Reducción de la concentración de O ₃ troposférico.....	45
6.1.	Controles de emisiones de vehículos.....	45
6.2.	Reducción de emisiones industriales.....	45
6.3.	Prácticas agrícolas.....	46
6.4.	Regulaciones sobre productos de consumo y solventes.....	46
6.5.	Planificación urbana.....	46
6.6.	Monitoreo e Investigación.....	47
6.7.	Política y regulación.....	47
6.8.	Mecanismos de flexibilidad.....	48
6.9.	Concientización y educación pública.....	48
7.	Consideraciones finales.....	50
7.1.	Revisión bibliográfica de los avances científicos sobre el ozono y medidas de gestión.....	50
7.2.	Programas de contingencia para reducir la generación del contaminante.....	51
7.3.	Recomendaciones para mejorar la gestión de la calidad del aire y reducir contingencias ambientales atmosféricas.....	51
8.	Referencias.....	54

Figuras

Figura 1	Formación de ozono a partir de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos. (Friedrich and Reis, 2000).....	3
----------	--	---

Figura 2 Evolución de los valores máximos de ozono 1999-2016 (Fuente: SEDEMA, SIMAT, 2016).....	5
Figura 3 Respuesta del rendimiento de los cultivos en función de la exposición a ozono (Fuhrer, 1997).....	10
Figura 4 Concentraciones máximas diarias de O ₃ en la CDMX (2000 - 2021) ..	18

Tablas

Tabla 1 Efectos del ozono en la salud.....	9
Tabla 3 Lista de categorías que aportan 80% de COV al inventario 2018.....	12
Tabla 4 Lista de categorías que aportan 80% del potencial de formación de ozono de los COV en el inventario 2018.....	13
Tabla 5 Categorías de fuentes de PM _{2.5} con mayor aporte al inventario 2018. .	13
Tabla 6 Normas oficiales mexicanas para cumplimiento de límites permisibles para la calidad del aire.....	22
Tabla 7 Concentraciones límite de las Normas Oficiales Mexicanas para la calidad del aire.....	22
Tabla 8 Comparación de los valores actuales de las Normas Oficiales Mexicanas y con los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021).....	23
Tabla 9 Normas Oficiales Mexicanas de emisiones vehiculares.....	24
Tabla 10 Índice AIRE Y SALUD para PM ₁₀ , PM _{2.5} y SO ₂	29
Tabla 11 Índice AIRE Y SALUD para O ₃ , NO ₂ y CO.....	30
Tabla 12 Recomendaciones asociadas a las categorías de la calidad del aire y salud.....	30
Tabla 13 Estatus actual de normas y anteproyectos vigentes en materia de calidad del aire y emisiones.....	32
Tabla 14 Flota vehicular registrada en la Ciudad de México y Estado de México al 2020.....	36
Tabla 15 Calcomanía de verificación vehicular.....	36
Tabla 16 Medidas propuestas por el PROAIRE 2021-2030.....	38

1. Prefacio

El ozono troposférico es un contaminante secundario, dañino para la salud humana, así como para los ecosistemas naturales y agrícolas. Además, su contribución al calentamiento global como gas de efecto invernadero amplía su impacto al sistema climático. El aumento del ozono troposférico frente a otros gases de efecto invernadero puede atribuirse en parte al forzamiento radiativo entre las décadas de 1970 y 1980. La formación del ozono troposférico resulta de las emisiones sus precursores (NO_x, CO, CH₄ y otros hidrocarburos) y radiación UV. Su impacto en la troposfera superior depende de la vida media esperada, la intensidad de la fuente, la distribución geográfica, su ubicación en la altura.

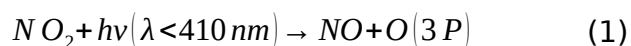
Un primer análisis de dispersión de la temperatura vs concentración de ozono en superficie muestra una tendencia exponencial entre ambas variables, lo que indica una respuesta no lineal, esto es, que un incremento leve en la temperatura puede representar un aumento significativo en la concentración de ozono.

La información del Componente 4 del Proyecto *“Identificación de procesos meteorológicos y climáticos que favorecen las concentraciones altas de ozono en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y emisiones COV y NOX asociadas”* contempla la revisión bibliográfica de los avances científicos sobre el ozono, la compilación de los programas de contingencias para reducir la generación del contaminante, la descripción de los factores sociales, culturales y económicos que inciden sobre los programas y comentarios sobre la gestión de la calidad del aire y las contingencias ambientales atmosféricas.

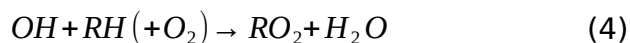
2. Ozono troposférico

El ozono es el principal oxidante fotoquímico de la troposfera, originado a partir de un proceso de formación que involucra óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles (COV) y luz ultravioleta (UV). De acuerdo con el Protocolo COV de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) de 1991, los COV son "... todos los compuestos orgánicos de naturaleza antropogénica, distintos del metano, que son capaces de producir oxidantes fotoquímicos por reacciones con óxidos de nitrógeno en presencia de luz del sol...". Incluyen hidrocarburos puros (que contienen sólo hidrógeno y carbono) y compuestos orgánicos que contienen otras sustancias como oxígeno, nitrógeno, cloro o flúor. Estos procesos de formación de ozono han sido objeto de una investigación exhaustiva, en especial sobre las diferentes reactividades de los hidrocarburos y su contribución a la producción de ozono. Los óxidos de nitrógeno se originan principalmente en la quema de combustibles fósiles, ya sea en fuentes estacionarias (generación de energía y calor) o fuentes móviles (transporte). Además de las emisiones antrópicas de hidrocarburos (por ejemplo, transporte vehicular, emisiones domésticas e industriales de disolventes orgánicos), las emisiones biogénicas de árboles y otras plantas también son importantes.

En presencia de NO₂ y luz solar, las reacciones 1 y 2 describen cómo se forma el ozono. En ausencia de COV, el ozono se reduce nuevamente, según la ecuación 3.



Así, las concentraciones de NO, NO₂ y O₃ forman un equilibrio estable, lo que no conduciría a concentraciones de ozono tan altas como las que se observan actualmente en las zonas metropolitanas. Sin embargo, si están presentes los COV, ocurren las reacciones 4 y 5.



RH es la representación de los COV, en los que H representa hidrógeno y R el resto de la molécula, por ejemplo, CH₃, C₂H₅ u otros radicales. Debido a que el NO se oxida a través de la reacción 5, no se puede reducir el ozono (reacción 3), aumentando así su concentración. La oxidación de NO a NO₂ por RO₂ o HO₂ y, posteriormente, la formación de O₃ a partir de NO₂ y luz solar se describe con más detalle en la figura siguiente.

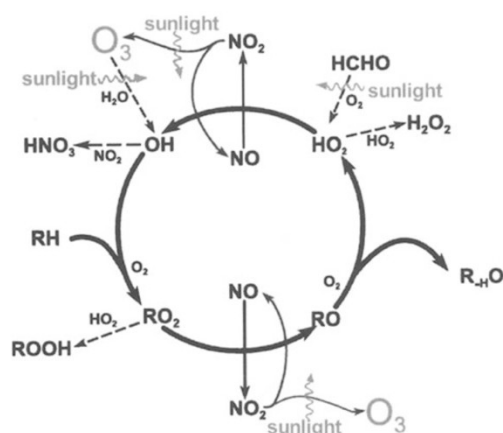


Figura 1 Formación de ozono a partir de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos. (Friedrich and Reis, 2000)

Existen regiones controladas por NO y otras por COV, donde la formación de ozono está limitada por la falta o exceso de un compuesto. Los COV son una colección de varias especies con diferentes propiedades químicas y reactividades. Por lo general, se hace una primera distinción entre el metano, que tiene una baja reactividad con el OH (reacción 4) y, por lo tanto, es menos importante para la formación de ozono a corto plazo, y los llamados compuestos orgánicos no metano (COVNM). Un gran número de especies con características físicas y químicas muy diferentes y distintos potenciales de formación de ozono componen los COVNM. Dadas estas diferencias, está claro que una evaluación de la especiación de COVNM asociada con cada fuente es importante para evaluar los efectos de las medidas de control. Por ejemplo, a

corto plazo los hidrocarburos, como el tolueno, el eteno, el butano y el propano, son los principales responsables de la creación de ozono, mientras que los alcanos, de reacción más lenta, juegan un papel más importante cuando se considera la formación a largo plazo, por ejemplo, varios días (Andersson-Sktild et al. 1992).

3. Ozono troposférico en el valle de México

En el centro de México la contaminación del aire es un problema persistente y es necesario conocer con mayor detalle emisiones, fuentes, reacciones fotoquímicas y meteorología de la región, así como los procesos que propician la formación y persistencia de O_3 en la megalópolis. El ozono es un contaminante secundario producido por reacciones químicas que ocurren en la atmósfera a partir de compuestos emitidos por autos, industrias, negocios y residencias, lo cual fue confirmado para el Valle de México por las campañas de investigación IMADA-1997, MCMA-2003 y MCMA-2006.

Los principales precursores de ozono en la Zona Metropolitana del Valle de México son los óxidos de nitrógeno (NO y NO_2), los compuestos orgánicos volátiles (COV), el metano (CH_4) y el monóxido de carbono (CO). Los precursores tienen distintas capacidades para formar ozono, por lo que el tipo de compuesto, la fuente y la tasa de emisión deben tomarse en cuenta para crear políticas ambientales (Turnok, et. al. 2018), así como considerar que el ozono o sus precursores pueden acumularse en zonas diferentes a su origen y así, degradar la calidad del aire en varios puntos (Fiore et al., 2009).

Entre 1990 y 2006 la *Fase I* de contingencia atmosférica se decretaba a partir de 265 ppb, desde entonces, el umbral ha bajado paulatinamente. En 2012 se estableció en 194 ppb y en 2016 en 155 ppb. Entre 1990 y 2010 la concentración promedio de ozono en la ZMVM tuvo una tendencia a la baja; sin embargo, a partir de 2010 esa tendencia se estancó (Figura 2). Con el paso de los años se han establecido límites más estrictos para decretar medidas de contingencia atmosférica y proteger a la población de la exposición a niveles excesivamente altos de ozono.

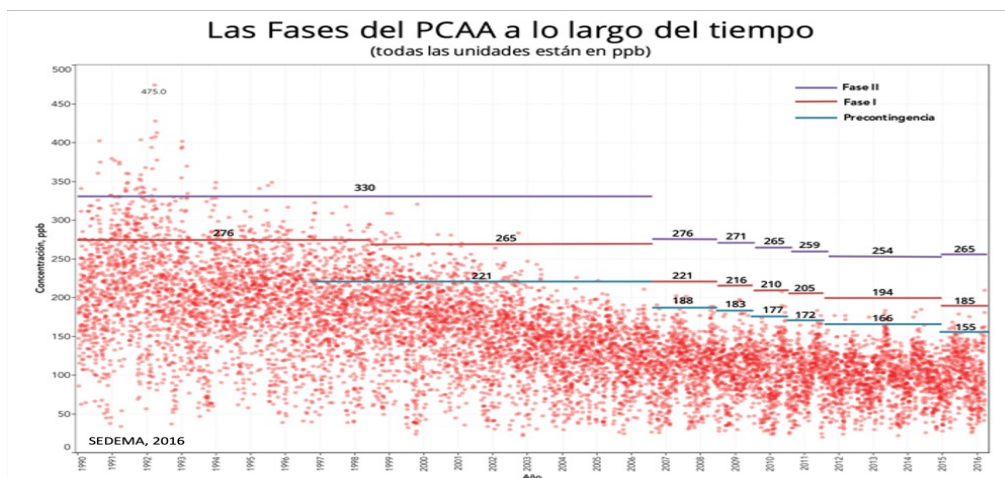


Figura 2 Evolución de los valores máximos de ozono 1999-2016 (Fuente: SEDEMA, SIMAT, 2016)

Conforme avanza el conocimiento de las afectaciones del ozono a corto y largo plazo, los niveles máximos permisibles de exposición se reajustan debido a su impacto en la salud. Por ejemplo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que en 2019 la contaminación del aire exterior en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provocó 4.2 millones de muertes prematuras; esta mortalidad se debe principalmente a la exposición a materia particulada fina causante de enfermedades cardiovasculares y respiratorias. La OMS también menciona que 37% de las muertes prematuras relacionadas con la contaminación del aire exterior se deben a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, 18% a enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, 23% a infecciones respiratorias agudas y 11% a cáncer de las vías respiratorias (WHO, 2020).

Los contaminantes de mayor preocupación en el Valle de México son el ozono y el material particulado (PM) que presentan con frecuencia concentraciones mayores a las establecidas en las normas nacionales y la OMS. Las partículas con diámetro menor que $2.5\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) provocan mayor daño a la salud, ya que penetran más profundamente en el tracto respiratorio. Así, la contaminación atmosférica se asocia con una menor esperanza de vida y con muertes prematuras. Del mismo modo, también tiene efectos económicos por gastos hospitalarios y ausentismo laboral y escolar.

3.1. Fotoquímica del ozono

La radiación solar acelera la formación de ozono troposférico y su reactividad química depende específicamente de la radiación ultravioleta de longitud de onda menor a 340 nm (Crutzen, Lawrence and Pöschl, 1999) y de las tasas de formación de sus precursores (Harrison, 2007; (Pandis, 1998). En áreas urbanas, donde los COV, CO y NO_x son abundantes, la oxidación fotoquímica de COV y CO produce HO₂• y RO₂• que oxida el NO a NO₂ en una reacción competitiva con O₃+NO → NO₂+ O₂. El NO₂ se fotoliza liberando un átomo de oxígeno que se une al O₂ y forma ozono. Después de un tiempo corto, domina la oxidación de radicales orgánicos, el O₃ comienza a acumularse y las proporciones de mezcla de NO_x y Ox (Ox = O₃ + NO₂) cambian.

En las ciudades, la incertidumbre asociada con la química del O₃-NO_x-COV suele afectar las estrategias de control para reducir el ozono en ambiente (Sillman, 2002), ya que la concentración de estos precursores representa la primera fuente de ozono en la troposfera. La correlación de Ox observado frente a NO_x se ha utilizado para identificar tanto el régimen químico dominante en una región, como el papel de las emisiones locales de NO_x en la aparición de niveles altos de ozono (Clapp and Jenkin, 2001). Esta correlación en sitios periurbanos permite: (a) distinguir las contribuciones locales de las regionales de O₃ y NO₂ y (b) identificar indirectamente el envejecimiento fotoquímico de parcelas de aire (Mazzeo et al., 2005).

El cociente O₃/NO_y puede utilizarse como indicador de la “edad química” de la masa de aire (Chameides et al., 2013; Salcedo *et al.*, 2012) donde NO_y = NO_x + NO_z (NO_z representa especies más oxidadas como HNO₃ y PAN entre otras). Los cocientes bajos de O₃/NO_y observados durante la mañana indican condiciones de producción de ozono favorecidas por COV y/o la influencia de las emisiones recientes de NO_x que titulan O₃, típicas de áreas urbanas con masas de aire jóvenes en términos fotoquímicos. Los cocientes altos de O₃/NO_y que se observan por la tarde indican condiciones de producción de ozono favorecidas por NO_x y la presencia de aire contaminado envejecido, donde la mayor parte del NO_y está en forma de NO_z. La transición de condiciones favorecidas por COV y NO_x está representada por una relación O₃/NO_y constante (García-Yee *et al.*, 2018).

Sillman and West, 2009, determinaron que la atmósfera de la Ciudad de México para un evento de ozono presentaba un patrón mixto de sensibilidad a los precursores de ozono, con condiciones sensibles a los COV en la mañana y sensibles a los NOx en la tarde, en contraste con los resultados para otros eventos de ozono que predijeron condiciones fuertemente sensibles a los COV durante todo el día. Peralta *et al.*, 2021, determinaron mediante análisis de los datos de las estaciones de monitoreo y datos satelitales que para el periodo de contingencia por COVID19, la atmósfera de la Ciudad de México tuvo una transición a un régimen de formación favorecido por NOx y que una parte considerable fue sensible a la presencia de los COV.

3.2. Transporte de contaminantes atmosféricos y meteorología

Desde los años noventa se tiene evidencia de los flujos de circulación de contaminantes dentro del Valle de México. Jauregui-Luyando, 1992, identificaron patrones de circulación en superficie dominados por vientos catabáticos nocturnos y matutinos que combinados con la circulación centrípeta provocada por la isla de calor inhiben la dispersión vertical de contaminantes, por lo que se cree que hay un transporte de viento regional hacia el sur y poniente. Hallazgos similares confirmaron esta hipótesis, De Foy et al (2003), encontraron que las concentraciones máximas de O₃ al sur de la ciudad estaban relacionadas con las condiciones de estabilidad atmosférica que favorecen altas concentraciones de contaminantes primarios y secundarios en el centro de la ciudad. De Foy et al., (2005) utilizaron “rosas de viento” para analizar patrones de viento diurnos y establecieron episodios de “O₃-sur”, “O₃-norte”.

Por lo general, los tiempos de residencia de las masas de aire en la cuenca del Valle de México son inferiores a 12 horas, con poco arrastre de un día a otro y poca recirculación de aire (Fast et al, 1998, INECC, 2014), aunque bajo condiciones de alta presión, los procesos que favorecen el drenaje de las masas de aire contaminado fuera del Valle de México se debilitan y las masas de aire prolongan su tiempo de residencia en la cuenca favoreciendo la acumulación de un día para otro (Osibanjo et al, 2021). La acumulación

regional de especies químicas y las emisiones urbanas suelen permanecer sobre el centro de la ciudad durante varios días.

La orografía del Valle de México promueve el transporte de contaminantes donde el terreno que rodea a la Ciudad de México produce circulaciones locales y regionales que rigen el transporte de corto alcance. Las condiciones sinópticas medias modulan la circulación impulsada térmicamente y el flujo cercano a la superficie se acopla a vientos en la altura. De Foy et al (2008) identificaron episodios de circulación a escala de cuenca orográfica que son importantes para interpretar la evolución de los contaminantes en la atmósfera del valle de México. Carreón et al, 2015 identificación y caracterizaron siete patrones de circulación del viento en términos de los componentes de la velocidad del viento y la divergencia y vorticidad del viento en la Ciudad de México estacionalmente, además asociaron la concentración de la contaminación atmosférica con la circulación de los vientos en forma estacional.

El transporte de contaminantes dentro y fuera del valle es un fenómeno común. Por ejemplo, en García-Yee et al (2018) se describe una circulación de masas de aire en la zona de Tenango del Aire y Amecameca, donde bajo condiciones de alta presión sobre la región, el viento en la mañana ventila del centro de la Ciudad de México hacia Cuautla y por la tarde-noche el flujo se invierte acarreando O_3 hacia la Ciudad de México, fenómeno que se asocia a la condición “ozono-sur” propuesta por de Foy en 2005. Barrera-Huertas et al (2019) también identificaron transporte de contaminantes de Puebla hacia Cuautla en el día y existen capas cargadas con O_3 que generan una intrusión a capas superficiales contribuyendo al aumento de ozono en Puebla.

3.3. Calidad de aire y emisiones en el Valle de México¹

El transporte es el sector que más contribuye con precursores de ozono en el Valle de México (PROAIRE ZMVM 2021-2030) y los vehículos particulares son lo que generan la mayor parte de éstos. En el Valle de México hay cerca de 6 millones de vehículos que aumentan a una tasa promedio anual de 3.8%. Este

¹ Programa de Gestión de Calidad del Aire de la ZMCM (ProAire 2021-2030)

crecimiento se debe, entre otras razones, a una expansión urbana desorganizada, un sistema de transporte público insuficiente, así como a sistemas de movilidad que privilegian y subsidian el transporte privado. Además, la congestión vehicular promueve la mala calidad del aire que se traduce en un deterioro significativo en la salud. Diversos estudios muestran aspectos relevantes para entender la evolución de la calidad del aire en el Valle de México en las últimas dos décadas, por ejemplo, los resultados de las campañas experimentales MCMA-2003 y MILAGRO-2006 sugieren que la atmósfera del Valle es sensible a la presencia de COV y a las condiciones meteorológicas. La formación de O_3 depende de la concentración de COV, NO_x y de la proporción entre ellos (Lei et al., 2008; Song et al., 2010; Tie et al., 2007; Zhang et al., 2000; Jaimes, 2017). Así, el éxito de cualquier programa de gestión de la calidad del aire recae en el entendimiento de los procesos fisicoquímicos atmosféricos a escala local y regional para controlar la contaminación del aire (Molina et al., 2019). De modo que la producción de O_3 y los regímenes de sensibilidad varían espacialmente dentro de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) (Zavala et al., 2020), por lo que hay otros aspectos para considerar como:

- La suspensión de actividades y restricciones en la circulación durante la pandemia por COVID- 19 modificaron la emisión de contaminantes al aire en todo el mundo, así como los patrones de formación de O_3 troposférico (Bauwens et al., 2020, Peralta et al., 2021).
- En algunas ciudades, los niveles de contaminantes secundarios como el O_3 y las $PM_{2.5}$ no mejoraron, dada la compleja relación entre las emisiones, la meteorología y la química atmosférica (Kroll et al., 2020; Le et al., 2020, Zavala et al., 2021).
- En 2020 la disminución en los niveles de NO_x fue drástica en el valle de México, pero la formación de O_3 y la relación COV/ NO_x se desplazó hacia un régimen sensible a NO_x . Es posible que hubiese incrementos en emisiones de COV por el uso de productos de limpieza y desinfección (Peralta et al., 2021).

3.4. Efectos en salud

Se sabe que las altas concentraciones de ozono en superficie afectan negativamente la salud humana (Harvard TH Chan, 2015) y de los ecosistemas, además provocan pérdidas en el rendimiento de cultivos. Varios efectos adversos derivados del aumento de las concentraciones de ozono troposférico en la salud humana son conocidos, pero es difícil definir un nivel general de impacto para toda la población, ya que las concentraciones máximas de ozono suelen ocurrir de forma localizada. La tabla 1 muestra una descripción general de algunos de los impactos agudos esperados en la salud humana a diferentes concentraciones ambientales.

Tabla 1 Efectos del ozono en la salud

Concentración O ₃ (µg/m ³)	Exposición	Impactos en salud
40	30 minutos	Olor perceptible
100	30 minutos	Irritación tracto respiratorio
160	6.6 horas	Deterioro función pulmonar
240	30 minutos	Condición física reducida
620	15 minutos	Irritación considerable del tracto respiratorio
1000	60 minutos	Irritación severa en ojos, claustrofobia
2000	30 minutos	Deterioro severo de la función pulmonar

The Royal Society, 2008

En el caso de las plantas, el daño se puede observar como una reducción en el rendimiento de los cultivos, lo que lleva a una pérdida monetaria inmediata. En Estados Unidos y Europa se realizaron investigaciones a largo plazo de los impactos de la contaminación del aire en los cultivos agrícolas (*National Crop Loss Assessment Network*, Somerville et al. 1989) y *European Open-Top Chamber*, Skarby et al 1993).

En esos estudios se calcularon curvas de rendimiento en función de la concentración ambiental de ozono mostrando que las concentraciones actuales tienen un impacto significativo en el rendimiento de los cultivos de trigo, mientras que la cebada y la avena fueron menos sensibles a la exposición al ozono. Los efectos del ozono sobre los árboles forestales varían con las diferentes sensibilidades de los tipos de árboles. El estudio *Accumulated dose*

of ozone Over a Threshold of 40 ppb (AOT40) ha establecido muy buenas relaciones de exposición-respuesta para los experimentos (figura 3).

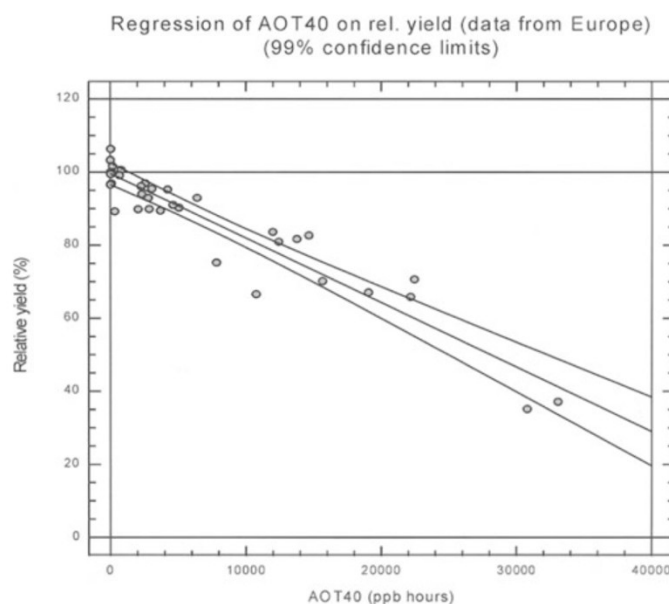


Figura 3 Respuesta del rendimiento de los cultivos en función de la exposición a ozono (Fuhrer, 1997)

El ozono se ha asociado con un amplio espectro de efectos sobre la salud, la mayoría de los cuales se relaciona con el sistema respiratorio. El ozono puede causar daño oxidativo directo a células o promover afectaciones secundarias al desviar la energía de funciones celulares primarias para la producción de defensa mecanismos como los antioxidantes.

El O_3 reacciona con los antioxidantes, como el ascorbato, dentro del líquido de revestimiento pulmonar (LRP), que protege los pulmones del daño oxidativo. En esos casos, cuando el O_3 reacciona con otros sustratos en el LRP, como proteínas o lípidos, surgen productos de oxidación secundarios que dan lugar a varias respuestas celulares dentro del pulmón, incluida la entrada de células inflamatorias. Como consecuencia, la delicada barrera sangre/aire se daña y el pulmón no funciona tan eficientemente como debería.

Los efectos adversos van desde efectos pequeños sobre el tejido pulmonar hasta síntomas respiratorios y exacerbaciones de enfermedades preexistentes, como asma o enfermedad pulmonar obstructiva crónica, suficientes para causar hospitalización o muerte. En este último caso, el O_3

actúa como uno de varios factores que conducen a la exacerbación de la enfermedad en pacientes con función pulmonar reducida. La evidencia más sólida de los efectos sobre la salud humana está relacionada con los efectos agudos, pero cada vez hay más evidencia de que el O₃ también puede causar efectos crónicos al causar daño permanente al pulmón.

Cuantificar el impacto del O₃ en la salud de la población es importante para políticas públicas y requiere estudios de exposición-respuesta confiables. Sin embargo, varios factores limitan la evaluación precisa y pueden llevar a subestimaciones de sus efectos, entre ellos la falta de datos de salud de referencia, el uso de exposiciones anuales medias para estimar la exposición de la población que podría pasar por alto efectos de exposición individual, y otras causas que pueden afectar la interpretación de los resultados del estudio epidemiológico y nublar relación exposición-respuesta. Esto también dificulta saber si existe un umbral de efectos en salud por exposición al O₃. Por esta razón es una práctica común estimar el impacto en la salud con y sin un supuesto de umbral. Por ejemplo, la Estrategia Aire Limpio para Europa de la UE ha adoptado un umbral de 35 ppb (Comisión Europea 2005) y Jerrett et al., (2009) en un estudio en 96 localidades de Estados Unidos relacionan la exposición de largo plazo con mortalidad por enfermedades respiratorias.

Por otra parte, el O₃ troposférico es una fitotoxina bien conocida que tiene un impacto adverso en la vegetación natural y los cultivos ([Feng et al., 2020](#)). Las pérdidas de rendimiento global debidas a las concentraciones de O₃ se estiman entre 2 y 16% para los cuatro principales cultivos básicos: trigo, arroz, maíz y soja ([Ainsworth, 2017](#)). Las pérdidas económicas en este sector asociadas al ozono ascienden a 32 mil millones sólo en China ([Xu, 2021](#)).

3.5. Emisiones

El potencial de formación de ozono en una ciudad depende de las emisiones de los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles. Del inventario de emisiones 2018 de la ZMVM (tabla 2), las seis categorías por tipo de fuente que completan hasta 80% de las emisiones de NO_x corresponden a fuentes móviles. De las seis categorías anteriormente señaladas, cuatro de estas son

vehículos a gasolina que generan 60% del total de emisiones, otra categoría corresponde a vehículos a diésel y la restante a gas LP.

Tabla 2 Lista de categorías que aportan 80% de NOx al inventario 2018

	Categoría de fuente	2018	%	% Acumulado
1	Autos particulares a gasolina	37,478.7	30.20	30.20
2	Camionetas SUV a gasolina	15,043.6	12.12	42.32
3	Autobuses concesionados a diésel	15863.06	12.78	55.10
4	Taxis a gasolina	13,319.4	10.73	65.83
5	Microbuses a gas LP	10,263.5	8.27	74.10
6	Pick up a gasolina	8233.47	6.63	80.73

La tabla 3 muestra las emisiones más importantes de COV del inventario 2018. La aportación más importante corresponde con la fuga de gas LP en instalaciones (20.0%) y autos particulares a gasolina (8.88%). Las fuentes de área, específicamente las emisiones domésticas, duplican las emisiones de las fuentes móviles, con aparentes implicaciones para el control de emisiones en los programas ProAire y PCAA.

Tabla 2 Lista de categorías que aportan 80% de COV al inventario 2018

	Categoría de FUENTE	Ton	%	% Acumulado
1	Fugas de GLP en instalaciones	82,763.6	20.00	20.00
2	Autos particulares a Gasolina	36,755.04	8.88	28.88
3	Productos de cuidado personal	20,081.7	4.85	33.73
4	Productos de consumo doméstico	19,024.7	4.6	38.33
5	Plaguicidas domésticos	18,873.7	4.56	42.89
6	Limpieza en superficie industrial	18,506.7	4.47	47.36
7	Aguas residuales no tratadas	15,920.4	3.85	51.21
8	Productos para el cuidado automotriz	14,213.6	3.43	54.64
9	Microbuses a Gas LP	15,507.42	3.75	58.39
10	HCNQ en la combustión de GLP	11,200.5	2.71	61.10
11	Camionetas SUV a Gasolina	10,546.68	2.55	63.65

	Categoría de FUENTE	Ton	%	% Acumulado
12	Motocicletas a Gasolina	9,754.0	2.36	66.01
13	Distribución de gasolina	8,869.0	2.14	68.15
14	Recubrimiento de superficies arquitectónicas (PINTURAS ACRÍLICAS)	16,084.7 1	3.89	72.04
15	Taxis a Gasolina	1,533.86	2.04	74.08
16	Impresión e industrias conexas-SC	7,416.7	1.79	75.85
17	Artes gráficas	6,373.1	1.54	77.41
18	Adhesivos y selladores	6058.24	1.46	78.87
19	Rellenos sanitarios	5081.39	1.23	80.10

La importancia de las fuentes de COV cambia si se comparan los potenciales de formación de ozono (Jenkin et al, 2017), ya que depende del número de átomos de carbono y de la estructura molecular de cada COV. En la tabla 4, dos fuentes ocupan el segundo y tercer lugar en la tabla, no son fuentes móviles.

Tabla 3 Lista de categorías que aportan 80% del potencial de formación de ozono de los COV en el inventario 2018

	Categoría de fuente	Pot O ₃	%	% acumulad o
1	Autos particulares a Gasolina	3,131,867.40	25.11	25
2	Plaguicidas domésticos	1,207,795.90	9.68	35
3	Productos de consumo doméstico	1,165,480.35	9.34	44
4	Camionetas SUV a Gasolina	1,043,955.38	8.37	52
5	Motocicletas a Gasolina	966,854.82	7.75	60
6	Taxis a Gasolina	837,983.95	6.72	67
7	Distribución de gasolina	543,324.66	4.36	71
8	Pick up a Gasolina	505,965.02	4.06	75
9	Vehículos < a 3.8 t. a Gasolina	282,765.99	2.27	78
10	Aguas residuales no tratadas	278,547.67	2.23	80

Por su parte, de las catorce categorías de fuentes de emisión de PM_{2.5} consideradas en la tabla 5, seis son móviles y hacen referencia a las diferentes categorías de fuente en relación con el tipo de combustible que emplean.

Cuatro de ellas emplean diésel y dos de gasolina, siendo cuatro fuentes de área y cuatro fuentes puntuales de industrias de competencia federal.

Tabla 4 Categorías de fuentes de PM_{2.5} con mayor aporte al inventario 2018

	Categoría de fuente	2018	%	% Acumulado
1	Autobuses concesionados a diésel	1,963.97	11.9	11.9
2	Quema a cielo abierto	1,786.4	10.83	22.73
3	Vehículos > a 3.8 t. federales a diésel	1,600.9	9.7	32.43
4	Vialidades pavimentadas	1,381.929	8.38	40.81
5	Tractocamiones federales a diésel	1,258.5	7.63	48.44
6	Autos particulares a gasolina	1,118.6	6.78	55.22
7	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica-GN	918.3	5.57	60.79
8	Industrias metálicas básicas-SC	779.03	4.47	65.51
9	Actividades de construcción	622.6	3.77	69.82
10	Labranza y cosecha	590.1	3.58	72.86
11	Maquinaria de construcción	305.45	1.85	74.71
12	Industria del papel-SC	305.17	1.85	76.56
13	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos-SC	289.59	1.76	78.32
14	Camionetas SUV a gasolina	272.72	1.65	81.7

3.6. Medidas que se han tomado para reducir precursores de ozono

Entre las medidas más importantes que se tomaron entre 1990 y 2015 para reducir la contaminación atmosférica y los precursores de ozono en el Valle de México y que propiciaron reducciones en su concentración fueron las siguientes:

- Introducción del convertidor catalítico
- Verificación vehicular
- Motores más eficientes en el parque vehicular
- Reducción de azufre en combustibles
- Reducción de plomo en combustibles
- Reducción de precursores de ozono en las emisiones vehiculares
- Reforestación de zonas sin cobertura vegetal
- Aumento de programas de pavimentación de calles y avenidas

La concentración promedio anual de ozono no ha descendido desde 2015, pero los límites de concentración para activar contingencias sí lo han hecho. En junio de 2019, la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME) propuso 14 medidas para mejorar la calidad del aire en respuesta a un evento extraordinario de alta contaminación:

1. Reducción de emisiones en la distribución y uso de gas LP.
2. Regulación de compuestos orgánicos volátiles en recubrimientos y productos de uso doméstico.
3. Inspección y vigilancia estratégica para el control de emisiones en gasolineras.
4. Distribución de gasolinas menos volátiles.
5. Mejores prácticas para el manejo del fuego y prevención de incendios forestales y de pastizales.
6. Control de emisiones y uso de combustibles limpios en el sector industrial
7. Reducción de emisiones por mantenimiento urbano
8. Ordenamiento de la circulación de transporte de carga y detección de vehículos ostensiblemente contaminantes.
9. Normas de emisiones vehiculares a fin de orientar a la industria automotriz para introducir tecnologías en los vehículos nuevos que reduzcan contaminantes y aumenten la eficiencia energética.
- 10.Regulación de emisiones de motocicletas nuevas.
- 11.Implementación de un nuevo esquema para el otorgamiento de los hologramas de verificación vehicular.
- 12.Fomento de la movilidad sustentable en centros de trabajo gubernamental y privado.
- 13.Aumento de la capacidad del transporte público sustentable.
- 14.Participación de la academia y la población en la innovación y desarrollo tecnológico.

Estas medidas representan un resumen de lo propuesto en los diferentes ProAires de la ZMCM, sin embargo, dadas las condiciones socioeconómicas de

la zona, no es posible cumplirlas cabalmente si no se consideran otros determinantes de la ciudad (pobreza, transporte, ordenamiento territorial, accesos a servicios, fuentes de emisión, financiamiento etc.)

3.7. Cambio climático (e intercambio troposfera-estratosfera)

El ozono en la troposfera media y superior es un potente gas de efecto invernadero y un forzante climático de vida corta que contribuye con 0.40 Wm^2 al forzamiento radiativo (Shindell et al., 2013; Stevenson et al., 2013).

La reducción del ozono con fines de mitigación del cambio climático es un desafío, ya que el ozono troposférico tiene fuentes diversas y a diferentes escalas, incluido el transporte descendente desde la estratosfera y la oxidación fotoquímica de precursores antropogénicos y naturales. Existe también una interacción entre el tiempo meteorológico y el aumento o reducción de ozono y su transporte.

Un clima más caliente incrementará las concentraciones de ozono en superficie, a esto se le llama penalización climática del ozono. Este efecto de penalización será mayor en regiones contaminadas (Bloomer et al., 2009; Finney et al., 2016b; Nazarenko et al., 2022).

La temperatura, la humedad, los vientos y la presencia de precursores químicos en la atmósfera influyen en la formación y concentración del ozono. Esto es, la meteorología y el clima modulan su evolución en la atmósfera involucrando una serie de procesos biológicos, químicos y dinámicos en una amplia gama de escalas espaciales y temporales. Los cambios en el ozono troposférico también alteran el clima a través de retroalimentaciones radiativas y biogénicas. (Steiner et al., 2010)

La meteorología influye en las actividades de vegetación y microbios, así como en los precursores que emiten. Estas emisiones naturales sensibles al clima principalmente incluyen a los NO_x del suelo y de rayos, a los compuestos orgánico volátiles biogénicos (BCOV) de incendios forestales, así como, en las emisiones de metano de los humedales. Los cambios en la circulación atmosférica influyen en el transporte del ozono y sus precursores. Todas estas conexiones determinan la alta sensibilidad del ozono troposférico en el clima.

Los cambios futuros en las emisiones de los precursores naturales del ozono serán el resultado de la compleja interacción entre su fotoquímica, el cambio climático y los mecanismos de transporte. (Jacob and Winner, 2009; Barnes et al., 2022)

A medida que la troposfera se calienta también se esperan cambios en la calidad del aire. Las reacciones de propagación de cadenas de radicales libres que explican la degradación de los COV y el metano en la atmósfera serán más rápidas, las reacciones de terminación de cadena serán más lentas. Por ejemplo, la formación de peroxiacetilnitrato (PAN) es de este último tipo, y a partir de los 26 átomos de carbono, el PAN deja de actuar como reserva temporal de radicales libres y NO₂ (Carrasco, 2022). Otro impacto del clima en la contaminación por ozono en la troposfera surge de la probabilidad de que las temperaturas más altas propicien un aumento en la demanda de servicios como pueden ser, el uso de aire acondicionado y electricidad. A medida que aumenta la demanda y la producción de energía, se pueden esperar más emisiones de NO_x y aumentos en los niveles de ozono. Sin embargo, una mayor cobertura de nubes podría disminuir las tasas de reacción y las tasas de formación de ozono.

Por otra parte, el transporte descendente de ozono estratosférico es una fuente natural de ozono troposférico, particularmente en la troposfera superior en donde tiene su mayor efecto radiativo. Las variaciones interanuales en la fuerza de la circulación estratosférica son de 40%, comparable al cambio medio en la circulación estratosférica proyectado para este siglo, y cambia los niveles de ozono troposférico en las latitudes medias del norte de alrededor de 2%, aproximadamente la mitad de la variabilidad interanual. Si la respuesta observada de los niveles de ozono troposférico a las variaciones interanuales en la circulación mantiene el equilibrio, entonces la intensificación proyectada de la circulación estratosférica durante el próximo siglo podría conducir a aumentos pequeños en los niveles de ozono troposférico a pesar de las medidas locales de mitigación que se apliquen.

4. Programas para abatimiento de ozono troposférico

Es importante comprender los efectos que tienen tanto el crecimiento de la ZMVM como la distribución de actividades urbanas (vivienda y empleos, principalmente) sobre los traslados de población y de mercancías, lo cual tiene un efecto directo sobre las emisiones. En particular, el crecimiento en zonas periurbanas ha dado lugar a zonas de baja densidad poblacional generando viajes más largos en medios de transporte que no son de alta capacidad y que por lo tanto son más contaminantes, además de promover el uso del automóvil particular que resulta en mayores tiempos y distancias de traslado, más congestionamiento y más emisiones.

Después de cinco días con mala calidad del aire y con la finalidad de reducir la contaminación en la Ciudad de México, en 1989 se instauró por primera vez el Programa Hoy No Circula (PHNC). Su objetivo fue prevenir, minimizar y controlar la emisión de contaminantes provenientes de fuentes móviles que circulan en la Ciudad de México sea cual fuere el origen de las placas y/o matrícula del vehículo, mediante la limitación de su uso.

El programa Verificación Vehicular Obligatorio (PVVO) se implementó más tarde y estableció el calendario y los lineamientos para revisar las emisiones de vehículos automotores de combustión interna matriculados en la Ciudad de México y el Estado de México. El Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA) determina las fases a seguir una vez que se llega a concentraciones críticas de O_3 y material particulado en el aire (Figura 4).

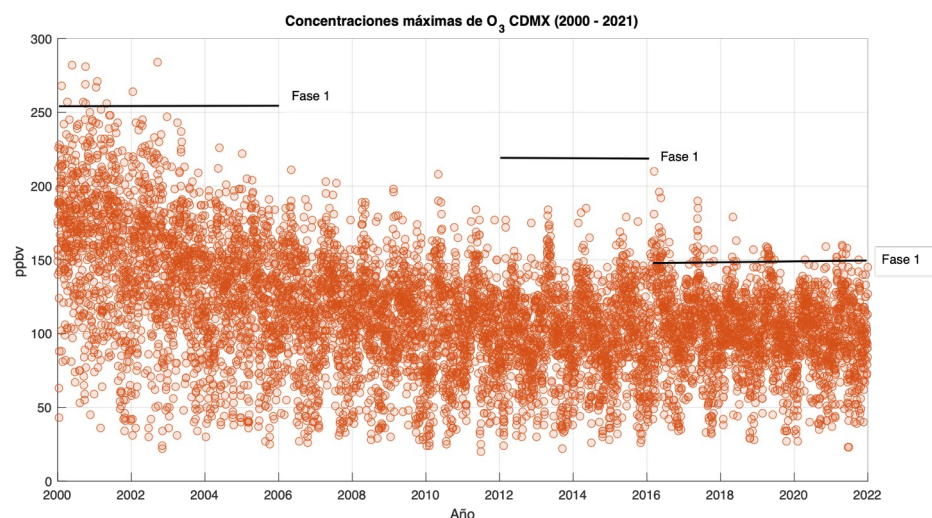


Figura 4 Concentraciones máximas diarias de O3 en la CDMX (2000 - 2021)

El análisis de las fuentes clave del inventario de emisiones muestra que cuando se toma en cuenta el potencial de formación de ozono de las diferentes especies químicas que componen los COV, las fuentes móviles siguen siendo en su conjunto las más importantes. También son importantes como fuentes de NOx. La política pública de carácter local para inducir la reducción de emisiones móviles está integrada por cuatro programas; el Programa Hoy No Circula (PHNC), el Programa de Verificación Vehicular Obligatorio (PVVO), el Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA) competencia de la SEDEMA y el Programa Integral de Movilidad (PIM) 2019-2024 a cargo de la SEMOVI. La triada de PVVO-PHNC-PCAA ha promovido la renovación de la flota vehicular, lo que ha llevado a reducir precursores de ozono y disminuir la presencia de este compuesto en la atmósfera a lo largo de más de 25 años. No obstante, para complementar el PHNC hay que considerar las emisiones de otras fuentes como motocicletas, fugas y combustión ineficiente de gas LP y emisiones fugitivas de vapores de gasolina de los vehículos, además de incorporar a los municipios conurbanos no incluidos en las acciones del PHNC.

Los gobiernos locales han establecido programas de Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA) con criterios propios respecto a los umbrales de concentración a contaminantes y efectos en la salud, creando protocolos de activación y desactivación acordes a sus condiciones locales. El PCAA es uno de los programas más avanzados a nivel nacional y de referencia a nivel

internacional, derivado de sus acciones para reducir y proteger la salud de los habitantes. Sin embargo, requiere evaluarse para establecer si los mecanismos que contiene pueden alcanzar un mayor beneficio ambiental.

Se han reportado estudios sobre la eficacia de estos programas para reducir los niveles de contaminantes, con mayor énfasis en la reducción de los niveles de ozono (Riveros et al. 2002, Schifter et al. 2003, Davis 2008, Gallego et al. 2013, Cantillo y Ortúzar 2014, Guerra y Millard-Ball 2017, Huertas et al. 2020). Casi todas las evaluaciones se han realizado en términos de sus efectos en los niveles de ozono o de forma aislada por programa, sin tomar en cuenta otras acciones de control de la contaminación, las modificaciones a los programas y su posible efecto combinado.

El objetivo de estos programas es reducir los niveles de contaminantes criterio, principalmente ozono, así que es razonable buscar en los datos de monitoreo la señal de esa intervención. El estudio, por mucho el más citado, sobre el impacto del PHNC en la calidad del aire en la ZMVM concluye que no hay beneficio alguno (Davis 2008). Para ello se analizaron los registros del monitoreo en una ventana de siete años centrada en 1989 cuando entró en vigor el PHNC. Las regresiones ordinarias de mínimos cuadrados y las regresiones con discontinuidad no encontraron evidencias de una reducción estadísticamente significativa en las concentraciones ambientales de CO, NO₂, NO_x, SO₂, incluso encontró ligeros incrementos. Los datos tampoco permitían documentar una reducción en la demanda de combustibles o un mayor uso de transporte público masivo, como el Metro y si hubo evidencia que el PHNC indujo la adquisición de otro vehículo, nuevo o usado, preferentemente lo segundo, por aquellos grupos sociales que pudieron pagarlo.

Para evaluar el PVVO, Riveros et al (2002) analizaron emisiones en términos de marca, edad y uso de los vehículos de una base de datos de más de un millón de vehículos en la ZMVM, tomados de los centros de verificación y concluyeron que si bien la incertidumbre de las mediciones es alta aún entre diferentes líneas de medición del mismo verificentro, y que la eficiencia de los catalizadores se deteriora rápidamente, la existencia del PVVO reduce la pendiente de la curva de emisiones con respecto a la edad o uso del vehículo. En el 2000, con una muestra de 108 autos en uso de diferente año, marca y modelo Schifter et al (Schifter et al. 2003) evaluaron el PVVO midiendo las

emisiones antes y después de la verificación de esos vehículos. Consideran que el principal beneficio del PVVO es la detección de unidades super emisoras y sugieren el uso de sensor remoto para identificar ese tipo de emisores en la calle como medio de vigilancia. Ambos autores discuten la todavía alta abundancia de vehículos viejos con carburador. El PVVO ha cambiado varias veces para mejorar el método de medición y evitar la corrupción, el PHNC ha sido modificado en concordancia para impulsar el cambio tecnológico y para responder a mandatos judiciales, y el PCAA ha sido modificado para reflejar los avances en la reducción de la contaminación atmosférica en la ZMVM y el conocimiento sobre los impactos de la contaminación atmosférica en la salud humana.

Por otro lado, el contexto socioeconómico del periodo 1980-2000 fue de fuertes devaluaciones, alta inflación y restricción al crédito, con dos o tres intervalos cortos de estabilidad que no favorecieron la renovación de la flota vehicular, con excepción de los grupos sociales menos vulnerables a esas condiciones. La compra de un auto adicional, o de una motocicleta, pudo ser en muchos casos una solución muy ineficiente y onerosa. Cambiar patrones de viaje, compartir viajes, concatenar viajes pueden ser opciones más atractivas y eficientes (Guerra et al, 2017). El reemplazo del vehículo por uno más nuevo, y mejor aún uno híbrido o eléctrico es una opción mucho más eficiente que se vuelve más atractiva conforme los precios de éstos descienden o cuando los estímulos económicos o en especie (exenciones) se incrementan.

A partir de lo aprendido de los sucesos ocurridos en la ZMVM como la Jornada Nacional de Sana Distancia durante la etapa inicial de la pandemia de Covid-19 (Hernández-Paniagua et al. 2021, Oscar Peralta et al. 2021) y la reducción de la disponibilidad de combustible durante el combate al huachicol (García-Franco 2020) se hace evidente que la reducción en la demanda de viajes, con énfasis en aquellos que se realizan en autos particulares, es efectiva y eficiente para reducir emisiones de precursores de O_3 y de $PM_{2.5}$.

Algunas acciones de mitigación que pueden implementarse para reducir emisiones de precursores de ozono son: a) actualizar y fortalecer la articulación de los PHNC, PVVO, PCAA y de movilidad y b) promover programas de trabajo en casa articulados con el PHNC y PCAA.

4.1. Normatividad

La valoración de la población sobre los temas ambientales y en particular de la calidad del aire (la reducción de ozono y partículas), es directamente proporcional al valor que le da la autoridad al cumplimiento de la normativa acordada.

Numerosos estudios documentan la importación y exportación de ozono y sus precursores fuera de los límites de la ZMVM. Las políticas para abatir este problema deben tener una perspectiva regional, incluyendo las estrategias de información, educación e investigación en los demás estados de la Megalópolis, sensibilizando a la población fuera de la Ciudad de México de los beneficios para ellos de políticas coordinadas.

También se requiere el cumplimiento y la ampliación de acuerdos regionales que pueden ser facilitados por la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME). La Federación tiene también un papel que cumplir en cuanto a medidas para reducir la contaminación, particularmente con políticas de uso del suelo y de verificación vehicular del transporte de carga con placa federal, así como fortalecer el cumplimiento de la normativa ambiental y coordinar las políticas públicas en la megalópolis.

Existen instrumentos de gestión en materia de calidad del aire para reducir y/o controlar la concentración de contaminantes: las Normas Oficiales Mexicanas de Calidad del Aire (NOM), el Índice de Calidad del Aire y Salud (ICAS) y el PCAA. Las Normas Oficiales establecen los límites de concentración de contaminantes en el aire, mientras que el ICAS informa de manera continua sobre el estado de la calidad del aire y propone acciones para evitar la exposición de la población a los contaminantes atmosféricos. Las contingencias atmosféricas son eventos atípicos en los que se registran altas concentraciones de algún contaminante normado y pueden afectar la salud de la población expuesta. Durante estas contingencias se limitan actividades específicas con el objetivo de disminuir la concentración del evento atípico.

4.1.1. Normas Oficiales Mexicanas para calidad del aire

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) para contaminantes criterio son instrumentos jurídicos que establecen las concentraciones permisibles de contaminantes en el aire en México y regulan los niveles máximos permitidos, así como los métodos de medición y monitoreo. Estas normas se actualizan regularmente para incluir nuevos contaminantes y ajustar los límites permisibles en función de la investigación científica y las condiciones ambientales. Las autoridades ambientales son responsables de garantizar el cumplimiento de estas normas para proteger la salud pública y el medio ambiente (tabla 6 y 7).

Tabla 5 Normas oficiales mexicanas para cumplimiento de límites permisibles para la calidad del aire

Contaminante	Norma	Descripción	Año Publicación
O ₃	NOM-020-SSA1-2021	Se establece un proceso gradual de cumplimiento de los valores límite de contaminantes criterio en México.	2021
NO ₂	NOM-023-SSA1-2021		2021
SO ₂	NOM-022-SSA1-2019		2019
PM _{2.5} PM ₁₀	NOM-025-SSA1-2021		2021

Tabla 6 Concentraciones límite de las Normas Oficiales Mexicanas para la calidad del aire

Contaminante	Concentración	Tiempo Promedio	Año Publicación
O ₃	0.090 ppm	Promedio horario (máximo)	2021
	0.065 ppm	Promedio móvil de 8 horas	
NO ₂	0.106 ppm	promedio horario (máximo)	2021
	0.021 ppm	Promedio anual	
SO ₂	40 ppb	Promedio 24 horas	2019
	75 ppb	Promedio horario (máximo)	
PM _{2.5}	41 mg/m ³	Promedio 24 horas	2021
	10 mg/m ³	Promedio anual	
PM ₁₀	70 mg/m ³	Promedio 24 horas	
	36 mg/m ³	Promedio anual	

Nota: Los valores límite están establecidos a condiciones de referencia, temperatura de 25°C (298K) y 1 atm de presión (101.3 kPa)

Las NOM de calidad del aire se establecen en función de los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS). En México, la Secretaría de

Salud en coordinación con las Secretarías de Medio Ambiente de las diferentes entidades en coordinación con la CAME se encargan de vigilar el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas de calidad del aire. Así, se definen límites máximos permisibles para contaminantes en el aire que no deben ser rebasados y cada vez son más estrictos (Tabla 8).

Tabla 7 Comparación de los valores actuales de las Normas Oficiales Mexicanas y con los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021).

Contaminante	NOM (fecha de publicación 2021)	OMS	Tiempo Promedio
O ₃	0.090 ppm	-	Promedio horario (máximo)
	0.065 ppm	100 mg/m ³ (0.051 ppm)	Promedio móvil de 8 horas
NO ₂	0.106 ppm	200 mg/m ³ (0.106 ppm)	Promedio horario (máximo)
	0.021 ppm	10 mg/m ³ (0.0053 ppm)	Promedio anual
SO ₂	40 ppb*	40 mg/m ³ (15 ppb)	Promedio 24 horas
	75 ppb*	-	Promedio horario (máximo)
PM _{2.5}	41 ug/m ³	15 mg/m ³	Promedio 24 horas
	10 ug/m ³	5 mg/m ³	Promedio anual
PM ₁₀	70 ug/m ³	45 mg/m ³	Promedio 24 horas
	36 ug/m ³	15 mg/m ³	Promedio anual

Nota: Los valores límite están establecidos a condiciones de referencia, temperatura de 25°C (298K) y 1 atm de presión (101.3 kPa). *fecha de publicación 2019

4.1.2. Normas oficiales mexicanas de emisiones vehiculares

Como parte de las normas de emisiones por fuentes móviles que se han publicado en el país y en la Ciudad de México se recopilaron aquellas normas que aparecen en la Tabla 9, donde se resalta el año de su última actualización que en la mayoría de los casos tienen más de 10 años. Lo anterior tiene relevancia ya que las emisiones de fuentes móviles contribuyen con el NO₂ que es precursor típico de ozono. Es importante considerar que es importante continuar con la gestión para que las normas se publiquen y entren en vigor, como la NOM-048-SEMARNAT-1993 que sigue detenida y es de relevancia para reducir las emisiones a la atmósfera, toda vez que la flota de motocicletas en la CDMX ha aumentado de manera importante.

Tabla 8 Normas Oficiales Mexicanas de emisiones vehiculares

Norma	Descripción	Año última actualización	Observaciones
NOM-041-SEMARNAT-2015	Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.	2015	Hubo una norma previa del año 2006
NOM-042-SEMARNAT-2003	Que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales o no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3,857 kilogramos, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diésel, así como de las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos.	2003	Hubo una norma previa del año 1999
NOM-044-SEMARNAT-2017	Que establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales, hidrocarburos no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas y opacidad de humo provenientes del escape de motores nuevos que usan diésel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos, así como para	2017	Hubo una versión previa del año 1993 y otra en 2006

Norma	Descripción	Año última actualización	Observaciones
	unidades nuevas con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos equipadas con este tipo de motores.		
NOM-045-SEMARNAT-2017	Que establece los límites máximos permisibles de coeficiente de absorción de luz y el porcentaje de opacidad, provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan Diesel como combustible, procedimiento de prueba y características técnicas del equipo de medición. Se excluyen de la aplicación de la presente Norma, la maquinaria equipada con motores a diésel empleada en las actividades agrícolas, de la construcción y de la minería.	2018	Hubo una versión preliminar en 2006 y una previa en 1995 (NOM-077-SEMARNAT-1995)
NOM-047-SEMARNAT-2014	Que establece las características del equipo y el procedimiento de medición para la verificación de los límites de emisión de contaminantes, provenientes de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos	2014	Hubo una versión previa en el año 1999
NOM-048-SEMARNAT-1993	Que establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos, monóxido de carbono y humo, provenientes del escape de las motocicletas en circulación que utilizan gasolina o mezcla de gasolina-aceite como combustible	No opera como tal	Este proyecto de norma se mantuvo en reuniones técnicas, pero sigue sin entrar en vigor, está detenida

Norma	Descripción	Año última actualización	Observaciones
NOM-049-SEMARNAT-1993	Que establece las características del equipo y el procedimiento de medición, para la verificación de los niveles de emisión de gases contaminantes, provenientes de las motocicletas en circulación que usan gasolina o mezcla de gasolina-aceite como combustible.	No opera como tal	
NOM-050-SEMARNAT-2018	Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos	2018	
Norma Oficial Mexicana NOM-076-SEMARNAT-2012	Que establece los niveles máximos permisibles de emisión de hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno provenientes del escape, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y otros combustibles alternos y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos nuevos en planta.	2012	
NOM-121-SEMARNAT-1997	Que establece los límites máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles (COV) provenientes de las operaciones de recubrimiento de carrocerías nuevas en planta de automóviles, unidades de uso múltiple, de pasajeros	1997	Es necesario actualizar los límites en función de la Reactividad Máxima Incremental (MIR por sus siglas en inglés)

Norma	Descripción	Año última actualización	Observaciones
	y utilitarios; carga y camiones ligeros, así como el método para calcular sus emisiones.		
NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013	Emisiones de bióxido de carbono (CO ₂) provenientes del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3 857 kilogramos.	2013	
NADF-011-AMBT-2007	Que establece los límites máximos permisibles de emisiones de compuestos orgánicos volátiles en fuentes fijas de jurisdicción del distrito federal que utilizan solventes orgánicos o productos que los contienen	2008	
NOM-EM-167-SEMARNAT-2016	Que establece los niveles de emisión de contaminantes para los vehículos automotores que circulan en la Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala; los métodos de prueba para la certificación de dichos niveles y las especificaciones de los equipos que se utilicen para dicha certificación, así como las especificaciones para los equipos tecnológicos que se utilicen para la medición de emisiones por vía remota y para la realización de dicha medición.	2016	Norma Emergente

Fuente: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium-bin/sumario.pl?Id=20231203153745>

4.2. Normatividad de compuestos orgánicos volátiles (COV)

La NOM-123-SEMARNAT-1998 establece el contenido máximo permisible de compuestos orgánicos volátiles (COV) en la fabricación de pinturas de secado al aire, con base en el disolvente para uso doméstico y los procedimientos para determinar el contenido de éstos en pinturas y recubrimientos. Esta norma ha quedado obsoleta debido a que el contenido máximo permisible de COV no favorece en la reducción de los precursores de ozono, aunado al hecho de que la clasificación del tipo de pintura es muy general y deja fuera algunos otros componentes y sustancias nuevos que existen en el mercado y cuyo contenido de COV incrementa la formación de O_3 . La Secretaría de Economía trabaja en dos proyectos de norma que pretenden regular el contenido de COV en pinturas y recubrimientos, así como en productos de aseo de uso doméstico y productos cosméticos, mismos que se presentan a continuación:

- a) PROY-NOM-256-SE-2021: productos de aseo de uso doméstico y productos cosméticos. Límites máximos permisibles de contenido de COV.
- b) PROY- NOM-262-SE-2022: límites máximos permisibles de contenido de compuestos orgánicos volátiles (COV) de pintura y recubrimientos para uso arquitectónico.

Estos dos proyectos de norma oficial mexicana muestran las barreras institucionales que enfrenta una gestión integral de la contaminación ambiental y la agenda climática. A SEMARNAT y las autoridades ambientales de los Estados les interesa gestionar el contenido de COV en productos de limpieza y de aseo personal porque durante su uso, estos compuestos se evaporan y actúan como precursores del aerosol fotoquímico y ozono. Se trata de controlar emisiones regulando contenidos de productos comerciales, lo que es competencia de la Secretaría de Economía. Algunos de estos compuestos también pueden ser tóxicos y serían del interés de la Secretaría de Salud, pero sigue siendo competencia de la Secretaría de Economía y a 10 meses de terminar la gestión del presente gobierno federal aún no se promulgan las normas.

Para las fuentes fijas de jurisdicción local, la Ciudad de México cuenta con una norma que regula las emisiones de COV al aire (SEDEMA, 2020) y que da a conocer la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-011-AMBT-2018² que establece los criterios para la reducción de las emisiones a la atmósfera de COV emitidos por fuentes fijas. El Estado de México trabaja un anteproyecto que pretende regular las emisiones de COV generados en los procesos productivos y servicios auxiliares de las diferentes fuentes fijas de jurisdicción local, mediante la cuantificación de emisiones atmosféricas y el establecimiento de un umbral, considerando emisiones fugitivas, así como la estimación de estos compuestos en servicios auxiliares. El anteproyecto de norma no tiene fecha de aparición. La Tabla 12 incluye algunas de las normas y anteproyectos de normas relacionadas con la calidad del aire. Es de resaltar la ausencia y necesidad de una NOM que regule las emisiones de COV de la industria de jurisdicción federal.

Otro ejemplo es la NOM-016 CRE competencia de la Secretaría de Energía (SENER) sobre las normas oficiales mexicanas que regulan de emisiones de PM_{2.5} y carbono negro competencia de la SEMARNAT y en la gestión local de las emisiones de SO₂ y PM_{2.5}.

4.3. Índice de la calidad del aire y salud

Como parte de las herramientas en materia de calidad del aire el Índice de Calidad del Aire y Salud (ICAS) es una herramienta desarrollada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT- NOM-172-SEMARNAT-2019) para comunicar el estado de la calidad del aire y los riesgos asociados a la exposición a los contaminantes del aire. El ICAS se basa en las Normas Oficiales Mexicanas que establecen los límites de las concentraciones de contaminantes criterio (tablas 10, 11 y 12).

Tabla 9 Índice AIRE Y SALUD para PM₁₀, PM_{2.5} y SO₂

Calidad del aire	Nivel de riesgo asociado	(a) PM _{2.5}	(a)PM ₁₀	(b) SO ₂
Buena	Bajo	25	50	0.008

² Vigésima Primera Época. Ciudad de México, Gaceta Oficial de la Ciudad de México.

Aceptable	Moderado	>25 y 45	>50 y 75	>0.008 y 0.110
Mala	Alto	>45 y 79	>75 y 155	>0.110 y 0.165
Muy mala	Muy Alto	>79 y 147	>155 y 235	>0.165 y 0.220
Extremadamente mala	Extremadamente Alto	>147	>235	> 0.220

^a promedio móvil ponderado de 12 horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

^b promedio móvil de 24 horas (ppm)

Elaboración propia. Fuente: NOM-172-SEMARNAT-2019

El objetivo del ICAS es proteger la salud de la población y proporcionar información continua sobre el estado de la calidad del aire a la que está expuesta la población mediante bandas de colores que se relacionan con las condiciones de la calidad del aire.

En el caso de México se aplican programas de contingencia en las zonas metropolitanas con mayores problemas de contaminación atmosférica, como Monterrey, Guadalajara y Mexicali, y se cuenta con un Programa para Prevenir y Responder a Contingencias Ambientales Atmosféricas.

En la Ciudad de México y el Estado de México los valores que se reportan en el ICAS permiten identificar la activación y desactivación de Contingencias Ambientales a través del Programa para Prevenir y Responder a Contingencias Ambientales Atmosféricas.

Tabla 10 Índice AIRE Y SALUD para O_3 , NO_2 y CO

Calidad del aire	Nivel de riesgo asociado	(c) O_3	(d) O_3	(c) NO_2	(d) CO
Buena	Bajo	0.051	0.051	0.107	8.75
Aceptable	Moderado	>0.051 y 0.095	>0.051 y 0.070	>0.107 y 0.210	>8.75 y 11
Mala	Alto	>0.095 y 0.135	>0.070 y 0.092	>0.210 y 0.230	>11 y 13.30
Muy Mala	Muy Alto	>0.135 y 0.175	>0.092 y 0.114	>0.230 y 0.250	>13.30 y 15.50
Extremadamente Mala	Extremadamente Alto	> 0.175	> 0.114	> 0.250	> 15.50

^c Promedio de una hora (ppm)

^d promedio móvil de ocho horas (ppm)

Elaboración propia. Fuente: NOM-172-SEMARNAT-2019

Tabla 11 Recomendaciones asociadas a las categorías de la calidad del aire y salud

Calidad del aire	Nivel de	Recomendaciones
------------------	----------	-----------------

	riesgo asociado	Para grupos sensibles	Para toda la población
Buena	Bajo	Disfruta las actividades al aire libre	
Aceptable	Moderado	Considera reducir las actividades físicas vigorosas al aire libre	Disfruta las actividades al aire libre
Mala	Alto	Evita las actividades físicas (tanto moderadas como vigorosas) al aire libre	Reduce las actividades físicas vigorosas al aire libre
Muy Mala	Muy Alto	No realices actividades al aire libre. Acudir al médico si se presentan síntomas respiratorios o cardíacos	Evita las actividades físicas moderadas y vigorosas al aire libre.
Extremadamente Mala	Extremadamente Alto	Permanece en espacios interiores. Acudir al médico si se presentan síntomas respiratorios o cardíacos	

Elaboración propia. Fuente: NOM-172-SEMARNAT-2019

Tabla 12 Estatus actual de normas y anteproyectos vigentes en materia de calidad del aire y emisiones

Norma	Título de la norma	Estado de la norma	Fecha de publicación	Fuente	
PROY-NOM-020-SSA1-2020	Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al ozono (O3). Valores normados para la concentración de ozono (O3) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.	PROYECTO	25/09/2020	SINEC	https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5601281&fecha=25/09/2020
ACUERDO por el que se modifica la vigencia del periodo establecido en las notas al pie de las tablas 1, 2 y 4, de los numerales 4.1 y 4.2, únicamente en lo que se refiere a los Estándares AA, de la 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.	Acuerdo de modificación	26/11/2021	DOF	https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5636495&fecha=26/11/2021#gsc.tab=0
Modificar la NOM-016-CRE-2016, para asegurar que solamente se pueda comercializar gasolina clase de volatilidad A en los meses de mayor presencia de ozono (marzo-agosto) en todos los estados integrantes de la Megalópolis	ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DE LOS PETROLÍFEROS	Acuerdo de modificación no oficial	10/01/2020	CAMe	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/671620/Segundo_Informe_Medidas_Necesarias_01oct21_red.pdf
Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-123-SEMARNAT-1998,	Acuerdo de modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-123-SEMARNAT-1998, Que establece el contenido máximo permisible de compuestos orgánicos volátiles (COVs), en la fabricación de pinturas de secado al aire base disolvente para uso doméstico y los procedimientos para la determinación del contenido de estos en pinturas y recubrimientos.	Acuerdo de modificación no oficial	2022		https://dof.gob.mx/2022/SEECO/SEECO_240222.pdf
Regulación	Pinturas - Límites máximos permisibles de contenido de compuestos orgánicos volátiles (COVs) de pinturas y recubrimientos para uso arquitectónico.	Propuesta de regulación	2022		https://dof.gob.mx/2022/SEECO/SEECO_240222.pdf
Regulación	Productos de aseo de uso doméstico y productos cosméticos - Límites máximos permisibles de contenido de compuestos orgánicos volátiles (COVs)	Propuesta de regulación	2022		https://dof.gob.mx/2022/SEECO/SEECO_240222.pdf

4.4. Hoy No Circula y Verificación Vehicular

El *Programa Hoy No Circula* abarca 16 alcaldías de la Ciudad de México (CDMX) y 18 municipios del Estado de México (EdoMex) de 5:00 a 22:00 horas de lunes a sábado (<https://www.gob.mx/comisionambiental/articulos/programa-hoy-no-circula-que-aplica-en-la-zmvm>), el cual se basa en el *Decreto del programa Hoy no Circula* publicado en el año 2014 para la Ciudad de México (Diario Oficial del DF, 19 junio 2014) y un *Acuerdo* publicado en Gaceta de Gobierno del Estado de México (1 julio 2014) que establece las medidas para limitar la circulación de los vehículos automotores en los municipios conurbados del estado a ZMVM para controlar y reducir la contaminación atmosférica y contingencias ambientales atmosféricas. Este acuerdo se aplica a 18 municipios conurbados del EdoMex: *Atizapán de Zaragoza, Coacalco de Berriozábal, Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Chalco, Chimalhuacán, Chicoloapan, Ecatepec de Morelos, Huixquilucan, Ixtapaluca, La Paz, Naucalpan de Juárez, Nezahualcóyotl, Nicolás Romero, Tecámac, Tlalnepantla de Baz, Tultitlán y Valle de Chalco.*

El 2 de enero del 2023 la CAME publicó una Guía para circular en la ZMVM³ donde los gobiernos de la CDMX y el EdoMex reconocen que:

- a) Los hologramas vigentes: Exento “E”, Doble Cero “00”, Cero “0”, Uno “1” y Dos “2”, de la Megalópolis (CDMX, EdoMex, Hidalgo, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala) y de los estados de Guanajuato y Michoacán
- b) El pase turístico vigente para autos con matrícula diferentes a los de la megalópolis que se otorga una vez por semestre con una vigencia de 14 días o dos veces por semestre con una vigencia de 7 días (<http://www.paseturistico.cdmx.gob.mx/pasetur/>)
- c) Son vehículos foráneos los que tienen placa de circulación de una entidad que no forma parte de la megalópolis; es decir, aquellos diferentes a la CDMx, EdoMex., Hidalgo, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala.

³ <https://www.gob.mx/comisionambiental/articulos/programa-hoy-no-circula-que-aplica-en-la-zmvm>

- d) Los vehículos exentos de la aplicación del PHC en la ZMVM son: a) vehículos eléctricos, híbridos, de energía solar, b) vehículos de emergencia, c) vehículos de transporte escolar con permiso vigente, d) vehículos para cortejos fúnebres y transporte de servicios funerarios que estén prestando el servicio, e) vehículos conducidos por personas con discapacidad, f) vehículos en circunstancias manifiestas y urgentes, para atender una emergencia médica, g) vehículos destinados al servicio público federal de transporte de pasajeros con autorización vigente y h) vehículos de procedencia extranjera o los matriculados en entidades distintas a los de la Megalópolis (CDMX, EdoMex, Hidalgo, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala) con Pase Turístico vigente.

En la Guía no queda establecido cómo se manejaría lo concerniente a las motocicletas; sin embargo, en los comunicados de prensa de la CAME quedaron exentas para circular en las contingencias atmosféricas (24 feb y 22-27 de marzo, 2023).

Por otro lado, los estados de Puebla e Hidalgo tienen programas muy similares a los del valle de México y se aplican sólo cuando desde el gobierno estatal se active una contingencia atmosférica, en esos casos los programas se activan para algunos municipios.

En el estado de Puebla existe el Programa de Modalidades a la Circulación⁴ que se aplica a la Zona Metropolitana del Valle de Puebla, conformada por los 21 municipios: San Andrés Cholula, Domingo Arenas, Tepatlaxco de Hidalgo, Chidutzingo, Acajete, Puebla, Coronango, San Salvador el Verde, Cuautlancingo, San Pedro Cholula, San Gregorio Alzompa, Huejotzingo, Tlaltenango, Amozoc, Ocoyucan, Juan C. Bonilla, San Felipe Teotlalcingo, San Miquel Xoxtla, Atlixco, San Martín Texmelucan, Santa Isabel Cholula.

El estado de Hidalgo también cuenta con un programa que en caso de contingencias atmosféricas estatales se aplica en: Actopan, Ajacuba, Apan, El Arenal, Atitalaquia, Atotonilco el Grande, Atotonilco de Tula, Epazoyacan, Mineral del Chico, Mineral del Monte, Mixquiahuala de Juárez, Omitlán de

⁴ <https://smadsot.puebla.gob.mx/verificacion/2-uncategorised/43-modalidades-verificacion>

Juárez, Pachuca de Soto, Progreso de Obregón, Mineral de la Reforma, San Agustín Tlaxiaca, Singuilucan, Tecozautla, Tepeapulco, Tepeji del Río, Tizayuca, Tlahuelilpan, Tlanalapa, Tlaxcoapan, Tolcayuca, Tula de Allende, Tulancingo, Villa de Tezontepec, Zapotlán, Zempoala, Emiliano Zapata.

En los años 2004 y 2016 se publicaron dos documentos que analizan el programa Hoy No Circula. El primero es una actualización del PHNC de la SEDEMA⁵. El documento evalúa el PHNC y las medidas aplicables a la flota vehicular. El segundo es del Centro Mario Molina, titulado *Soluciones de fondo para mejorar la calidad del aire del Valle de México*⁶ que menciona la necesidad de contar con un programa integral de medidas para solucionar el problema de la calidad del aire de la ZMVM y reducir todas las fuentes de contaminación relevantes, enfocadas tanto a acciones de corto como de mediano y largo plazos. Dicha propuesta debería contener al menos cuatro elementos: i) acciones para la reducción de emisiones, priorizado en función de su potencial, costo y tiempos de implementación; ii) acciones para fortalecer la capacidad de medición y predicción de contaminantes; iii) reglas y procesos robustos para la atención de contingencias y iv) fortalecer las capacidades institucionales y de comunicación.

Además, propone un conjunto de acciones para reducir emisiones que incluya las siguientes líneas estratégicas prioritarias:

1. Acelerar el desarrollo de sistemas de transporte público de bajas emisiones, de calidad e integrado a escala metropolitana.
2. Promover el uso racional del automóvil y las tecnologías limpias.
3. Disminuir de forma drástica las emisiones del transporte de carga.
4. Actualizar la normatividad en materia de verificación vehicular y garantizar su cumplimiento.
5. Reducir las emisiones de contaminantes provenientes de la actividad industrial y la distribución de combustibles, así como prevenir y controlar incendios.

⁵ http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/gestion-ambiental-aire-memoria-documental-2001-2006/descargas/actualizacion_phnc_dip.pdf

⁶ <http://centromariomolina.org/soluciones-de-fondo-para-mejorar-la-calidad-del-aire-del-valle-de-mexico/>

6. Contener la expansión de la mancha urbana para reducir la demanda de movilidad.

4.4.1. Situación de la flota vehicular de la CDMX y Edo. de México

De acuerdo con el inventario de emisiones de la ZMVM año base 2020, el número total de vehículos que diariamente circula en la ZMVM es 6,219,504 de vehículos (tabla 14), donde se han incluido los de la CDMX y del Estado de México (foráneos, federales, no verificados, exentos, flota de gobierno, motocicletas).

Tabla 13 Flota vehicular registrada en la Ciudad de México y Estado de México al 2020

Tipo de Vehículo	Flota Vehicular* CDMX+EDOMEX 2020
Autos Particulares	3,523,634
Camionetas SUV	1,204,543
Taxis	236,541
Vagonetas	50,512
Microbuses	18,985
Vehículos de carga hasta 3.8 Ton	26,846
Tractocamiones	8,398
Autobuses	27,014
Vehículos > 3.8 Ton	109,015
Motocicletas	1,013,132
Metrobús/Mexibús	884
Total	6,219,504

Durante el año 2020 se verificaron 4,401,103 vehículos en los verificentros de la ZMVM, de los cuales 17% obtuvieron el holograma *DOBLE CERO*, 55% *CERO*, 23% *UNO* y 5% *DOS* (tabla 15).

Tabla 14 Calcomanía de verificación vehicular

	Flota CDMX-EdoMEX 2020 (base de datos del PVVO)					
Tipo de Vehículo	DOBLE 00	CERO	UNO	DOS	Total	
Autos Particulares	533,142	1,655,928	687,310	181,003	3,057,383	

	Flota CDMX-EdoMEX 2020 (base de datos del PVVO)					
SUV	158,600	541,581	275,057	40,081	1,015,319	
Taxis	46,432	125,801	2,438	29	174,700	
Vagonetas	95	21,387	2,278	281	24,041	
Microbuses	0	644	310	3,588	4,542	
Vehículos de carga hasta 3.8 Ton	775	17,985	3,720	1,078	23,558	
Tractocamiones	0	6	70	4	80	
Autobuses	1	4,267	5,137	90	9,495	
Vehículos > 3.8 Ton	592	50,941	25,642	14,810	91,985	
TOTAL	739,617	2,418,540	1,001,962	240,964	4,401,103	verificados
	17%	55%	23%	5%		
					12,777	otras flotas (MBS, RTP, Taxis federales)
					1,013,132	motocicletas
					158,321	no verificados (transporte público, sancionados)
					42,182	exentos
					565,625	foráneos (placas particulares de otras entidades y entrada de caseta)
					26,364	federales pesados y autobuses de entrada de caseta)
					6,219,504	TOTAL

Del total de vehículos matriculados y en circulación en la ZMVM, 1,242,926 unidades deben dejar de circular un día a la semana; es decir, 28% del parque vehicular debe respetar la restricción en su circulación, lo que significa que la cobertura del programa se ha reducido ya que en el 2004 era 40% del total de vehículos de la ZMCM que en ese año era 3.2 millones, aunque la reducción es términos porcentuales puesto que números absolutos prácticamente no ha cambiado.

4.5. PROAIRE

El PROAIRE de la ZMVM (2021-2030) es un documento que incluye 19 medidas, 40 acciones y 126 actividades. Quince medidas tienen el objetivo de reducir emisiones en sectores altamente contaminantes y cuatro son complementarias, aunque estratégicas. Se pueden agrupar como sigue:

- 1) Reducción promedio de 20 a 25% de la contaminación en:
 - Concentraciones máximas de ozono
 - Emisiones de partículas y contaminantes criterio
 - Emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero (GyCEI)
- 2) Mejorar los procesos de comunicación
- 3) Fortalecer mecanismos de seguimiento institucional y financiamiento
- 4) Ampliar el monitoreo ambiental
- 5) Fomentar la investigación científica y promover la actualización de los marcos regulatorios

Además, identifica 8 acciones costo-efectivas para reducir precursores de ozono (NO_x y COV). El PROAIRE incluye las 16 alcaldías de la Ciudad de México, 59 municipios del Estado de México y el municipio de Tizayuca, Hidalgo. Lo que abarca casi 22 millones de personas y casi un cuarto del PIB nacional, eso pone mucha presión sobre la calidad del aire local (PROAIRE ZMVM 2021-2030).

De acuerdo con la EPA (2021), los programas que contemplan medidas y acciones relacionadas con la calidad del aire requieren al menos cuatro características generales para tener una implementación exitosa. La primera es un programa definido con fechas de implementación claras, la segunda son responsabilidades definidas, la tercera es un esquema de monitoreo y evaluación y la última es un esquema regulatorio que permita la correcta implementación de las políticas públicas.

El PROAIRE tiene un complemento con el *Programa de Acción Climática (PAC) de la Ciudad de México 2021-2030*, cuyo Eje 7 se refiere a Calidad del

Aire y tiene como objetivo “Planear y ejecutar estratégicamente la acción climática para maximizar los beneficios ambientales y sociales al mitigar las emisiones de compuestos y gases de efecto invernadero y contaminantes criterio y reducir los impactos negativos en salud.”

El programa incluye en el documento su estrategia para 2050 donde incorpora explícitamente aspectos sociales, de inclusión de sectores vulnerables y medidas de adaptación y mitigación relacionadas con cambio climático y calidad del aire, haciendo énfasis en los co-beneficios.

La alineación entre el PROAIRE de la ZMVM y el programa climático permitirá ampliar y enriquecer las medidas implementadas en sus diversos ejes de acción, generando co-beneficios sociales y ambientales. También algunos programas del gobierno federal pueden coordinarse en temas relacionados con la calidad del aire, tanto en adaptación como en mitigación (Tabla 16).

Tabla 15 Medidas propuestas por el PROAIRE 2021-2030

Medida	Descripción
1	Control de emisiones del transporte de carga
2	Reducción de emisiones en el transporte particular
3	Control de emisiones en el transporte público de pasajeros
4	Reducción de emisiones en el sector doméstico
5	Disminución de emisiones provenientes del gas L.P. en los sectores industrial, comercial y de servicios.
6	Reducción de emisiones generadas por el tránsito en vialidades
7	Fomento de buenas prácticas en la labranza y cosecha agrícola para la reducción de emisiones
8	Control de emisiones generadas por las actividades industriales
9	Reducción de las emisiones asociadas a la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica
10	Mitigación de emisiones por quema a cielo abierto de residuos
11	Mejora de la gestión de los residuos sólidos para reducir las emisiones del sector
12	Mejora de la gestión de aguas residuales tratadas y no tratadas para la reducción de emisiones
13	Control de emisiones en fuentes naturales
14	Reducción de emisiones en fuentes misceláneas
17	Mejora del monitoreo ambiental
18	Control de contaminación en el corredor Tula-Vito-Apasco
Al	Investigación para mejorar la gestión de la calidad del aire y la salud de la población

Si bien todas las medidas listadas anteriormente son prioritarias y de igual relevancia para la mejora de la calidad del aire, algunos hábitos y patrones de comportamiento dentro de la población se han modificado de manera significativa a raíz de la pandemia por COVID-19 y con un impacto en aspectos de la vida cotidiana; tal es el caso del crecimiento exponencial del comercio en línea y la necesidad de vehículos de reparto y entrega, lo que ha generado un aumento significativo en la flota vehicular y en consecuencia de emisiones contaminantes a la atmósfera. Entonces, las medidas 1 y 2 cobran más relevancia, ya que recomiendan regular un porcentaje de vehículos de cada compañía de reparto como vehículos híbridos o eléctricos en función de la infraestructura disponible (p.ej. electrolineras) y se sugiere que dichas flotas eléctricas solo circulen de manera local y no realicen viajes foráneos.

La medida 17 menciona que es indispensable considerar el incremento de la red de monitoreo ambiental, cómo añadir a las redes de monitoreo existentes compuestos no normados que participan en la formación de ozono troposférico (COV, formaldehído, metano, entre otros). Hablar del incremento de la red de monitoreo ambiental implica mejorar la coordinación de los sistemas de monitoreo, ya que es indispensable que se establezcan sitios de monitoreo en puntos intermedios o zonas periurbanas o incluso rurales, para que los datos de estas estaciones sirvan como medio para analizar el comportamiento de los compuestos y contaminantes a través de su desplazamiento. A su vez, añadir a las redes de monitoreo compuestos no normados que participan en la formación de ozono troposférico permite identificar fuentes de dichos compuestos para que en conjunto con la medida sea posible lograr un avance en su regulación para que se vuelvan compuestos normados y se logre reducir de manera significativa la formación de ozono debido a la presencia de compuestos facilitadores de su formación.

Las medidas 10, 11 y 12 mencionan que una adecuada gestión para la disminución de la contaminación atmosférica debe incluir las matrices suelo y agua, para dar un manejo adecuado a los contaminantes que se generan antes de que estos migren a la atmósfera, (p. ej. sistemas de recuperación de biogás en tratamientos secundarios de aguas residuales y rellenos sanitarios). Si bien las medidas que deben tomarse para mitigar la contaminación atmosférica son diversas, es importante considerar las que no han sido contempladas en el

pasado, como fuentes de área (negocios ambulantes y locales pequeños de venta de alimentos) que de manera aislada no generan impactos significativos, pero en conjunto impactan. Además es indispensable la colaboración interdisciplinaria considerando que lograr la meta de la mitigación no solo es bajo intereses de salud a la población y al ambiente, sino que es una meta que implica también factores sociales y económicos que analizadas como conjunto permitirán ser más concretos y efectivos.

Finalmente es importante buscar fuentes de financiamiento en temas de calidad del aire de manera conjunta con temas de cambio climático, considerando que los esfuerzos y recursos a nivel internacional se han centrado en cambio climático en los últimos años, lo que promueve una mayor posibilidad de contar con recursos en temas de calidad del aire.

5. Factores socioculturales y socioeconómicos que impactan en los programas

Abordar la contaminación del aire requiere un enfoque polifacético que combine avances científicos y tecnológicos, cambios de comportamiento e intervenciones políticas. Aunque las medidas de control de la contaminación en teoría son en beneficio de la población en general, es importante incluir consideraciones sociales, culturales y de economía local como parte del diseño e implementación de políticas ambientales efectivas.

La contaminación del aire a menudo afecta de manera inequitativa a las comunidades marginadas y de bajos ingresos, las cuales pueden enfrentar barreras adicionales para acceder a tecnologías limpias o pueden carecer del poder político para presionar por regulaciones más estrictas y normalmente carecen también de la cobertura de servicios de salud que detecten enfermedades derivadas de estas situaciones y las atiendan. Estas comunidades pueden estar ubicadas cerca de áreas industriales o en áreas no pavimentadas y carentes de servicios como agua potable y recolección de residuos. También es común que una gran parte de la población de la ciudad tenga que trasladarse grandes distancias hacia sus centros de trabajo utilizando diferentes medios de transporte. Todo ello resulta en una mayor exposición a niveles más altos de contaminación, sin que la cobertura de seguridad social en términos de salud sea la adecuada.

Por otro lado, el contexto socioeconómico del periodo 1980-2000 se caracterizó por fuertes devaluaciones, alta inflación y restricción al crédito, con dos o tres intervalos cortos de estabilidad que no favorecieron la renovación de la flota vehicular, con excepción de los grupos sociales menos vulnerables a esas condiciones. La compra de un auto adicional, o de una motocicleta, pudo ser en muchos casos una solución muy ineficiente. Cambiar patrones de viaje, compartir viajes, concatenar viajes pueden ser opciones más atractivas y eficientes. El reemplazo de vehículo por uno más nuevo, y mejor aún uno híbrido o eléctrico es una opción mucho más eficiente que se vuelve más

atractiva conforme los precios de estos vehículos desciende o cuando los estímulos económicos o en especie (exenciones) se incrementan.

A partir de lo aprendido de los experimentos no planeados que han ocurrido en la ZMVM y que han sido analizados como son: La Jornada Nacional de Sana Distancia durante la etapa inicial de la pandemia de Covid-19 (Hernández-Paniagua et al. 2021, Oscar Peralta et al. 2021), la reducción de la disponibilidad de combustible durante el combate al huachicoleo (García-Franco 2020), se hace evidente que la reducción en la demanda viajes, con énfasis en aquellos que se realizan en autos particulares, es muy efectiva y eficiente para reducir emisiones de precursores de O_3 y $PM_{2.5}$, siempre y cuando esos viajes no se realicen en una flotilla de motocicletas sin ningún tipo de regulación ambiental.

Abordar las desigualdades socioeconómicas es esencial para garantizar que las políticas de control de la contaminación no exacerben las disparidades sociales existentes. La implementación de políticas efectivas de control de la contaminación del aire puede enfrentar varios obstáculos sociales, económicos y culturales.

El crecimiento en la periferia de la Zona Metropolitana del Valle de México ha dado lugar a zonas de baja densidad poblacional que genera viajes más largos en medios de transporte que no son de alta capacidad y que suelen contaminar más. Esta situación promueve el uso del automóvil generando tiempos mayores de traslado y con ello más congestionamiento y más emisiones.

Afrontar las desigualdades socioeconómicas es esencial para garantizar políticas de control de la contaminación que no exacerben la disparidad social existente. Es necesario manejar las políticas públicas de calidad del aire como un derecho de la población para proteger su salud y su ambiente.

Deben realizarse y difundirse más estudios sobre exposición a la contaminación y medidas de protección para la población. Las políticas de calidad del aire, mitigación y adaptación al cambio climático deben incorporar elementos que contribuyan al bienestar y protección de la población, como áreas verdes, transporte público seguro, en buenas condiciones mecánicas, con cero o bajas emisiones y aire acondicionado con filtro de partículas, pues estudios recientes demuestran que los usuarios del transporte público está

expuestos a más altas concentraciones de contaminantes que otros usuarios de las vialidades (Hernández-Paniagua et al, 2018; Velasco et al, 2019). También deben proporcionar información pública sobre productos de limpieza, sanitización y otros que son usados en lugares cerrados y son nocivos para la salud.

La implementación de políticas efectivas de control de la contaminación del aire puede enfrentar varios obstáculos sociales, económicos y culturales. Sobre todo en una metrópoli que tiene décadas con programas para mejorar la calidad del aire y, si bien han tenido logros notables, sigue teniendo mucho que mejorar.

La contaminación en la Ciudad de México tiene como elementos centrales al ozono troposférico y la materia particulada (PM_{10} y $PM_{2.5}$). Hay numerosos estudios que identifican un conjunto de enfermedades provocadas o agravadas por la exposición a concentraciones altas de ozono troposférico. Existe también daño documentado por ozono en animales, ecosistemas y cultivos agrícolas.

La legislación y regulaciones actuales han tenido un efecto positivo en el comportamiento de ciertos sectores de la sociedad, sobre todo mediante los programas ya descritos sobre circulación vehicular. Además, ayudan en el control de emisiones industriales, despachos de combustible y fugas de gas, así como su distribución y uso en los hogares. Sin embargo, no se ha logrado una valoración social del cuidado de la calidad del aire en muchos aspectos que inciden en la economía familiar o con usos y costumbres que implican prácticas contaminantes.

Por otra parte, llevar el tema ambiental al ámbito político (aunque puede tener la ventaja de ejercer una presión sobre el sector público y privado para el cumplimiento o fortalecimiento de las normativas de calidad del aire) ha provocado una actitud defensiva y/o evasiva de las obligaciones de algunos sectores de la población conduciendo a restar importancia al problema de la contaminación atmosférica y de su impacto sanitario y socioeconómico de mediano y largo plazo. Se han identificado áreas donde la política pública puede incidir para impulsar una participación constructiva de distintos sectores sociales, que contribuya al éxito de la reducción de la contaminación atmosférica en la ciudad de México.

5.1. Educación ambiental y mayor difusión sobre causas y consecuencias de la contaminación atmosférica a nivel local y regional

Dado que lo que se requiere es una respuesta positiva como sociedad, la educación ambiental debe tener un fuerte componente de divulgación y en particular, para el tema de la calidad del aire, sobre fuentes de emisión de los distintos contaminantes; relación con la salud, el cambio climático, la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad, así como el cuidado de la infraestructura existente.

Las alternativas que se propongan como ejemplo, ya sean personales, sectoriales o por regiones del territorio, se deben corresponder con acciones de gobierno federal y gobiernos locales para propiciar su cumplimiento. Por ejemplo, mejorando la infraestructura para distintos tipos de movilidad, mejorando y haciendo cumplir la normativa de control de emisiones y dando incentivos a quienes deban efectuar cambios tecnológicos para lograr su reducción o eliminación. Elaborar material simplificado y atractivo que explique y promueva las acciones del PROAIRE y el Programa de Acción Climática de la CDMX colocándolo en sitios de afluencia masiva y medios de comunicación.

5.2. Promover la participación ciudadana en acciones para mejorar la calidad del aire y la salud, en sinergia con medidas para la mitigación y adaptación al cambio climático.

Se deberán multiplicar las campañas informativas que promuevan el cambio de hábitos de consumo y en la generación de residuos explicando la relación entre la producción de diversos bienes y mercancías con las emisiones contaminantes, la salud y el calentamiento del planeta.

Trabajar con PROFECO y la Secretaría de Economía para propiciar la sustitución de importaciones de productos dañinos para el ambiente por los muchos que ya existen en el mercado (a veces dentro de las mismas marcas)

pero que por motivos comerciales no llegan a México de manera masiva. Se puede llamar a la colaboración del sector privado para ayudar en un cambio de tendencias de la demanda, mejorando la oferta de productos y servicios con menor impacto ambiental.

Por ejemplo, empresas mexicanas de calefactores solares o de calentadores de alta eficiencia, podrían ofrecer precios especiales (que se podrían compensar con los volúmenes de consumo en una ciudad tan grande) de sus productos, que ayudarían a disminuir el consumo de gas en casas y muchas industrias en donde entre un 40 y 50% de la energía fósil se utiliza en calentar agua, contribuyendo a reducir la contaminación atmosférica.

5.3. Alinear acciones para calidad del aire, cambio climático y salud

Las acciones para mitigar las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero, entre los que se encuentra el ozono troposférico, tienen beneficios en mejorar la calidad del aire y para mejorar las condiciones de salud humana y ambiental. En el PROAire de la ZMVM 2021-2030 no se menciona ni el Programa de Acción Climática (PAC) 2021-2030, ni la Estrategia Local de Acción Climática 2021-2050, aunque sí, la importancia del cambio climático en la calidad del aire. Sin embargo, el PAC contempla el tema de la Calidad del Aire y detalla líneas de acción conjunta que son viables y pertinentes (Ejes 7 y 8), por lo que se recomienda una estrecha colaboración para llevar a cabo una política transversal del gobierno de la CDMX y los demás estados de que integran la Megalópolis

6. Reducción de la concentración de O₃ troposférico

Las políticas públicas de calidad del aire deben atender el derecho de la población a un ambiente sano. La reducción del ozono troposférico (a nivel de superficie) implica abordar las fuentes de sus precursores, principalmente los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) que reaccionan en presencia de luz solar para formar O₃. Aquí hay varias estrategias que se pueden emplear para reducir el O₃ troposférico:

6.1. Controles de emisiones de vehículos

- a) Implementar y hacer cumplir los programas de verificación vehicular y control de emisiones para automóviles y otros vehículos (motocicletas, mototaxis, etc.) para reducir emisiones de contaminantes climáticos persistentes y de vida corta.
- b) Revisar los programas para que verificentros operen de manera homogénea (protocolos, equipos, niveles de referencia, etc.) en todos los estados de la CAME para hacerlos obligatorios en más municipios.
- c) Promover el uso de combustibles más limpios y nuevas tecnologías (vehículos eléctricos e híbridos).
- d) Control de la presión de vapor en gasolinas para reducir las emisiones de COV, en la región CAME
- e) Promover uso de combustibles de ultra bajo azufre (gasolinas y diésel UBA), en la región CAME
- f) Incluir las emisiones de otros vehículos (motos, micros de gas LP, etc.) en el PHNC
- g) Diseñar un programa integral que promueva la reducción de emisiones y el ahorro de energía en el transporte, fortaleciendo el transporte público de calidad y seguro.

6.2. Reducción de emisiones industriales

- a) Se requiere una NOM sobre emisiones de COV en la industria de competencia federal.
- b) Fomentar la adopción de procesos y tecnologías de producción más limpias.
- c) Modernizar o “retrofit” de generadores de electricidad y maquinaria de construcción y agrícola para reducir emisiones.

6.3. Prácticas agrícolas

- a) Aplicar medidas para reducir emisiones de COV (uso de técnicas modernas y consumo de fertilizantes más eficientes) tomando en cuenta su toxicidad y potencial de formación ozono.
- b) Evitar las prácticas de quema a cielo abierto (maleza, residuos agrícolas y basura) que generen precursores de O₃.
- c) Promover el uso de prácticas agrícolas más sustentables (milpa, sin barbecho, bio-plaguicidas).

6.4. Regulaciones sobre productos de consumo y solventes

- a) Regular la composición de productos de consumo y disolventes industriales para reducir el contenido de COV y tóxicos.
- b) Promover el uso de productos con bajo contenido de COV.

6.5. Planificación urbana

- a) Desarrollar e implementar políticas para reducir los kilómetros recorridos por vehículos, promover el transporte público, fomentar métodos de transporte no motorizados, y reducir las demandas de viajes.
- b) Diseñar una ciudad sustentable que reduzca el flujo de tráfico (mejor señalización, organización de paraderos de autobuses, microbuses,

taxis, apoyo de la policía de tránsito en horas y zonas de congestionamiento y sincronización de semáforos, etc.).

- c) Invertir en transporte público y revisar concesiones a empresas privadas y públicas que proporcionen servicios de transporte.
- d) Aplicar medidas para restringir la expansión urbana en suelo agrícola y de conservación y regular el uso de suelo mixto en áreas de densidad media y alta.
- e) Seguir con el programa de renovación de cilindros y tanques estacionarios de gas LP, con el objeto de reducir fugas al ambiente.
- f) Promover la creación de una red de transporte público metropolitano que expanda e integre las redes de BRT existentes (Metrobús y Mexibús) y que se amplíe la red del Metro. Ampliarlo a otros municipios conurbados.
- g) Implementar un plan de eficiencia energética para mejorar la quema de gas, evitar fugas y usar calentadores de agua solares.
- h) La densificación de áreas urbanas existentes alrededor de nodos de transporte masivo y semi-masivo conlleva a una mejor movilidad y accesibilidad.

6.6. Monitoreo e Investigación

- a) Establecer y mantener sistemas integrales de monitoreo de la calidad del aire para conocer los niveles de ozono e identificar fuentes de contaminación.
- b) Apoyar la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías y estrategias para la reducción de los precursores del ozono.
- c) Incluir al metano dentro del monitoreo cotidiano y sus fuentes de emisión (red de drenaje, basureros, etc.)
- d) Atender con mayor énfasis el vínculo entre el ozono, el material particulado y otros compuestos relacionados con su formación, persistencia y efectos combinados en salud.

6.7. Política y regulación

- a) Desarrollar y hacer cumplir regulaciones y estándares de calidad del aire dirigidos a los precursores del ozono, con base en el análisis de las condiciones para su cumplimiento.
- b) Proporcionar incentivos económicos para que las industrias y los individuos adopten tecnologías y prácticas más limpias.
- c) Articular el Programa Hoy No Circula, el Programa de Verificación Vehicular Obligatoria, el Programa Contingencias Ambientales Atmosféricas, el Programa de Cambio Climático y PIM y promover trabajo en casa para apoyar estos programas.
- d) Dar cumplimiento a las NOM de calidad del aire, el índice de calidad del aire y salud y el programa de contingencias ambientales atmosféricas.
- e) Fortalecer leyes y normas para incluir conceptos como carga crítica, ciclo de vida y huella de carbono en manifestaciones de impacto ambiental en las solicitudes de cambio de uso del suelo para desarrollos habitacionales y centros comerciales.
- f) Implantar medidas y acciones relacionados con calidad del aire que incluyan: a) programa definido con fechas de aplicación, b) identificar responsabilidad definidas, c) esquema de monitoreo y evaluación y d) esquema regulatorio que permita aplicar las políticas públicas.
- g) Fortalecer a la CAME estableciendo mecanismos de consulta obligada al Consejo Científico Asesor y a la comunidad científica cuando fuere necesario.
- h) Impulsar programas de impuesto al carbono en las áreas de calidad del aire y cambio climático dentro del valle de México y área de la CAME

6.8. Mecanismos de flexibilidad

Proporcionar incentivos para que las industrias cumplan los objetivos de reducción de emisiones, permitiéndoles elegir los enfoques más rentables e innovadores

6.9. Concientización y educación pública

- a) Sensibilizar a los ciudadanos, a las empresas y a las industrias sobre los impactos de la contaminación por ozono y la importancia de reducir emisiones a niveles local y regional
- b) Promover prácticas que reduzcan la emisión de precursores del ozono

Las medidas propuestas hechas por otras entidades (ProAire, CAME, PCC, etc.) están contempladas en estas estrategias. Sin embargo, las acciones deben aplicarse considerando la dinámica socioeconómica de la ciudad (pobreza, salud, transporte, ordenamiento territorial, acceso a servicio, fuentes de emisión, financiamiento, etc.).

La implementación de una combinación de estas estrategias, adaptadas a las fuentes y características específicas de la contaminación por ozono, suele ser el enfoque más eficaz. La colaboración entre gobiernos, industrias y el público es esencial para que los esfuerzos de reducción del ozono tengan éxito.

También hay que buscar fuentes de financiamiento en temas de Cambio Climático y su vinculación con la Calidad del Aire, considerando que los recursos a nivel internacional se han centrado principalmente en el área de cambio climático.

7. Consideraciones finales

La Componente 4 del proyecto “*Identificación de procesos meteorológicos y climáticos que favorecen las concentraciones altas de ozono en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y emisiones COV y NOX asociadas*”, contempla:

- A. la revisión bibliográfica de los avances científicos sobre el ozono
- B. la evaluación de los programas de contingencias para reducir la generación del contaminante
- C. la descripción de los factores sociales, culturales y económicos que inciden sobre los programas
- D. recomendaciones para mejorar la gestión de la calidad del aire y reducir las contingencias ambientales atmosféricas.

A lo largo de cuatro reportes presentados se han ido cubriendo estos puntos con diferente profundidad y se destacan aspectos relacionados con los cuatro apartados anteriores que se considera pueden mejorar la gestión de la calidad del aire tomando en cuenta los principales hallazgos en los demás componentes del proyecto.

7.1. Revisión bibliográfica de los avances científicos sobre el ozono y medidas de gestión

A nivel global y regional

Se ha documentado el transporte de ozono y sus precursores, así como los procesos de exportación e importación de este contaminante respecto a las ciudades de la región Centro del país, y se ha dado una perspectiva regional para abatir este problema a través de políticas públicas, estrategias de información, educación e investigación.

Se debe realizar un monitoreo global y regional sobre el comportamiento de las concentraciones de O₃ y CH₄ de fondo, pues es previsible que tenga alguna influencia local.

Un clima más caliente tendrá mayores concentraciones de ozono en superficie. Esta penalización climática será mayor en zonas contaminadas.

La sensibilidad del O₃ al clima resultará en cambios en concentraciones de precursores que probablemente serán regidos por una compleja interacción entre fotoquímica, cambio climático y mecanismos de transporte.

Las emisiones biogénicas son sensibles al clima, por lo que se espera que vegetación y microorganismos modifiquen sus emisiones de precursores de ozono. Probablemente aumente la producción de COV biogénicos (BCOV) provenientes de incendios forestales y de emisiones de metano de humedales deteriorados.

A mayor temperatura aumentará la demanda de energía (y el uso de combustibles fósiles) y las emisiones de precursores de ozono.

La regulación de emisiones de COV en diferentes sectores y productos es una medida habitual para reducir concentraciones de ozono troposférico. Esto debe incluir productos de uso doméstico.

7.2. Programas para reducir ozono

La ocurrencia de contingencias resalta la relación con la temperatura. De las contingencias activadas entre 2008 y 2021 ninguna fue con temperatura menor de 22°C.

Las acciones de mitigación que pueden implementarse para reducir emisiones de precursores son: a) actualizar y fortalecer la articulación de los PHNC, PVVO, PCAA y de movilidad; b) promover programas de trabajo en casa articulados con el PHNC y PCAA.

7.3. Gestión de la calidad del aire y contingencias ambientales atmosféricas

En la sección 3.6 se enumeran las medidas implementadas entre 1990 y 2015, a la que hay que dar seguimiento. Falta por cumplir la reducción de azufre en

combustibles y renovar periódicamente las medidas de reforestación de suelos urbanos sin vegetación y la pavimentación de calles y avenidas.

Las 14 medidas propuestas por la CAME en 2019 son aplicables a la Ciudad de México, pero sería deseable establecer un cronograma de cumplimiento. Dos normas son de competencia federal, como el establecimiento de límites de emisión de COV y la regulación de motocicletas. La competencia a nivel local corresponde con la definición del nuevo esquema de hologramas y el ordenamiento del transporte de carga, por lo que es necesario un acuerdo con SCT para verificar transporte pesado y hacer más estricto el control vehicular.

La Tabla 9 presenta una lista de normas pendientes de actualizarse y que mejorarían la gestión de emisiones de precursores de ozono.

7.4. De los otros componentes del proyecto se resalta:

Continuar con el análisis del impacto en la temperatura a través de techos blancos o techos verdes que aumenten el albedo en superficie considerando las necesidades de las alcaldías (componentes 1.1 y 1.2).

La reforestación de suelos descubiertos o con escasa vegetación puede aumentar el albedo y amerita programas más participativos en cada Alcaldía. Los sistemas semi-intensivos (componente 1.8) buscan reducir la temperatura de superficie *in situ*.

Establecer sistemas de medición enfocados en el análisis del origen y el tiempo de arribo de masas de aire a la CDMX mediante modelos de *retro trayectorias*.

Apoyar el desarrollo de herramientas de pronóstico, por ejemplo, redes neuronales y asimilación de datos, para mejorar el pronóstico de calidad del aire (componente 1.6).

Medir otros compuestos, como el peroxiacetil nitrato (PAN) y los carbonilos, (componentes 2.1 y 2.2) para conocer mejor la reactividad del ozono.

Establecer límites de COV en distintos productos y monitoreo de COV total de manera continua en puntos estratégicos de la ZMVM. Promulgar la

norma sobre el contenido de COV en productos de limpieza y de uso personal (actualmente en la Secretaría de Economía).

Hacer una campaña de educación sobre precursores de ozono de uso doméstico, para que los consumidores tengan conocimiento de su daño potencial a la Calidad de Aire, (componente 2, subcomponente 2.3).

8. Referencias

- Barnes, P. W., Robson, T. M., Neale, P. J., Williamson, C. E., Zepp, R. G., Madronich, S., ... & Young, A. R. (2022). Environmental effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, Update 2021. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 21(3), 275-301.
- Bauwens, M., Compernelle, S., Stavrakou, T., Müller, J. F., van Gent, J., Eskes, H., Levelt, P. F., van der A, R., Veefkind, J. P., Vlietinck, J., Yu, H., y Zehner, C. (2020). Impact of Coronavirus Outbreak on NO₂ Pollution Assessed Using TROPOMI and OMI Observations. *Geophysical research letters*, 47(11), e2020GL087978. <https://doi.org/10.1029/2020GL087978>
- Cantillo, V., y Ortúzar, J. D. (2014). Restricting the use of cars by license plate numbers: A misguided urban transport policy. *Dyna*, 81(188), 75-82. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n188.40081>
- Carreón-Sierra, S., Salcido, A., Castro, T., y Celada-Murillo, A.-T. (2015). Cluster Analysis of the Wind Events and Seasonal Wind Circulation Patterns in the Mexico City Region. *Atmosphere*, 6(8), 1006-1031. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos6081006>
- (Carrasco-Mijarez, N. I., R. Torres-Jardón y H. A. Barrera-Huertas (2020). "Correlation PAN-O₃ in southwest Mexico City." *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 36(4): 907-925.10.20937/RICA.53581)
- Comisión Ambiental de la Megalópolis. (2022). Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire de la ZMVM. Taller de Diagnóstico sobre el Conocimiento Actual de las Bases Científicas para la Calidad del Aire y su Gestión en la Región de la Megalópolis. [PDF]. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/720588/142PROAIRE_taller_CAMEabril2022.pdf
- Davis, L. W. (2008). The effect of driving restrictions on air quality in Mexico City. *Journal of Political Economy*, 116(1), 38-81. <http://dx.doi.org/10.1086/529398>

- Fast, J. D. y S. Y. Zhong (1998). "Meteorological factors associated with inhomogeneous ozone concentrations within the Mexico City basin." *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 103(D15): 18927-18946
- Fiore, A. M., et al. (2009), Multimodel estimates of intercontinental source-receptor relationships for ozone pollution, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114, D04301. <https://doi.org/10.1029/2008JD010816>
- Fuhrer, J., Skärby, L., y Ashmore, M. R. (1997). Critical levels for ozone effects on vegetation in Europe. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 97(1-2), 91-106. [https://doi.org/10.1016/s0269-7491\(97\)00067-5](https://doi.org/10.1016/s0269-7491(97)00067-5)
- Gallego, F., Montero J.-P., y Salas, C. (2013). The effect of transport policies on car use: Evidence from Latin American cities. *Journal of Public Economics*, 107, 47-62. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2013.08.007>
- García-Franco, J. L. (2020). Air quality in Mexico city during the fuel shortage of January 2019. *Atmospheric Environment*, 222, 117131. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117131>
- Gaudel, A, et al. (2018). Tropospheric Ozone Assessment Report: Present-day distribution and trends of tropospheric ozone relevant to climate and global atmospheric chemistry model evaluation. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 6, 39. <https://doi.org/10.1525/elementa.291>
- Guerra, E. y Millard-Ball, A. (2017). Getting around a license-plate ban: Behavioral responses to Mexico City's driving restriction. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 55, 113-126. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.06.027>
- Harvard, TH Chan (2015) Historical Analysis of Population Health Benefits Associated with Air Quality in Mexico City during 1990 and 2015, <http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/beneficios-en-salud-por-la-mejora-de-la-calidad-del-aire/descargas/analisis-ingles.pdf>
- Hernández-Paniagua, I. Y., G. L. Andraca-Ayala, U. Diego-Ayala, L. G. Ruiz-Suarez, J. C. Zavala-Reyes, S. Cid-Juárez, L. Torre-Bouscoulet, L. Gochicoa-Rangel, I. Rosas-Pérez y A. Jazcilevich (2018). "Personal Exposure to PM2. 5 in the Megacity of Mexico: A Multi-Mode Transport Study." *Atmosphere* 9(2): 57. <https://doi.org/10.3390/atmos9020057>

- Hernández-Paniagua I.Y., Valdez S.I., Almanza V., Rivera-Cárdenas C., Grutter M., Stremme W., García-Reynoso, A. y Ruiz-Suárez L.G. (2021). Impact of the COVID-19 Lockdown on Air Quality and Resulting Public Health Benefits in the Mexico City Metropolitan Area. *Frontiers Public Health*, 9, 642630. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.642630>
- Huertas, J. I., Mogro, A. E., Mendoza, A., Huertas, M. E., y Ibarra, R. (2020). Assessment of the Reduction in Vehicles Emissions by Implementing Inspection and Maintenance Programs. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13), 4730. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17134730>
- INECC (2014). Estudios de Calidad del Aire y su Impacto en la región Centro de México (Ecaim). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Ciudad de México. 744. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/251717/Informe_Final_-_ECAICM_Tomo_1_-_P1.pdf
- Jacob, D. J., & Winner, D. A. (2009). Effect of climate change on air quality. *Atmospheric environment*, 43(1), 51-63.
- Jaimes P. M. (2017). Diseño del monitoreo de compuestos precursores de ozono en la atmósfera de la Ciudad de México y su Área Metropolitana. [Tesis de Doctorado en Ingeniería Ambiental]. UNAM.
- Jenkin, M. E., R. G. Derwent y T. J. Wallington (2017). "Photochemical ozone creation potentials for volatile organic compounds: Rationalization and estimation." *Atmospheric Environment* 163: 128-137. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.05.024>
- Kroll, J. H., Heald, C. L., Cappa, C. D., Farmer, D. K., Fry, J. L., Murphy, J. G., y Steiner, A. L. (2020). The complex chemical effects of COVID-19 shutdowns on air quality. *Nature chemistry*, 12(9), 777-779. <https://doi.org/10.1038/s41557-020-0535-z>
- Le, T., Wang, Y., Liu, L., Yang, J., Yung, Y. L., Li, G., y Seinfeld, J. H. (2020). Unexpected air pollution with marked emission reductions during the COVID-19 outbreak in China. *Science (New York, N.Y.)*, 369(6504), 702-706. <https://doi.org/10.1126/science.abb7431>
- Lei, W., Zavala, M., de Foy, B., Volkamer, R. y Molina L.T. (2008). Characterizing ozone production and response under different meteorological conditions

- in Mexico City. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(24), 7571–7581.
<https://doi.org/10.5194/acp-8-7571-2008>
- McClurkin J. D., Maier D. E., and Ileleji K. E. (2013). Half-life of ozone as a function of air and conditions in a sealed container. *Journal of Stored Products Research* 55, 41-47.
- Molina, L.T., Velasco, E., Retama, A. y Zavala, M. (2019). Experience from Integrated Air Quality Management in the Mexico City Metropolitan Area and Singapore. *Atmosphere*, 10(9), 512.
<http://dx.doi.org/10.3390/atmos10090512>
- Osibanjo, O. O., B. Rappenglück y A. Retama (2021). "Anatomy of the March 2016 severe ozone smog episode in Mexico-City." *Atmospheric Environment* 244.10.1016/j.atmosenv.2020.117945
- Peralta, O., Ortíz-Alvarez, A., Torres-Jardón, R., Suárez-Lastra, M., Castro, T., y Ruíz-Suárez, L. G. (2021). Ozone over Mexico City during the COVID-19 pandemic. *The Science of the total environment*, 761, 143183.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143183>
- Riveros, H. G., Cabrera, E. y Ovalle, P. (2002). Vehicle inspection and maintenance, and air pollution in Mexico City. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 7(1), 73-80.
[https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(01\)00010-4](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(01)00010-4)
- SCJN (2015). Suspensión definitiva del “PROGRAMA HOY NO CIRCULA en el Distrito Federal”. Determinar si al concederla, se causa un perjuicio al interés social, pues se produciría un daño al medio ambiente, al equilibrio ecológico y a la salud de las personas. S. C. d. J. d. I. Nación. Ciudad de México.
https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGCPA/PACCM_y_ELAC_uv.pdf
- Schifter, I., Díaz, L., Vera, M., Guzmán, E., Durán, J., Ramos, F., y López-Salinas, E. (2003). Evaluation of the vehicle inspection/maintenance program in the Metropolitan Area of Mexico City. *Environmental science & technology*, 37(1), 196–200. <https://doi.org/10.1021/es020549t>
- [SEDEMA-SIMAT. \(2016\). Calidad del Aire en la Ciudad de México 2015. Ciudad de México, Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno de la Ciudad de México.](#)

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (1998). NOM-123-SEMARNAT-1998, Que establece el contenido máximo permisible de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en la fabricación de pinturas de secado al aire base disolvente para uso doméstico y los procedimientos para la determinación del contenido de los mismos en pinturas y recubrimientos.

<https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1282/1/nom-123-semarnat-1998.pdf>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019). NOM-172-SEMARNAT-2019, Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Calidad de Aire y Riesgos a la Salud.

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5579387&fecha=20/11/2019#gsc.tab=0

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (s/f). Estrategia Local de Acción Climática 2021-2050. Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2021-2030. [PDF].

https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGCPCA/PACCM_y_ELAC_uv.pdf

Secretaría de Salud. (2021). NOM-020-SSA1-2021, Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al ozono (O3). Valores normados para la concentración de ozono (O3) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633956&fecha=28/10/2021#gsc.tab=0

Secretaría de Salud. (2019). NOM-022-SSA1-2019, Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO2). Valores normados para la concentración de dióxido de azufre (SO2) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5568395&fecha=20/08/2019#gsc.tab=0

Secretaría de Salud. (2021). NOM-023-SSA1-2021, Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de nitrógeno (NO2). Valores normados para la concentración de dióxido de nitrógeno (NO2) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la

población. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633854&fecha=27/10/2021#gsc.tab=0

Secretaría de Salud. (2021). NOM-025-SSA1-2021, Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM10 y PM2.5. Valores normados para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633855&fecha=27/10/2021#gsc.tab=0

Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. (2023). Estrategia local de acción climática 2021-2050 programa de acción climática de la Ciudad de México 2021-2030. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/720588/142PROAIRE_taller_CAMEabril2022.pdf

Song, J., Lei, W., Bei, N., Zavala, M., de Foy, B., Volkamer, R., Cardenas, B., Zheng, J., Zhang, R. y Molina, L.T. (2010). Ozone response to emission changes: a modeling study during the MCMA-2006/MILAGRO Campaign. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(8), 3827–3846. <https://doi.org/10.5194/acp-10-3827-2010>

The Royal Society (2008). Ground-level ozone in the 21st century: future trends, impacts and policy implications. The Royal Society Science Policy, ISBN 978-0-85403-713-1. <https://royalsociety.org/topics-policy/publications/2008/ground-level-ozone/#:~:text=Downloads-,Full%20report,-PDF%2C%202.7MB>

Tie, X., Madronich, S., Li, G., Ying, Z., Zhang, R., Garcia, A.R. Lee-Taylor, J. y Liu Y. (2007). Characterizations of chemical oxidants in Mexico City: A regional chemical dynamical model (WRF-Chem) study. *Atmospheric Environment*, 41(9), 1989–2008. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.10.053>

Turnok, S.T., Wild, O., Dentener, F.J., Davila, Y., Emmons, L.K., Flemming, J., Folberth, G.A., Henze, D.K., Jonson, J.E., Keating, T.J., Kengo, S., Lin, M., Lund, M., Tilmes, S. y O'Connor, F. (2018). The impact of future emission policies on tropospheric ozone using a parameterized approach.

- Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(12), 8953–8978.
<https://doi.org/10.5194/acp-18-8953-2018>
- Velasco, E., A. Retama, E. Segovia y R. Ramos (2019). "Particle exposure and inhaled dose while commuting by public transport in Mexico City." *Atmospheric Environment* 219: 117044. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117044>
- World Health Organization. (2020). Ambient (outdoor) air pollution air quality and health. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- World Health Organization. (2021). WHO Global Air Quality Guidelines. <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/who-global-air-quality-guidelines>
- Zhang, Y., Dubey, M.K., Olsen, S.C., Zheng, J. y Zhang, R. (2009). Comparisons of WRF/Chem simulations in Mexico City with ground-based RAMA measurements during the 2006-MILAGRO. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(11). 3777–3798. <https://doi.org/10.5194/acp-9-3777-2009>
- Zavala, M., Brune, W.H., Velasco, E., Retama, A., Cruz-Alavez, L.A. y Molina, L.T. (2020). Changes in ozone production and VOC reactivity in the atmosphere of the Mexico City Metropolitan Area. *Atmospheric Environment*, 238, 117747. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117747>

Anexo 1

Normatividad y programas internacionales referentes al efecto y control en los niveles de ozono en aire ambiente

Propuesta de norma	Nombre	Año	Área de acción	Comentario/ Enlace
EPA/600/AP-93/004a-c	Air quality criteria for Ozone and related photochemical oxidants	1993	Ozone-Physiological effect, Photochemical Smog-Physiological effect and Air Quality-Standards-United States	https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=2000B2WM.PDF , https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=2000B39M.PDF , https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=2000B3LY.PDF
EPA-452/R-96-007	Review of the national ambient air quality standards for ozone: assessment of scientific and technical information. OAQPS staff paper.	1996	National Ambient Air Quality Standards, Ozone, Photochemical reactions, Health effects, Environmental effects, Air pollution effects (Humans), Air pollution effects (Plants), Environmental exposure, Dose-response relationships, Signs and symptoms, Lung diseases, Public health, Risk assessment, Air pollution standards and Clean Air Acts	https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=2000DKJT.PDF

Propuesta de norma	Nombre	Año	Área de acción	Comentario/ Enlace
EPA-452/R- 07-009	Ozone Health Risk Assessment for Selected Urban Areas. Prepared for Office of Air Quality Planning and Standards, U.S.	2007	Ozone-Physiological effect, Air Quality-Standards-United States, Ozone health risk assessment, Urban areas, Lung function risk estimate (Revised) and Exposure estimates (Revised)	https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=P100KMJL . PDF
EPA-HQ-OAR-2005-0172-0175	The effects of ozone on lung function at 0.06 ppm in healthy adults.	2005	Based on its review of the air quality criteria for ozone (O3) and related photochemical oxidants and national ambient air quality standards (NAAQS) for O3, EPA proposes to revise the primary and secondary NAAQS for O3 to provide requisite protection of public health and welfare, respectively, and to make corresponding revisions in data handling conventions for O ₃ .	El presente metodo de la EPA ya no se encuentra disponible debido a una actualización: http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/ozone/s_o3_cr_td.html
EPA-HQ-OAR- 2005-0172-0026	The effect of measurement error on 8-hour ozone design concentrations.	2006	The purpose of this memo is to summarize an analysis that was done to address the impact of measurement error on ozone design values. The results suggest that instrument measurement error, as assessed by EPA's Quality Assurance audit program, or possible instrument bias, contribute very little to the uncertainty in 8-hour average ozone design value concentrations. As described in more detail below, a simple simulation study that incorporates	https://downloads.regulations.gov/EPA-HQ-OAR-2005-0172-0026/content.pdf

Propuesta de norma	Nombre	Año	Área de acción	Comentario/ Enlace
			site-specific precision calculated from over 900 ozone monitors during 2002 to 2004 indicates that measurement imprecision contributes less than 1 part per billion to design value uncertainty. An additional simulation was also performed to determine the impact of randomly occurring instrument bias. Those results indicate that measurement bias could contribute approximately 1 ppb to design value uncertainty.	
EPA/600/ AP-93/004aF-cF	Air quality criteria for ozone and related photochemical oxidants.	2006	The purpose of this revised air quality criteria document for O and related photochemical 3 oxidants is to critically evaluate and assess the latest scientific information published since that assessed in the above 1996 O AQCD, with the focus being on pertinent new information 3 useful in evaluating health and environmental effects data associated with ambient air O3 exposures. However, other scientific data are also discussed to provide a better understanding of the nature, sources, distribution, measurement, and concentrations of O and 3 related photochemical oxidants and their precursors in the environment.	https://www3.epa.gov/ttn/naaqs/aqmguide/collection/cp2/20060228_ord_epa-600_r-05-004af_ozone_criteria_document_vol-1.pdf

Propuesta de norma	Nombre	Año	Área de acción	Comentario/ Enlace
EPA-452/D-05-002	Review of the national ambient air quality standards for ozone: assessment of scientific and technical information.	2006	This second draft Staff Paper, prepared by staff in the U.S. Environmental Protection Agency (EPA) Office of Air Quality Planning and Standards (OAQPS), evaluates the policy implications of the key studies and scientific information contained in the final document, Air Quality Criteria for Ozone and Related Photochemical Oxidants (USEPA, 2006; henceforth referred to as the CD), prepared by EPA's National Center for Environmental Assessment (NCEA). This second draft Staff Paper also presents and interprets results from several analyses (e.g., air quality analyses, human exposure analyses, and human health risk assessments) and discusses an environmental assessment of vegetation-related impacts. We believe that these analyses should be considered in EPA's current review of the national ambient air quality standards (NAAQS) for ozone (O3).	https://www.regulations.gov/document/EPA-HQ-OAR-2004-0008-0490

Anexo 2

Proyectos de normas referente al control de COV y control de emisiones que involucren la reducción en los niveles de ozono troposférico

Norma	Título de la norma	Estado de la norma	Fecha de publicación	Fuente	Enlace
ACUERDO por el que se modifica la vigencia del periodo establecido en las notas al pie de las tablas 1, 2 y 4, de los numerales 4.1 y 4.2, únicamente en lo que se refiere a los Estándares AA, de la Norma Oficial Mexicana NOM-044-SEMARNAT-	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.	Acuerdo de modificación	2011	DOF	https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5636495

Norma	Título de la norma	Estado de la norma	Fecha de publicación	Fuente	Enlace
2017					
Modificar la NOM-016-CRE-2016, para asegurar que solamente se pueda comercializar gasolina clase de volatilidad A en los meses de mayor presencia de ozono (marzo-agosto) en todos los estados integrantes de la Megalópolis	ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DE LOS PETROLÍFEROS	Acuerdo de modificación no oficial	2020	CAMe	https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/671620/Segundo_Informe_Medidas_Necesarias_01oct21_red.pdf
Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-123-SEMARNAT-1998,	Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-123-SEMARNAT-1998, Que establece el contenido máximo permisible de compuestos orgánicos volátiles (COVs), en la fabricación de pinturas de secado al aire base disolvente para uso doméstico y los procedimientos para la determinación del contenido de estos en pinturas y	Acuerdo de modificación no oficial	2022	Programa Nacional de Infraestructura de la Calidad (2022)	https://dof.gob.mx/2022/SEECO/SEECO_240222.pdf

Norma	Título de la norma	Estado de la norma	Fecha de publicación	Fuente	Enlace
	recubrimientos.				
Regulación	Pinturas - Límites máximos permisibles de contenido de compuestos orgánicos volátiles (COVs) de pinturas y recubrimientos para uso arquitectónico.	Propuesta de regulación	2022	Programa Nacional de Infraestructura de la Calidad (2022)	https://dof.gob.mx/2022/SEECO/SEECO_240222.pdf
Regulación	Productos de aseo de uso doméstico y productos cosméticos - Límites máximos permisibles de contenido de compuestos orgánicos volátiles (COV)	Propuesta de regulación	2022	Programa Nacional de Infraestructura de la Calidad (2022)	https://dof.gob.mx/2022/SEECO/SEECO_240222.pdf

Anexo 3

Norma	Nombre de la norma	Año de emisión	Área de acción
NOM-020-SSA1-2021	Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al ozono (O ₃). Valores normados para la concentración de ozono (O ₃) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.	2021	Salud
NOM-023-SSA1-2021	Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de nitrógeno (NO ₂). Valores normados para la concentración de dióxido de nitrógeno (NO ₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.	2021	Salud
NOM-025-SSA1-2021	Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM ₁₀ y PM _{2.5} . Valores normados para la concentración de partículas suspendidas PM ₁₀ y PM _{2.5} en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.	2021	Salud
NOM-EM-002-ASEA-2016	Medidas anunciadas en el seno de la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAME) para combatir la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana del Valle de México, la Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente (ASEA)	2016	Emisiones

Norma	Nombre de la norma	Año de emisión	Área de acción
NOM-020-SSA1-2014	Salud ambiental, valor límite permisible para la concentración de ozono (O ₃) en el aire ambiente y criterio para su evaluación	2014	Salud
LGEEPA	Ley general del equilibrio ecologico y la proteccion al ambiente en materia de prevencion y control de la contaminacion de la atmosfera	2012	Salud / emisiones / control
NOM-085-SEMARNAT-2011	Establece los niveles máximos permisibles de emisión de humo, partículas, monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO ₂) y óxidos de nitrógeno (NOx) de los equipos de combustión de calentamiento indirecto que utilizan combustibles convencionales o sus mezclas, con el fin de proteger la calidad del aire.	2011	Emisiones
NOM-123-SEMARNAT-1998	Contenido máximo permisible de compuestos orgánicos volátiles (COV) en la fabricación de pinturas de secado al aire base disolvente para uso doméstico y los procedimientos para determinar el contenido de los mismos en pinturas y recubrimientos.	1998	Emisiones
Decreto	Programa Hoy no circula	2014	Movilidad Salud Emisiones
Decreto	Programa Verificación vehicular	2021	Emisiones Movilidad Salud

Norma	Nombre de la norma	Año de emisión	Área de acción
Decreto	Programa de Contingencias Atmosféricas Ambientales	1999	Emisiones Salud