

# PRO AIRE

ENERO 2018



Revisión del Programa para mejorar la calidad del aire (PROAIRE) Jalisco 2014-2020 y Recomendaciones para lograr impactos en la calidad del aire de la ZONA METROPOLITANA de GUADALAJARA

**CONSULTOR**

José Alberto Cruzado M.

**COLABORADORES**

Ignacio Vázquez Ramírez  
Conrado Martínez Suarez

# CONTENIDO

<b>Resumen Ejecutivo</b>	<b>3</b>
<b>Programa para mejorar la calidad del aire (ProAire) Jalisco 2014-2020</b>	<b>5</b>
<b>Inventario de emisiones</b>	<b>6</b>
<b>Distribución espacial de las emisiones</b>	<b>11</b>
<b>Diagnóstico de calidad del aire e impactos a la salud</b>	<b>12</b>
<b>Objetivos y Estrategias</b>	<b>17</b>
<b>Medidas prioritarias</b>	<b>19</b>
<b>Medida 1: Recuperación de vapores de gasolinas en TAD y estaciones de servicio</b>	<b>20</b>
<b>Fase 0: Control de hidrocarburos de las terminales de carga de gasolina de camiones cisterna</b>	<b>23</b>
<b>Fase 1: Recuperación de vapores</b>	<b>23</b>
<b>Fase 2: Recuperación de vapores</b>	<b>24</b>
<b>Equipos de Control de Vapor utilizados en las fases</b>	<b>25</b>
<b>Acondicionamiento para las pipas</b>	<b>30</b>
<b>Sistema de emergencia en las gasolineras y tratamiento de COV por diferentes tecnologías</b>	<b>32</b>
<b>Costos asociados a la implementación de sistemas de recuperación de vapores</b>	<b>35</b>
<b>Medida 2: Programa de Verificación Vehicular Obligatorio</b>	<b>37</b>
<b>Antecedentes</b>	<b>37</b>
<b>Justificación</b>	<b>40</b>
<b>Evidencias de reducción de emisiones a través de los PVV</b>	<b>43</b>
<b>Costos estimados</b>	<b>44</b>
<b>Medida 3: Control de emisiones de COV en la industria</b>	<b>46</b>
<b>Tecnologías de control y equipo</b>	<b>47</b>
<b>Emisiones importantes de COV de acuerdo al inventario 2008</b>	<b>55</b>

# CONTENIDO

<b>Medida 4: Control de emisiones de ladrilleras</b>	<b>57</b>
<b>Medida 5: Prohibición del uso de combustóleo en el AMG</b>	<b>61</b>
<b>Evidencia de mejora de calidad del aire por eliminación del uso de combustóleo</b>	<b>64</b>
<b>Medidas complementarias</b>	<b>66</b>
<b>Control de emisiones de ingenios azucareros</b>	<b>66</b>
<b>Emisiones de la industria azucarera de Jalisco</b>	<b>67</b>
<b>Costos estimados</b>	<b>69</b>
<b>Evaluar las emisiones de COV provenientes de la industria tequilera</b>	<b>71</b>
<b>Emisiones de la industria del tequila en Jalisco</b>	<b>74</b>
<b>Regulación de las emisiones de vehículos pesados a diésel</b>	<b>74</b>
<b>Recomendaciones y conclusiones</b>	<b>77</b>
<b>Anexo I. Evidencias sobre la reducción de emisiones de Programas de Verificación Vehicular</b>	<b>78</b>
<b>Evaluación de reducción de emisiones en los programas de Inspección y Mantenimiento de los Estados Unidos</b>	<b>78</b>
<b>Evaluaciones del Programa Smog Check de California</b>	<b>79</b>
<b>Programa AIR de Colorado</b>	<b>81</b>
<b>Evaluación del Programa de Minnesota</b>	<b>81</b>
<b>Evaluación del Programa de I/M de Atlanta utilizando el método de paso</b>	<b>81</b>
<b>Evaluación del Programa de Inspección y Mantenimiento de Vehículos de Texas</b>	<b>82</b>
<b>Análisis de opinión del Instituto de Salud Pública de la Universidad de Wisconsin sobre los Programas I/M</b>	<b>83</b>
<b>Programa de Verificación Vehicular de la ZMVM y estudios en otras ciudades de México</b>	<b>83</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>87</b>

## Resumen Ejecutivo

En la primera parte de esta revisión se describe, en forma breve, el Programa vigente de Gestión de Calidad del Aire Jalisco 2014-2020, con una cobertura espacial prioritaria en el AMG, y en segundo término otros municipios identificados por la presencia de fuentes fijas y actividades con emisiones significativas de contaminantes del aire.

Dos herramientas básicas para el apropiado seguimiento de un programa de gestión de calidad del aire son sin lugar a dudas, el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAJ) y el inventario de emisiones. Al respecto podría decirse que mientras el primero presenta características generales de operación satisfactorias, el Inventario de Emisiones presenta 10 años de desfase y en muchos casos, fuertes sobreestimaciones. Por lo anterior, es indispensable en corto plazo la consolidación de los inventarios de emisiones de contaminantes criterio y precursores (CC&P) actualizados tanto a nivel estatal como el específico del AMG.

Con una población de 4.9 millones de habitantes, un parque vehicular del orden 3.0 millones de unidades y un consumo energético de 117 PJ, el AMG presenta problemas persistentes de calidad del aire por altas concentraciones de ozono ( $O_3$ ) y  $PM_x$ , lo cual trae como consecuencia impactos importantes en la salud de la población como el aumento de la mortalidad prematura causada por las enfermedades cardiovasculares y respiratorias.

Específicamente por la exposición crónica a las partículas  $PM_x$  el costo atribuible a dichas externalidades para el año 2010 se estimó del orden de 8 mil millones de pesos según el estudio efectuado por el INECC a partir de la aplicación del modelo BenMap, el cual es absorbido por los gobiernos y la sociedad en su conjunto.

El análisis del Proaire Jalisco llevado a cabo en la presente consultoría, se centró específicamente del eje estratégico no 1, relativo a la reducción de emisiones, donde se identifican como medidas prioritarias con mayor impacto potencial para beneficio de la calidad del aire en el corto y mediano plazo, las siguientes:

1. Medida 1 Recuperación de vapores de gasolinas en TAD y estaciones de servicio

En el caso de que los sistemas de recuperación de vapores instalados en las TAD del AMG estén fuera de operación las emisiones anuales estimadas de vapores de gasolinas son del orden de 8,000 toneladas de compuestos orgánicos altamente reactivos, durante la consultoría pudo verificarse que la mayor parte de las estaciones de servicio cuentan con la infraestructura para el retorno de vapores por el método de balance, por lo que la implementación de un sistema integral que involucre la recuperación en todas las fases del mercadeo será altamente redituable en términos de control de precursores de Ozono.

## 2. Medida 2: Programa de Verificación Vehicular Obligatorio

El AMG representa la segunda ciudad con mayor número de vehículos automotores del país donde el 34% tiene una edad mayor de 25 años, y otro 42% entre 24 y 12 años de antigüedad carecen del sistema OBD, por lo que un programa de verificación vehicular con prueba dinámica es indispensable para abatir las emisiones del sector transporte e inducir la renovación acelerada del parque vehicular.

## 3. Medida 3: Control de emisiones de COV en la industria.

Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles provenientes de las fuentes fijas y de área representan una fuente de incertidumbre muy importante en los inventarios de emisiones que se realizan en México, debido esencialmente a que no existen normas que los regulen. Es por ello que en el caso de la ZMG es indispensable profundizar el diagnóstico del tipo y consumo de solventes orgánicos empleados por las industrias y establecimientos asentados en ella para estimar con precisión las misiones actuales y justificar la emisión de una norma que permita control de los mayores emisores.

## 4. Medida 4: Control de emisiones de ladrilleras

Aun cuando las emisiones atribuibles a los hornos ladrilleros son de menor orden de magnitud en relación a su apariencia, debido a su intermitencia y al uso de madera como combustible predominante, el número de hornos ladrilleros en el AMG sí justifica ampliamente el reordenamiento de dicho sector y la tecnificación del mismo en beneficio de los productores, por lo que deben reforzarse todos los esfuerzos del programa ladrillero que realiza SEMADET con apoyo de la Coalición de Aire Limpio y el INECC.

## 5. Medida 5: Prohibición del uso de combustóleo en el AMG

El uso de combustibles residuales que inducen fuertes emisiones de partículas primarias y secundarias no debe permitirse en áreas densamente pobladas, la prohibición de combustóleo en la Ciudad de México desde los años 90 presentó grandes beneficios en la calidad del aire. Debe evaluarse si el consumo de combustóleo actual es importante e inducir su eliminación en un corto plazo.

# Programa para mejorar la calidad del aire (ProAire) Jalisco 2014-2020

El ProAire Jalisco 2014-2020 fue elaborado por la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Estado de Jalisco (SEMADET) tras llevar a cabo una revisión, evaluación y adecuación del programa original desarrollado durante el año 2011. Dicho proceso permitió conformar el Comité ProAire Jalisco, el cual coordina la aplicación e implementación del programa.

El ProAire actual tiene como área de aplicación la totalidad del Estado de Jalisco, a diferencia del programa anterior, que se enfocaba a dos áreas prioritarias:

- 1) El Área Metropolitana de Guadalajara, conformada por El Salto, Guadalajara, Ixtlahuacán de los Membrillos, Juanacatlán, Tlajomulco de Zúñiga, Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan; y
- 2) municipios participantes al interior del Estado (Ocotlán, Ameca, Tala, Tamazula de Gordiano y Acatlán de Juárez) identificados con base en el Inventario Nacional de Emisiones de México 2005 (INEM 2005), por la magnitud de sus emisiones.

El ProAire cuenta con información del INEM 2008 de la Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (DGGCARETC) de SEMARNAT, así como con un diagnóstico de calidad del aire con información, indicadores y tendencias de la calidad del aire del Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco (SIMAJ) del estado, así como con un diagnóstico de salud en el estado de Jalisco. Asimismo contiene un capítulo (4) de objetivos, estrategias, medidas y acciones a implementar, y otro más (5) sobre estrategias de seguimiento y financiamiento del programa.

## Inventario de emisiones

Como se ha mencionado el inventario de emisiones (IE) contenido en el ProAire 2014-2020 corresponde al año base 2008, cubre la totalidad del Estado, y tiene información de los principales contaminantes criterio y de las categorías normalmente evaluadas. El resumen del inventario se muestra en la siguiente tabla:

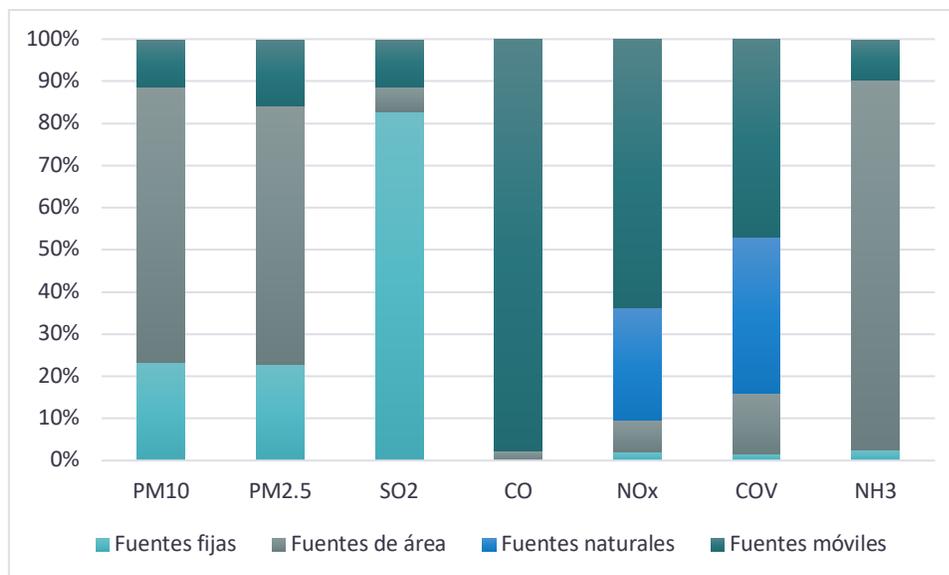
**Tabla 1. Inventario de emisiones del Estado de Jalisco año base 2008.**

Fuentes	Emisiones (Mg/año)						
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COV	NH <sub>3</sub>
Fuentes fijas	8,767.76	5,398.81	23,897.00	3,216.43	6,322.57	15,622.70	1,983.16
Fuentes de área	24,642.44	14,470.49	1,727.60	93,470.67	24,705.79	131,153.17	72,324.15
Fuentes naturales	-	-	-	-	85,757.86	342,958.90	-
Fuentes móviles	4,259.34	3,707.03	3,263.66	4,275,280.43	206,219.57	433,092.40	7,993.75
Total	37,669.54	23,576.33	28,888.26	4,371,967.53	323,005.79	922,827.17	82,301.06

Fuente: (SEMADET, 2014).

Los inventarios de emisiones a la atmósfera representan uno de los instrumentos estratégicos para la gestión de calidad del aire, pues permiten identificar cuáles son las fuentes generadoras de emisiones y el aporte de contaminantes a la atmósfera por sector, elaborar proyecciones de las emisiones a nivel, así como plantear las metas y objetivos de reducción que se propongan las políticas públicas nacionales y locales. Su importancia es de tal magnitud que se han constituido en la base sobre la cual se han fundamentado y diseñado los programas de mejora de la calidad del aire de diferentes ciudades y áreas metropolitanas del país. El hecho de haber actualizado el IE para adecuar el ProAire ha sido un gran paso, sin embargo requerirá de nuevos esfuerzos para actualizarlo al menos al año 2015.

**Figura 1. Porcentaje de contribución por contaminante a cada categoría del inventario.**



Fuente: (SEMADET, 2014).

En 2008 se registraron 692 fuentes fijas cuyas emisiones contribuyeron con 48% de las emisiones de PM<sub>10</sub> y 60% de las PM<sub>2.5</sub>, de las cuales la industria de alimentos, principalmente la producción de azúcar, representaron el porcentaje más alto. También la industria química, vidriera, de pinturas y tintas, así como la metalúrgica aportan cantidades significativas. Por su parte, las fuentes de área, como las actividades de construcción, combustión de leña en hogares e incendios forestales, generan 47.8% de las PM<sub>10</sub> y 36.5% de las PM<sub>2.5</sub> (SEMARNAT, 2013).

En cuanto a la contribución de las diferentes fuentes se destacan los siguientes datos: en fuentes fijas el sector de la Industria alimenticia es el más relevante en emisiones de todos los contaminantes estimados en el inventario. Otros sectores importantes son las industrias Química (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, COV), del Cemento (PM<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>), Metalúrgica (PM<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>), del Vidrio (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>), de la Celulosa y papel (SO<sub>2</sub>) y de Pinturas y tintas (COV). En fuentes de área destacan en PM<sub>10</sub> las actividades de labranza, combustión doméstica y quemas agrícolas, en PM<sub>2.5</sub> la combustión doméstica, las quemas agrícolas y los incendios forestales, en NO<sub>x</sub> la combustión agrícola y doméstica, en SO<sub>2</sub> la combustión agrícola y en COV la combustión doméstica, el uso de solventes y el recubrimiento de superficies arquitectónicas. Es importante mencionar que en esta categorización del inventario de Jalisco no se incluye o muestra la estimación de emisiones o la contribución del sector ladrillero.

Históricamente, las fuentes de área han sido uno de los puntos débiles en la conformación de los inventarios en México, con excepción de algunas categorías que se han ido mejorando, ya sea por la creación de modelos adaptados a México o por la determinación de factores de emisión propios para el país (como el transporte y almacenamiento de combustibles líquidos o los incendios forestales),

la mayor parte de las categorías evaluadas se estiman con base en factores de emisión obsoletos (Radian, 1997) o ponderados con bases en algunos indicadores de actividad per cápita.

Los datos de consumo de leña siguen presentando una gran incertidumbre, éstos se basan en un estudio realizado en 2010 (Masera, et al., 2010) y parten de consideraciones de densidad de población, lo cual provoca que haya municipios urbanizados con altos consumos. Esta es una categoría importante en términos de emisiones de partículas y por lo tanto también de carbono negro, por lo que resulta vital recalcular o realizar un nuevo estudio para ajustar esta información.

Las categorías que involucran consumos de solventes y sus correspondientes emisiones de COV, también deben revisarse de manera puntual ya que en muchas ocasiones se desconoce la verdadera magnitud y contribución de estos sectores.

Finalmente en fuentes móviles destacan en NOx, CO y COV autos particulares (sedan) y pick-up, en PM<sub>2.5</sub> los vehículos >3 ton, los particulares y las pick-up, además de los tractocamiones.

Una de las principales fuentes de emisión de contaminantes al aire son los vehículos automotores, ya que de acuerdo al inventario estatal de emisiones para Jalisco año base 2008, esta fuente emite; entre otros contaminantes, aproximadamente el 98% del monóxido de carbono (CO) y el 58% de los óxidos de nitrógeno (NOx) (SEMADET, 2014).

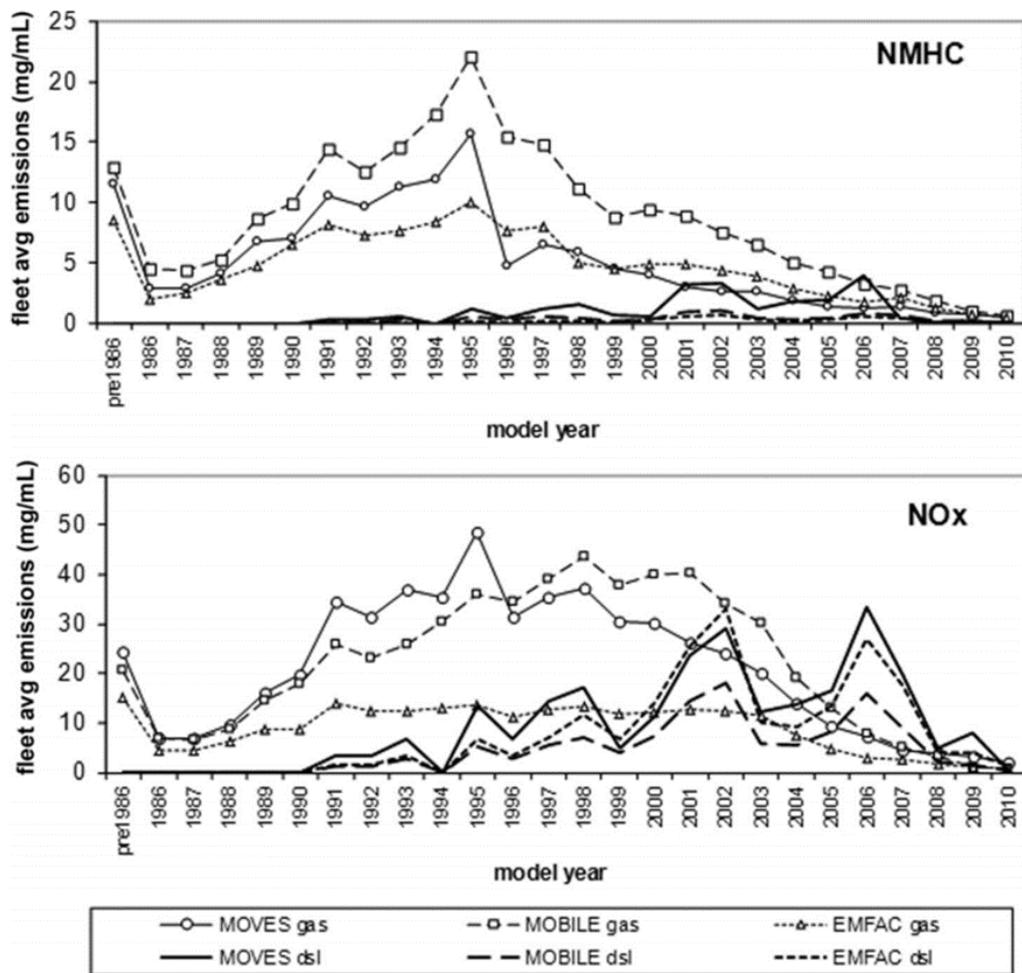
Sin embargo, la estimación de las emisión de contaminantes provenientes de las fuentes móviles requiere de una gran diversidad y detalle de la información, con la finalidad de representar con la menor incertidumbre posible factores como la cantidad de vehículos, edad, uso y características técnicas, entre otros. Entre más detalle se tenga de la información requerida, mayor será la certidumbre del inventario y la confianza que se tenga para utilizar los resultados. Normalmente se recurre a las bases de datos de las secretarías de finanzas estatales para recabar esta información, sin embargo, la mayoría de ellas no cuenta con el detalle técnico suficiente para identificar los tipos específicos de vehículos a los cuales se les pueda asociar un factor de emisión y en otros casos ni siquiera se cuenta con los campos de los datos necesarios para la caracterización vehicular, (p. ej. el año-modelo) disminuyendo así la confiabilidad de la información.

Otro de los datos relevantes para estimar la emisión de contaminantes atmosféricos de las fuentes móviles es el factor de emisión. Con la relación entre la emisión de un contaminante y de su dato de actividad (ej. distancia recorrida por tipo de vehículo o el consumo de combustible). A la fecha, para generar el factor de emisión utilizado para elaborar los inventarios nacionales y locales en México se ha utilizado el modelo MOBILE6 versión para México; sin embargo, los avances tecnológicos de los vehículos automotores hacen necesaria la actualización periódica de las herramientas de estimación de emisiones.

Bajo este contexto, actualmente está disponible en el mercado una nueva herramienta para la estimación de los factores de emisión de fuentes móviles. El nuevo modelo fue desarrollado por la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de América (U.S. EPA, 2012) y es conocido como MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator). Este modelo incluye todos los vehículos de motor en circulación y realiza estimación de emisiones para un amplio rango de contaminantes, entre los que se incluyen los contaminantes criterio, gases de efecto invernadero y contaminantes tóxicos.

Este es un aspecto muy relevante ya que con la migración al modelo MOVES para la actualización del inventario nacional de emisiones de fuentes móviles se ha demostrado que existía una sobreestimación importante de las emisiones de CO, COV y NOx así como subestimaciones en el caso de las emisiones de partículas, lo anterior se puede ejemplificar para el caso del COV y los NOx con la siguientes figuras, en la que se muestran los resultados de simulaciones con ambos modelos además del modelo de emisiones vehiculares empleado en California:

**Figura 2. Variación de las emisiones de COV y NOx por año-modelo con los modelos MOBILE y MOVES, y EMFAC (California).**



Fuente: (Fujita, et al., 2012)

Es importante señalar que el inventario de emisiones de fuentes móviles del Estado de Jalisco se encuentra en actualización y se ha migrado del modelo MOBILE al MOVES por lo que se requerirá hacer un nuevo análisis de la contribución de estas fuentes una vez que las estimaciones hayan sido finalizadas.

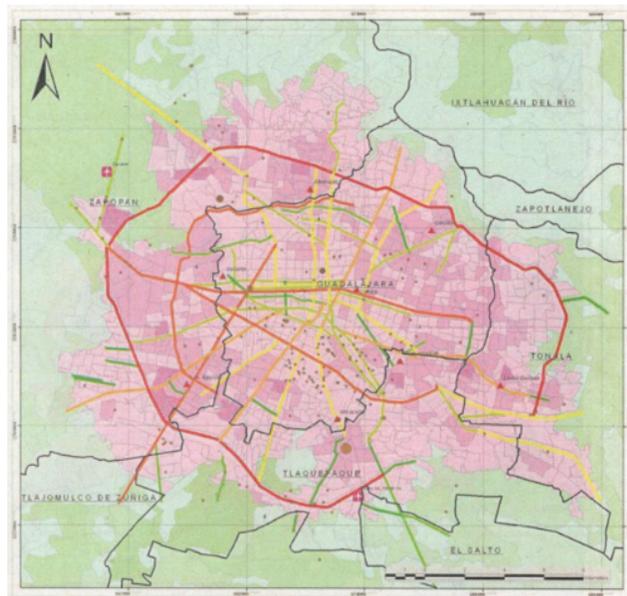
La concordancia del IE 2008 para el AMG con observaciones reales fue analizada por Kanda et al (2016) a través de un modelo químico de transporte y mediciones de COV a nivel de suelo y perfiles verticales de ozono, para determinar el régimen de formación de O<sub>3</sub> en esta zona metropolitana. A través de esta modelación Kanda et al (2016), determinaron que las emisiones de fuentes móviles estaban sobreestimadas para CO, NOx y algunos hidrocarburos. Para alcanzar una concordancia aceptable con respecto a las concentraciones de mediciones en campo, se multiplicó el inventario de fuentes móviles por un factor de 0.6 (es decir, 40% de sobreestimación). No obstante, los autores destacan la necesidad de mejorar la estimación del inventario, incluyendo los datos de vehículos registrados y los kilómetros recorridos, así como los factores de emisión para el parque vehicular local.

## Distribución espacial de las emisiones

Adicionalmente se presenta un análisis de la distribución de las emisiones en el AMG, con ello se identifican las áreas de mayor atención, puede evaluarse el rediseño de la red de monitoreo atmosférico o coadyuvar en la planeación del uso de suelo o la reubicación de las fuentes de emisión más relevantes.

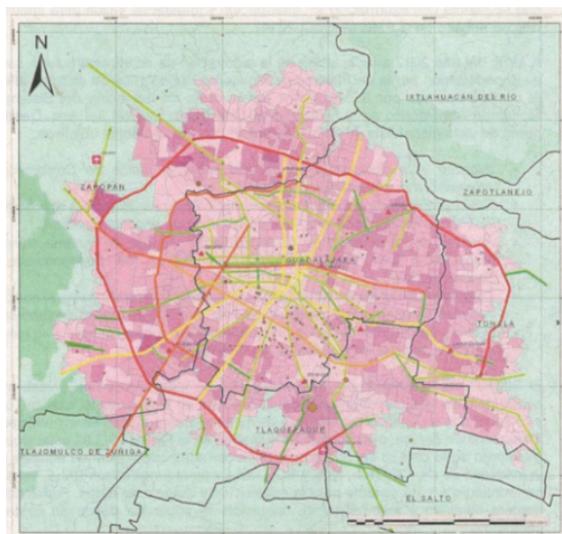
A continuación se presenta la distribución espacial de las emisiones de NO<sub>x</sub> y COV, principales compuestos responsables de la formación de ozono troposférico.

**Figura 3. Distribución espacial de NO<sub>x</sub>.**



Fuente: SEMADET, con base en datos del SIMAJ 2010.

**Figura 4. Distribución espacial de COV.**



Fuente: SEMADET, con base en datos del SIMAJ 2010.

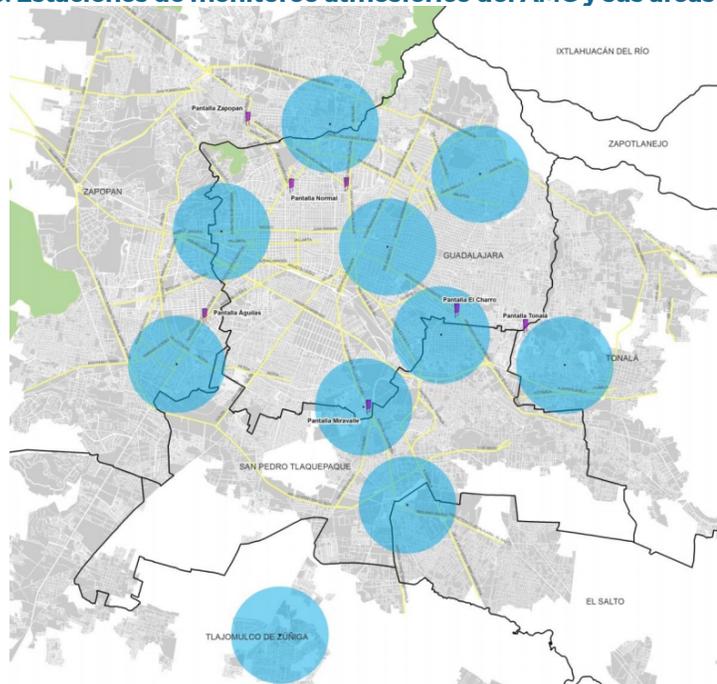
## Diagnóstico de calidad del aire e impactos a la salud

El ProAire contenía información para el año 2009, para fines de esta revisión se ha tomado en cuenta la información de Calidad del Aire del AMG proporcionada para el periodo 2015-2017.

Actualmente, el sistema de monitoreo atmosférico de Jalisco (SIMAJ), está conformado por 10 estaciones de monitoreo fijas y una estación móvil lleva a cabo la cuantificación y medición de los contaminantes que están disueltos en la atmósfera, para difundir esta información se cuenta con siete pantallas informativas que muestran los niveles de contaminación expresados en IMECA en diferentes puntos de la ciudad, un componente más es el Centro de control desde dónde se monitorea el funcionamiento de los equipos analizadores, se planea el mantenimiento de las estaciones y calibración de equipos, y se supervisa el almacenamiento de datos, con el fin de que éstos sean de calidad, suficientes y procesados para comunicarlos cada hora en el portal oficial. El SIMAJ cuenta con información histórica válida desde 1995.

Las diez estaciones de monitoreo atmosférico analizan las concentraciones de 5 contaminantes criterio (ozono, partículas, monóxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno) y 5 parámetros meteorológicos (dirección y velocidad de vientos, precipitación, radiación total; en el caso de las pantallas informativas muestran la información del índice IMECA actualizado cada hora registrado en cada una de las estaciones de monitoreo atmosférico distribuidas en el AMG.

**Figura 5. Estaciones de monitoreo atmosférico del AMG y sus áreas de influencia.**



Fuente: SEMADET.

El área de influencia de cada una de las estaciones que conforman el SIMAJ se describe de manera más detallada en la siguiente tabla:

**Tabla 2. Área de influencia de las estaciones de monitoreo.**

<b>Estación</b>	<b>Municipios en el área de influencia de la estación</b>
Centro	Guadalajara
Vallarta	Zapopan y Guadalajara
Atemajac	Zapopan y Guadalajara
Oblatos	Guadalajara
Tlaquepaque	San Pedro Tlaquepaque y Guadalajara
Loma Dorada	Tonalá y Guadalajara
Las Pintas	El Salto, san Pedro Tlaquepaque y Tlajomulco de Zúñiga
Las Águilas	Zapopan, Guadalajara y San Pedro Tlaquepaque
Miravalle	Guadalajara y San Pedro Tlaquepaque
Santa Fe	Tlajomulco de Zúñiga, San Pedro Tlaquepaque y El Salto

Fuente: SEMADET, 2018.

El AMG es uno de los principales centros económicos del país en donde se genera parte importante de la riqueza. En esta demarcación se concentra alrededor del 4% de la población total del país. Al igual que la ZM del Valle de México, la ciudad de Guadalajara y sus municipios conurbados han experimentado la transición progresiva de sus actividades económicas en la última década, pasando de ser una economía rural a una industrial, y de bienes y servicios (SEMADET, 2014).

El crecimiento que ha tenido la población en esta zona ha sido exponencial. Esto se debe a que desde la segunda mitad del siglo pasado, la ciudad de Guadalajara y sus alrededores se convirtieron en una zona industrial y comercial muy importante, a tal nivel que ahora es considerada como una de las tres ciudades más grandes del país, junto con la Zona Metropolitana del Valle de México y la Zona Metropolitana de Monterrey.

De acuerdo a datos obtenidos del INEGI, el censo de población y vivienda del año 2010 arrojó como resultado que la población en la Zona Metropolitana de Guadalajara en 1990 (la suma de los habitantes de cada uno de los municipios que la conforman) era de 3,003,868. Veinte años más tarde, la población ya había aumentado a 4,434,877 habitantes, es decir, el incremento fue de casi un millón y medio de personas en escasas dos décadas. Para 2017 se estima que la población del AMG es de 4,980,756 habitantes, las cuales representan poco más el 60% de la población del Estado (IIEG, 2017).

Con respecto a la población total del Estado, se estima que en 2017 alcanzó 8,061,728 habitantes (IIEG, 2017) y se prevé que ésta continúe aumentando en las

décadas futuras, alcanzará en 2020 un estimado de 8,363,277 personas con una tasa de crecimiento de 0.97 por ciento anual; en 2030 llegará a 9,102,259 habitantes con un ritmo de crecimiento menor, 0.73 por ciento anual (INEGI, 2014). Jalisco aporta aproximadamente 6.3% del PIB nacional; el comercio, transporte y almacenamiento de bienes y servicios son las actividades económicas que más aportan a la riqueza del estado. En segundo lugar se encuentran la industria de la construcción, la alimentaria de las bebidas y tabaco, así como la producción de derivados del petróleo y del carbón, las industrias químicas, y del plástico y hule, y la de maquinaria y equipo. Esta intensidad económica se ha vinculado con el aumento de emisiones contaminantes que deterioran la calidad del aire de esta zona. El aumento de la población y de las emisiones de contaminantes del aire han traído como consecuencia impactos importantes en la salud de la población como el aumento de la mortalidad prematura causada por las enfermedades cardiovasculares y respiratorias, relacionadas con la exposición crónica a las partículas suspendidas. Estos impactos tienen, a su vez efectos, económicos que son absorbidos por los gobiernos, y en último término por la sociedad en su conjunto.

Los principales problemas persistentes de calidad del aire, según la información histórica, son por altas concentraciones de ozono ( $O_3$ ) y  $PM_{10}$ . Las concentraciones de partículas  $PM_{10}$  han permanecido por arriba del límite anual de la norma oficial mexicana (NOM), y en consecuencia, del recomendado por la OMS durante los últimos años. De los eventos de pre contingencia y contingencia de los últimos años, la mayoría han sido activados por las altas concentraciones de partículas, lo anterior favorecido por la presencia de condiciones meteorológicas asociadas principalmente a la temporada invernal (inversión térmica), que inciden en la permanencia de contaminantes en la atmósfera.

Por otra parte, los niveles de ozono siguen siendo altos durante la época seca caliente, principalmente en la primavera por la alta radiación solar que favorece la formación de este contaminante. El ozono a nivel del suelo se forma cuando los compuestos orgánicos volátiles (COV) se combinan con óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) en presencia de la luz solar y calor. En particular, en 2011, en Guadalajara se registraron algunos de los valores más elevados de concentración de  $O_3$  en Latinoamérica (Clean Air Institute, 2013). Un comparativo del estado de la calidad del aire en el AMG durante los últimos tres años se presenta a continuación:

**Tabla 3. Comparativo de calidad del aire en el AMG en el periodo 2015-2017.**

Parámetro	2015		2016		2017	
Días transcurridos en el año	365		366		365	
Días en que se cumple la NOM de calidad del aire (menor o igual a 100 puntos IMECA)	251		226		219	
Días con mala calidad del aire (mayor de 100 y menor o igual a 150 puntos IMECA)	109		129		133	
Días con muy mala calidad del aire (mayor de 150 y menor o igual a 250 puntos IMECA)	5		11		13	
Días con extremadamente mala calidad del aire (mayor de 250 puntos IMECA)	0		0		0	
IMECA máximo registrado a la fecha	Contaminante	163 (PM <sub>10</sub> )	Contaminante	184 (PM <sub>10</sub> )	Contaminante	219 (O <sub>3</sub> )
	Estación	Las Pintas	Estación	Santa Fe	Estación	Tlaquepaque
	Fecha	25-12-2015	Fecha	20-02-2016	Fecha	12-06-2017
	Hora	06:00	Hora	06:00	Hora	17:00
	Pre contingencias atmosféricas:	17	Pre contingencias atmosféricas:	39	Pre contingencias atmosféricas:	51
Episodios de mala calidad del aire	Contingencias atmosféricas Fase I:	4	Contingencias atmosféricas Fase I:	7	Contingencias atmosféricas Fase I:	17
	Contingencias atmosféricas Fase II:	0	Contingencias atmosféricas Fase II:	0	Contingencias atmosféricas Fase II:	1
	Contingencias atmosféricas Fase III:	0	Contingencias atmosféricas Fase III:	0	Contingencias atmosféricas Fase III:	0
	<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>Total</b>	<b>46</b>	<b>Total</b>	<b>69</b>

Fuente: SEMADET, 2018.

Los continuos episodios de contaminación del aire en el AMG se han convertido en el principal problema ambiental que aqueja a los habitantes del AMG y es por consiguiente un importante problema de salud pública.

Las evaluaciones económicas de los impactos de esta contaminación atmosférica en la población deberían ser un elemento fundamental en la toma de decisiones de la política ambiental local. En este sentido, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) evaluó en 2014 los impactos en la salud (es decir, muertes prematuras)<sup>1</sup>, para el año base 2010, que se evitarían si se cumplieran los

<sup>1</sup> Las muertes prematuras o evitables son aquéllas que podrían evitarse en el año de estudio (2010) si se cumpliera con la normatividad nacional o internacional, de acuerdo con los escenarios considerados en el análisis.

límites marcados en las normas mexicanas e internacionales de calidad del aire para partículas  $PM_{2.5}$  en el AMG. Asimismo, se calculó el valor monetario de estos casos evitados, de manera que puedan ser comparados con los costos de cumplir con estas normas (INECC, 2014). Es oportuno mencionar que las estimaciones de los impactos en la salud se realizaron para el año base 2010 porque en este año se dispuso de la información más desagregada de la población, esto es, a nivel de Área Geoestadística Básica (AGEB) del más reciente Censo General de Población y Vivienda de México, realizado en ese mismo año. La metodología empleada para la estimación de los impactos en la salud se basó en el análisis de riesgos ambientales (INE, 2010). En el procedimiento de monetización de los casos de mortalidad prematura se utilizó el valor estadístico de una vida (VEV) ajustado por ingreso para México, de estudios de disponibilidad a pagar de Estados Unidos de América (Kochi, et al., 2006).

En el AMG se obtendrían beneficios económicos por aproximadamente 8 mil millones de pesos si se respetarán las normas recomendadas por la OMS, mientras que si se cumpliera con las NOM se alcanzarían beneficios económicos de 6 mil mdp.

En cuanto a los casos de mortalidad evitables estimados, si las concentraciones de  $PM_{2.5}$  cumplieran con los límites de la NOM o la OMS se evitarían, respectivamente: 301 y 394 casos de mortalidad prematura en adultos mayores de 30 años. El mayor número de casos de mortalidad evitables se debe a enfermedades cardiovasculares, seguido de las enfermedad pulmonares obstructivas crónicas (EPOC) y por cáncer de pulmón.

# Objetivos y Estrategias

El programa contempla cinco ejes estratégicos y 35 medidas con sus acciones específicas. Cada medida está descrita y presenta un cronograma de implementación, identificación de actores responsables, e indicadores de cumplimiento.

<b>I. Reducción de emisiones a la atmósfera</b>
<p>Es el eje que incluye a la mayoría de las medidas (20), destacando: Promover movilidad integral (Plan Maestro de Movilidad Integral debería haberse publicado en 2012), impulsar líneas de transporte público masivo (SIETUR y Macrobús), un programa de detención y retiro de vehículos contaminantes (que debería operar desde 2012), verificación y mejora de prácticas operativas del transporte pesado, renovación y retroadaptación de flotas privadas y de uso intensivo, autorregulación y auditoría de industria (Industria Limpia, PLAC), impulsar que industrias usen combustibles limpios y de bajo azufre (UBA, azufre &lt; 0.05%), convenios con la industria papelera para reducir SO<sub>2</sub>, convenios con industria vidriera y química para reducir COV y partículas, convenios con ingenios azucareros para reducir emisiones, regular uso de pinturas base solvente, promover equipos eficientes en la cocción de alimentos en establecimientos, regular ladrilleras y programa de mejores prácticas (incluye norma técnica estatal y reubicaciones), control de vapores en TAD de PEMEX y estaciones de servicio (incluía hacer una Norma Estatal, convenios con PEMEX y distribuidores, programas de inspección, etc.), reducir emisiones por quemas agrícolas, forestales y de RSU (incluía hacer normas técnicas estatales), regular extracción en bancos de materiales (incluía creación de norma) creación de una Norma Ambiental Estatal de límites de emisión para vehículos, que fuese más estricta que las NOM-042 y NOM-044 (se pretendía publicar en 2017).</p> <p>Actores relevantes: SEMADET, Secretaría de Movilidad, SEFIN, SEPAF, SEDER, PROEPA y federales (SEMARNAT-INECC, PROFEPA, SENER, SAGARPA, SHCP y PROFECO), Municipios, PEMEX, gasolineras y estaciones de servicio, Cámaras de la industria del azúcar, productores de caña, universidades y centros de investigación.</p>
<b>II. Gobernanza</b>
<p>Incluye 2 medidas, destacando: la implementación del programa de Transporte Escolar estatal y el fortalecimiento de los esquemas de inspección y vigilancia de la industria.</p> <p>Actores relevantes: SEMADET, Secretaría de Movilidad, SEJ, CEIT, Municipios</p>
<b>III. Fortalecimiento institucional</b>
<p>Incluye 8 medidas, destacando: la instrumentación del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC) estatal (debería operar desde 2014), crear el Sistema de Información Estatal de Emisiones Industriales (incluye diseño de COA estatal, debería operar desde 2015), instrumentar RETC municipal, actualizar el Plan de Contingencias Atmosféricas (incluía homologar índices de calidad del aire mediante NAE), actualizar el programa estatal de educación ambiental, desarrollar capacidades para generar pronóstico de calidad del aire (modelación), asegurar el funcionamiento y la ampliación del SIMAJ y establecer el Comité Núcleo para el ProAire.</p> <p>Actores relevantes: SEMADET, Municipios, PROEPA, SEJ, SSJ, SEMARNAT-INECC, SEP, Secretaría de Salud, Cámaras de servicios, COPRISJAL, COFEPRIS, Protección Civil, universidades y centros de investigación.</p>
<b>IV. Generación y aplicación del conocimiento</b>

Incluye 3 medidas, destacando: mejorar esquemas de comunicación a la población sobre la calidad del aire, desarrollar proyectos de investigación para conocer la dinámica atmosférica de la AMG, actualizar inventario de contaminantes criterio y desarrollar inventario de tóxicos, Actores: SEMADET, SSJ, Municipios, SEMARNAT-INECC, Comité Núcleo, universidades, centros de investigación, comunidad en general

#### V. Protección a la salud de la población

Incluye 2 medidas: Expandir cobertura vegetal para reducir exposición de la población a partículas, y desarrollar Sistema de Vigilancia Epidemiológica (SVE) en materia de calidad del aire.

Actores relevantes: Municipios, SEMADET, SIOP, SSJ, COPRISJAL, universidades y centros de investigación.

En el último capítulo del documento Se identifican algunas fuentes de financiamiento federal e internacional, así como para gobiernos locales.

Una crítica que puede hacerse al ProAire es que si bien, para cada una de las medidas contenidas en esta versión revisada se presentan tablas de los contaminantes a los que va dirigida la acción, se enlistan cuáles serán mitigados pero no se incluye una cuantificación de las reducciones potenciales.

Un problema recurrente de este tipo de programas es que no se estiman los potenciales de reducción de los diferentes contaminantes y si se incluyen, muchas veces no quedan claros los fundamentos en que se sustentan dichas estimaciones. Además, una componente importantísima para la toma de decisiones es la cuestión económica, las medidas enlistadas en los ProAire normalmente se agrupan en ejes estratégicos pero no parece haber ningún criterio o ejercicio de priorización para la implementación. Por ello, sería deseable realizar un análisis costo-beneficio de las medidas propuestas, esto con la finalidad de seleccionar pocas medidas pero que éstas sean las que brinden los mejores beneficios ambientales, sociales y económicos.

También, la asignación de responsabilidades y la manera en que se reportara el avance de las medidas no son claras. Es deseable que para llevar a cabo el seguimiento de las medidas del ProAire se desarrollen indicadores de seguimiento que eventualmente sirvan para evaluar el cumplimiento de los compromisos del programa. Sin embargo, reconociendo que existe una dificultad de llevar a cabo un seguimiento sistemático debería existir una manera de sancionar, ya sea desde una ley o reglamento, el incumplimiento de las responsabilidades de los actores encargados de estas actividades.

Desafortunadamente, la mayoría de las veces los indicadores seleccionados no reflejan el impacto real de las acciones del programa, puesto que se limitan a cuestiones administrativas como, por ejemplo, registrar el número de reuniones o personas capacitadas. La falta de indicadores de seguimiento adecuados impide dar seguimiento puntual a las medidas y saber si están teniendo éxito o no, así, en

un momento dado es posible redirigir o reorientar medidas sin tener que esperar a que llegue el período de evaluación del ProAire.

## Medidas prioritarias

De acuerdo a los datos de monitoreo atmosférico, los problemas de calidad de aire en la AMG son principalmente por ozono y partículas, por tal motivo, las principales acciones del ProAire en el AMG deben ir dirigidas a atacar estos contaminantes. En el caso del ozono, la regulación de las emisiones de compuestos precursores NOx y COV, especialmente estos últimos puede traer impactos muy positivos a la calidad del aire.

Después de haber llevado a cabo una revisión de las medidas en curso del ProAire, se han seleccionado aquéllas con los mayores potenciales de disminución de la contaminación y se han incluido otras que pueden contribuir a mejorar la calidad del aire del AMG en el corto, mediano y largo plazo.

## Medida 1:

### Recuperación de vapores de gasolinas en TAD y estaciones de servicio

Los productos derivados del petróleo (particularmente las gasolinas), contienen una amplia variedad de compuestos orgánicos volátiles (COV). Debido a sus bajos puntos de ebullición, los COV se pueden emitir rápidamente a la atmósfera y contaminar el aire.

En las Terminales de Almacenamiento y Distribución (TAD) y las estaciones de servicio, el combustible se almacena y transfiere entre camiones cisterna, tanques de almacenamiento y tanques de vehículos. Durante el almacenamiento y la transferencia, una pequeña fracción del combustible normalmente se libera en el medio ambiente a menos que se utilice tecnología de control de emisiones. Si bien la fracción puede ser pequeña, la liberación acumulativa puede ser sustancial debido a las grandes cantidades de combustible vendido.

El rellenado de tanques subterráneos de almacenamiento de gasolina y el llenado de tanques cisterna de combustible conducen al desplazamiento del vapor de gasolina. Este vapor se libera en la atmósfera a menos que se capture de otra manera. Contiene benceno, xileno, tolueno y otros Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) que contribuyen a la contaminación atmosférica local, regional y mundial además de que muchas de estas sustancias son cancerígenas.

En Jalisco están en funcionamiento dos terminales de almacenamiento y distribución de combustibles (TAD) de Petróleos Mexicanos (Pemex) en la zona de occidente. Se trata de la TAD El Castillo, que cuenta con una capacidad de 345,000 barriles. Esta terminal se ubica en el municipio El Salto, Jalisco, y cuenta con 101 a 250 personas laborando.

La segunda es la terminal es la de Zapopan con capacidad de 390,000 barriles para el trasvase y almacenamiento de hidrocarburos.

**Tabla 4. Características de las TAD ubicadas en el Estado de Jalisco.**

Nombre TAD	Refinería de abastecimiento	Ubicación	Capacidad nominal (barriles)	Capacidad operativa (barriles)	Tanques
El Castillo	Salamanca por medio de ducto	El Salto, Jalisco	345,000	220,593	8
Zapopan	Salamanca por medio de ducto	Zapopan, Jalisco	390,000	281,225	8

Fuente: (SENER, 2017).

La ubicación de ambas terminales se ilustra en el siguiente mapa:

**Figura 6. Localización de las TAD ubicadas en el Estado de Jalisco.**



Fuente: (PEMEX, 2017).

La recuperación de vapores de gasolina, consiste en la recuperación principalmente de los COV, son sistema utilizado para capturar las emisiones de reabastecimiento de combustible transportando en forma de vapor de nuevo al tanque y recogéndolo durante el suministro de combustible a la instalación de dispensación de gasolina. Puede variar pero los sistemas logran recolectar al menos el 95% de las emisiones en las instalaciones de dispensación de gasolina durante los descensos de gasolina (Georgia Environmental Protection Division, 2018).

Está perfectamente documentado que los COV son precursores clave del  $O_3$  (Cardelino & Chameides, 1995). En particular las emisiones de COV de toda la cadena de distribución de combustibles son muy relevantes pues se trata de compuestos fotoquímicamente muy reactivos.

Para el año 2016 se estima que las emisiones de COV provenientes de las TAD y las gasolineras fueron de aproximadamente 9,400 toneladas en el estado de Jalisco, Por ello, la distribución de combustible se considera como un área de alto potencial de reducción de emisiones. Las tecnologías para reducir estas emisiones se han desarrollado para toda la cadena de distribución, desde terminales de almacenamiento, pasando por las pipas, hasta las estaciones de servicio y durante el despacho de combustible.

A diferencia de otros países como Estados Unidos donde la Clean Air Act dicta las regulaciones que debe haber para las diferentes fuentes de emisión de COV, en

México, la ausencia de normativas que regulen estas emisiones ha impedido una gestión más efectiva del problema del ozono en las grandes ciudades mexicanas. En la medida en que pudieran regularse estas emisiones, se proporcionarían beneficios inmediatos de protección de la salud al reducir exposición personal a sustancias tóxicas en vapores de gasolina como el benceno y desde luego disminuir los episodios de contingencias por ozono en el AMG. La recomendación sería elaborar una norma ambiental estatal para regular al menos los sistemas de las fases 1 y 2.

El proceso de recuperación de vapores se divide en 3 fases, denominadas fase 0, 1 y 2. En México, para el control de las emisiones de la fase 0 se emitió en noviembre de 2016 la NOM-EM-003-ASEA-2016, Especificaciones y criterios técnicos de Seguridad Industrial, Seguridad Operativa y Protección al Medio Ambiente para el Diseño, Construcción, Pre-Arranque, Operación y Mantenimiento de las instalaciones terrestres de Almacenamiento de Petrolíferos, excepto para Gas Licuado de Petróleo, esta NOM de emergencia estuvo vigente hasta mayo de 2017 y actualmente se encuentra en revisión el proyecto de norma PROY-NOM-006-ASEA-2017, Especificaciones y criterios técnicos de seguridad industrial, seguridad operativa y protección al medio ambiente para el diseño, construcción, pre-arranque, operación, mantenimiento, cierre y desmantelamiento de las instalaciones terrestres de almacenamiento de petrolíferos y petróleo, excepto para gas licuado de petróleo, que una vez que se encuentre vigente regulará las actividades en las TAD incluyendo los sistemas de recuperación de vapores.

Adicionalmente existe la NOM-EM-002-ASEA-2016, que establece los métodos de prueba y parámetros para la operación, mantenimiento y eficiencia de los sistemas de recuperación de vapores de gasolinas en estaciones de servicio para expendio al público de gasolinas, para el control de emisiones pero que no exige la instalación de equipos de recuperación de vapores y sólo aplica a los sistemas en las estaciones de servicio para expendio al público de gasolinas, ubicadas en las delegaciones y municipios incluidos en el Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas aplicable a la Zona Metropolitana del Valle de México. A continuación se describen brevemente los sistemas que deberían incorporarse en cada una de las fases que componen la cadena de distribución de combustibles.

## Fase 0:

### **Control de hidrocarburos de las terminales de carga de gasolina de camiones cisterna**

La denominada fase 0 consiste en la instalación de accesorios y dispositivos para la recuperación y control de las emisiones de vapores de gasolina del autotanque o pipa de vuelta a la terminal de almacenamiento y distribución.

Las terminales de almacenamiento de gasolina son una fuente importante de COV. Los COV son desplazados a la atmósfera durante la operación de llenado de las pipas. En esta etapa las emisiones también se pueden producir en; los tanques de almacenamiento y puntos a lo largo del sistema de captación, entre los más destacados. La carga de gasolina en la pipa puede ser de relleno inferior, de chapoteo superior, de tubo de llenado sumergible o a través de escotillas en la parte superior de los camiones.

Los vapores de hidrocarburos desplazados desde los compartimientos de las pipas se ventilan directamente a la atmósfera o al sistema de recolección y luego al equipo de control de vapor.

## Fase 1:

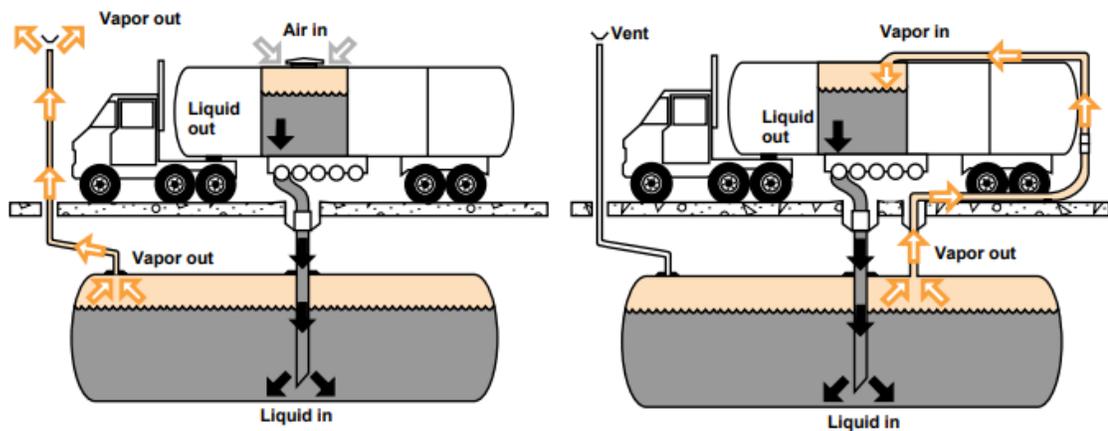
### **Recuperación de vapores**

La fase 1 de recuperación de vapores (VR1, por sus siglas en inglés) en las estaciones de servicio de gasolina se debe de limitar a las emisiones de COV resultantes de la descarga de la gasolina de un camión cisterna a los tanques de almacenamiento de la estación de servicio.

Cuando la gasolina se transfiere de un tanque de entrega a un tanque de almacenamiento subterráneo, se produce una ligera acumulación de presión en el tanque de almacenamiento subterráneo, que desplaza vapor. Los sistemas VR1 devuelven el vapor desplazado al depósito de transporte por medio de una línea de conexión unida al vapor. En la Figura 7 se muestra un sistema VR1 simple.

Para minimizar la pérdida de vapor del tanque de almacenamiento subterráneo a través del respiradero durante el llenado, las tuberías de ventilación están equipadas con un orificio de 10 milímetros. Una válvula de alivio de vacío de presión (válvula PV) está montada en paralelo, para evitar la formación de presiones peligrosas o de la formación de vacío. La válvula PV debe permanecer cerrada excepto en condiciones adversas.

**Figura 7. Etapa 1 de recuperación de vapor.**



Fuente: (Koch, 1998).

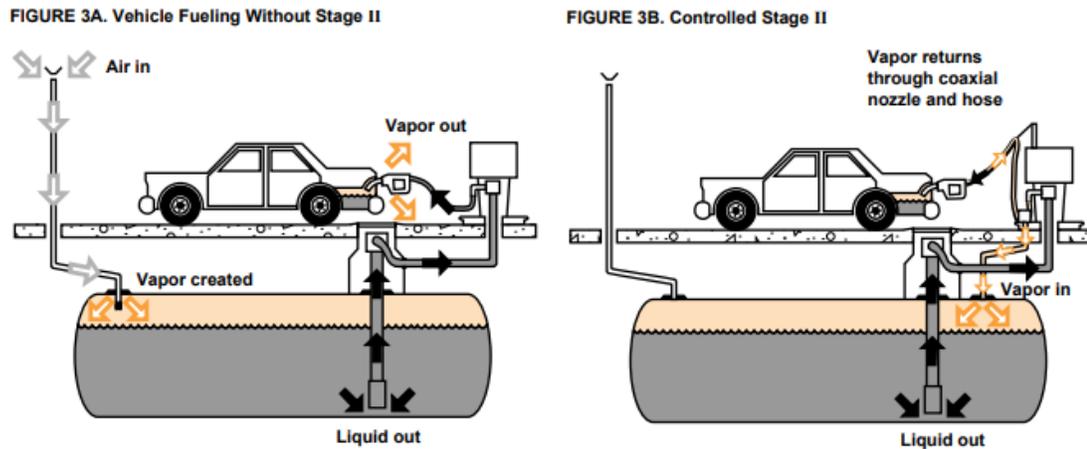
## Fase 2: Recuperación de vapores

Cuando los vehículos se reabastecen en estaciones de servicio de gasolina, el vapor en los tanques de combustible del vehículo es desplazado por el combustible. El equipo de recuperación de vapor de etapa 2 (VR2 por sus siglas en inglés) está diseñado para capturar el vapor desplazado y devolverlo al tanque subterráneo de almacenamiento de combustible u otro recipiente apropiado.

Por lo general, la manguera del dispensador de combustible contiene líneas de retorno de combustible y vapor. El vapor se extrae a través de la línea de retorno de vapor mediante una bomba de vacío. Los sistemas VR2 están destinados a limitar las emisiones de vapor de combustible cuando los vehículos reabastecen, se logra recuperar al menos el 85% del vapor desplazado. La Figura 8 muestra los principios de funcionamiento de VR2.

El equipo de recuperación de vapor necesita mantenimiento adecuado, para que la presión de vapor y operadores funcionen según lo especificado por el fabricante. Los sistemas VR2 necesitan ser probados regularmente. Las pruebas del sistema incluyen el monitoreo de la efectividad de la recuperación de vapor en el dispensador y la contención de vapor en el tanque de almacenamiento subterráneo, tubería y accesorios.

Figura 8. Recuperación de vapores de la etapa 2.



Fuente: (Koch, 1998).

## Equipos de Control de Vapor utilizados en las fases

### Fase 1

Los sistemas de recuperación de vapor de la etapa 1 (VRI, por sus siglas en inglés) deben devolver el vapor desplazado al tanque de almacenamiento a través de una línea de retorno de vapor o a una unidad de procesamiento de vapor. El Reglamento en Estados Unidos exige que cada tanque de almacenamiento subterráneo tenga:

1. Líneas de retorno de vapor: son un sistema de transferencia que devuelve todo el vapor desplazado del tanque de almacenamiento a la pipa o procesador de vapor.
2. Conexiones a prueba de vapor en la línea de vapor que cierran automáticamente cuando existe una desconexión.
3. Conexiones a prueba de líquidos en las mangueras de transferencia de líquido.
4. Acoplamientos de líquidos y vapores incompatibles.
5. Muro de contención de derrames para el punto de conexión de llenado del tanque de almacenamiento.

6. Sellos de seguridad en las tuberías de llenado del tanque y en las tuberías de retorno de vapor que minimizan las fugas de vapor cuando las tuberías no están en uso.
7. Tuberías de llenado sumergibles, deben terminar por debajo de la entrada de succión utilizada para el bombeo de gasolina fuera del tanque de almacenamiento.
8. Dispositivos de protección contra sobrellenado (válvulas de ventilación flotantes) estos dispositivos se instalan para desconectar el caudal de gasolina al nivel recomendado por el fabricante del tanque.
9. Para gasolineras nuevas, dispositivos de prevención de sobrellenado (mecánicos o eléctricos) que retrasan el suministro de gasolina en el tanque de almacenamiento a medida que el nivel del tanque se acerca al nivel de llenado del diseño; antes de que la válvula de ventilación flotante funcione.
10. Sellos de seguridad en cualquier abertura de escotilla de inmersión.
11. Válvula de vacío de presión y un orificio de 10 milímetros en paralelo montado en el tubo de ventilación del tanque de almacenamiento.

En la Tabla 5, se especifican algunos detalles para varios de los elementos más importantes del sistema:

**Tabla 5. Especificaciones para los equipos del VRI.**

Equipo	Especificaciones
Sistema de transferencia de vapor	Los camiones utilizados para suministrar gasolina a las estaciones de servicio deben estar equipados con líneas de retorno de vapor a las que esté conectado el sistema de transferencia de vapor de la estación de servicio.
Acoplamiento para la línea de retorno de vapor	Un acoplamiento en la línea de retorno de vapor que hace una conexión para vapor con la manguera de retorno de vapor en el tanque de suministro y que se cierra automáticamente cuando se desconecta
Tubería de llenado sumergible	Una tubería de llenado sumergible que termine por debajo del punto más bajo de cualquier entrada de succión utilizada para bombear gasolina fuera del tanque de almacenamiento
Dispositivo de prevención de sobrellenado	Una nueva estación de servicio de gasolina debe tener un dispositivo de prevención de sobrellenado instalado en la tubería de llenado del tanque o un sistema de suministro que reduzca la entrega de gasolina en el tanque de almacenamiento para evitar el sobrellenado.

Equipo	Especificaciones
	<p>Si el dispositivo de prevención de sobrellenado tiene alimentación eléctrica o contiene componentes electrónicos, el dispositivo de prevención de sobrellenado debe cumplir con los siguientes estándares:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Debe construirse de acuerdo con las normas de seguridad y eléctricas pertinentes</li> <li>• Debe instalarse de acuerdo con las normas de seguridad y eléctricas pertinentes.</li> </ul>
<p>Protección para el sobrellenado del tanque de almacenamiento</p>	<p>La protección para el sobrellenado del tanque de almacenamiento, comprende una válvula de ventilación flotante posicionada:</p> <p>Por encima del punto más alto de cualquier dispositivo de prevención de sobrellenado cuando se encuentra en la posición cerrada. Por lo que la válvula cierra el flujo en el tanque de almacenamiento en el nivel aconsejado por el fabricante del tanque de almacenamiento, si no hay nivel se aconseja, al 95% de la capacidad del tanque.</p>
<p>Puntos de conexión y sellos</p>	<p>Recintos de contención para derrames en el punto de conexión de llenado del tanque de almacenamiento.</p> <p>Acoplamiento en la tubería de llenado del tanque de almacenamiento que hace una conexión hermética para líquidos con la manguera de transferencia del tanque de entrega.</p> <p>Sellos de seguridad en los puntos de conexión de las tuberías de llenado del tanque y las tuberías de retorno de vapor que minimizan las fugas de vapor cuando las tuberías no están en uso activo.</p> <p>Sellos de seguridad para las aberturas en el uso de la varilla, si se proporcionan trampillas en el tanque de almacenamiento.</p>
<p>Accesorios incompatibles</p>	<p>Los accesorios en las líneas y mangueras de suministro de gasolina deben ser incompatibles con los accesorios en las líneas y mangueras de retorno de vapor para evitar la conexión incorrecta o la descarga accidental de gasolina líquida en las tuberías o tuberías de retorno de vapor</p> <p>Se debe instalar una válvula de vacío a presión y un orificio de 10 milímetros en paralelo instalado en el tubo de ventilación del tanque de almacenamiento.</p>
<p>Tubería de ventilación en el tanque de almacenamiento</p>	<p>Las válvulas de alivio de vacío a presión deben cumplir con los siguientes criterios de configuración:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El dispositivo debe ser dimensionado y pesado para permitir una liberación de emergencia de los vapores a no más del 80% de la presión máxima de diseño del tanque.</li> <li>-El dispositivo debe ser de un tipo que cumpla con los estándares, se sugiere que cumplan con los estándares publicados por Standards Australia, European Standards o United States Underwriters Laboratories (UL) y que cuente con la certificación de UL o T_V alemana o que cumpla con los criterios establecidos en California.</li> </ul> <p>Procedimiento de Certificación de la Junta de Recursos del Aire CP201 del 25 de mayo de 2006, sección 3.5.</p>

Equipo	Especificaciones
	<p>-La Válvula debe ser del tamaño y tipo y poseer las características de seguridad que una persona debidamente calificada haya recomendado.</p> <p>-Se debe de instalar de acuerdo con el consejo de una persona debidamente calificada o por personal calificado.</p> <p>-En el caso de un dispositivo instalado en una nueva estación de servicio de gasolina este debe configurarse para cerrarse cuando la presión en el tanque de almacenamiento esté entre 1 kilopascal por encima y 2 kilopascales por debajo de la presión ambiente.</p> <p>Cuando se use un dispositivo similar a un orificio de 10 milímetros en la línea de ventilación, debe contar con la certificación de una autoridad de prueba aceptada.</p> <p>Cuando se usa un dispositivo similar a una válvula de vacío a presión, debe tener configuraciones que puedan proporcionar alivio de emergencia de una presión o vacío excesivos y ventilar a una tasa de flujo volumétrico suficiente para evitar excedencias de la presión /vacío máximo de diseño del tanque en condiciones adversas. Cuando el dispositivo está en la posición cerrada, debe proporcionar un sello contra las fugas con el mismo rendimiento que el incluido en la prueba de fuga CARB TP201.1E. El dispositivo debe estar certificado por una autoridad de prueba aceptada.</p>
Unidad de procesamiento de vapor	<p>Cuando un tanque de almacenamiento está equipado con una unidad de procesamiento de vapor, ésta debe ser, antes de la puesta en marcha, certificada por el fabricante o proveedor con una eficiencia de captura de hidrocarburos de al menos 97%.</p>

En países como Estados Unidos la legislación exige que las cubiertas de todos los puntos de acceso a los tanques de almacenamiento se mantengan cerradas cuando no estén en uso.

Las líneas de retorno de vapor de gasolina no deben conectarse a los tanques de almacenamiento de gasóleo u otros tanques de gasolina.

Antes de instalar el equipo de control prescrito VR1, se debe comprobar que el tanque tiene fugas de líquido.

Después de la instalación, el sistema VR1 debe ser probado para detectar fugas de vapor (prueba de contención de vapor). El sistema VR1 se debe volver a probar para la contención del vapor cuando los componentes requeridos para asegurar la integridad de la contención del vapor se abren para reparaciones o modificaciones.

Los sistemas VR1 necesitan ser inspeccionados regularmente para evitar el bloqueo de tuberías de retorno de vapor, herrajes o rejillas de ventilación. Se debe probar la contención de vapor cada tres años y el orificio y la válvula de vacío de presión deben ser inspeccionados cada año.

El uso de monitoreo automático de la presión es altamente recomendado, la inspección del orificio y la válvula de vacío de presión y la prueba trienal para la contención de vapores no son necesarias cuando se utiliza dicho control automático.

## Fase 2

En la Tabla 6 se muestra el equipo utilizado en la fase 2 con diversas especificaciones de importancia.

**Tabla 6. Especificaciones para los equipos del VR2.**

Equipo	Especificaciones
Sistema de recuperación de vapor	<p>Se debe instalar un sistema de recuperación de vapor en el dispensador de gasolina. Antes de la puesta en marcha, el sistema de recuperación de vapor debe estar certificado por el fabricante o el proveedor como del siguiente tipo y la eficiencia de captura de hidrocarburos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Un dispositivo de recuperación de vapor Etapa 2</li> <li>-Con una eficiencia de captura de hidrocarburos de no menos del 85% de recuperación de vapor a líquido dispensado por volumen.</li> </ul> <p>Se debe instalar de acuerdo con las especificaciones del fabricante por una persona debidamente calificada</p> <p>Antes de la puesta en servicio, debe ser probado por una persona debidamente calificada.</p>
Sistema de control automático (obligatorio para estaciones de servicio con un rendimiento anual de más de 7 millones de litros en Ca, EUA)	Los sistemas de monitoreo automático deben proporcionar una indicación visual del estado operacional de cada punto de abastecimiento de combustible.

# Acondicionamiento para las pipas

El equipo necesario para que las pipas se adapten para que funcionen correctamente dentro de un sistema de recuperación de vapores se divide en 5 categorías:

1. Piezas de carga para la parte superior de la pipa: En esta categoría se catalogan desde escotillas de boca y desagües de recuperación de vapor hasta accesorios de inmersión y tubos de llenado.
2. Sistemas de sobrecarga para pipas: consisten en enchufes para las pipas, sonda de sobrellenado, monitor de medición o probador del sistema de sobrellenado.
3. Contadores, y dispensadores para pipas.
4. Piezas de carga de la parte inferior de la pipa: En esta categoría se incluyen acoplamientos, adaptadores y accesorios API, bobinas estáticas, cajas de control neumáticas y acopladores de adaptadores de vapor entre otros).
5. Accesorios: se trata de adaptadores de salida, válvulas de mariposa, correderas, mangueras y carretes de mangueras, filtros y anteojos.

En la Figura 9, se muestran las partes necesarias que se incluyen en las 5 categorías para la adaptación de pipas para un equipo de recuperación de carga inferior. En la Figura 10 los dispositivos eléctricos de monitoreo para mantener la seguridad y medir los fluidos.

**Figura 9. Equipo necesario para recuperación de vapores de carga inferior.**



Fuente: (Liquip Victoria, 2017).

**Figura 10. Equipo eléctrico para pipas (Dispositivos de monitoreo, seguridad y medición de fluidos).**



Fuente: (Liquip Victoria, 2017).

# Sistema de emergencia en las gasolineras y tratamiento de COV por diferentes tecnologías.

Un sistema de alivio es un sistema de emergencia para descargar los vapores durante condiciones anormales de funcionamiento, por medios manuales o controlados o por una válvula de alivio de presión automática desde un recipiente presurizado o un sistema de tuberías a la atmósfera o a un equipo de control para aliviar presiones que exceden la presión de trabajo máxima permisible.

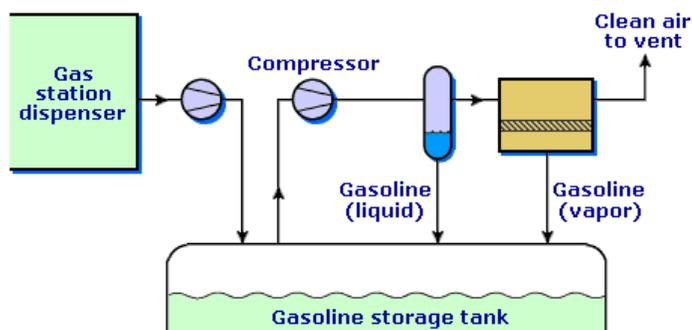
Dentro de las tecnologías que se utilizan para el control de COV, destacan:

## Tecnología de membranas

Las estaciones de gasolina dependen de sistemas de dispensación asistidos por vacío para minimizar la liberación de vapores de hidrocarburos a la atmósfera. Estos sistemas usan una bomba pequeña para extraer el aire y los vapores de la boquilla dispensadora de gasolina. Por cada litro de gasolina dispensado desde la bomba, se devuelven hasta 2 litros de aire y vapor de gasolina al tanque de almacenamiento. La acumulación de aire en el tanque conduce a emisiones atmosféricas.

Un sistema de recuperación de vapor de membrana para tanques de almacenamiento de combustible de las estaciones minoristas de gasolina puede recuperar los vapores de gasolina y los devuelve al tanque de almacenamiento. Las emisiones de hidrocarburos se reducen entre un 95% y un 99%.

**Figura 11. Funcionamiento de un sistema de recuperación de vapor de membrana para tanques de almacenamiento de combustible.**



Fuente: (MTR, 2017)

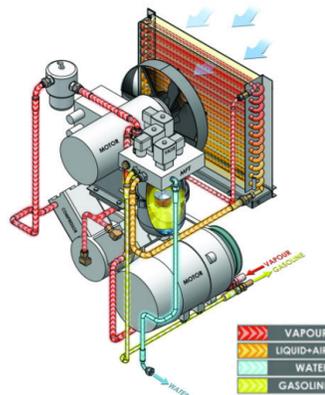
El aire del dispensador de la gasolinera se recoge y se envía al tanque de almacenamiento de gasolina. Cuando la presión en el tanque alcanza un valor preestablecido, un interruptor de presión activa un pequeño compresor que extrae el exceso de aire cargado de vapor. Una parte de los vapores de

hidrocarburos se condensa y se devuelve al tanque como un líquido. Los hidrocarburos restantes impregnan la membrana y se devuelven al tanque como vapor concentrado. El aire, despojado del 95% al 99% de los hidrocarburos, se ventila (ver Figura 11). Además de eliminar las emisiones de hidrocarburos, la unidad se amortiza con el valor de la gasolina recuperada.

### Oscilador Térmico

En este sistema, el vapor entra a través de la manguera y después de ser filtrado, se canaliza al compresor. El vapor se presuriza dentro del compresor, con un aumento de temperatura resultante. Luego se conduce al intercambiador de calor, donde se enfría debido al aire que sopla procedente del ventilador, originando la condensación del vapor. Como resultado del proceso de condensación, uno obtiene no solo gasolina en fase líquida, sino también agua y aire. Este compuesto se dirige al MFT (tanque multifunción) donde ocurre la separación. Como el agua tiene una mayor densidad, permanece en la parte inferior de la MFT, lo que permite que la gasolina se eleve. Para una separación completa de estos dos productos hay un filtro que permite la succión de la gasolina y evita el paso del agua. El aire dentro de la cámara se apaga. Finalmente, se obtiene gasolina en estado puro, que se devuelve a su origen (ver Figura 12).

Figura 12. Funcionamiento de un oscilador térmico.



Fuente: (Petrotec, 2008).

### Dentro de los beneficios de este sistema se encuentran:

- Evita el desarrollo de sobrepresión en tanques, un problema común con otros sistemas de recuperación de vapor.
- Reduce la condensación en los tanques, ya que la condensación de los tanques propios de los vehículos no se filtra en los tanques de las bombas (el sistema recicla y separa la gasolina del agua).
- Aumenta la flexibilidad en la gestión de la estación de servicio, permitiendo que los tanques se cambien más fácilmente a la distribución de gasolina o diésel.
- Reduce enormemente el costo de instalación de sistemas de recuperación de vapor de gasolina.
- El vapor de gasolina se recupera como gasolina líquida vendible, a razón de 1 litro de gasolina a partir de 1000 litros de vapor recuperado.

- El sistema se instala directamente en el dispensador sin la necesidad de una excavación sustancial u obras subterráneas.

### **Tecnología de adsorción/absorción con lechos de carbón activo**

El sistema básico de la unidad de recuperación de vapores está compuesto de un proceso de adsorción oscilante de presión (PSA en inglés) con dos reactores de carbón activo que se alternan en un ciclo de 15 minutos de duración. La regeneración de los reactores de carbón se lleva a cabo principalmente mediante la evacuación del depósito por una bomba de vacío de anillo líquido de 2 etapas, a una presión de -930 mbar y posteriormente con una purga de aire ambiente introducido en el reactor de forma controlada durante el último 25% del ciclo del reactor.

**Figura 13. Unidad de recuperación de vapores, compuesto de un proceso de adsorción oscilante de presión con dos reactores de carbón activado.**



Fuente: (Prematecnica, 2017).

Todo el producto recuperado por el sistema es bombeado de vuelta al tanque de almacenamiento donde la gasolina líquida enriquecida puede dispersarse por éste, causando con ello cambios mínimos en las características del producto final.

# Costos asociados a la implementación de sistemas de recuperación de vapores

## Costo de implementación de la fase 1

La recuperación de vapor de etapa uno reduce las emisiones de COV al volver a llenar los tanques en un 95% o más.

Además de ser efectivo para reducir las emisiones de COV que afectan las concentraciones de ozono en un región, el equipo de recuperación de vapor de la etapa uno reduce efectivamente las emisiones de compuestos tóxicos tales como benceno. Estas reducciones de emisiones afectan la concentración de estos contaminantes en el área y, quizás más importante, en las inmediaciones de la estación de servicio de gasolina.

El costo de instalar un sistema de recuperación de vapor de etapa uno puede ser tan poco como USD\$ 1,050 para una estación con tres tanques de almacenamiento con acceso adecuado a tan alto como USD\$ 15,000 si una cantidad extraordinaria de trabajo es necesario (por ejemplo, se debe eliminar mucho concreto y luego volver a verterlo). Un costo típico de reacondicionamiento de una estación de servicio que incluye algunos trabajos de concreto es de aproximadamente USD\$ 10,000. Usando metodologías de costos desarrolladas por la U.S. EPA, si se aplica un costo de modernización de USD\$ 15,000 y amortizado a lo largo de veinte años a una tasa de descuento anual del 10%, el costo anualizado es de USD\$ 1,762.50. Si el costo de reacondicionamiento es de USD\$ 1,050 y se amortiza en el mismo período a la misma tasa, el costo anualizado es de aproximadamente USD\$ 123.38 (Minnesota Pollution Control Agency, 2001). Utilizando las estimaciones de rendimiento y costo indicadas anteriormente, el costo amortizado para reducir las emisiones de COV oscila entre USD\$ 18.98/t COV a USD\$ 705/t COV.

## Costo de implementación de la fase 2

Basado en el factor de emisión de pérdida de respiración del tanque publicado en el AP-42 de 120 g de COV/1000 litros de gasolina vendidos, el requisito de mantener un sistema hermético de contención de vapores demostrado mediante el uso de un monitor de presión continuo (Continuous Pressure Monitor CPM) podría reducir 225 toneladas de emisiones de COV o más por año. Según la información del proveedor, el costo del CPM es de aproximadamente USD\$ 5,000 e incluye un sensor de presión, una consola, software de detección de fugas y un indicador de tanque automático. Hay que tener en cuenta que la necesidad de una consola y un indicador automático de tanque son independientes del requisito de CPM (es decir, se necesitan con o sin un CPM).

El uso de un sistema de CPM elimina la necesidad de una prueba anual de disminución de presión. El costo promedio de esta prueba es de USD\$ 1,000. Dado lo anterior, el requisito de instalar y operar un CPM contra el requisito de llevar a cabo una prueba anual de reducción de presión da como resultado una recuperación de la inversión en unos cinco años. Un beneficio adicional para las estaciones es que no tienen que cerrar durante la aplicación de la prueba.

Con un sistema de tanque hermético de vapor, las emisiones pueden ocurrir como resultado de la ventilación debido a la alta presión. Bajo un enfoque convencional la ventilación puede ocurrir durante 1.2 horas por día, resultando emisiones de 490 g/día, lo anterior tomando las siguientes condiciones de referencia:

- 1) Los tanques de 38,000 litros están medio llenos de producto,
- 2) 3 tanques como parte de un sistema de tanque múltiple,
- 3) Los tanques son herméticos al vapor,
- 4) La temperatura promedio es 20°C,
- 5) El espacio está al 46% de saturación al comienzo de la ventilación.

Considerando la emisión de 490 g/día, y una ventilación durante 1.2 horas/día equivale a 0.18 toneladas COV/año. A un costo de capital de USD\$ 12,000 para los controles de manejo de la presión (absorbente de carbono) con una vida útil de 20 años y una tasa de interés supuesta de 7%, el costo anualizado es de aproximadamente USD\$ 1,128/año. Por lo tanto, la relación costo-beneficio es  $1,128 / 0.18 = \text{USD\$ } 6,266 / \text{ton COV}$ . Si el tiempo de ventilación se duplica por día, o la tasa de aumento de presión se duplica a 2 "/ hora, luego el costo se reducirá a la mitad por tonelada de emisiones reducidas (Delaware Division of Air Quality, 2014).

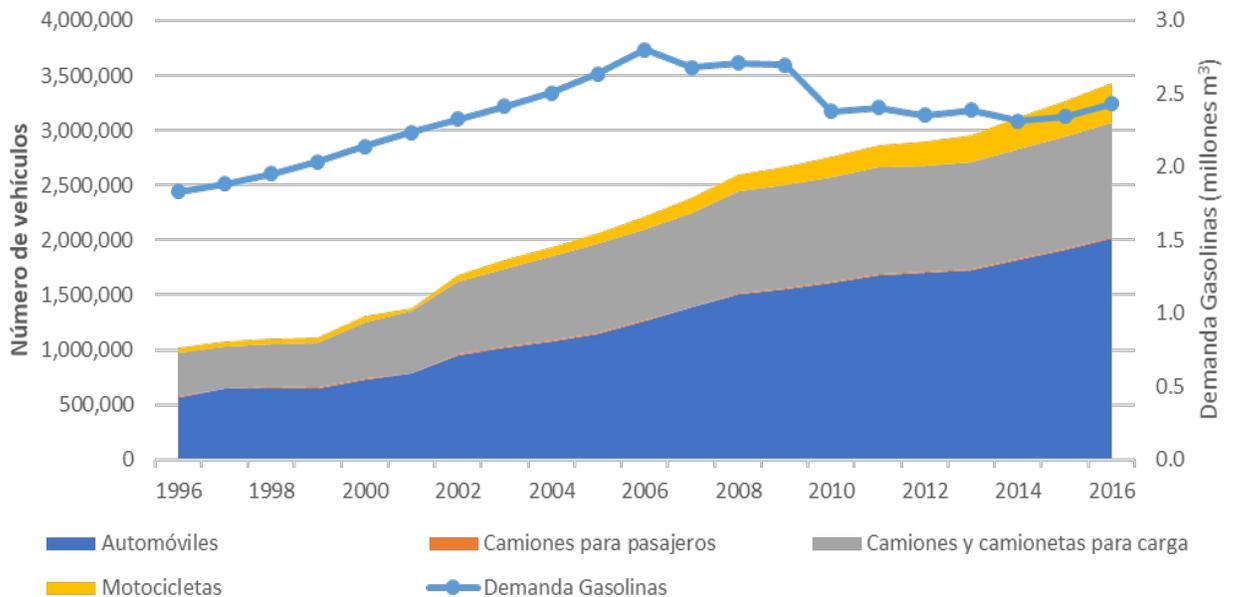
## Medida 2:

### Programa de Verificación Vehicular Obligatorio

#### Antecedentes

Como resultado de los procesos demográficos y de urbanización, el parque vehicular en el estado Jalisco se ha incrementado en alrededor de tres veces en las últimas dos décadas, con una flota cercana a los 3.5 millones de vehículos en 2016 (Figura 14). En este mismo período la demanda de gasolinas automotrices del estado ha pasado de 1.8 a 2.4 de millones de m<sup>3</sup> anuales, con un máximo de 2.8 millones de m<sup>3</sup> en el 2006 (Figura 14) y un consumo casi constante desde 2010, a pesar del continuado incremento del parque vehicular de la entidad.

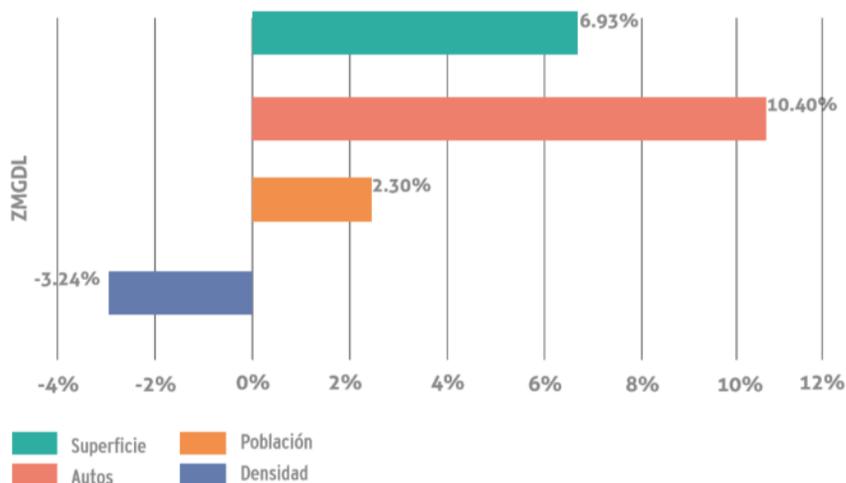
**Figura 14. Evolución del parque vehicular y de la demanda de gasolinas en el estado de Jalisco**



Fuente: Elaborado con información de INEGI (2017) y SIE (2018).

Por su parte, el AMG acumula poco más de 2 millones de vehículos (CMM, 2013), lo que representa aproximadamente 60% del parque total de la entidad. El AMG presenta patrones de expansión urbana y de la motorización, de acuerdo con ITDP (2016) la tasa de crecimiento media anual de automóviles entre 1990-2010 fue de 10.40%, con respecto al incremento de población de 2.3% y de superficie de 6.9%.

**Figura 15. Tasa media de crecimiento anual de superficie, población, automóviles y densidad de población en el AMG, 1990-2010**



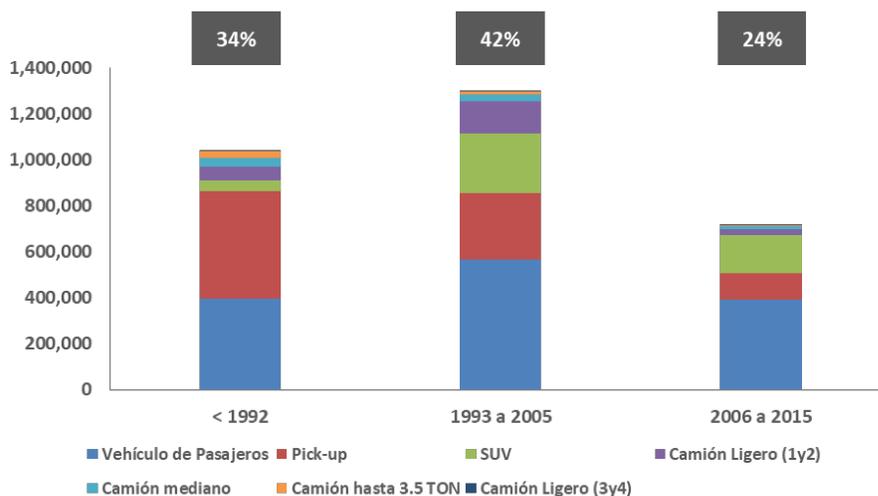
FUENTE: ELABORADO CON DATOS DE INEGI Y SEDESOL (2012).

Fuente: ITDP (2016).

Además del número de vehículos en circulación, es relevante conocer su distribución por tipo y año modelo, puesto que las emisiones de contaminantes criterio están directamente asociadas a estas características. En el año 2015 la distribución Año-Modelo de los vehículos a gasolina en Jalisco era de 34% de 1992 y anteriores, 42% de 1993 a 2005 y 24% de 2006 y 2015.

Esta desagregación corresponde a las tecnologías vehiculares con carburador, con convertidor catalítico y, finalmente, con convertidor catalítico y sistema OBD, respectivamente.

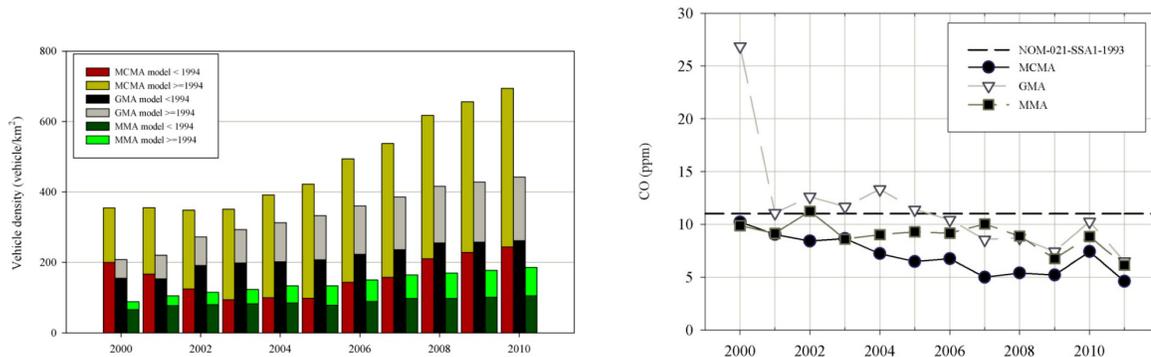
**Figura 16. Distribución del parque vehiculara gasolina de Jalisco por tipo y Año-Modelo en 2015**



Fuente: Elaborado con información de SEMADET.

Al comparar la proporción de automóviles y la densidad vehicular (vehículos por km<sup>2</sup>) de las tres principales zonas metropolitanas de México, Benítez-García et al (2014) determinaron que la ZMVM (Figura 17a, MCMA) presentaba la mayor densidad vehicular pero había abatido en 61% la concentración media anual de CO entre 2000 y 2011, como resultado de diversas medidas de su PROAIRE. Por su parte, se observa que en el AMG la proporción de vehículos año-modelo 1994 y anteriores es significativamente mayor (Figura 17a, GMA) que en la ZMVM, lo que se refleja en máximos de 8 horas más altos en la AMG (Figura 17b, GMA), a pesar de que la ZMVM tiene una densidad vehicular mayor. Benítez-García et al (2014) explican que la verificación vehicular se intridujo en 2001 en el AMG, y que con la aplicación de la NOM-041-SEMARNAT-2006 la tasa de vehículos que satisfacían el nivel de CO se incrementó de 15% en 2005, a 30% en 2006, 36% en 2007 y 28% en 2008, lo cual se manifiesta también en las reducciones graduales de los máximos de 8 horas de CO en el AMG (Figura 17b, GMA). En esta comparación se observa que las diversas políticas de control de fuentes móviles aplicadas en la ZMVM, entre ellas el PVVO y Hoy No Circula, han modernizado su parque vehicular e incrementado su desempeño ambiental.

**Figura 17. a) Distribución de vehículos por año-modelo en las Zonas Metropolitanas del Valle de México (MCMA), de Guadalajara (GMA) y de Monterrey (MMA) del 2000 al 2010, con base en datos de INEGI y b) Máximos de horas de CO en las tres zonas metropolitanas.**



Fuente: Benítez-García et al (2014).

## Justificación

De acuerdo con el análisis de Benítez-García (2014), las concentraciones medias anuales de O<sub>3</sub> en el AMG se incrementaron en 47% entre 2000 y 2011, en contraposición a la evolución observada en la ZMVM que redujo 13% del 2005 al 2010. Kanda et al (2016) evaluaron el régimen de formación de ozono en la ZMVM y el AMG entre 2012 y 2014 usando un modelo químico de transporte, mediciones de COV a nivel de suelo y de perfiles verticales de ozono. Se encontró que el régimen de formación de O<sub>3</sub> en la AMG se hallaba en una fase intermedia entre los regímenes sensible a COV y sensible a NOx.

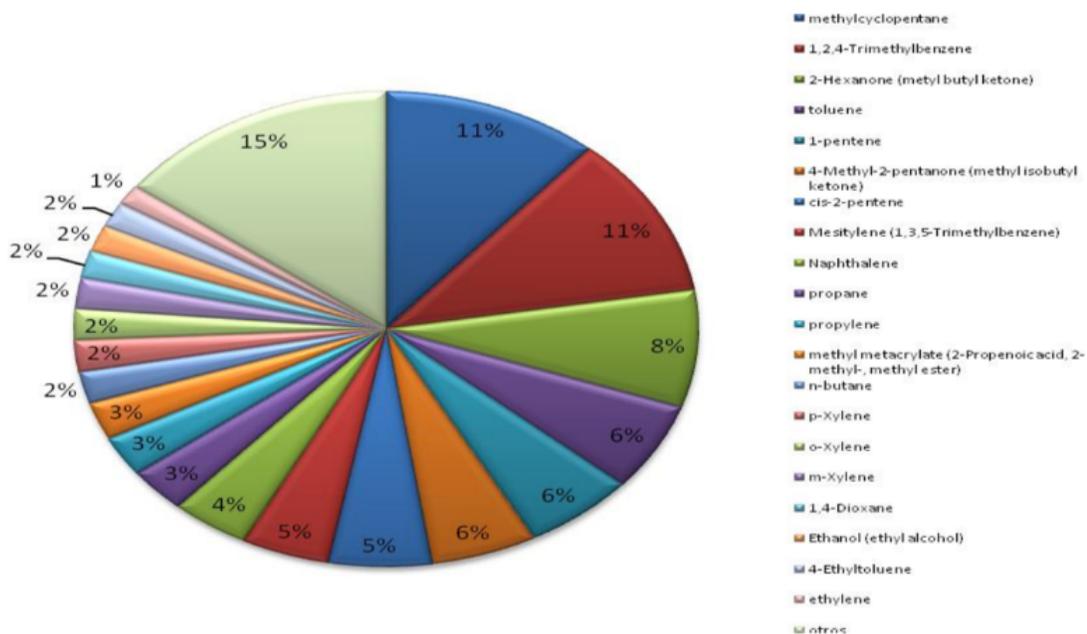
Kanda et al (2016) deducen, además, que la atmósfera del AMG es propensa a moverse hacia un régimen sensible a COV (como el de la ZMVM) si se implementan regulaciones más estrictas de las emisiones de escape vehiculares (estas regulaciones tienden a reducir COV más rápido que los NOx). Este hallazgo es relevante puesto que regulaciones de los PVVO tienden a producir el efecto descrito, de tal manera que las estrategias de mitigación deberán acompañarse por medidas que también reduzcan significativamente los COV no vehiculares.

A partir de los resultados de las campañas de medición de COV en el AMG por INECC-CIATEJ (2014) se determinó que las principales especies con potencial de formación de O<sub>3</sub> eran de origen vehicular, principalmente, e industrial. Los principales COV encontrados, en términos de su potencial de formación de ozono<sup>2</sup>, son el metilciclopentano (11%), el 1,2,4-trimetilbenceno (11%), tolueno (6%), 1-penteno (6%), cis-2-penteno (5%), mesitileno (5%) y naftaleno (4%), de origen vehicular. Por su parte, los principales COV asociados a la actividad industrial son el metil butil cetona (8%), metil isobutil cetona (6%), y propano (3%) y butano (2%). Estos resultados confirman un aporte muy relevante de COV de las emisiones de combustión en vehículos, así como emisiones evaporativas de combustibles. Estos hallazgos corroboran la necesidad de regular las emisiones contaminantes de las fuentes móviles de la AMG.

---

<sup>2</sup> Con base en factores de Máxima Reactividad Incremental (MIR, por sus siglas en inglés) de la EPA, actualizados al 2010 (INECC-CIATEJ, 2014).

Figura 18 Formación potencial de ozono en el AMG



Fuente: INECC-CIATEJ (2014).

Los Programas de Verificación Vehicular (PVV) se contemplan en la LGEEPA y su reglamento de atmósfera para el control de las emisiones de fuentes móviles. Las NOM 167 y 041 establecen límites de emisión, parámetros y métodos de prueba para vehículos en circulación en las entidades de la Megalópolis y para el resto del país, respectivamente, cuya evaluación de conformidad está vinculada a la instrumentación de los PVV Obligatorios a través de Centros o Unidades de Verificación Vehicular.

Los PVV están basados en los Programas de Inspección y Mantenimiento (PIM) que mandata la Clean Air Act de los Estados Unidos para algunas de las áreas que no cumplen los estándares de calidad del aire. Los PIM se han implementado por casi cuatro décadas con el objetivo de asegurar que los vehículos mantengan los estándares de emisión (de fábrica) a lo largo de su vida útil (NAP, 2001).

Los PIM, así como los PVV, son uno de los instrumentos para el control de las emisiones de vehículos en uso de mayor aplicación. Su fundamento básico radica en que los vehículos modernos requieren conservar en óptimo funcionamiento sus componentes para mantener niveles bajos de contaminación. En estos programas los vehículos se inspeccionan o verifican para determinar si sus emisiones exceden los niveles apropiados para el tipo de vehículo. Normalmente, una verificación fallida debe resultar en la reparación o mantenimiento del vehículo para regular su desempeño ambiental, de lo contrario no podría circular (siempre que su aplicación sea obligatoria). (USAID, 2004)

Las fuentes de reducción de emisiones de los PVV son de diversa naturaleza, e incluyen mantenimientos preventivos o correctivos previos o posteriores a una

prueba de inspección o verificación, así como el cese de operación de un vehículo en mal estado. En la Tabla 7 se describen las principales fuentes de reducción de emisiones de los PVV, de acuerdo con NAP (2001). De igual manera se esbozan los tipos de información que pueden utilizarse para evaluar la efectividad de un PVV en los diferentes casos. Para una mayor discusión sobre las evaluaciones de los PVV y PIM consulte el Anexo I.

**Tabla 7. Fuentes de reducción de emisiones contaminantes de los PIM o PVV**

Tipo de reducción de emisiones	Información requerida para su evaluación
1. Mejor mantenimiento dando lugar a menores emisiones	
2. Reparaciones a los sistemas de control de emisiones de manera anticipada a la prueba de verificación del vehículo	Exámenes en carretera o pruebas con sensor remoto
3. Reparación de los sistemas de emisiones como resultado de fallar una verificación.  Duración que las reparaciones perduran para un vehículo que previamente falló la verificación.	Información del PVV, datos sensor remoto o de exámenes en carretera.
4. Desmantelamiento temprano o transferencia de un vehículo altamente contaminante fuera de la región de cobertura del PVV.	Información del PVV junto con datos de sensor remoto y registros del padrón vehicular.

Fuente: Elaborado a partir de NAP (2001).

En la evaluación de PVV se ha hallado que, típicamente, una pequeña fracción de vehículos en mal funcionamiento contribuye con una proporción sustancial de las emisiones vehiculares totales. La NAP (2001) determinó que alrededor del 10% del parque vehicular contribuye con más del 50% de las emisiones de contaminantes, regularmente de mayor antigüedad o tecnología obsoleta. Esta característica obliga a poner énfasis en la detección de vehículos de altas emisiones (ostensiblemente contaminantes, como se les llama en ocasiones) lo cual, no obstante, debe abordarse estratégicamente en la práctica por medio de incentivos financieros o de otra índole, debido a la alta correlación que prevalece en la propiedad de esta clase de vehículos entre población de bajos recursos, como lo recomendó la NAP (2001).

## Evidencias de reducción de emisiones a través de los PVV

La mayoría de evidencias sobre la reducción de emisiones con la implementación de PVV se basa en las evaluaciones de PIM en los Estados Unidos que mandata la Clean Air Act para áreas sin cumplimiento. Estas evaluaciones indican que efectivamente existen reducciones de contaminantes CO, NOx e hidrocarburos, no obstante las reducciones reales han resultado menores a las esperadas de acuerdo a modelaciones previas (NAP, 2001).

Las evaluaciones de diversos PIM han arrojado que hay reducciones de CO entre 14-15% en California, 8-17% en Colorado, 11.5% en Atlanta y 24-28% en ciudades de Texas. De igual manera, se han evidenciado reducciones en las emisiones de NOx entre 9-12% en California y 16-18% en ciudades de Texas. Finalmente, los Hidrocarburos se han reducido en 13-15% en California, 20% en Atlanta y 13-17% en Texas. Estas evaluaciones, no obstante, se refieren a períodos específicos de la aplicación de PIM y se basan en distintos métodos de análisis, incluyendo sensor remoto, pruebas en carretera y datos internos de los programas PIM, como se analiza a detalle en el Anexo I.

También debe observarse que en muchos casos las evaluaciones corresponden a parques vehiculares antiguos, ya que en la actualidad muchos programas han migrado parcialmente hacia la aplicación de prueba OBD en las flotas modernas, como en el caso del Smog Check de California.

Las evidencias de reducción de emisiones por la implementación de PVV en México son más escasas. No obstante, el programa de la ZMVM ha sido sujeto a diversas evaluaciones y auditorías. Este programa redujo las emisiones del parque vehicular en 68% para CO y 89% para Hidrocarburos, conforme a análisis efectuados a finales de la década de los 90's. No obstante, estas reducciones son sólo parcialmente atribuibles al PVV, en adición a las ocasionadas por el Hoy No Circula, entre otros programas de control de fuentes móviles. A partir de las campañas de medición con sensor remoto se comprobó más recientemente que alrededor del 60% de los vehículos en circulación mantenían los niveles de los estándares normados (ver Anexo I para una discusión más amplia).

## Costos estimados

De acuerdo con USAID (2004) los costos de inversión involucrados en la construcción y equipamiento para una línea de inspección ascienden a 200,000

USD (2,000,000 MXN 2004) para vehículos de carga y 120,000 USD (1,200,000 MXN 2004) para vehículos ligeros. Estas cifras incluyen los costos de construcción de las instalaciones, y el equipamiento de dinamómetros, analizadores de emisiones, equipo y programas de cómputo, capacitación de personal y puesta en operación.

Los costos de operación, según USAID (2004), son de 105,000 USD (1,000,000 MXN 2004) para vehículos de carga y 65,000 USD (650,000 MXN 2004) para vehículos ligeros. Adicionalmente, se considera que los costos de administración y supervisión, que incluyen una base de datos centralizada, aseguramiento de calidad, auditoría, evaluación y producción de engomados, son de 3 USD (30 MXN 2004) por vehículo verificado. De acuerdo a estas cifras, se estima que las tarifas de diversos programas de verificación se deben encontrar en el orden de entre 10 a 20 USD (100 a 200 MXN 2004). La tarifa actual del PVV de la Ciudad de México es de 470 MXN por verificación<sup>3</sup>.

En un reporte de John Rogers para el Banco Mundial, se detalla que el costo aproximado de equipamiento por línea de verificación en México es de entre 25,000 y 35,000 USD, para pruebas dinámicas. Se estima así que una línea de prueba costaría entre 35,000 y 50,000 USD para sistemas centralizados. Considerando un 20% adicional para un sistema de control de calidad centralizado, Rogers estimaba que un sistema centralizado de verificación costaría 60,000 USD por línea de prueba, y que suponiendo una operación al 35% de capacidad, se podrían realizar alrededor de 10,000 pruebas de verificación por año<sup>4</sup>.

En cuanto a la inspección con OBD, Cornelis et al (2002) determinaron que el costo unitario de la inspección vía OBD eran de entre 0.1 y 0.5 EUR por vehículo inspeccionado, para diferentes sistemas de inspección europeos, considerando 5 años de depreciación. Los costos operativos, a su vez, variaban entre 2.7 y 3.3 EUR por vehículo inspeccionado<sup>5</sup>. De esta manera los costos totales de verificación con OBD suman entre 2.8 y 3.8 EUR por vehículo inspeccionado. En este sentido, de acuerdo a un reporte del ICCT (2016), se estima que el costo de inversión para integrar la funcionalidad de lectura y colección de datos de OBD II en centros de inspección de emisiones es de aproximadamente 1,500 USD por equipo de adquisición de datos, mientras que un sistema completo de inspección OBD aprobado por BAR<sup>6</sup> costaría entre 4,000 y 5,000 USD<sup>7</sup>.

---

<sup>3</sup> <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/sedema/index.php/verificacion-hoy-no-circula/verificacion-vehicular/370-tarifas-de-la-verificacion>

<sup>4</sup>

[http://lnweb90.worldbank.org/ECA/Transport.nsf/ExtECADocByUnid/7792D9E08801349D85256B090058AC76/\\$file/Vehicle%20inspection%20presentation.doc](http://lnweb90.worldbank.org/ECA/Transport.nsf/ExtECADocByUnid/7792D9E08801349D85256B090058AC76/$file/Vehicle%20inspection%20presentation.doc)

<sup>6</sup> Bureau of Automotive Repair

<sup>7</sup> [https://www.bar.ca.gov/Industry/Q&As\\_BAR\\_On-Board\\_Diagnostic\\_Inspection\\_System\\_BAR-OIS.html](https://www.bar.ca.gov/Industry/Q&As_BAR_On-Board_Diagnostic_Inspection_System_BAR-OIS.html)

Entre otros datos de utilidad destacan la estimación de inversión para la implementación de un centro unificado de evaluación y seguimiento de la información generada por los PVV de las entidades de la Megalópolis, el cual se estableció en alrededor de 30 millones de pesos. Además, se estimó que la implementación de un programa de detección y sustitución de convertidores catalíticos en mal estado de aproximadamente 100,000 unidades por año costaría 250 millones de pesos anualmente. Por otra parte se estimó que la adquisición de sensores remotos para cuatro entidades de la Megalópolis involucraría una inversión por 30 millones de pesos (SEMARNAT-CAME, 2017).

Estos costos son referenciales y deben ser corroborados conforme a información actualizada de proveedores en el mercado local. Además, los costos específicos están determinados por el tipo de sistema implementado y la manera en que se organice, así como a la robustez de los sistemas de vigilancia, aseguramiento de calidad y control que se pongan en marcha.

## Medida 3:

### **Control de emisiones de COV en la industria**

Como se ha explicado anteriormente, el ozono troposférico se forma cuando los COV se combinan con NOx en presencia de la luz. A diferencia de la Medida 1 que está dirigida en específico a controlar las emisiones de COV en la cadena de suministro y venta de combustibles, se propone esta medida adicional para

controlar las emisiones de COV provenientes de otras fuentes industriales y actividades que emplean este tipo de compuestos en sus procesos operativos.

Como los COV se reconocen como precursores del ozono troposférico, deberían estar regulados por leyes o normatividades nacionales, sin embargo esto no ocurre. Actualmente, revestimientos industriales y comerciales, disolventes, diluyentes, desengrasantes, otros productos de consumo y los revestimientos arquitectónicos tales como pinturas, tintas o barnices no están regulados a nivel federal o estatal.

Se han detectado ciertas deficiencias y áreas de mejora tanto en el inventario nacional de emisiones como en los inventarios estatales, se han identificado categorías sobreestimadas y otras posiblemente subestimadas en gran parte debido a que los métodos de estimación tienen una gran incertidumbre, además existen fuentes que no han sido consideradas en los inventarios existentes. Particularmente en las estimaciones de emisiones de COV en la categoría de fuentes fijas tanto estatales como federales en ciertos casos se emplean metodologías a partir de factores de emisión cuyos resultados pueden involucrar importantes fuentes de error mientras que en otros casos las industrias no reportan los consumos reales de solventes p.ej., asimismo debido a la escasa regulación para el control de las emisiones de COV en industrias y comercios, el desarrollo de las técnicas de medición directa para la estimación cuantitativa de las concentraciones y emisiones ha sido muy limitado en el país.

No obstante, cuando se dispone de información confiable de los consumos de los recubrimientos y diluyentes empleados por las empresas, puede lograrse una muy buena estimación de las emisiones de COV asociadas a dichas instalaciones.

La emisión de compuestos orgánicos volátiles debe controlarse debido a sus impactos directos en la atmósfera y la salud humana, pero el principal desafío en la actualidad en México es cómo llevar a cabo el control de este tipo de emisiones. En Europa, Estados Unidos y Australia, se han emitido regulaciones sobre el control de emisiones al aire de compuestos orgánicos volátiles de diferentes tipos de industrias, p. ej. las industrias de artes gráficas e impresión deben acatar los límites de emisión específicas de este sector contenidas en el 40 Código Federal de Regulaciones de la U.S. EPA. Además en el caso de los estándares de calidad del aire en los Estados Unidos, la U.S. EPA ha emitido que la concentración máxima de 3 horas de contenido de hidrocarburos debe ser de  $1.6 \times 10^{-4} \text{ kg / m}^3$  (0.24 ppm) y no debe excederse por más de un año.

En México no existen normas oficiales mexicanas que regulen la emisión de COV en la industria, pero se tienen casos de normas locales, como la NADF-011-AMBT-2013 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.

En este sentido, sería recomendable proponer una normativa ambiental a nivel estatal, para que todas las nuevas instalaciones y las existentes, que sean de

jurisdicción local y que tengan emisiones importantes de COV para que estén sujetas a instalar controles de emisiones para alcanzar la tasa de emisión más baja posible. Puede tomarse un umbral de referencia como sucede en muchos estados de EUA, en las que una fuente importante de COV es aquella que emite o tiene el potencial de emitir 50 toneladas por año o más.

Del mismo modo, la SEMADET deberá realizar invitaciones a las industrias federales para firmar compromisos voluntarios de reducción de emisiones de COV. A continuación se describen las principales tecnologías de control que se implementan para lograr reducciones significativas de COV:

## Tecnologías de control y equipo

Las modificaciones de procesos y equipos suelen ser la alternativa más preferida para reducir las emisiones. Las modificaciones pueden incluir la sustitución de materias primas para reducir la entrada de COV al proceso, cambios en el funcionamiento condiciones para minimizar la formación o volatilización de COV y la modificación de equipos para reducir oportunidades de escape de COV en el medio ambiente.

La modificación de equipos puede tomar muchas vertientes, pero el objetivo es siempre para evitar las emisiones de COV. Los COV pueden ser emitidos a través de respiraderos o fugas en bridas o válvulas, o pueden ser el resultado de las condiciones de proceso.

El primer paso es cuantificar las emisiones al aire desarrollando una comprensión de los pasos del proceso y los balances de materiales, seguido de muestreo, medición o estimación de los flujos y concentraciones. Entonces, se pueden identificar fuentes significativas y desarrollar estrategias para abordar los problemas.

Usualmente hay dos métodos que se emplean comercialmente para controlar las emisiones de COV y son:

1. Instalación de equipo de control para destruir o extraer los vapores orgánicos de chimeneas,
2. Cambios en los procesos o materias primas para reducir o eliminar emisiones.

Existen cuatro tipos principales de equipos de control, y pueden ser basados principalmente en combustión y adsorción.

En cualquiera de los casos, cualquier sistema de control que reduce emisiones de COV de un determinado proceso tiene dos componentes fundamentales. El primero es el sistema de contención o captura, que es un dispositivo sencillo o un grupo de dispositivo cuya función es recolectar los vapores y dirigirlos hacia un ducto que lleve al equipo de control. El segundo componente es el dispositivo de control, el cual reduce la cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera.

La eficiencia con la que los COV son colectados y llevados al equipo de control se conoce como “Eficiencia de captura” (EC) y se define como la fracción de todos los COV generados en un determinado proceso que son dirigidos hacia un sistema de recuperación o abatimiento. La “Eficiencia del equipo de control” (EEC) se define como el ratio de contaminantes destruidos o recuperados por un equipo de control con respecto al total de contaminantes introducidos. Hay tres tipos de sistema de captura, ventilación local, contención parcial y contención total.

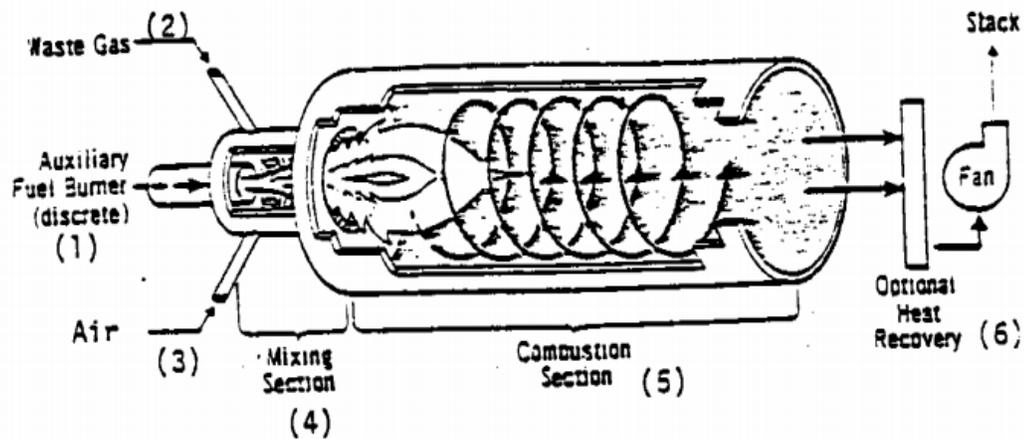
### **Sistemas de control por combustión**

Los sistemas de control de este tipo incluyen principalmente incineradores térmicos y catalíticos. La combustión es un proceso de oxidación exotérmico rápido que transforma los COV en agua y dióxido de carbono. La mayor parte de la energía liberada por la combustión puede ser recuperada con equipos como intercambiadores de calor si así se desea.

**Incineradores térmicos:** Los incineradores destruyen los COV oxidándolos a  $\text{CO}_2$  y agua. Cualquier COV calentado a una temperatura lo suficientemente alta en presencia de oxígeno llevará a cabo la oxidación. Las temperaturas de combustión teóricas dependen de la estructura química del tipo de COV, el tiempo de residencia en el incinerador y la disponibilidad de oxígeno durante el mezclado.

Un incinerador térmico tradicional consiste de una cámara refractaria lineal que puede contener uno o más quemadores. Como se muestra en la figura siguiente, el diseño proporciona un mezclado eficiente de la corriente contaminada, el aire de combustión y los productos de la combustión de los quemadores.

**Figura 19. Diseño de un incinerador térmico sencillo.**



Fuente: (U.S. EPA, 2002).

La eficiencia de destrucción de COV depende de los criterios de diseño, p.ej. la temperatura de la cámara, el tiempo de residencia, la concentración de la corriente, el tipo de compuesto y el mezclado. De acuerdo a varias pruebas de cambio y cálculos cinéticos, para COV no halogenados se puede alcanzar un 98%-99.99% de eficiencia de destrucción o una concentración de salida de 20 ppmv con temperaturas de combustión de 870 °C, tiempos de residencia de 0.75 segundos y mezclado apropiado.

Los incineradores térmicos pueden usarse para reducir emisiones de la mayor parte de fuentes de emisión de COV, incluyendo venteo de reactores, corrientes de destilación, operaciones con solventes, y operaciones de hornos y secadores. Los costos de operación y mantenimiento (O&M), costos anuales y costo efectividad de este tipo de sistemas son dependientes del costo de los combustibles suplementarios requeridos (lo cual es su desventaja principal):

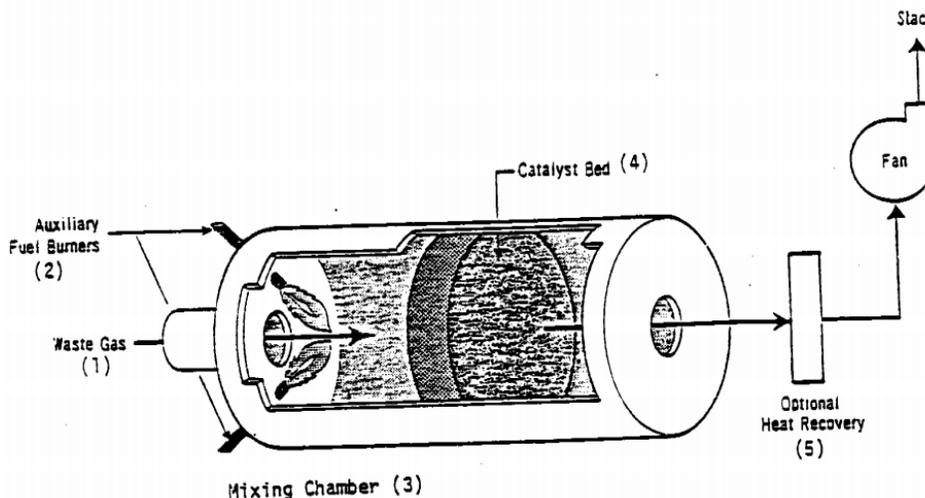
- a. Costo capital: 73,800 - 265,000 USD por m<sup>3</sup>/s (35-125 USD por scfm)
- b. Costos O&M: 15,300 - 223,100 USD por m<sup>3</sup>/s (7-105 USD por scfm) anualmente
- c. Costos anuales: 23,700 - 290,000 USD por m<sup>3</sup>/s (11-136 USD por scfm) anualmente
- d. Costo efectividad: 612-5,000 USD/tonelada de COV

**Incineradores catalíticos:** Los catalizadores empleados en este tipo de incineradores provocan que las reacciones de oxidación ocurran a temperaturas menores de las que normalmente se requieren para la oxidación térmica. Los materiales de los catalizadores incluyen platino, aleaciones d platino, oxido de cobre, cromo y cobalto. Estos materiales se colocan en capas finas sobre sustratos inertes para proveer la máxima superficie de contacto entre el catalizador y la corriente de COV.

La combustión en presencia de catalizadores ocurre normalmente en un rango de temperaturas entre 320 a 650 °C. La acumulación de partículas de COV condensados o hidrocarburos polimerizados sobre el catalizador pueden reducir la eficiencia del equipo. También, los catalizadores pueden ser desactivados por compuestos que contengan azufre, bismuto, fósforo, arsénico, antimonio,

mercurio, plomo, zinc, estaño o halógenos. La siguiente figura presenta el diseño de un incinerador catalítico.

Figura 20. Incinerador catalítico.



Fuente: (U.S. EPA, 2002).

Los incineradores catalíticos pueden usarse para reducir emisiones de una gran variedad de fuentes, p.ej. procesos asociados a evaporación de solventes, recubrimiento de superficies y operaciones de impresión, sin embargo su uso se recomienda para sistemas con corrientes de COV bajas, cuando hay pequeñas variaciones en el tipo y concentración de los COV y cuando envenenadores del catalizador u otros contaminantes como azufre, hidrocarburos pesados y partículas no están presentes.

La eficiencia de control de este tipo de equipos puede ir de 0 a 99.9%, sin embargo, las mayores eficiencias se deben al uso en conjunto con incineradores térmicos. Los costos de operación y mantenimiento (O&M), costos anuales y costo efectividad de este tipo de sistemas son también dependientes del costo de los combustibles suplementarios requeridos:

- a. Costo capital: 65,400 - 265,000 USD por  $m^3/s$  (30-125 USD por scfm)
- b. Costos O&M: 11,800 - 73,800 USD por  $m^3/s$  (6-35 USD por scfm) anualmente
- c. Costos anuales: 23,600 - 147,600 USD por  $m^3/s$  (11-70 USD por scfm) anualmente
- d. Costo efectividad: 146-7,700 USD/tonelada de COV

## Sistemas de control por adsorción

Las emisiones de COV y contaminantes orgánicos peligrosos del aire se pueden controlar, recuperar, reciclar o concentrado para tratamiento adicional por tecnología de adsorción. Esto incluye las emisiones de: limpieza en seco, desengrase, pulverización de pintura, extracción de solventes, revestimiento de papel de aluminio, revestimiento de papel, revestimiento de película plástica, impresión, productos farmacéuticos, caucho, linóleo y envoltura transparente.

Cualquier proceso que genera emisiones de COV a bajas concentraciones (tan bajas como 20 ppm) a un nivel relativamente alto de flujo de aire (más de 5,000 acfm) debería considerar la tecnología de adsorción para concentrar COV en la corriente de emisión antes del tratamiento final y decidir por el reciclaje o la destrucción.

En el control de la contaminación del aire, la adsorción se emplea para remover compuestos orgánicos volátiles (COV) de corrientes de gas con baja o media concentración, cuando deba alcanzarse alguna concentración restringida de salida y/o se desea la recuperación del COV. La adsorción misma es un fenómeno en donde las moléculas de gas que pasan a través de un lecho de partículas sólidas son selectivamente retenidas ahí por fuerzas de atracción, las cuales son más débiles y menos específicas que las de las uniones químicas. Durante la adsorción, una molécula de gas emigra desde la corriente de gas hacia la superficie del sólido donde es retenida por atracción física, liberando energía el “calor de adsorción”, el cual excede o iguala al calor de condensación. La capacidad de adsorción del sólido tiende a incrementarse con la concentración de la fase gas, el peso molecular, la difusividad, la polaridad y el punto de ebullición. Algunos gases forman verdaderas uniones químicas con los grupos adsorbentes de la superficie. A este fenómeno se le conoce como “quimisorción”.

La mayoría de los gases (“adsorbatos”) pueden ser removidos (“desorbidos”) del adsorbente calentando hasta una temperatura suficientemente alta, usualmente por medio de vapor o (cada vez más) con gases calientes de combustión, o reduciendo la presión a un valor suficientemente bajo (desorción por vacío). Las especies físicamente adsorbidas en los poros más pequeños del sólido y las especies quimisorbidas pueden requerir temperaturas más bien altas para ser removidas y, para todos los propósitos prácticos, no pueden ser desorbidos durante la regeneración. Por ejemplo, aproximadamente de 3 a 5 por ciento de los orgánicos adsorbidos sobre carbón activado virgen es quimisorbido o fuertemente adsorbido físicamente y es difícil de desadorber durante la regeneración.

Los adsorbentes utilizados en gran escala incluyen al carbón activado, sílica gel, alúmina activada, zeolitas sintéticas, tierra de Fuller y otras arcillas. A continuación se describe el uso del carbón activado, un adsorbente comúnmente utilizado para COV.

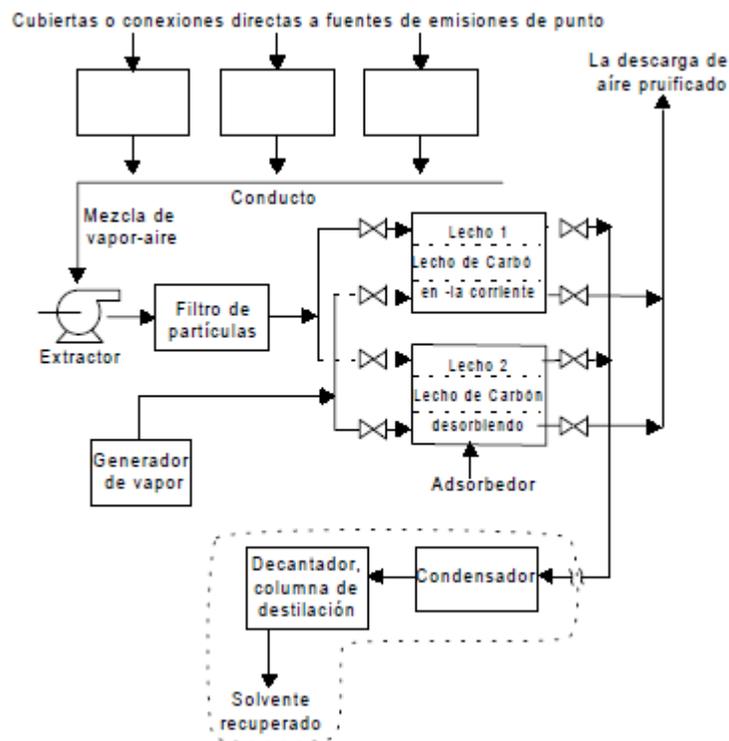
Unidades de lecho fijo: En las unidades de lecho fijo el tamaño puede ser diseñado para controlar corrientes continuas que contienen COV sobre un amplio rango de

relaciones de flujo, que van desde varios cientos hasta varios cientos de miles de pies cúbicos por minuto (ft<sup>3</sup>/min). La concentración de COV de corrientes que pueden ser tratadas por adsorbedores de lecho fijo pueden ser tan bajas como varias partes por billón por volumen (ppbv), en el caso de algunas sustancias químicas tóxicas, o tan altas como 25% del límite inferior de explosividad (LIE) del COV. (Para la mayoría de los COV, el LIE varía desde 2,500 hasta 10,000 ppmv).

Los adsorbedores de lecho fijo pueden ser operados ya sea de modo intermitente o continuo. En la operación intermitente, los adsorbedores remueven COV durante un tiempo especificado (el “tiempo de adsorción”), el cual corresponde al tiempo durante el cual la fuente controlada está emitiendo COV.

En la operación continua, un lecho de carbón regenerado está siempre disponible para la adsorción, de modo que la fuente controlada puede operar continuamente sin paros. Por ejemplo, pueden proporcionarse dos lechos de carbón: mientras uno está adsorbiendo el segundo está desorbiendo/en pausa.

**Figura 21. Sistema adsorbedor de carbón de lecho fijo de dos lechos, continuamente operado.**



Fuente: (U.S. EPA, 2002).

Unidades con recipientes de carbón desechables: Los adsorbedores tipo recipiente de carbón desechable originalmente se referían a envases retornables relativamente pequeños, tales como tambores de 55 galones. Los adsorbedores tipo recipiente de carbón desechable difieren de las unidades de lecho fijo, en que

están normalmente limitados a controlar corrientes de gas intermitentes, de bajo volumen (típicamente 100 ft<sup>3</sup>/min, máximo), tales como aquellas emitidas por los venteos de tanques de almacenamiento, donde la economía sugiere que son apropiadas ya sea la regeneración por contrato o los recipientes de carbón desechables. Los recipientes de carbón desechables de carbón no son diseñados para la desorción en el sitio. Sin embargo, el carbón puede ser regenerado en una planta central.

Los datos recibidos de los proveedores de adsorbedores indican que el tamaño y el costo de equipo comprado de un sistema adsorbedor de carbón de lecho fijo o de recipiente de carbón desechable dependen primariamente de cinco parámetros:

- El flujo volumétrico del gas cargado de COV pasando a través del(los) lecho(s) de carbón;
- La cargas de masa de entrada y salida de COV de la corriente de gas;
- El tiempo de adsorción (p.ej. el tiempo que un lecho de carbón permanece en línea para adsorber COV antes de ser sacado de línea para la desorción del lecho);
- La capacidad de trabajo del carbón activado en sistemas regenerativos o la capacidad de equilibrio en caso de sistemas no regenerativos;
- La humedad de la corriente de gas, especialmente en el efecto de la humedad sobre la capacidad en relación a los halógenos.

Debería esperarse que un sistema de adsorción bien diseñado logre un 95% - 98% de eficiencia de control en concentraciones de entrada entre 500 y 2000 ppm en el aire. Esto es independiente de que exista adicionalmente un segundo sistema de control como un incinerador.

El factor más importante que afecta a los costos capitales iniciales de un sistema de adsorción de carbono es el rendimiento volumétrico, ft<sup>3</sup>/min. Costos de capital típicos para los convencionales los sistemas de regeneración de vapor cuestan \$ 15-20 por ft<sup>3</sup>/min.

Cuando la concentración de COV en la corriente de gas de entrada es menor a 300 ppm y para sistemas de más de 10,000 ft<sup>3</sup>/min se puede incorporar una "cama delgada" para reducir el costo de capital a alrededor de USD\$ 10 por ft<sup>3</sup>/min . Otros costos de capital incluyen la deshumidificación hasta <50% de humedad relativa puede agregar alrededor de USD\$1 por ft<sup>3</sup>/min a los \$ 15-20 por ft<sup>3</sup>/min mencionados anteriormente. Una observación cualitativa es que el costo de la recuperación de COV aumenta muy rápidamente a medida que la tasa de flujo de COV disminuye a menos de 45 kg de COV/h. Para un COV de peso molecular de 100 a una concentración de 1000 ppm, este flujo corresponde a un caudal de gas total de 6,500 ft<sup>3</sup>/min a 1 atm de presión y 24 °C.

Los costos operativos incluyen vapor, electricidad y un condensador de agua para un sistema convencional.

Se reporta que el uso de vapor es de 0.25 a 0.35 lb de vapor(a 15 psig)/lb de carbono o aproximadamente 13 lb de vapor /kg de COV. El uso de electricidad es de aproximadamente 2.9 a 4.5 kW/1000 ft<sup>3</sup>/ min. El condensador de agua usa a aproximadamente 45 l/ min por 100 lb vapor. El reemplazo de carbono, si es necesario, cuesta alrededor de USD\$ 7-13 /kg, con una vida útil de carbono típica de hasta 5 años. Ésta resulta en costos de reemplazo de carbono de aproximadamente USD\$ 15 por kg COV por hora por año.

# Emisiones importantes de COV de acuerdo al inventario 2008

De acuerdo a las estimaciones presentadas en el inventario del estado de Jalisco 2008, las fuentes más importantes de emisión de COV son las siguientes:

**Tabla 8. Principales fuentes de emisión de COV en el Estado de Jalisco, 2008.**

<b>Fuentes fijas</b>	<b>t COV/año</b>
Industria Química	4,587.65
Industria alimenticia (incluye ingenios)	4,457.55
Industria del petróleo y petroquímica	2,993.26
Industria de la edición, encuadernación y/o impresión	1,543.11
Industria de pinturas y tintas	651.08
Fabricación de artículos y productos de papel y/o cartón	485.07
Fabricación de artículos de plástico	396.38
<b>Fuentes de área</b>	<b>t COV/año</b>
Combustión doméstica	30362.19
Uso comercial y doméstico de solventes	22037.89
Manejo y distribución de gas LP	18227.91
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	14930.59
Limpieza de superficies industriales	13468.03
Aguas residuales	8543.11
Artes gráficas	6341.66

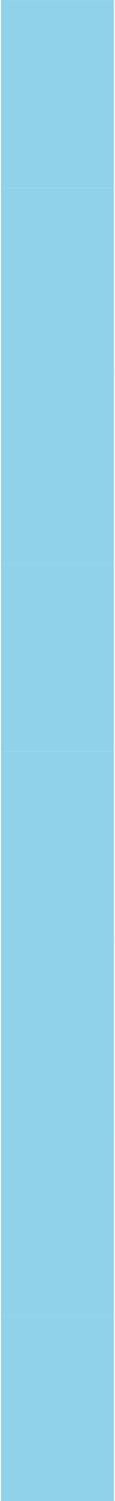
Fuente: (SEMADET, 2014).

Tras la revisión de la magnitud de las emisiones de COV reportadas en el inventario es importante hacer notar lo siguiente: se han detectado ciertas deficiencias y áreas de mejora tanto en el inventario nacional como estatal, se han identificado categorías sobreestimadas y otras posiblemente subestimadas en gran parte debido a que los métodos de estimación tienen una gran incertidumbre, además existen fuentes que no han sido consideradas en los inventarios existentes.

Particularmente en las estimaciones de emisiones de COV en la categoría de fuentes de área en ciertos casos, se emplean metodologías a partir de factores de emisión per cápita cuyos resultados pueden involucrar importantes fuentes de error.

No obstante, cuando se dispone de información confiable de los consumos de los recubrimientos y diluyentes empleados por las empresas, puede lograrse una muy buena estimación de las emisiones de COV asociadas a dichas instalaciones.

Asimismo debido a la escasa regulación para el control de las emisiones de COV en industrias y comercios, el desarrollo de las técnicas de medición directa para la estimación cuantitativa de las concentraciones y emisiones ha sido muy limitado en el país y por lo tanto en los Estados también.



Al respecto es importante señalar que debido a la ausencia de normas que regulen las emisiones de COV en México, prácticamente no existen equipos de control por adsorción u oxidadores térmicos operando en el país, los cuales se emplean ampliamente en Estados Unidos, Canadá y Europa en procesos con usos intensivos de solventes orgánicos.

## Medida 4:

### Control de emisiones de ladrilleras

El sector ladrillero del estado de Jalisco, refleja una profunda problemática económica y social que trae como resultado un impacto ambiental derivado de su proceso productivo rústico. En los últimos años se han presentado diversas situaciones en las que la actividad ladrillera se ha enfrentado a problemas legales, económicos y sociales que obligan a los productores a sacrificar su calidad de vida y a producir con técnicas obsoletas que contribuyen a la emisión de contaminantes subsidiando con su salud y marginación un importante porcentaje de la economía generada por la industria de la construcción en el Estado.

En este contexto, principios del año 2016 se dio inicio con la Etapa 1 de Diagnóstico del sector productivo del ladrillo artesanal en Jalisco, la cual estuvo comprendida de dos estudios estratégicos que analizaron el contexto jurídico, económico, social y tecnológico de la actividad productiva en el Estado, con el objetivo de brindar los insumos necesarios para formular un plan de intervención estratégica que contemplara los rubros mencionados. El alcance de esta etapa fue determinar los aspectos relevantes en los que se verán sostenidas la política de intervención del Gobierno del Estado de Jalisco.

Fue así que nace el Programa de Fortalecimiento y Transición del Sector Ladrillero (ProLAD), que tiene como objetivo transitar sistemáticamente hacia una producción más limpia, eficiente y competitiva ante los desafíos sociales, económicos y ambientales a los que los productores y la sociedad jalisciense se enfrentan día a día.

Ante esta situación, el Gobierno del Estado de Jalisco en coordinación con las 3 entidades de gobierno, han establecido compromisos para instrumentar el ProLAD para que se inicie con la Etapa 2 que consiste en la formulación e instrumentación de una política integral que contempla los aspectos sociales, económicos y tecnológicos dirigidos al sector ladrillero.

Dada la trascendencia que esta actividad representa para la economía del sector de la construcción y su influencia en el bienestar de las familias que dependen de esta actividad, es importante mostrar los resultados de los análisis y estudios que esta Secretaría ha desarrollado en los últimos años. Los estudios han sido fundamentales para formular la estrategia que la SEMADET ha preparado considerando la relación en que se ve afectada la economía, el desarrollo y el medio ambiente<sup>8</sup>.

- En México existen más 22,000 unidades productoras. Tan solo en el centro del país existen poco más de 17,000 de ellas, de acuerdo al Análisis del Mercado realizado por el Instituto de Ecología y Cambio Climático INECC.
- Jalisco es el 2o. Estado con mayor número de ladrilleras en México.

<sup>8</sup> [https://www.gob.mx/inecc/documentos/2015\\_cgcv\\_analisis-de-mercado-del-sector-de-la-construccion-y-proyecto-piloto-a-nivel-region-basado-en-un-portafolio-de-politicas-publicas-con-el-objetivo-de-reducir-los-ccvc-de-ladrilleras-artesanales-en-mexico?state=published](https://www.gob.mx/inecc/documentos/2015_cgcv_analisis-de-mercado-del-sector-de-la-construccion-y-proyecto-piloto-a-nivel-region-basado-en-un-portafolio-de-politicas-publicas-con-el-objetivo-de-reducir-los-ccvc-de-ladrilleras-artesanales-en-mexico?state=published)

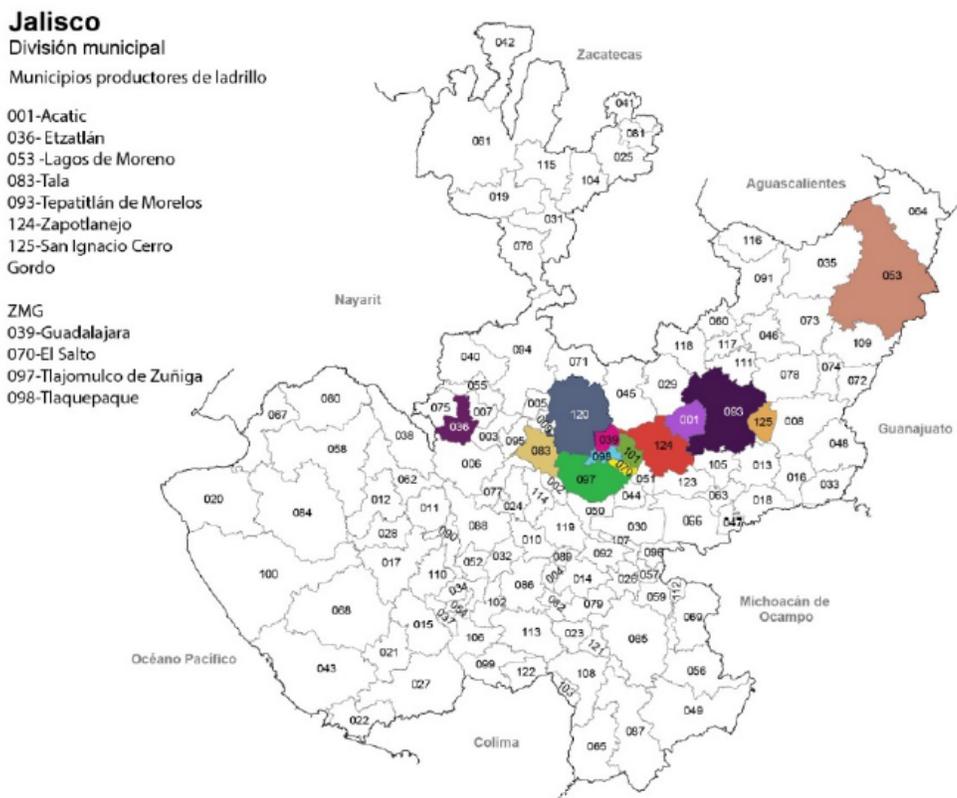
- Existen 2,500 unidades en el Estado. 46% se ubican en el Área Metropolitana de Guadalajara.
- Los productores usan las mismas técnicas rudimentarias desde que se realiza esta actividad hace más de 400 años. El 96% no dispone de ninguna tecnología para la fabricación del ladrillo.
- Los productores usan en su mayoría “hornos de campaña” y realizan quemas de 72 horas aproximadamente utilizando combustibles contaminantes como llantas, plásticos, animales muertos, telas, entre otros desechos de la industria que generan emisiones contaminantes altamente tóxicas.
- Dadas las circunstancias de segregación, la mayoría no cuenta con la educación básica, acceso a la banca, a tecnologías, capacitación, salud, etc.
- El sector es un importante eslabón de la cadena de la construcción en México, sin embargo los productores subsidian con su precariedad el desarrollo de la comunidad.
- En torno a esta actividad existen externalidades de discriminación, problemas de género, abuso y maltrato infantil.
- México es el país más rezagado en esta materia a nivel Latinoamérica.
- De acuerdo a los resultados de los estudios realizados por SEMADET e INECC, el consumo del ladrillo es preferido entre la sociedad y se proyecta su crecimiento.

### **Datos relevantes**

- Se han realizado estudios económicos, sociales y tecnológicos para estructurar una política integral de fortalecimiento.
- Se están construyendo dos hornos de bajas y nulas emisiones para promover y capacitar a los productores en esta transición.
- Se realiza con apoyo del Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC A.C.) un modelo de Parque Industrial Ladrillero Sustentable (PILA) que sea replicable en todo el país.
- En los PILA habrán facilidades de acceso a materia prima certificada y combustibles limpios. Se fomentará la tecnología “cero Emisiones” o Ecológica.
- Se están instrumentando apoyos sociales, educativos y económicos para apoyar a los productores que deseen transitar hacia este nuevo modelo.
- Se están realizando convenios con la Cámara Nacional de la Construcción (CMIC) así como los Colegios de ingenieros civiles y arquitectos para incentivar la compra del Ladrillo Sustentable.
- En Octubre de 2017, Jalisco fue la sede del Foro Latinoamericano de Políticas Públicas Transformacionales del Sector Ladrillero (PAN LAC) promovido por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) A través de la CCAC.
- El Gobierno de Jalisco ha invertido \$1.5 MDP en estudios y proyecta un monto de inversión inicial de \$20 MDP para el Proyecto piloto del PILA.
- Se busca considerar e instrumentar opciones de financiamiento de nivel nacional e internacional.
- Se proyecta un plan estratégico de inclusión financiera para los productores y sus familias.

En la Figura 22 se puede apreciar que las zonas con mayor presencia de producción ladrillera en el estado de Jalisco son la Zona Metropolitana de Guadalajara y la Zona Altos Sur en las que se concentra aproximadamente el 60% de las unidades económicas.

**Figura 22. Distribución territorial de productores de ladrillos.**



Fuente: (CIES-UAG, 2016).

### **Emisiones del sector ladrillero**

Como parte de este estudio se ha llevado a cabo la estimación de las emisiones potenciales del sector ladrillero que se encuentra presente en el AMG. Las emisiones de contaminantes varían según el tipo de horno, el combustible utilizado y condiciones de funcionamiento del horno. Comparando las emisiones a través de diferentes el combustible o las condiciones de operación requieren normalización, ya sea a la unidad del combustible consumido o de la unidad de energía consumida, o una comparación basada en la producción de ladrillos. Es importante mencionar que el sector ladrillero, a diferencia de otras actividades de manufactura, presenta una gran intermitencia en sus operaciones, la mayoría realizan una o máximo dos quemas al mes y en temporada de lluvias las actividades prácticamente se interrumpen del todo.

Para la estimación de emisiones del sector se ha considerado que la mayoría de los hornos ladrilleros emplean madera, aserrín y virutas como combustibles principales, lo anterior de acuerdo a los datos obtenidos del Proyecto de elaboración del diagnóstico macro sobre el sector ladrillero en el Estado de Jalisco (Primera Fase) (SEMADET, 2017); por otra parte se han tomado de referencia los datos de producción anual por tipo de producto cerámico artesanal del estudio Plan Económico Financiero de Alternativa Tecnológica para el Sector Ladrillero Artesanal (PEFAT) Jalisco, México (SERpro, 2014). De acuerdo a estos supuestos, las emisiones anuales estimadas en el año 2014 para el sector se presentan en el siguiente cuadro:

**Tabla 9. Emisiones del sector ladrillero 2014.**

Producto	Millares	t/año							
		PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NOx	SO <sub>2</sub>	CO	COT	COV	CN
Ladrillo	16,917.88	84.86	81.69	6.38	0.98	619.51	0.54	0.25	24.51
Ladrillo tipo bóveda	8,134.80	40.80	39.28	3.07	0.47	297.89	0.26	0.12	11.78
Ladrillón	6,428.82	55.28	53.22	4.15	0.64	403.57	0.35	0.16	15.96
Zotehuela	4,741.00	6.79	6.54	0.51	0.08	49.60	0.04	0.02	1.96
Tabicón	1,868.00	23.42	22.55	1.76	0.27	171.01	0.15	0.07	6.76
Teja	1,748.40	7.52	7.24	0.56	0.09	54.88	0.05	0.02	2.17
Otros	700	2.01	1.93	0.15	0.02	14.65	0.01	0.01	0.58
	TOTAL	220.68	212.44	16.58	2.55	1,611.11	1.40	0.64	63.73

Fuente: Estimación propia.

Como puede observarse las emisiones más importantes son las de monóxido de carbono y partículas, además de las de carbono negro debidas en gran medida a la ineficiencia de la combustión en los hornos.

La iniciativa de creación de parques ladrilleros tecnificados que cuenten con los equipos de control adecuados resulta entonces bastante atractiva en términos de mejora de calidad del aire además de los beneficios en salud, sociales y económicos para los productores.

Cabe señalar que el estado de Jalisco ha preparado un proyecto de norma ambiental estatal NAE-SEMADET-XXX/2017: criterios y especificaciones técnicas para la ubicación, reubicación y operación de unidades productoras de piezas elaboradas con material cerámico en el Estado de Jalisco que regulará a todos aquellos que realicen actividades artesanales o industriales, como elaboración de ladrillos, cerámica, alfarería o análogas; adicionalmente en la medida que se incida sobre el tipo de combustibles que se pueden emplear se podrán obtener beneficios adicionales en materia de reducción de emisiones.

## Medida 5:

### Prohibición del uso de combustóleo en el AMG

Hoy en día son ampliamente reconocidos los problemas de contaminación ambiental, en particular el del aire, que dan lugar a la acumulación de riesgos para la salud y el bienestar de la población.

Desde hace varias décadas la contaminación del aire se ha asociado con ciertos efectos nocivos para la salud de las poblaciones. En 1948 los niveles extremadamente altos de contaminación del aire se asociaron con episodios de exceso de mortalidad en Donora, Pennsylvania, en Estados Unidos de América (EUA),<sup>9</sup> al igual que en Londres, Inglaterra, en 1952<sup>10</sup> y en Meuse Valley, Bélgica, en 1930.<sup>11</sup> Esos episodios se caracterizaron por elevados niveles de partículas, bióxido de azufre y mezclas. Por otra parte, los niveles de contaminación del aire no tan extremos también se han asociado con mortalidad prematura. Los análisis de datos procedentes de Londres han mostrado una asociación entre la mortalidad y un amplio rango de concentraciones de contaminantes, sin que exista evidencia de un umbral. La relación con partículas fue independiente de los niveles de bióxido de azufre, pero no viceversa.<sup>12</sup>

En un estudio realizado en niños menores de 15 años que acudieron a los servicios de urgencias y medicina familiar de un hospital de especialidades del Instituto Mexicano del Seguro Social ubicado en la zona suroeste de la Ciudad de México en 1993, Téllez-Rojo y colaboradores<sup>13</sup> estimaron que con un incremento de 50 ppb en el promedio horario de ozono de un día ocasionaría, al día siguiente, un incremento del 9.9% en las consultas de urgencias por infecciones respiratorias altas en el periodo invernal, cifra que puede elevarse hasta en 30% si el incremento se diera en cinco días consecutivos como promedio.

Por otra parte, en un estudio realizado en la Ciudad de México, Borja y colaboradores<sup>14</sup> observaron un incremento de la mortalidad asociado de manera independiente con ozono, bióxido de azufre y partículas totales en suspensión. Cuando se consideraron los tres contaminantes simultáneamente en el mismo modelo, sólo las partículas totales en suspensión se asociaron con la mortalidad, de tal forma que se observó un 6% de incremento en la mortalidad por cada 100 mg/m<sup>3</sup>. Los autores no encontraron un efecto independiente del ozono asociado con la mortalidad, pero es difícil atribuir los efectos observados a un contaminante por sí solo a la luz de la complejidad de las mezclas a las cuales la población está expuesta.

<sup>9</sup> Shrenk HH, Heimann H, Clayton GD. Air pollution in Donora, PA: Epidemiology of the unusual smog episode of October 1948. Preliminary report. Washington, D.C.: US Public Health Service. (Public Health Bulletin 306), 1949.

<sup>10</sup> Ministry of Health, United Kingdom. Mortality and morbidity during the London fog of December 1952. Londres: HMSO (Reports on public health and medical subjects 95), 1954.

<sup>11</sup> Firket J. Fog along the Meuse Valley. Trans Faraday Soc 1936;32:1192-1197.

<sup>12</sup> Schwartz J, Marcus A. Mortality and air pollution in London. A time series analysis. Am J Epidemiol 1990;131:185-194

<sup>13</sup> Téllez-Rojo M, Romieu I, Polo-Peña M, Ruiz-Velasco S, Meneses-González F, Hernández-Avila M. Efecto de la contaminación ambiental sobre las consultas por infecciones respiratorias en niños de la Ciudad de México. Salud Publica Mex 1997;39(6) :513-521.

<sup>14</sup> Borja-Aburto VH, Loomis DP, Bangdiwala SI, Shy CM, Rascón-Pacheco RA. Ozone, suspended particles, and daily mortality in Mexico City. Am J Epidemiol 1997;145:258-268

Loomis y colaboradores<sup>15</sup> observaron un incremento de la mortalidad infantil asociado con los niveles de PM<sub>2.5</sub> que se presentaron días antes de la muerte. La asociación más fuerte que se observó fue con el promedio de la concentración de PM<sub>2.5</sub> durante un periodo de tres a cinco días previos: un incremento de 10 mg/m<sup>3</sup> en el promedio de partículas finas durante esos tres días se asoció con 6.9% de incremento de muertes infantiles. La mortalidad infantil también se asoció con los niveles de bióxido de nitrógeno y ozono que hubo entre los tres y cinco días previos a la muerte, pero dicha asociación no fue tan consistente como con PM<sub>2.5</sub>. Estos hallazgos sugieren que la relación entre la mortalidad infantil y la contaminación del aire requiere de más investigaciones para identificar qué niños están en riesgo y de qué manera pueden prevenirse los efectos adversos.

En consecuencia, las concentraciones ambientales y las fuentes de emisiones de PM de menos de 2.5 µm de diámetro (PM<sub>2.5</sub>) enfrentan la posibilidad de una mayor regulación. La composición de las PM<sub>2.5</sub> es más tóxica, ya que su principal origen es antropogénico, estando fundamentalmente formadas por partículas secundarias: nitratos y sulfatos (originados por oxidación de NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>), aerosoles orgánicos secundarios, como el peroxiacetil nitrato (PAN) y los hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA).

Adicionalmente, los investigadores de los efectos en la salud han identificado al menos otras dos propiedades de la composición de partículas ambientales que exacerban el daño a la salud: la presencia de metales de transición (por ejemplo, Cu, Fe, V, Ni y Zn) (Dreher, et al., 1996; Dreher, et al., 1997) y la acidez en aerosol. Además de la composición de las partículas, otro factor aparente que influye a los impactos en la salud es la presencia de partículas ultrafinas (0.1 µm de diámetro) (U.S. EPA, 1999). Las tres características, metales de transición, acidez y tamaño ultrafino, se exhiben por las partículas generadas a partir de la combustión de combustóleo.

A causa de las diferencias en sus características de composición y combustión, el combustóleo genera emisiones distintas al quemarse, suele presentar un mayor las emisiones de óxidos de azufre que se relacionan directamente con el contenido de azufre del combustóleo, sus emisiones son más contaminantes que las de otros destilados del petróleo.

Otros contaminantes generados durante la quema de combustóleo son óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, gases de efecto invernadero, compuestos volátiles (como los hidrocarburos no quemados) y metales tóxicos en niveles traza (CCA, 2018).

Por los motivos antes mencionados las autoridades ambientales de la ZMVM acordaron en 1991 la prohibición del uso de combustibles de uso industrial con un

---

<sup>15</sup> Loomis DP, Castillejos M, Gold DR, McDonnell W, Borja-Aburto VH. Air pollution and infant mortality in Mexico City. *Epidemiology* 1999;10:118-123.

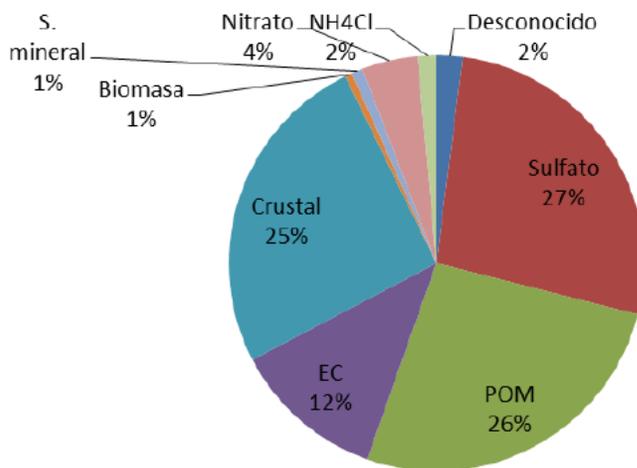
contenido de azufre superior al 2% en peso. Con esta medida, se suspendió a partir de entonces el uso del combustóleo pesado que se utilizaba anteriormente, el cual tenía un contenido de azufre superior al 3.5%. En su lugar se introdujo el gasóleo industrial, con un contenido de azufre menor al 2% (PICCA; 1995).

En 2014, como parte de un proyecto de cooperación entre México y Japón se llevó a cabo la caracterización y determinación de concentraciones de los componentes químicos presentes en las partículas  $PM_{2.5}$ , en específico carbono orgánico y elemental, elementos ligeros y pesados y compuestos inorgánicos secundarios de las principales zonas metropolitanas de México, incluida el AMG. Entre los resultados más importantes se encontró lo siguiente:

- La erosión y resuspensión aportan el 25% de la contaminación por partículas finas.
- La quema de combustibles fósiles, genera cerca del 40 % de contribución.
- La reacción de las emisiones de industriales y de automotores, de gases de óxidos de azufre y de óxidos de nitrógeno, contribuyen significativamente a la formación de partículas finas de nitratos y sulfatos de amonio en el 31 % de las partículas.
- La formación de sales minerales contribuye con el 1% y el uso de carbón y quema de leña con el 1% de partículas finas.

La composición aproximada de las  $PM_{2.5}$  se presenta en el siguiente gráfico:

**Figura 23. Caracterización de aerosoles en el AMG.**



OC/EC = 1.5.- Atmósfera Urbana

Fuente: (INECC-Universidad de Ehime-JICA, 2015).

## Evidencia de mejora de calidad del aire por eliminación del uso de combustóleo

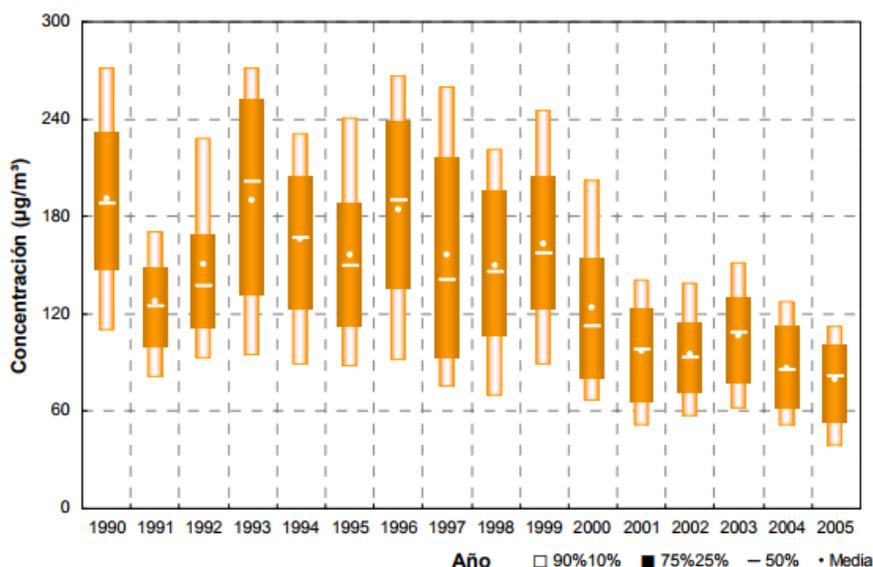
A partir de 1986 comenzaron a establecerse medidas de control de la contaminación del aire en la Ciudad de México. Como seguimiento de estos

esfuerzos, en 1990 se establece el Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica 1990-1994 (PICCA) (DDF/Gobierno del Estado de México/SEMARNAP/SSA, 1990), cuya aplicación fue gradual y redujo de manera paulatina las emisiones de contaminantes atmosféricos. Las áreas prioritarias de acción de este programa eran las siguientes: a) la industria petrolera, b) el transporte, c) la industria privada y los establecimientos de servicios, d) las termoeléctricas, e) reforestación y restauración ecológica, f) investigación, educación ecológica y comunicación social.

Con ese programa se pretendía que no se rebasaran las normas nacionales e internacionales en cuanto al bióxido de azufre, ozono y partículas y a partir de diciembre de 1991 se iniciaron los proyectos operacionales en la ZMVM para el cambio de combustible en las industrias y las normas fueron tomando un carácter más estricto, teniendo como resultado una reducción importante de la contaminación. Como ejemplo se tiene la prohibición, a partir de 1992, del empleo de combustibles con alto contenido de azufre en el Valle de México, principalmente combustóleo.

En la ZMVM se observó un descenso en la concentración promedio anual de partículas  $PM_{10}$  entre 1988 y 1997, sin embargo, ese descenso se hizo más marcado una vez que comenzó a operar el PICCA, esto es, de 1991 a 1997, cuando hubo un descenso global estimado de 56% en las concentraciones de partículas.

**Figura 24. Tendencias de las  $PM_{10}$  en la ZMVM, 1990-2005.**

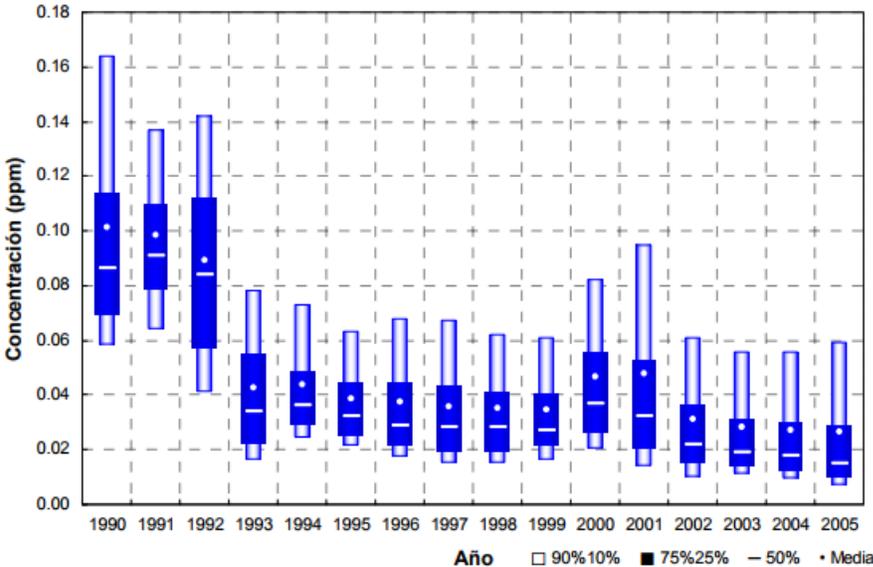


Fuente: (SMA, 2006).

La concentración de este bióxido de azufre se mantuvo prácticamente constante y por encima de la norma de la EPA (30 ppb) hasta 1992. A partir de ese año se observó un descenso en el promedio anual de la concentración de  $SO_2$  hasta

alcanzar concentraciones por debajo de la norma; en 1997 el promedio anual de este contaminante se redujo aproximadamente en 33 ppb en relación con 1991.

Figura 25. Tendencia del SO<sub>2</sub> en la ZMVM, 1990-2005.



Fuente: (SMA, 2006).

## Medidas complementarias

Si bien las medidas enlistadas en las secciones anteriores son aplicables principalmente al AMG se reconoce que el ProAire tiene por objeto una aplicación a nivel estatal, por lo tanto se emiten recomendaciones adicionales para regular otras fuentes de emisión relevantes a nivel estatal.

## Control de emisiones de ingenios azucareros

La agroindustria azucarera en México es de gran importancia para la economía nacional. En los últimos 10 años, representó el 8% del PIB de la industria alimentaria y el 16% del PIB agrícola.

La caña de azúcar es uno de los once productos básicos y estratégicos para México y su importancia es tal que está sujeto a una ley específica para el desarrollo sostenible de la caña de azúcar (LDSCA).

Entre 2014-2015, el 82% de las fábricas de azúcar generaron el 80% de la electricidad que consumen, utilizando bagazo como combustible principal para la cogeneración de electricidad y vapor de agua durante su proceso de producción. Sin embargo, hay un gran potencial sin explotar vinculado a la optimización de la eficiencia energética y cogeneración.

Jalisco cuenta con 6 ingenios azucareros, (que operaron en la zafra 2015/2016), y en 5 de ellos, el consumo de combustóleo se ha eliminado por completo logrando una mejor eficiencia energética para la elaboración de azúcar, mientras que el ingenio restante, solamente consumió 2 m<sup>3</sup> de este combustible. El potencial de biomasa en el sector azucarero es considerable si se toma en cuenta que por cada 100 toneladas de caña procesada se obtienen: de 10 a 12 toneladas de azúcar; de 25 a 30 de bagazo; quedan en campo de 10 a 20 toneladas de residuos agrícolas y de 5 a 7 toneladas de paja (CONADESUCA, 2016).

Figura 26. Ubicación de los ingenios azucareros del estado de Jalisco.



Fuente: (CONADESUCA, 2017).

## Emisiones de la industria azucarera de Jalisco

Las emisiones provenientes de la industria azucarera de Jalisco se estimaron para el año 2016 y se presentan a continuación:

**Tabla 10. Emisiones de contaminantes criterio y precursores provenientes de los ingenios azucareros de Jalisco en el año 2016.**

Ingenio	Municipio	t/año							
		PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	COT	COV	NH <sub>3</sub>
Bellavista	Acatlán de Juárez	1,287.38	1,243.49	1,125.33	543.91	7,127.09	469.98	450.13	196.93
José Ma. Martínez	Tala	3,200.08	3,090.99	2,797.27	1,352.01	17,716.06	1,168.25	1,118.91	489.52
José Ma. Morelos	Casimiro Castillo	1,269.86	1,226.57	1,110.16	536.52	7,030.08	463.58	444.00	194.25
Melchor Ocampo	Autlán de Navarro	2,235.14	2,158.95	1,953.80	944.34	12,374.05	815.98	781.52	341.91
San Fco. Ameca	Ameca	1,759.96	1,699.96	1,538.42	743.57	9,743.35	642.50	615.37	269.22
Tamazula	Tamazula	2,493.61	2,408.60	2,179.73	1,053.54	13,804.94	910.34	871.89	381.45
Total		12,246.03	11,828.55	10,704.71	5,173.88	67,795.57	4,470.63	4,281.83	1,873.30

Fuente: Estimación propia.

Adicionalmente se han estimado las emisiones de carbono negro provenientes de los ingenios azucareros ubicados en el estado de Jalisco

**Tabla 11. Emisiones de CN provenientes de los ingenios azucareros de Jalisco en el año 2016.**

Ingenio	Municipio	t CN
Bellavista	Acatlán de Juárez	373.05
José Ma. Martínez	Tala	927.30
José Ma. Morelos	Casimiro Castillo	367.97
Melchor Ocampo	Autlán de Navarro	647.68
San Fco. Ameca	Ameca	509.99
Tamazula	Tamazula	722.58
Total		3,548.56

Fuente: Estimación propia.

La emisión de partículas es significativa ya que aproximadamente 30% en masa de las partículas PM<sub>2.5</sub> es carbono negro (CARB, 2017). Por tal motivo en el Programa Nacional de Normalización 2016 se inscribió como tema nuevo la Norma Oficial Mexicana NOM-170-SEMARNAT-2017, Contaminación atmosférica-Límites Máximos Permisibles de emisión provenientes de generadores de vapor que utilizan bagazo de caña de azúcar como combustible (SEMARNAT-SFNA, 2017) “Contaminación atmosférica-niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes provenientes de equipos de combustión para calentamiento indirecto que utilizan biomasa como combustible y su medición en la industria azucarera”. Con esta NOM se tiene como objetivo establecer los niveles máximos permisibles de emisión de partículas totales (PM) óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO) y bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) generadas en calderas en ingenios azucareros a nivel nacional (SEMARNAT-SFNA, 2017).

Asimismo, durante los trabajos del desarrollo de la NOM-170, se confirmó que no existen mediciones suficientes y representativas de las características de las corrientes gaseosas de dichos sistemas; en el caso de partículas, de acuerdo a lo que sucede en otros países (TIFAC, 2009), se han observado rangos de concentración que van desde los 70 a 7000 mg/m<sup>3</sup>, por lo anterior resulta fundamental determinar el nivel real de las emisiones de partículas y en consecuencia de CN.

Con esta NOM, los ingenios azucareros deberán limitar sus emisiones de partículas y los responsables de los generadores de vapor existentes que no cumplan con los límites máximos permisibles de emisión establecidos en la norma, a su fecha de entrada en vigor, deberán realizar las acciones correspondientes para cumplir con dichos límites, a más tardar en los siguientes plazos:

**Tabla 12. Calendario de cumplimiento de la NOM para los ingenios azucareros.**

Capacidad de equipo	Fecha
Generadores de vapor de >200 GJ/h,	1 de enero de 2019
Generadores de vapor de >100-200 GJ/h	1 de enero de 2020
Generadores de vapor de 10-100 GJ/h	1 de enero de 2021

Fuente: (SEMARNAT-SFNA, 2017).

En términos generales, la instalación de sistemas de control puede reducir hasta en un 90% las emisiones de partículas y consecuentemente de carbono negro.

## Costos estimados

Los ingenios azucareros representan una importante fuente de emisiones de carbono negro debido a la quema de bagazo en las operaciones de la refinación del azúcar. A continuación se presenta un ejercicio de estimación de costos

referente a la incorporación de filtros de partículas (“scrubbers”) en dos ingenios en el estado de Oaxaca, ubicados en los municipios de Tuxtepec y Cosolapa. Dichos filtros representan un método de separación para remover partículas y gases simultáneamente, además de encargarse de colectar dichas partículas en rangos muy amplios (incluyendo al carbono negro) En este caso se estimó una mitigación acumulada de 22 mil toneladas de carbono negro al 2030.

### Supuestos:

- La inversión incluye los costos por compra del equipo y los costos directos e indirectos de instalación en el primer periodo de tiempo. Además, anualmente se contempla un costo de mantenimiento del equipo. Los datos fueron obtenidos del Manual de costos del control de contaminación del aire de la EPA (2002).
- No se toman en cuenta beneficios privados directamente relacionados a la instalación de estos filtros, pues sólo controla las emisiones emitidas. Sin embargo, podrían valorarse otro tipo de beneficios indirectos como el prestigio social y empresarial que le proporcionaría a los ingenios la responsabilidad con el medio ambiente. El alcance de este análisis limita la valorización de este tipo de elementos, por lo tanto, no se cuantificaron.
- Para el beneficio social de la medida se consideró el valor de la externalidad negativa evitada en salud. El dato se obtuvo del estudio “Cuantificación de externalidades de sistemas que involucran el aprovechamiento de energías renovables contra sistemas convencionales” (Colegio de Ingenieros Ambientales de México, 2013) donde se incluye un cálculo de las externalidades negativas en salud ocasionadas por el ingenio Emiliano Zapata en Zacatepec de Hidalgo, Morelos.
- Se realizaron dos cálculos, uno considerando externalidades y otro sin tomarlas en cuenta. Se plantean dos escenarios para evitar el sesgo en la comparación con otras medidas.
- Cada equipo tiene una vida útil de 15 años, de acuerdo al manual de la EPA (US EPA, 2002). Para la conversión de dólares a pesos, se consideró un promedio de la cotización del dólar frente al peso del Banco de México para el periodo de enero del 2014 a enero de 2015. Esto con el fin de tener un periodo amplio de datos.

### Resultados

**Tabla 13. Resultados del valor presente neto de la medida considerando externalidades.**

Valor Presente Neto (VPN)	
Tasa de descuento	10%

VPN (mdp) al 2020	-\$ 2,858
VPN (mdp) al 2030	-\$ 6,678
VPN (mdp) a la vida útil	-\$ 6,896

Fuente: Estimación propia.

**Tabla 14. Costo por tonelada mitigada considerando externalidades.**

Costo por tonelada abatida (pesos/kg CN)		
2020	-\$	1,229
2030	-\$	312

Fuente: Estimación propia.

**Tabla 15. Resultados del valor presente neto de la medida sin considerar externalidades.**

Valor Presente Neto (VPN)		
Tasa de descuento	10%	
VPN (mdp) al 2020	\$	28
VPN (mdp) al 2030	\$	31
VPN (mdp) a la vida útil	\$	31

Fuente: Estimación propia.

**Tabla 16. Costo por tonelada mitigada sin considerar externalidades.**

Costo por tonelada abatida (pesos/ kgCN)		
2020	\$	6
2030	\$	1

Fuente: Estimación propia.

# Evaluar las emisiones de COV provenientes de la industria tequilera

En varias partes del mundo las actividades de instalaciones dedicadas a la fabricación de todos tipos de vino, (por ejemplo, uva, manzana, jengibre), vinagre de vino y alcohol están obligadas a reportar sus emisiones.

Las principales sustancias sobre las que las destilerías e instalaciones similares deben informar son etanol y COV totales. El umbral para el etanol es el "uso" de 10 toneladas o más por año y el umbral para el total de COV es el uso de 25 toneladas o más por año. La siguiente tabla proporciona una guía de los volúmenes de producción que superarían estos umbrales. Dado que el alcohol en el vino y otros destilados es el etanol, se asume que el porcentaje de alcohol es el mismo que el porcentaje de etanol.

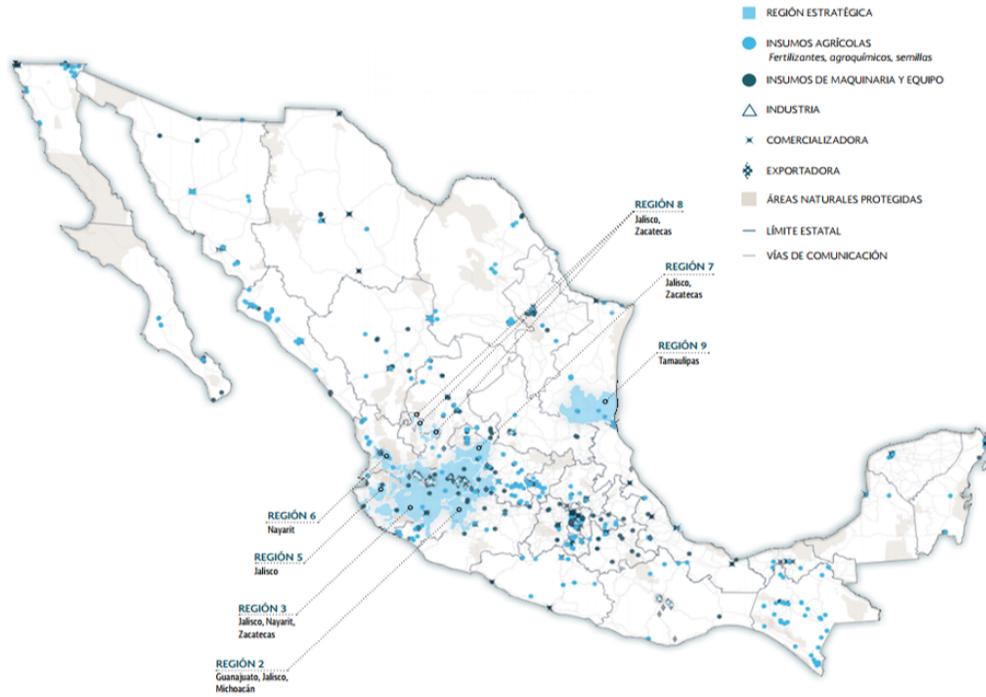
**Tabla 17. Producción de vino/destilado requerido para estimar Etanol y COV totales.**

Sustancia	Etanol	Producción
	%	m <sup>3</sup> /año
Etanol	10	130
Etanol	12.5	104
Etanol	15	86
Etanol	40	32
Etanol	70	19
COV totales	10	324
COV totales	12.5	259
COV totales	15	216
COV totales	40	81
COV totales	70	46

Fuente: (National Pollutant Inventory, 2010).

En el estado de Jalisco deberían evaluarse este tipo de emisiones considerando la importancia de la industria del tequila, el cual es uno de los principales motores de la economía estatal. El tequila, producto de manufactura casi exclusiva de la entidad, es una bebida alcohólica regional obtenida del agave tequilana Weber Variedad Azul y su producción y comercialización están sujetas al cumplimiento de una Norma Oficial Mexicana: NOM-006-SCFI-2005, Bebidas Alcohólicas-Tequila-Especificaciones. Debe ser verificado y certificado (obligatorio por Norma) por el Consejo Regulador del Tequila (CRT) (Consejo Regulador del Tequila, 2017). Aunque también Tamaulipas, Nayarit, Michoacán y Guanajuato pueden elaborar la bebida según la denominación de Origen, Jalisco produce 90% del tequila a nivel nacional y goza de la mayoría de sus beneficios, tanto del proceso de producción como de su éxito como producto de exportación.

**Figura 27. Regiones tequileras de México.**



Fuente: (SAGARPA, 2017)

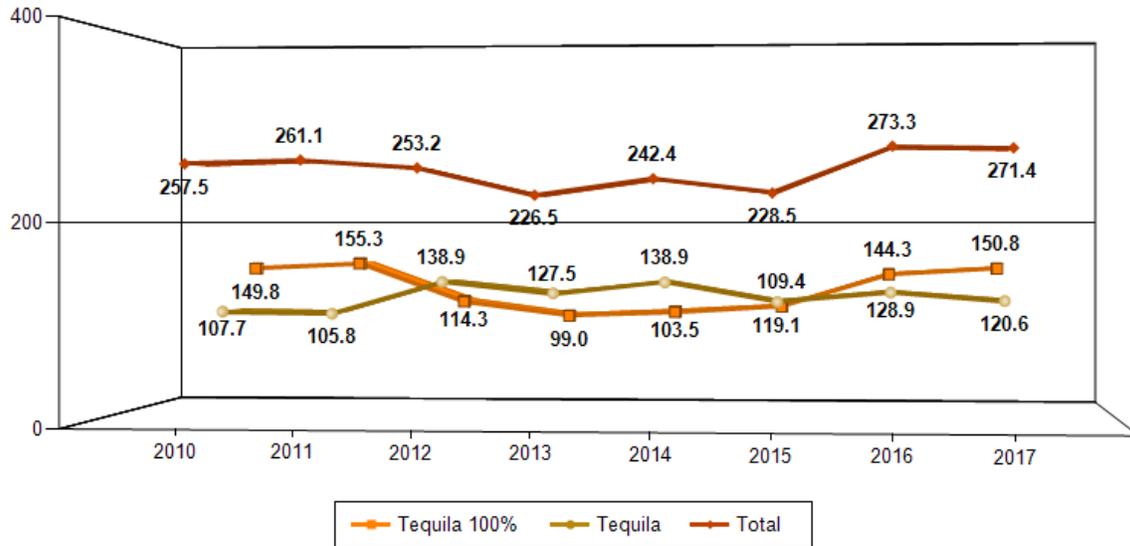
La cadena productiva agave-tequila en Jalisco genera alrededor de 60 mil empleos directos. De acuerdo a los datos estadísticos del CRT, la producción total de tequila entre los años 2010 y 2017 se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 18. Producción nacional de tequila (volúmenes expresados a 40% Alc.).**

Producto	Millones de litros							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tequila 100%	149.8	155.3	114.3	99.0	103.5	109.4	144.3	150.8
Tequila	107.7	105.8	138.9	127.5	138.9	119.1	128.9	120.6
Total	257.5	261.1	253.2	226.5	242.4	228.5	273.3	271.4

Fuente: CRT, 2018.

Figura 28. Producción nacional de tequila (volúmenes expresados a 40% Alc.).



Fuente: CRT, 2018.

De acuerdo al porcentaje de los azúcares provenientes del agave que se utilice en la elaboración del tequila, éste se puede clasificar en una de las siguientes categorías:

**a) 100% de agave**

Es el producto, que no es susceptible en la fermentación de ser enriquecido con otros azúcares distintos a los obtenidos del agave tequilana Weber variedad azul cultivado en el territorio comprendido en la Declaración. Para que este producto sea considerado como “Tequila 100% de agave” debe ser embotellado en la planta de envasado que controle el propio productor autorizado, misma que debe estar ubicada dentro del territorio comprendido en la Declaración.

Este producto debe ser denominado únicamente a través de alguna de las siguientes leyendas: “100% de agave”, “100% puro de agave”, “100% agave”, “100% puro agave”.

**b) Tequila**

Es aquel producto en el que los mostos son susceptibles de ser enriquecidos y mezclados conjuntamente previo a la fermentación con otros azúcares hasta en una proporción no mayor de 49% de azúcares reductores totales expresados en unidades de masa. Este enriquecimiento máximo de hasta 49% de azúcares reductores totales expresados en unidades de masa, no se puede realizar con azúcares provenientes de cualquier especie de agave. Solo se podrá incrementar el 51% de azúcares reductores totales con azúcares extraídos de Agave tequilana Weber variedad azul cultivado en el territorio comprendido en la Declaración. Este producto debe ser embotellado en plantas de envasado que estén ubicadas dentro del territorio comprendido en la Declaración y sólo podrá ser embotellado fuera de éste cuando se cumplan las condiciones establecidas en la NOM.

## Emisiones de la industria del tequila en Jalisco

Con base en los datos anteriores y tomando de referencia que el 90% de la producción nacional se concentra en el estado de Jalisco se ha realizado una primera estimación de poco más de 2800 toneladas de COV para el año 2017. Las estimaciones para el periodo comprendido entre 2010 y 2017 se presentan a continuación:

**Tabla 19. Emisiones de COV de la industria del tequila (toneladas/año).**

Proceso	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Fermentación	400.46	406.06	393.78	352.25	376.98	355.36	425.04	422.08
Prensado y cribado	73.23	74.26	72.01	64.42	68.94	64.99	77.73	77.19
Añejamiento	2,196.99	2,227.71	2,160.30	1,932.50	2,068.16	1,949.56	2,331.80	2,315.58
TOTAL	2,670.69	2,708.02	2,626.09	2,349.17	2,514.08	2,369.91	2,834.56	2,814.85

Fuente: Estimación propia.

Es importante mencionar que en México no existen factores de emisión específicos para la industria del tequila, esta representa un área potencial de investigación para determinar la verdadera magnitud y contribución de las emisiones de este sector.

## Regulación de las emisiones de vehículos pesados a diésel

Todos los días, los vehículos con motores a diésel generan contaminantes del aire que pueden afectar negativamente la salud humana. En California, la ARB requiere que los fabricantes de motores cumplan con estrictos estándares de contaminación para los motores más nuevos. Sin embargo, los propietarios de la flota pueden necesitar instalar una estrategia de control de emisiones de diésel verificado para disminuir las emisiones de los motores diésel más viejos y sucios. Una estrategia de control de emisiones diésel es una tecnología que, si se mantiene adecuadamente, reduce la contaminación atmosférica dañina del escape del motor diésel antes de emitirse al aire. La tecnología más común utilizada es un filtro de partículas diésel (DPF), también conocido como filtro de hollín o DECS, que sustituye al silenciador de fábrica original. ARB evalúa y aprueba los DPF para cumplir con la reducción de emisión de partículas específicas o de óxidos de nitrógeno.

Asimismo en California, la ley existente requiere que la ARB adopte regulaciones que requieren a los propietarios u operadores de vehículos con motores diésel de servicio pesado para realizar inspecciones regulares de sus vehículos.

La preocupación en Estados Unidos y en particular en California, por la regulación de las emisiones de los vehículos pesados que funcionan a diésel se debe principalmente a las siguientes causas:

- a) Se sabe que los humos de escape de los motores alimentados con diésel causan cáncer.
- b) Un estudio realizado en 2000 por la South Coast Air Quality Management District titulado "Estudio de Exposición a Múltiples Tóxicos del Aire II" o "MATES II" (por sus siglas en inglés) determinó que el 70% del riesgo de cáncer del aire por contaminación del aire en la cuenca atmosférica de South Coast es atribuible a los escapes de motores a diésel. La ARB ha hecho el mismo hallazgo en el resto del estado de California.
- c) Los motores a diésel representan más del 70% de la contaminación por partículas (PM) proveniente de todas las fuentes móviles en California.
- d) Las PM provenientes de la combustión del diésel se han relacionado con el asma y otras enfermedades respiratorias y muerte prematura.
- e) Los escapes de motores a diésel también son una fuente importante de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), que se combinan con la luz solar para crear ozono troposférico o smog.
- f) La exposición al smog se ha relacionado con la disminución de la función pulmonar en niños de California.
- g) Muchas regiones de California no cumplen con las normas de calidad del aire ambiente para el ozono y la PM, incluidos, pero no limitado a aquellas regiones que incluyen las cuencas atmosféricas de South Coast y San Joaquín, que tienen la peor calidad de aire de Estados Unidos. En Estados Unidos, si las regiones no logran alcanzar los objetivos de calidad del aire establecidos por la Clean Air Act en sus fechas límites determinadas, sus residentes seguirán expuestos a riesgos severos de salud, y las regiones corren el riesgo de la pérdida de miles de millones de dólares en fondos de transporte y otras posibles sanciones.
- h) Los vehículos pesados equipados con motores que emiten mayores niveles de NOx y PM que los permitidos por los estándares de emisiones federales que fueron aplicables en el momento en que se fabricaron contribuyen a la formación de ozono y aumento de los niveles de PM, lo que representa una amenaza para la salud pública en California.

Con base en los puntos anteriores, se instituyó en California el Programa de Inspección de Vehículos de Servicio Pesado (Heavy-Duty Vehicle Inspection Program, HDVIP) y el Programa de Inspección Periódica de Humo (Periodic Smoke Inspection Program, PSIP) del ARB, los cuales fueron aprobados en 1988 (Senate Bill 1997) y 1990 (Senate Bill 2330), respectivamente, para controlar las emisiones excesivas de humo y la manipulación de camiones y autobuses a diésel de servicio pesado. Las regulaciones, título 13 CCR, secciones 2180-2189 para HDVIP, y título 13 CCR, secciones 2190-2194 para PSIP, que rigen estos programas fueron modificados por última vez en 2013.

El programa HDVIP requiere que los camiones y autobuses de servicio pesado sean inspeccionados en busca de humo excesivo y alteraciones, y el cumplimiento de la etiqueta de certificación del motor. Cualquier vehículo pesado que viaje en California, incluidos vehículos registrados en otros estados y países extranjeros, puede ser probado. Las pruebas son realizadas por los equipos de inspección de ARB en los cruces fronterizos, las estaciones de pesaje, las instalaciones de la flota y las ubicaciones al azar seleccionadas al borde de la carretera. Los propietarios de

camiones y autobuses que violen este reglamento están sujetos a sanciones mínimas a partir de USD\$300 por violación.

El programa PSIP requiere que los propietarios de flotas de diésel y autobuses lleven a cabo inspecciones anuales de la opacidad del humo de sus vehículos y reparen las unidades que tienen emisiones excesivas de humo para garantizar el cumplimiento de las normativas. La ARB audita al azar flotas, registros de mantenimiento e inspección y prueba una muestra representativa de vehículos. Todos los vehículos que no pasen la prueba deben ser reparados y reexaminados. El propietario de una flota que no realiza la inspección anual de opacidad del humo en los vehículos correspondientes está sujeto a una multa de USD\$ 500 por vehículo, por año.

A partir del 1 de enero de 2010, el Proyecto de Ley 1488 requiere que los vehículos a diésel (turismo y camiones) fabricados después del año modelo 1997 con una clasificación de peso bruto vehicular de 6.3 toneladas o menos, se incluyan en el Programa de Control de Smog de California.

En México, a partir del 5 de septiembre de 2017 los vehículos automotores de autotransporte federal de carga, pasaje o turismo, en sus diversas modalidades y transporte privado federal deberán realizar la verificación, de acuerdo a lo ordenado por la NOM-167-SEMARNAT-2017.

Sin embargo, hasta el momento esta NOM se aplicará a las unidades que circulan en la Megalópolis, conformada por la Ciudad de México y los estados de México, Hidalgo, Puebla, Morelos y Tlaxcala.

Las pruebas de emisión de contaminantes se realizarán en establecimientos que determine la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y no podrán circular quienes carezcan del holograma correspondiente.

La nueva regulación establece que los vehículos no podrán circular emitiendo humo y faculta a las autoridades de los gobiernos locales a retirarlos de circulación de inmediato. Sería recomendable buscar que la NOM-167 sea también de aplicación obligatoria en el Estado de Jalisco, ya que de acuerdo al inventario de emisiones de fuentes móviles 2008, los tractocamiones, los vehículos con peso mayor a 3 toneladas (que en su mayoría utilizan diésel) y los autobuses generando más de 360 toneladas anuales de PM<sub>2.5</sub>, provocando deterioros importantes a la calidad del aire del AMG y costos en salud de la población que no han sido determinados.

## Recomendaciones y conclusiones

En el área metropolitana de Guadalajara el 40% de los días presentan mala calidad del aire, siendo los parámetros críticos Ozono durante el verano y  $PM_{10}/PM_{2.5}$  durante la época invernal. La mala calidad del aire afecta severamente la salud de la población e involucra grandes pérdidas a la sociedad en su conjunto. A continuación se enlistan las recomendaciones principales para mejorar la calidad del aire de la región:

- Para una apropiada gestión de la calidad del aire es indispensable actualizar los inventarios de emisiones de contaminantes criterio y precursores tanto a nivel estatal como el específico de la AMG. Dichas actualizaciones deben efectuarse con el modelo MOVES en el caso de emisiones vehiculares y efectuar cambios metodológicos importantes en las estimaciones de varias subcategorías de las fuentes de área.
- La implementación de un sistema integral de recuperación de vapores de gasolina en las etapas 0,1 2 podrá incidir en forma muy favorable en el abatimiento de las concentraciones de ozono troposférico del AMG.
- Asimismo es indispensable la instrumentación de un Programa de Verificación Vehicular con método de medición dinámica que incida efectivamente sobre las emisiones provenientes de los vehículos a gasolina que no dispones del sistema OBD (anteriores al 2006) y conlleve a un proceso acelerado de renovación del parque vehicular del AMG.
- También es indispensable el diseño de un sistema de regulación efectiva de las emisiones provenientes de vehículos a diésel con emisiones visibles de humos negros, por su gran impacto sobre la salud pública y contribución en la problemática de partículas que se presenta en el área de estudio.
- La modernización y regulación del sector ladrillero que se está llevando a cabo, constituye una medida muy conveniente dentro del Programa de Gestión de Calidad del Aire que inducirá beneficios ambientales, sociales y económicos importantes.
- Deben efectuarse estudios complementarios orientados a la estimación precisa de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles de sectores tales como: alimenticia, impresión, farmacéutica, armadoras de vehículos y de manufactura que involucren aplicaciones de pinturas base solventes a gran escala.
- Una vez elaborado un diagnóstico fundado sobre las emisiones de COV's en el AMG, debe contemplarse la expedición de una norma técnica orientada a la reducción de emisiones de COV's en dichas actividades.

## **Evidencias sobre la reducción de emisiones de Programas de Verificación Vehicular**

Se analizan algunas de las evidencias más relevantes y actualizadas sobre los beneficios en emisiones reducidas por los programas de verificación vehicular. Se hace referencia principalmente a las evaluaciones de Programas de Inspección y Mantenimiento de los Estados Unidos. En el caso de México se analizan los principales informes disponibles sobre análisis del programa de la Zona Metropolitana del Valle de México, y ciertos estudios que se han hecho en otras áreas con sensores remotos. No se analizan las características propias de los programas de verificación o inspección, sino sólo las evidencias sobre reducciones. En la mayoría de los casos se determinaron reducciones de emisiones de Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarburos (HC) y Óxidos de Nitrógeno (NOx). También parecería ser una tendencia en Estados Unidos la migración hacia programas basados en OBD para el parque vehicular de tecnología moderna, como el caso ejemplar del estado de California.

### **Evaluación de reducción de emisiones en los programas de Inspección y Mantenimiento de los Estados Unidos**

En los Estados Unidos se han implementado programas de Inspección y Mantenimiento (I&M) por cerca de 40 años, como mandato de la Clean Air Act, en áreas que no cumplen los estándares de calidad del aire. Su objetivo ha sido asegurar que los vehículos mantengan los estándares de emisión a lo largo de su vida útil (NAP, 2001).

Evaluar los beneficios de un programa de inspección y mantenimiento o de verificación vehicular es complejo y desafiante. Usualmente se trata de determinar la reducción de emisiones lograda por el programa. Para evaluar estas reducciones se suelen utilizar datos de medición de emisiones de escape generados por los programas I&M o PVV, datos de mediciones en inspecciones carreteras y datos de medición de sensores remotos. A partir de estos datos se puede utilizar alguno de estos métodos para estimar reducciones de emisiones de escape (NAP, 2001).

- **Método de referencia:** se comparan las emisiones por año modelo resultantes del programa contra las de un programa de referencia, que puede ser un sitio sin I&M o algún programa modelo u objetivo. Para realizar una comparación realista es necesario ajustar los parámetros según las diferencias de las flotas vehiculares de los programas comparados, por ejemplo tipo de vehículos, modelo, altitud, clima y tipo de combustible.
- **Método de paso (step method):** se puede aplicar cuando un programa I&M se comienza o cuando se modifica sustancialmente, y en el que en algún punto alrededor de la mitad del parque vehicular ha pasado por el nuevo programa y la otra mitad no. En este método se analizan las emisiones de una muestra aleatoria de vehículos verificados por el nuevo programa contra vehículos que aún no se han

sometido a la nueva prueba. La principal ventaja en comparación con el método de referencia es que en método de paso no se requieren hacer correcciones por el tipo de parque vehicular de referencia.

- Método integral (Comprehensive method): en este método, los vehículos se separan en grupos conforme a los resultados de su inspección: aprobado inicial, fallo/aprobado, fallo/exención, y fallo/rechazo definitivo. Cada grupo se monitorea en el tiempo por medio de medición con sensor remoto o subsecuentes inspecciones. Una versión simplificada de este método implica el cálculo de las reducciones de emisiones de vehículos que fallaron inicialmente y que son reparados. Los datos de la inspección inicial se comparan con las observaciones de emisiones en la prueba final. Este método puede sobreestimar las reducciones de emisiones reales del programa en su conjunto.

## Evaluaciones del Programa Smog Check de California

En el 2000 el California Air Resource Board (CARB) y el Bureau of Automotive Repair (BAR) realizaron una evaluación del programa con datos de vehículos inspeccionados en carretera con una prueba en Modo de Aceleración Simulada (ASM, por sus siglas en inglés). Esta evaluación se realizó cuando el programa evolucionó hacia pruebas dinámicas con el Enhanced Smog Check Program (ESCP). El estudio de CARB/BAR arrojó que las emisiones (en masa) reducidas eran de entre 28 y 34 ton/día para HC y de 12 a 32 ton/día para NO<sub>x</sub>, para los diferentes puntos de corte (Tabla 20). A pesar de esto, el estudio también determinó que las reducciones de emisiones eran significativamente menores que las anticipadas por el Plan de Implementación Estatal (SIP, por sus siglas en inglés), representando alrededor de 60% las reducciones anticipadas de HC y 59% de los NO<sub>x</sub> (NAP, 2001; CARB, 2000).

**Tabla 20. Estimados de reducciones de emisiones de la Evaluación CARB/BAR del Programa I/M Mejorado de California.**

**TABLE 3-3** Estimates of Emissions Reductions from the CARB/BAR Evaluations of California's Enhanced I/M Program

	HC (tons per day)	NO <sub>x</sub> (tons per day)
CARB/BAR evaluation using original NO <sub>x</sub> cutpoints	28	12
CARB/BAR evaluation using tightened NO <sub>x</sub> cutpoints	33	32
Emissions reductions from enhanced I/M contained in California's SIP	55	55

Source: CARB 2000b.

Fuente: NAP (2001), CARB (2000).

En el 2005 se realizó una evaluación del CARB al Programa I/M de California con datos hasta disponibles hasta 2002. Las reducciones de emisiones totales del programa estatal se calculan en 211 ton/día de hidrocarburos, 1,360 ton/día de CO

y 158 ton/día de NOx<sup>16</sup>, contemplando todas las áreas del estado donde se realizan pruebas Básicas, Mejoradas (Enhanced) o de Cambio de Propietario (CARB/BAR, 2005).

Los beneficios estimados del programa mejorado se evaluaron mediante datos del programa de inspección en camino del BAR y con resultados del modelo de emisiones EMFAC2002 de CARB. Se determinó en esta evaluación que el programa mejorado redujo las emisiones globales del parque vehicular en 13-15% para HC, 14-15% para CO y 9-12% para NOx, en comparación con los resultados de las pruebas del programa básico (Tabla 21). Este nivel de mejora se traduce en los siguientes beneficios expresados en toneladas por día reducidas (Tabla 22): 106 ton/día de HC, 672 ton/día de CO y 76 ton/día de NOx, adicionalmente a las que se hubiera reducido sólo con los requerimientos del programa básico (CARB/BAR, 2005).

**Tabla 21. Beneficios de las emisiones de escape del Programa I/M Mejorado con relación al Programa I/M Básico en el 2012 (Con base en tasas de emisión vehiculares promedio)**

**Table 1.2: Exhaust Emission Benefits of Enhanced I/M Relative to Basic I/M in Calendar Year 2002 (Based on Average Fleet Emission Rates)**

Analysis Type	HC Emissions (% Reduction)	CO Emissions (% Reduction)	NOx Emissions (% Reduction)
Roadside Data Analysis	15%	14%	9%
EMFAC2002 Analysis	13%	15%	12%

Fuente: CARB/BAR (2005).

**Tabla 22. Beneficios totales de emisiones del Programa I/M para áreas mejoradas en el 2012. Con base en el Modelo EMFAC2002**

**Table 1.3: Total I/M Emission Benefits for Enhanced Areas in Calendar Year 2002 Based on the EMFAC2002 Model**

Enhanced Area Benefits	HC (tpd)	CO (tpd)	NOx (tpd)
Benefits from Basic I/M Requirements in Enhanced Areas	49	448	53
Benefits from Enhanced I/M Requirements*	106	672	76
Total Emission Benefits in Enhanced Areas	155	1,120	129

\*Note: DCA/BAR is implementing some of the enhanced program improvements statewide, instead of in enhanced areas only. These include inspections of gas caps for evaporative emission leaks and liquid fuel leak testing. For the purposes of this evaluation, the emission benefits of these improvements in enhanced areas are considered part of the enhanced program.

Fuente: CARB/BAR (2005).

El informe más reciente del Programa Smock Check de California (BAR, 2017) se basa en el seguimiento de tasas de aprobación de inspecciones en carreteras voluntarias del 2016-2016 posteriores a la implementación del programa STAR. El análisis de vehículos años modelo 1976-1999, sujetos a inspección de emisiones de escape, muestra que estos vehículos tuvieron una tasa significativamente menor

<sup>16</sup> Con base en el modelo de emisión EMFAC2002.

de rechazo con respecto de los vehículos muestreados en carretera por BAR en 2003-2006 en el estudio de Sierra Research del 2009. La tasa de rechazo inmediata al momento de certificación de emisiones en vehículos que pasaron el I/M de este estudio es de 12%, en comparación con una tasa de 17%, resultante del estudio de Sierra (BAR, 2017).

## **Programa AIR de Colorado**

El programa AIR de Colorado tiene como objetivo reducir los niveles de CO en las áreas metropolitanas de Denver, Colorado Springs, Fort Collins y Greeley. La auditoría de 1999 del al programa AIR utilizó datos sobre los resultados de los vehículos que fallaban su prueba inicial. La evaluación concluyó que este programa redujo las emisiones de CO entre 8-17%<sup>17</sup> (NAP, 2001).

## **Evaluación del Programa de Minnesota**

A diferencia de otros estudios, la evaluación de Scherrer y Kittelson (1994) determinó los impactos sobre la calidad del aire del Programa de I/M de Minesota, a partir de datos de monitoreo ambiental de CO. Este contaminante suele ser emitido prominentemente por vehículos ligeros y es relativamente inerte en la atmósfera, por lo cual una evaluación de este tipo cobra sentido y relevancia. El estudio determinó que la reducción de concentraciones ambientales de CO que se podían atribuir al I/M era de 1.3%, en promedio para tres sitios de monitoreo analizados (NAP, 2001).

## **Evaluación del Programa de I/M de Atlanta utilizando el método de paso**

Corley et al (2003) evaluaron el programa de I/M de Atlanta de 1997. En ese año los vehículos de año modelo impar fueron sujetos a inspección con criterios del programa mejorado de I/M<sup>18</sup>, mientras que los años modelos pares fueron inspeccionados hasta el año siguiente, lo que habría la posibilidad de evaluar los cambios del I/M en el parque vehicular dentro de la misma zona geográfica.

La cuantificación de reducciones realizada a partir de datos de mediciones con sensor remoto develó que las reducciones de emisiones de CO ponderadas (por año-modelo) para los 9 condados exteriores fueron de 11.5%, mientras que para los 4 condados centrales fueron de 4.9%, incluyendo vehículos ligeros y pesados en ambos casos. En el caso de HC se determinaron reducciones de emisiones de 3.1% y 20.1% para los 4 condados y 9 condados, respectivamente (Tabla 23). Los autores

---

<sup>17</sup> El estimado menor corresponde a la estimación a partir de mediciones del programa I/M de vehículos que fallaban inicialmente y datos de sensor remoto. El estimado mayor corresponde a un análisis que utilizó el Modelo de Área Serious CO de la EPA, predecesor al MOBILE6.

<sup>18</sup> Esta consistió en la aplicación de una prueba semestral con tecnología estática de dos velocidades en los 13 condados de Atlanta. Previamente los 4 condados centrales aplicaban una prueba básica descentralizada estática, mientras que los 9 restantes no tenían programa.

suponen que las reducciones de emisiones más altas en los condados exteriores se deben no sólo al hecho de que en esos condados no existía programa I/M previamente, sino también a un posible efecto halo, es decir a que muchos de los vehículos que no aprobaban el programa I/M en los 4 condados centrales eran eventualmente vendidos a condados exteriores donde no existían previamente restricciones de inspección (Corley, et al., 2003).

**Tabla 23. Resultados del Método de Paso del Programa I/M de Atlanta**

TABLE 3. Results of Atlanta and Denver Step Method Analyses<sup>a</sup>

location	CO non-weighted benefit	CO weighted benefit	HC non-weighted benefit	HC weighted benefit	program change
Denver, cars and trucks	6.7	6.9	negligible	negligible	D, A, idle → C, B, IM 240
Atlanta nine-county, cars and trucks	13.4	11.5	21.3	20.1	no program → D, B, TSI
Atlanta nine-county, cars only	14.3	11.8	28.1	26.7	no program → D, B, TSI
Atlanta nine-county, trucks only	10.4	8.2	12.8	12.6	no program → D, B, TSI
Atlanta four-county, cars and trucks	5.9	4.9	5.7	3.1	D, A, idle → D, B, TSI
Atlanta four-county, cars only	5.3	3.2	4.3	1.6	D, A, idle → D, B, TSI
Atlanta four-county, trucks only	7.6	6.3	22.2	19.2	D, A, idle → D, B, TSI

<sup>a</sup> Legend: D = decentralized, C = centralized, A = annual, B = biennial, TSI = two-speed idle.

Fuente: Coerley et al (2003).

## Evaluación del Programa de Inspección y Mantenimiento de Vehículos de Texas

Esta evaluación fue realizada por Easter Research Group para la Comisión sobre Calidad Ambiental de Texas (TCEQ, por sus siglas en inglés) sobre el programa I/M para el bienio 2014-2015 en las áreas de Dallas-Fort Worth y Houston-Galveston-Brazoria, con información del Sistema de Gestión de Información de Texas (TIMS, por sus siglas en inglés) y datos de sensor remoto (ERG, 2016). Los autores hacen notar que actualmente el volumen de pruebas de emisiones de escape es mucho más bajo que en el pasado (ca. 5% de pruebas totales) por lo que la estimación de beneficios es menos exhaustiva que anteriormente.

Los beneficios anuales del programa I/M se midieron en términos de la reducción de emisiones del parque vehicular antes y después de ser reparados, así como con la comparación entre los datos del TIMS y de medición de sensor remoto antes y después de la inspección. El cambio aparente de concentraciones de emisiones antes y después de la inspección para las pruebas ASM fue: reducción de HC de 13 a 17%; reducción de CO de 24 a 28% y reducción de NOx de 16 a 18%. Este análisis no representa a todo el parque vehicular puesto que sólo se basa en vehículos que fallaron en la primera prueba y que posteriormente aprobaron o fallaron en la prueba final. Las reducciones registradas en esta evaluación son similares a las evaluaciones de 2014 y 2012 y ligeramente más conservadoras que las de 2009. Los autores sugieren que esto se puede deber a que el programa ha sido efectivo pero que ha alcanzado un plateau.

El análisis con datos de sensor remoto revela otras características relevantes. En 87% de vehículos medidos con el sensor remoto contaban con una aprobación

inicial de su I/M. En la medición posterior a la inspección, éstos reportaron incremento de 2.1% de HC y 5.4% de CO y decremento de 6.9% de NOx. Por otro lado, 5.1% de los vehículos medidos con sensor remoto tenían un fallo inicial seguido de una aprobación posterior en su I/M. En estos vehículos se determinaron incrementos de 25.2% de HC y 8.1% de CO, y reducciones de 9.9% de NOx, entre las mediciones del sensor remoto previas y posteriores a la prueba I/M.

### **Análisis de opinión del Instituto de Salud Pública de la Universidad de Wisconsin sobre los Programas I/M**

De acuerdo con el análisis provisto por esta institución sobre políticas que pueden mejorar la salud pública, existe evidencia de que los programas I/M pueden reducir las emisiones de vehículos ligeros y de carga. Sin embargo, consideran que aún se requiere evidencia adicional para confirmar los efectos de los programas I/M en vehículos de tecnologías modernas. Por otro lado, además de los resultados directos de los programas I/M para estimular el mantenimiento previo a las inspecciones, se piensa que estos programas también pueden incentivar que la industria de manufactura mejore las características de la tecnología de control de emisiones (University of Wisconsin, 2010).

### **Programa de Verificación Vehicular de la ZMVM y estudios en otras ciudades de México**

El Programa de Verificación Vehicular (PVV) de la Ciudad de México ha existido por cerca de 30 años. A lo largo de su existencia se han realizado diversas campañas de medición con sensor remoto para evaluar su efectividad, destacando recientemente las realizadas por SEDEMA (2006), INECC (2011), CMM (2010) y SEDEMA (2015), así como las tres campañas realizadas por el Instituto Mexicano del Petróleo a lo largo de la década de los noventas.

De acuerdo con las campañas de medición que se realizaron en la primera década de existencia del programa, este permitió que los valores de concentraciones de CO e Hidrocarburos se redujeran en 68% y 89%, respectivamente, para el promedio de la flota vehicular, como se muestra en la Tabla 1 (SEDEMA, 2015). Debe señalarse, sin embargo, que el programa de verificación vehicular no es el único factor que contribuyó a estas reducciones, ya que tanto la renovación propia del parque vehicular, y el programa Hoy No Circula tienen presumiblemente un fuerte impacto en la reducción de emisiones.

**Figura 29. Emisiones comparativas de los vehículos en distintas campañas de medición.**

CENTRO DE POBLACIÓN	CO (% volumen)	HC (partes por millón)	NO <sub>x</sub> (partes por millón)
ZMVM 1991	4.3	2,100	No se cuantificó
ZMVM 1994	2.02	1,037	No se cuantificó
ZMVM 2000	1.4	246	966
San Isidro (California) 1999	1.09	178	711
Chicago 1998	0.39	250	405

Fuente: SEDEMA (2015) con información de Auditoría Integral al Programa de Verificación Vehicular (IMP, 2000).

En SEDEMA (2006) se analizan los resultados de las campañas de monitoreo de emisiones vehiculares a distancia de los años 2000 y 2005 en la Zona Metropolitana del Valle de México. Esta evaluación concluye que inobjetablemente el PVV causó mejoras en las condiciones operativas de los vehículos año-modelo 1990 y anteriores matriculados en el Distrito Federal, lo que se denota por las reducciones de concentraciones de emisiones de CO, Hidrocarburos y NO (Tabla 24). Esto se explica puesto que sólo la implementación del PVV podría explicar la mejoría operativa de este tipo de vehículos que habrían utilizado carburador.

**Tabla 24. Emisiones vehiculares por estrato tecnológico.**

PROMEDIO/ MODELOS	DISTRITO FEDERAL 2000				DISTRITO FEDERAL 2005			
	CO (%vol)	CO <sub>2</sub> (%Vol)	HC (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	CO (%vol)	CO <sub>2</sub> (%Vol)	HC (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)
1980 y ant.	2.92	12.90	505	1,272	2.21	13.43	293	1,258
1981-1990	2.61	13.12	378	1,436	2.29	13.36	305	1,403
1991-1992	1.50	13.93	229	1,338	1.70	13.78	256	1,557
1993-1998	0.55	14.64	113	703	0.71	14.50	146	1,262
1999 y post.	0.33	14.81	90	374	0.36	14.78	80	647
PROMEDIO/ MODELOS	ESTADO DE MÉXICO 2000				ESTADO DE MÉXICO 2005			
	CO (%vol)	CO <sub>2</sub> (%Vol)	HC (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	CO (%vol)	CO <sub>2</sub> (%Vol)	HC (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)
1980 y ant.	2.97	13.22	484	1,478	3.32	12.62	379	1,239
1981-1990	2.75	13.03	414	1,640	2.64	13.10	406	1,443
1991-1992	1.88	13.65	286	1,514	1.85	13.67	303	1,582
1993-1998	0.62	14.58	147	897	0.90	14.36	181	1,403
1999 y post.	0.49	14.68	117	575	0.39	14.76	81	651

Fuente: SEDEMA (2006).

En esta evaluación se determinó también que en los vehículos con inyección electrónica y convertidor catalítico se observaban incrementos en los niveles de concentración de NO (Tabla 24), presumiblemente como resultado de la degradación de la eficiencia de los convertidores catalíticos. En la evaluación se realizó una campaña de medición remota en una “Ciudad del Norte del País” en donde no se aplicaba ningún PVV, utilizada como área de referencia. La comparación de resultados indicó que las emisiones de la flota vehicular de la Ciudad de México eran menores que las del área de referencia para los diferentes estratos tecnológicos (Tabla 25). Esto demostraría particularmente la efectividad del programa de sustitución de convertidores catalíticos de la Ciudad de México

en ese período. No obstante, el incremento de NO en los vehículos seminuevos era significativa y denotaba deficiencias en elementos del PVV. (SEDEMA, 2006)

**Tabla 25. Comparación de flotas vehiculares del Distrito Federal y una Ciudad del Norte del País**

PROMEDIO/ MODELOS	DISTRITO FEDERAL 2005*				CIUDAD DEL NORTE DEL PAÍS 2000			
	CO (%vol)	CO <sub>2</sub> (%Vol)	HC (ppm)	NOx (ppm)	CO (%vol)	CO <sub>2</sub> (%Vol)	HC (ppm)	NOx (ppm)
1991-1992	1.70	13.78	256	1,557	4.18	SIN DATOS	675	1,671
1993-1998	0.71	14.50	146	1,262	2.46	SIN DATOS	824	2,399
1999 y post.	0.36	14.78	80	647	2.48	SIN DATOS	681	832

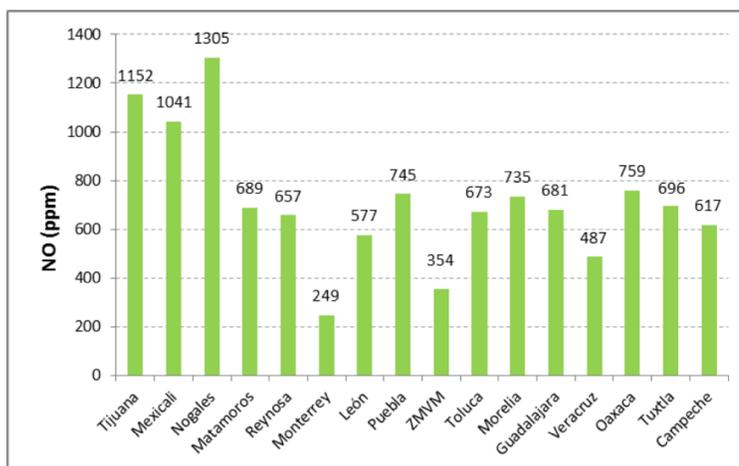
\* Ver Anexo 3

Fuente: SEDEMA (2006).

A pesar de que los resultados anteriormente citados habrían mostrado que la flota vehicular de la Ciudad de México era menos contaminante que la de la Ciudad del Norte del País sin PVV, debe notarse que la comparación con un área de referencia puede estar influenciado por factores como el clima, las condiciones socioeconómicas, las tecnologías vehiculares, entre otras características de las ciudades (NAP, 2001).

En efecto, el estudio de medición a distancia de flotas vehiculares llevado a cabo por el INECC entre 2007 y 2011 demuestra que las emisiones de CO en las 16 ciudades analizadas tendían a ser mayores en las localidades de la frontera norte del país y en Toluca, mientras que la ZMVM, Reynosa y Veracruz tenían los valores promedio más bajos. En el caso del NO, las ciudades con emisiones más altas fueron Tijuana, Mexicali y Nogales con promedios de concentración entre 1,000 y 1,3000 ppm, o sea 3 veces más que la ZMVM y 5 más que Monterrey, las dos ciudades con menores valores observados (Figura 30).

**Figura 30. Promedios de emisión de NO (ppm) de vehículos compactos y subcompactos de uso particular.**



Fuente: (INE-CTS, 2011).

En la campaña de medición remota más recientemente realizada por el Gobierno de la Ciudad de México se analizan las emisiones del parque vehicular entre los años 2014 y 2015 (SEDEMA, 2015). En comparación, los vehículos con matrícula del Estado de México presentaron mayores concentraciones de emisiones en 86%,

200% y 124% para CO, HC y NOx, respectivamente, en comparación con los de la Ciudad de México.

En cuanto a las emisiones medidas en vehículos de otras entidades que circulaban en la ZMVM, se encontró que las concentraciones de emisiones de estos vehículos no eran particularmente mayores a las de la Ciudad de México o ZMVM, como se habría esperado, salvo en casos concretos como Michoacán, Tlaxcala y Guanajuato para CO, y Michoacán para HC y NOx. No obstante, en todos los casos las muestras de vehículos fueron menores a 300 unidades, en relación con cerca de 18,000 tanto para la Ciudad de México como Estado de México, por lo que lo que no son representativas de los parques vehiculares de dichas entidades (SEDEMA, 2015). De hecho, existe un alto sesgo puesto que se espera que sólo unidades en óptimo estado de mantenimiento se desplacen largas distancias hasta la Ciudad de México, o inclusive que este parque corresponda a vehículos de lujo importados, cuya tecnología se encuentra por encima del promedio y que no se matriculan en la Ciudad de México por motivos del cobro de tenencia.

Por otra parte, la evaluación al PVV de la ZMVM realizado por el Centro Mario Molina en 2010 determinó que la efectividad del programa para mantener las emisiones de los vehículos en circulación por debajo de los valores de norma era de 60%, mientras que 31% de la muestra no los cumplía, y 9% se encontraba en el rango de incertidumbre de los instrumentos de medición empleados (CMM, 2010). En el estudio de CMM (2010) también se encontró que en los vehículos particulares a gasolina en mal estado mecánico 29% (800 mil unidades) se consideraban ostensiblemente contaminantes (ie más de 5 veces la norma), correspondiendo la mayoría a vehículos de más de 10 años de antigüedad y sin convertidor catalítico.

## Bibliografía

- BAR, 2017. Smog Check Performance Report (An Analysis of Roadside Inspection Data), s.l.: Department of Consumer Affairs/Bureau of Automotive Repair.
- Benítez-García, S. E. et al., 2014. Analysis of Criteria Air Pollutant Trends in Three Mexican Metropolitan Areas. *atmosphere*, Volume 5, pp. 806-829.
- CARB/BAR, 2005. April 2004 Evaluation of the California Enhanced Vehicle Inspection and Maintenance (Smog Check) Program, s.l.: Air Resource Board and Department of Consumer Affairs/Bureau of Automotive Repair.
- CARB, 2000. Evaluation of California's Enhanced Vehicle Inspection and Maintenance Program (Smog Check II), Sacramento, CA: California Air Resource Board (CARB).
- CARB, 2017. Speciation Profiles Used in ARB Modeling. [Online] Available at: <https://www.arb.ca.gov/ei/speciate/speciate.htm> [Accessed Mayo 2017].
- Cardelino, C. & Chameides, W., 1995. An observation-based model for analyzing ozone precursor relationships in the urban atmosphere. *J. Air Waste Manag. Assoc.*, 45(3), pp. 161-180.
- CIES-UAG, 2016. Estudio de la cadena de valor del sector ladrillero del Estado de Jalisco, Guadalajara, Jalisco: UAG.
- Clean Air Institute, 2013. *La Calidad del Aire en América Latina: Una Visión Panorámica*, Washington, D.C.: Clean Air Institute.
- CMM, 2010. Evaluación integral del Programa de Verificación Vehicular de la Zona Metropolitana del Valle de México, s.l.: s.n.
- CMM, 2013. Ciudades y estados con iniciativas climáticas: Zona Metropolitana de Guadalajara, s.l.: Centro Mario Molina (CMM).
- Colegio de Ingenieros Ambientales de México, 2013. Cuantificación de externalidades de sistemas que involucran el aprovechamiento de energías renovables contra sistemas convencionales, Ciudad de México: s.n.
- CONADESUCA, 2016. Reducción del consumo de petróleo y generación de energía eléctrica en los ingenios, México, D.F.: s.n.
- CONADESUCA, 2017. Geoportal del CONADESUCA. [Online] Available at: <http://www.conadesuca.gob.mx/Proyecto%20Climatologico/ingenios.html> [Accessed Enero 2018].
- Consejo Regulador del Tequila, 2017. Denominación de Origen. [Online] Available at: [https://www.crt.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=featured&Itemid=101](https://www.crt.org.mx/index.php?option=com_content&view=featured&Itemid=101) [Accessed Enero 2018].

Corley, E. A., Dehart-Davis, L., Lindner, J. & Rodgers, M. O., 2003. Inspection/Maintenance Program Evaluation: Replicating the Denver Step Method for and Atlanta Fleet. *Environ. Sci. Technol.*, Volume 37, pp. 2801-2806.

Cornelis, E., De Nocker, L., Int Panis, L. & De Vlieger, I., 2002. Estimation of Costs and Benefits of Inspecting OBD Systems, s.l.: CITA.

DDF/Gobierno del Estado de México/SEMARNAP/SSA, 1990. Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, México, D.F.: s.n.

Delaware Division of Air Quality, 2014. Emission Calculations and Cost/Benefit Analysis of the Regulation Revisions to Vapor Emission Control Requirements at Gas Stations in Delaware, Dover, Delaware: DNREC.

Dreher, K. et al., 1996. Acute pulmonary toxicity of size fractionated ambient air particulate matter. *Am. J. Respir. Crit. Care. Med.*, 4(A15), p. 153.

Dreher, K. J. R. et al., 1997. Soluble transition metals mediate residual oil fly ash induced acute lung injury. *J. Toxicol. Environ. Health* , 50(3), pp. 285-305.

ERG, 2016. Evaluation of the Texas Vehicle Emissions Inspection and Maintenance Program in the Dallas-Fort Worth and Houston-Galveston-Brazoria Nonattainment Areas, s.l.: Prepared by Eastern Research Group for Texas Commission on Environmental Quality.

Fujita, E. et al., 2012. Comparison of the MOVES2010a, MOBILE6.2, and EMFAC2007 mobile source emission models with on-road traffic tunnel and remote sensing measurements. *Journal of the Air & Waste Management Association* , Issue 62, p. 1134-1149.

Georgia Environmental Protection Division, 2018. Air Protection Branch. [Online] Available at: <https://epd.georgia.gov/air/> [Accessed 2018].

ICCT, 2016. On-Board Diagnostic (OBD) Checks for Inspection and Maintenance in India, s.l.: The International Council on Clean Transportation (ICCT).

IIEG, 2017. Población y Sociedad. [Online] Available at: <http://www.iieg.gob.mx/mgeneral.php?id=4> [Accessed Enero 2018].

INECC, 2014. Valoración económica de los beneficios a la salud de la población que se alcanzarían por la reducción de las PM<sub>2.5</sub> en tres zonas metropolitanas mexicanas, Ciudad de México: s.n.

INECC-CIATEJ, 2014. Evaluación de PM<sub>2.5</sub>, compuestos orgánicos volátiles y ozono para definir medidas de control en la Zona Metropolitana de Guadalajara: Etapa III , s.l.: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ).

INECC-Universidad de Ehime-JICA, 2015. Proyecto de cooperación científica sobre mecanismos de formación de ozono, compuestos orgánicos volátiles y PM<sub>2.5</sub> y escenarios de medidas de control, Ciudad de México: s.n.

INE-CTS, 2011. Estudio de emisiones y características vehiculares en ciudades mexicanas. Fase IV: medición de emisiones en cinco ciudades y análisis de resultados globales. Informe final, s.l.: s.n.

INEGI, 2014. Dinámica demográfica 1990-2010 y proyecciones de población 2010-2030, Ciudad de México: CONAPO.

INEGI, 2017. Estadísticas de vehículos de motor registrados en circulación, s.l.: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Instituto Estatal de Ecología y Desarrollo Sustentable, 2016. Programa Estatal de Cambio Climático Oaxaca 2014-2022, Oaxaca: s.n.

ITDP, 2016. Modelo de Implementación de DOT en la Zona Metropolitana de Guadalajara, s.l.: ITDP.

Kanda, I. et al., 2016. Comparison of Ozone Production Regimes between Two Mexican Cities: Guadalajara and Mexico City. *atmosphere*, 7(91).

Kochi, I., Hubbell, B. & Kramer, R., 2006. An empirical Bayes approach to combining and comparing estimates of the value of a statistical life for environmental policy analysis. *Environmental & Resource Economics*, pp. 385-406.

Koch, W., 1998. Everything you never wanted to know and were afraid to ask Refueling Vapor Recovery in the United States. *Petroleum Equipment & Technology*, Issue 7, pp. 26-30.

Liquip Victoria, 2017. Road Tanker Equipment & Parts. [Online]  
Available at: <http://www.liquipvictoria.com.au/products/road-tanker-equipment-and-pumps>  
[Accessed Enero 2018].

Masera, O. et al., 2010. estudio sobre la evolución nacional del consumo de leña y carbón vegetal en México 2009-2024, México D.F.: s.n.

Minnesota Pollution Control Agency, 2001. Stage One Vapor Control in Minnesota, Rochester, Minnesota: s.n.

MTR, 2017. Gasoline vapor recovery. [Online]  
Available at: [http://www.mtrinc.com/gasoline\\_vapor\\_recovery.html](http://www.mtrinc.com/gasoline_vapor_recovery.html)  
[Accessed Enero 2018].

NAP, 2001. Evaluating Vehicle Emissions Inspection and Maintenance Programs. Washington, D.C.: National Academy Press of Sciences.

National Pollutant Inventory, 2010. Emission estimation technique manual for Wine and spirit manufacturing, Canberra, Australia: Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts.

PEMEX, 2017. Información de las Terminales de Almacenamiento y Reparto. [Online]  
Available at:  
<https://www.comercialrefinacion.pemex.com/portal/scgli002/controlador?Destino=jalisco.jsp>  
[Accessed Enero 2018].

Petrotec, 2008. Clean Air. [Online]

Available at: [http://petrotec.cz/prospekty/cleanair\\_uk.pdf](http://petrotec.cz/prospekty/cleanair_uk.pdf)

[Accessed Enero 2018].

Prematecnica, 2017. Unidades de recuperación de vapores. [Online]

Available at: <http://www.prematecnica.com/es/urvs.html>

[Accessed Enero 2018].

Radian, 1997. Mexico Emissions Inventory Program Manuals, Area Source Inventory Development, Final, sacramento, California: s.n.

SAGARPA, 2017. Agave tequilero y mezcalero mexicano, Ciudad de México: SAGARPA.

Scherrer, H. C. & Kittelson, D. B., 1994. I/M Effectiveness as Directly Measured by Ambient CO Data. SAE 940302.

SEDEMA, 2006. Campañas de Monitoreo Ambiental a Distancia de Vehículos, s.l.: s.n.

SEDEMA, 2015. Campaña Sensor Remoto. Informe 2015, s.l.: s.n.

SEMADET, 2014. ProAire 2014-2020, Guadalajara, Jalisco: Gobierno del Estado de Jalisco.

SEMADET, 2017. Proyecto de elaboración del diagnóstico macro sobre el sector ladrillero en el Estado de Jalisco (Primera Fase) , Guadalajara, Jalisco: s.n.

SEMARNAT, 2013. Inventario Nacional de Emisiones de México 2008, Ciudad de México: s.n.

SEMARNAT-CAME, 2017. Programa de gestión federal para mejorar la calidad del aire de la Megalópolis. PROAIRE de la Megalópolis 2017-2030, s.l.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SEMARNAT-DGGCARETC, 2014. INEM 2013 [Interview] 2014.

SEMARNAT-SFNA, 2017. Norma Oficial Mexicana NOM-170-SEMARNAT-2017, Contaminación atmosférica-Límites Máximos Permisibles de emisión provenientes de generadores de vapor que utilizan bagazo de caña como combustible, Ciudad de México: s.n.

SEMARNAT-SFNA, 2017. Norma Oficial Mexicana NOM-XXX-SEMARNAT-2017, Contaminación atmosférica.-Niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes provenientes de generadores de vapor que utilizan bagazo de caña como combustible, Ciudad de México: s.n.

SENER, 2017. Diagnostico de la Industria de petrolíferos en México parte 2, Ciudad de México: s.n.

SERpro, 2014. Plan Económico Financiero de Alternativa Tecnológica para el Sector Ladrillero Artesanal (PEFAT) Jalisco, México , Guadalajara, Jalisco: s.n.

SIE, 2018. Demanda interna de gasolinas automotrices por Estado, s.l.: Sistema de Información Energética (SIE) de la Secretaría de Energía. Elaboración por IMP, con base en información de AMDA, AMIA, ANAPACT, BANXICO, CFE, CONUEE, EIA, EPA, IEA, INEGI, Pemex, SCT, SENER y empresas privadas.

SMA, 2006. Gestión Ambiental del Aire en el Distrito Federal Avances y Propuestas 2000-2006, México, D.F.: s.n.

TIFAC, 2009. Pollution control technologies for sugar industry. [Online]  
Available at: [http://www.tifac.org.in/index.php?option=com\\_content&id=656&Itemid=205](http://www.tifac.org.in/index.php?option=com_content&id=656&Itemid=205)  
[Accessed Octubre 2017].

U.S. EPA, 1999. Air Quality Criteria for Particulate Matter, Research Triangle Park, NC: National Center for Environmental Assessment.

U.S. EPA, 2002. Manual de Costos de Control de Contaminacion del Aire de la EPA, North Carolina: Office of Air Quality.

University of Winsconsin, 2010. Vehicle inspection & maintenance (I/M) programs. [Online]  
Available at:  
<http://whatworksforhealth.wisc.edu/program.php?t1=109&t2=7&t3=62&id=234>  
[Accessed 15 enero 2018].

US EPA, 2002. EPA Air Pollution Control Cost Manual. 6a. ed. Research Triangle Park, North Carolina: s.n.

USAID, 2004. Vehicle Inspection and Maintenance Programs: International Experience and Best Practices, s.l.: United States Agency for International Development (USAID).



**ELABORADO PARA:**



**GOBIERNO DEL ESTADO DE JALISCO**  
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE  
Y DESARROLLO TERRITORIAL

Av. Circunvalación Agustín Yañez n° 2343  
Colonia Moderna, Guadalajara , Jalisco, México  
Teléfonos. (33) 3030. 8250 y (33) 3030. 8264  
@aireysaludamg  
aire.jalisco.gob.mx