

Proyecto para el  
Diseño de una Estrategia Integral  
de Gestión de la Calidad del Aire  
en el Valle De México  
2001-2010

Segunda Fase:

Diseño, Evaluación y Preparación  
de Mecanismos de Ejecución para las  
Estrategias de Mejoramiento de la Calidad del Aire  
en la Zona Metropolitana del Valle de México

## RESUMEN EJECUTIVO

Coordinado por:

Mario J. Molina y Luisa T. Molina

Para:

La Comisión Ambiental Metropolitana  
Gobierno del Estado de México  
Gobierno del Distrito Federal  
Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales  
Secretaría de Salud

Junio del 2004



**Proyecto para el  
Diseño de una Estrategia Integral  
de Gestion de la Calidad del Aire  
en el Valle De México  
2001-2010**

**Segunda Fase:**

**Diseño, Evaluación y Preparación  
de Mecanismos de Ejecución para las  
Estrategias de Mejoramiento de la Calidad del Aire  
en la Zona Metropolitana del Valle de México**

## **RESUMEN EJECUTIVO**

**Coordinado por:**

**Mario J. Molina y Luisa T. Molina**

**Para:**

**La Comisión Ambiental Metropolitana  
Gobierno del Estado de México  
Gobierno del Distrito Federal  
Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales  
Secretaría de Salud**

**Junio del 2004**



# RESUMEN EJECUTIVO

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día nadie duda que el deterioro de la calidad del aire representa una seria amenaza tanto para la salud humana como para la viabilidad ecológica. Desgraciadamente, las grandes ciudades del mundo a menudo adolecen de una muy pobre calidad del aire, especialmente aquellas ubicadas en naciones que están desarrollándose rápidamente, donde las emisiones de contaminantes y de precursores de contaminantes por núcleos de población de elevada densidad aparecen concentradas y persistentes.

En la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), mantener una calidad del aire aceptable constituye todo un reto, ya que las montañas que rodean el Valle de México tienden a atrapar las emisiones que cada día generan más de 18 millones de residentes, 3.5 millones de vehículos y 35,000 industrias. Además, la elevada altitud de la ciudad hace que su exposición a flujos de radiación solar ultravioleta sea más elevada de lo normal, causando smog fotoquímico. Esto ha resultado en un problema grave y persistente de calidad del aire que se ha mantenido durante décadas.

A partir del reconocimiento de que los ciudadanos de la Ciudad de México merecen respirar aire limpio y que el equilibrio ecológico del Valle de México necesita ser protegido de una excesiva deposición de contaminantes, el Programa Integral sobre Contaminación del Aire Urbana, Regional y Global del Instituto Tecnológico de Massachusetts y otros investigadores de EE.UU., Europa y México, junto con la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) de la ZMVM han formado un equipo cuyo objetivo es caracterizar los problemas de contaminación del aire de la ciudad y diseñar estrategias que restauren la calidad del aire. Sin embargo, para la salud y el bienestar de los ciudadanos de la ZMVM no sólo es importante tener un aire limpio, necesitan también viviendas adecuadas, una base productiva comercial e industrial, acceso fácil al trabajo, comercios, instituciones educativas y culturales, así como instalaciones recreativas dentro de la ciudad y un transporte eficaz que articule toda la región y sus alrededores. Equilibrar el consumo de energía y las inversiones de capital que se requieren para satisfacer estas necesidades sociales y mejorar al mismo tiempo la calidad del aire es un reto enorme, que exige un enfoque integrado respecto a la vivienda, el transporte y las actividades industriales, comerciales, educativas y relacionadas con la salud. La naturaleza interactiva del problema se explora en Molina y Molina (2002).

La primera fase de este proyecto se llevó a cabo el año 2000. En marzo de ese año, el Fideicomiso Ambiental del Valle de México aprobó el Proyecto para el Diseño de una Estrategia Integral para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en el Valle de México 2001-2010. El proyecto fue adjudicado al Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT por sus siglas en inglés), a través del Programa Integrado de Contaminación del Aire Urbana, Regional y Global, bajo la dirección del Doctor Mario Molina Pasquel. Este es un programa de colaboración para la investigación y la educación que busca contribuir al entendimiento de los complejos y profundos problemas ambientales, aportando elementos para enriquecer los enfoques y metodologías con los que son abordados en los países en vías de desarrollo y para desarrollar la capacidad de esos países para resolver sus problemas. La Ciudad de México es el caso de estudio de este Programa. El proyecto cuenta con una amplia participación de un grupo

multidisciplinario de investigadores y especialistas de diversas instituciones de investigación mexicanas, en colaboración con un equipo multidisciplinario de maestros, estudiantes e investigadores del MIT, de la Universidad de Harvard y de otras instituciones de Estados Unidos y internacionales. Además el proyecto involucra la colaboración con funcionarios del gobierno mexicano.

Los objetivos de la primera fase fueron: a) evaluar el estado actual y las tendencias de la contaminación del aire en la ZMVM, b) identificar estrategias de control y c) revisar herramientas disponibles de análisis y toma de decisiones. Los objetivos de la primera fase del proyecto se cumplieron, por lo cual se cuenta ahora con un diagnóstico actualizado de la problemática de la calidad del aire y con una amplia gama de opciones para su control, los cuales fueron utilizados por la Comisión Ambiental Metropolitana para la elaboración del Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 2001-2010. Asimismo, el proyecto identificó los pasos a seguir para mejorar los fundamentos científicos y las herramientas de la gestión de la calidad del aire de los que se dispone en la ZMVM, con la finalidad de elevar la eficacia de los programas en la materia y hacer un mejor uso de los escasos recursos disponibles.

El informe final del proyecto fue entregado por el MIT al Fideicomiso Ambiental del Valle de México y a la CAM en octubre del año 2000. Sus resultados fueron presentados públicamente en noviembre de ese año en la Ciudad de México. El informe del estudio está disponible vía Internet (<http://eaps.mit.edu/megacities/Reports.html>). Este reporte fue actualizado y publicado como libro bajo el título "Air Quality in the Mexico Megacity: An Integrated Assessment," por la editorial Kluwer Academic.

Bajo recomendación de la CAM, el Fideicomiso Ambiental del Valle de México aprobó, en su XVIII sesión extraordinaria celebrada el 14 de agosto del 2001, los recursos para la ejecución del "Proyecto para el Diseño de una Estrategia Integral para la Gestión de la Calidad del Aire en el Valle de México 2001-2010: Segunda Etapa: Diseño, Evaluación y Preparación de los Mecanismos de Ejecución para las Estrategias de Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México." El proyecto fue asignado al Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT por su siglas en inglés), con el Dr. Mario Molina como Investigador Principal encabezando un amplio grupo de instituciones, investigadores, estudiantes y consultores de México y los Estados Unidos. El contrato fue firmado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts y la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) a finales de diciembre del 2001, iniciando las actividades del Proyecto en enero del 2002.

La segunda fase del proyecto esta dirigida al desarrollo, sistematización, aplicación y transferencia a la CAM de información científica, metodologías de evaluación, herramientas de simulación e indicadores en las siguientes áreas: (a) las causas que determinan la generación de contaminantes en la ZMVM y las actividades que los emiten (transporte, producción de bienes y servicios, degradación del entorno natural, etc.); (b) los procesos de dispersión y el movimiento de los contaminantes emitidos a la atmósfera, así como de su transformación en otros contaminantes (particularmente en el caso del ozono y las partículas); (c) la evaluación de riesgos y los efectos de los contaminantes sobre la población; (d) evaluación de costos de la contaminación y beneficios de su control; (e) evaluación integrada de opciones de política y prioridades para el control de la contaminación atmosférica; (f) estrategias para el desarrollo profesional y de capacidades en todos los sectores institucionales y a todos los niveles.

Las siguientes secciones consisten en resúmenes de los hallazgos principales y recomendaciones.

## 2. ANÁLISIS INTEGRADO DE ESCENARIOS

Uno de los objetivos clave del análisis integrado de escenarios es la identificación de abanicos de opciones (estrategias) que puedan resultar en una reducción “sustancial y sostenida” de las emisiones de contaminantes. De tal manera que a medida que la ZMVM vaya creciendo y desarrollándose, la calidad del aire mejore, y con ella las ventajas asociadas relacionadas con la salud y los ecosistemas. Teniendo esto en cuenta, se formularon tres trayectorias alternativas de crecimiento y evolución para la ZMVM que abarcan diferentes grados de prosperidad económica y poder adquisitivo, crecimiento demográfico y tamaño de los hogares, así como densidad y crecimiento urbano. La construcción de estos escenarios o “historias futuras” de la ZMVM también incluyó la disponibilidad y costo de tecnologías futuras, la capacidad de las instituciones gubernamentales de ejecutar programas complejos de reducción de emisiones, y la disponibilidad de los ciudadanos a aceptar o adoptar las medidas del gobierno para la reducción de emisiones.

Las áreas cubiertas por el equipo del análisis integrado de escenarios incluyó las emisiones provenientes del sector transporte, fuentes fijas grandes de emisión puntuales (fuentes puntuales), y fuentes fijas pequeñas de emisión (fuentes de área). El sector transporte fué dividido en transporte privado (automobiles), transporte público en carretera (autobuses, colectivos y taxis), el metro, y las emisiones de fuentes móviles del sector de transporte de carga. En cuanto a las fuentes estacionarias de emisiones, tanto de área como puntuales, se analizaron los sectores residencial, comercial (formal e informal), industrial y de generación de electricidad. Las medidas contempladas por los programas de calidad del aire anteriores y actuales se centran en la reducción de emisiones procedentes del transporte y, hasta cierto punto, de algunas fuentes puntuales. Han sido muy pocas las medidas dirigidas a los hogares e industrias de pequeño tamaño, a pesar de que, como puede verse en la Figura 1, sus emisiones representan una proporción considerable del total de emisiones de hidrocarburos no metánicos (NMHC).

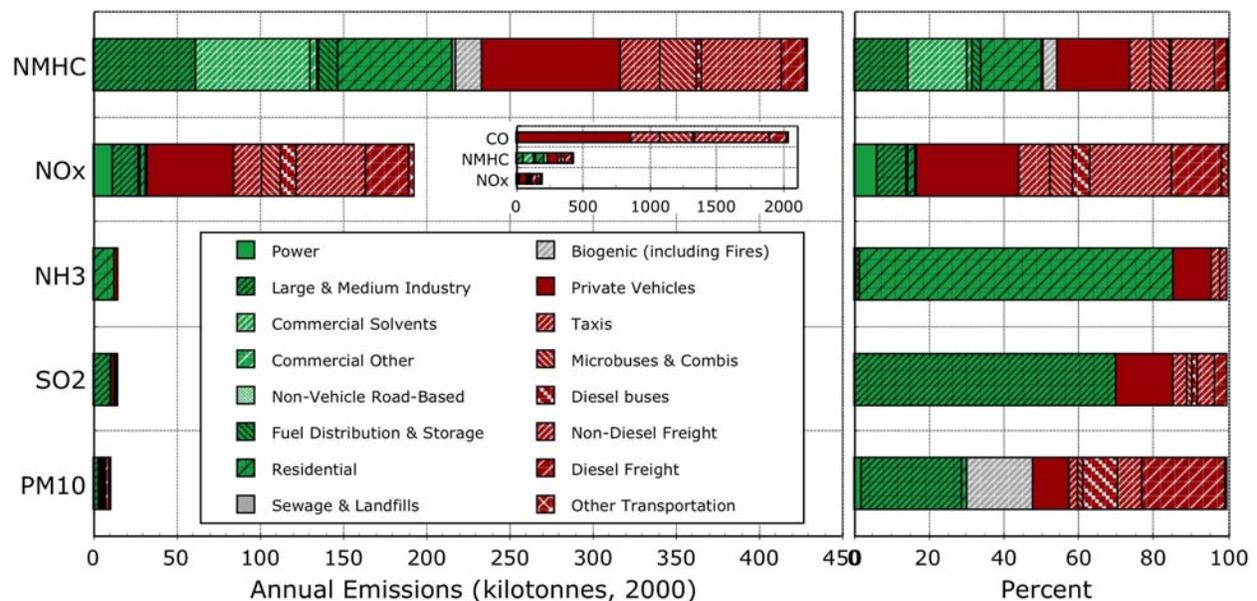


Figura 1: Fuentes de Emisiones en la ZMVM – 2000 (Fuentes: CAM, 2004)

Con esto no queremos decir que el número de medidas dedicadas al sector del transporte es demasiado elevado, sino que quizás el número de medidas aplicadas a fuentes no relacionadas con el transporte es demasiado reducido. Las emisiones procedentes de fuentes no móviles (exceptuando el caso del monóxido de carbono) son de una magnitud equivalente a las generadas por el sector del transporte. Desde el punto de vista de la exposición y las consecuencias sobre la salud, estas emisiones pueden ser incluso mayores, ya que los ciudadanos de la ZMVM están, por lo general, en casa, en el trabajo o de camino entre uno y otro, donde a menudo la exposición directa a los contaminantes puede ser sustancialmente más alta que respecto a las concentraciones ambientales. Además, el número y la diversidad de las empresas de carácter informal, desde puestos de comida en carreteras hasta pequeños comercios de pintura e impresión, pasando por carpinterías metálicas y elaboración de ladrillos, dificultan la estimación de las emisiones procedentes de estas fuentes, lo que significa que quizás aparecen subestimadas en los inventarios de emisiones.

La diversidad de las fuentes de emisiones, el equilibrio de las medidas para su reducción y la incertidumbre que rodea la evolución de la ZMVM durante las próximas décadas, subraya la necesidad de un enfoque completamente integrado y coordinado para el diseño y la ejecución de programas de calidad del aire eficaces desde el punto de vista ambiental y responsables desde una perspectiva económica. El reto que supone lograr una reducción de emisiones a largo plazo debe primero superar la necesidad de reducir emisiones en algunos sectores (automóviles privados, vehículos diesel) para así superar los incrementos en otras áreas (por ejemplo, crecimiento urbano general, actividades comerciales formales e informales, aumento de congestión en las carreteras). Sólo entonces podremos concentrarnos en el desafío de conseguir una reducción de las emisiones sustancial y sostenida, y una mejora de la calidad del aire. Las recomendaciones relacionadas con las diferentes actividades económicas que presentamos más adelante tienen en cuenta esta dinámica.

**Tabla 1: Categorías principales de actividades y fuentes de emisiones evaluadas por el Equipo de Análisis Integrado de Escenarios de MIT**

	NMHC	NOx	SO2	PM10	CO	Primary Fuel
<b>Mobile Sources</b>						
<i>Private Vehicles</i>	••	•••	••	•	•••	Gasoline
<i>RBPT</i> Taxis	•	•			••	Gasoline
Microbuses & Combis	•	•			••	Gasoline
Diesel Buses				•		Diesel
<i>Freight</i> Non-Diesel	••	•••		•	•••	Gasoline
Diesel		••		•••	•	Diesel
<b>Non-Mobile Sources</b>						
Residential	••					LPG
Commercial	••					LPG, Nat. Gas
Industry & Power	••	••	•••	•••		Nat. Gas, Oil
••• > 20%, •• > 10%, • > 5%						

A partir de las descripciones de las “historias futuras”, se seleccionaron siete categorías de actividades con el fin de analizar detalladamente cómo conseguir reducciones sustanciales en sus emisiones. En relación con el transporte de pasajeros, estas categorías incluían los vehículos privados, el transporte público por carretera (taxis, colectivos, autobuses diesel), y el

metro. También se incluyó en esta categoría el transporte de carga local y regional. Las emisiones no relacionadas con el transporte proceden del sector residencial (hogares), el sector comercial (tanto formal como informal), la industria y la producción de electricidad. La Tabla 1 muestra cómo se comportan estas actividades en relación con los principales contaminantes de acuerdo con el inventario de emisiones de 2000, según sus emisiones oscilen entre un 5 – 10%, 10 – 20% o más de un 20% de las emisiones anuales de la ZMVM. Además, hemos añadido la principal fuente de energía de cada categoría.

## **2.1. Recomendaciones según las Principales Categorías de Actividades**

### **2.1.1. Transporte Personal – Automóviles Privados**

Las principales emisiones de la flota privada de vehículos, que consume fundamentalmente gasolina, son CO, NO<sub>x</sub>, y NMHC.

A largo plazo, la tasa de motorización y, por tanto, el número de vehículos de uso privado en circulación por las carreteras de la ZMVM, se incrementará. El número de automóviles para uso personal, y la distancia y el tiempo de los trayectos, se verán influidos por la cantidad de personas de la ZMVM que pueden permitirse la compra de un automóvil, y su lugar de residencia y trabajo. Las políticas públicas influyen en qué tipo de coches aparecen en el mercado, cuáles compra la gente y cómo los usan. Los escenarios multiestratégicos elaborados en relación con la flota privada de vehículos comprenden la prolongación del *Hoy No Circula*, la instalación de mecanismos que controlan las emisiones de la flota actual, la conversión en chatarra de parte de dicha flota, además de la puesta en marcha de estándares más estrictos de emisiones y una mejora en el consumo de combustible en el caso de los automóviles nuevos.

Los escenarios relacionados con la flota privada de automóviles demuestran que los esfuerzos para mejorar el rendimiento de los vehículos nuevos consiguen, a largo plazo, una disminución mayor de las emisiones que las estrategias dirigidas a purgar la flota actual de vehículos. Las reducciones a corto plazo se consiguen mediante opciones dirigidas a los vehículos existentes; sin embargo, en el contexto de un análisis de veinticinco años (2000-2025), estos vehículos terminarán por abandonar la flota, y si el programa de verificación funciona como se pretende, se llevará a cabo un manejo adecuado de los vehículos que son grandes emisores. Las mayores reducciones se consiguieron en el caso del NO<sub>x</sub> y los NMHC, manteniéndose bajo control las emisiones de CO.

El éxito de los esfuerzos para reducir las emisiones de los vehículos privados dependerá de la disponibilidad en el mercado de vehículos con bajas emisiones, y de que éstos tengan un precio razonable. Ambos factores pueden llegar a inhibir la eliminación de los vehículos más antiguos de la flota actual. De igual, o incluso quizás mayor importancia, es la descentralización continuada de la ZMVM, que conlleva un uso creciente del automóvil (kilómetros recorridos en auto), y mayor duración de los viajes (mayor congestión y tráfico). A largo plazo, los vehículos con bajas emisiones en condiciones de tráfico de parada y arranque, como los vehículos híbridos, pueden mitigar las emisiones que resultan de un aumento de la congestión, pero es improbable que estos vehículos representen una parte considerable de la flota privada de automóviles en los próximos años. Un sistema bien integrado, económico y seguro de transporte público puede reducir también el uso de los vehículos privados, y por tanto, las emisiones de este sector.

### **2.1.2. Transporte Público**

Las principales emisiones de colectivos y taxis, que consumen predominantemente gasolina, son CO, NO<sub>x</sub>, y NMHC, mientras que los autobuses diesel contribuyen a las emisiones de partículas y NO<sub>x</sub>. El metro funciona con electricidad, y los posibles cambios en el uso del metro tendrán un efecto marginal en las emisiones de las centrales eléctricas localizadas dentro de la ZMVM. El aumento o reducción de las emisiones del transporte público por carretera debe evaluarse en el contexto del empleo de este transporte en contraposición con el uso del vehículo privado. Un aumento en las emisiones del transporte público por carretera puede significar una reducción neta de las emisiones en la ZMVM si el sistema de transporte público, incluyendo la integración del metro y el transporte público por carretera, la implantación de carriles de uso exclusivo de autobuses y un desarrollo urbano orientado al transporte público, limita el crecimiento y uso de los vehículos privados.

Los escenarios centrados en la reducción de emisiones de la flota de transporte público por carretera incluyen iniciativas como la transformación en chatarra de vehículos antiguos, la conversión de algunos vehículos a gas natural, la instalación de catalizadores de tres vías en taxis y colectivos, y de trampas de PM-NO<sub>x</sub> en autobuses diesel. Otras iniciativas eran la mejora de los estándares de emisiones, un uso más eficaz del combustible en taxis y colectivos (incluidos los híbridos), la mejora en el programa de verificación aplicado a las flotas de transporte público, y la introducción de autobuses híbridos. Además de las iniciativas tecnológicas, se evaluaron también la implantación de carriles para uso exclusivo de autobuses y la integración de rutas y tarifas.

Como la longevidad de los autobuses diesel, los colectivos y los taxis es mucho mayor que la de los autos privados, las estrategias que mejor funcionan, si son exitosamente implementadas, son las dirigidas a retirar de la flota los vehículos más antiguos e introduciendo vehículos nuevos más limpios y eficientes. Una conclusión que comparte esta flota con la de los vehículos privados es que las estrategias que fomentan la introducción de vehículos más limpios y que usan más eficazmente el combustible son considerablemente más baratas, ya que el ahorro conseguido en el consumo de combustible es a menudo superior al incremento en el costo de los vehículos de mayor calidad. Las estrategias centradas en la renovación de la flota exclusivamente, o en la habilitación de los vehículos para el uso de gas natural comprimido (GNC) no consiguen reducciones sustanciales y sostenidas en NO<sub>x</sub> y NMHC. Las opciones de integración de modos de transporte y tarifas funcionan bien. Sin embargo, estas opciones deben analizarse con más detalle y ejecutarse de manera que tengan en cuenta las preocupaciones de los operadores de transporte actuales, y maximizar corredores de desplazamientos de elevada demanda y líneas de metro infrautilizadas, todo en un contexto de desarrollo orientado al tráfico y de reducción de la expansión urbana.

### **2.1.3. Transporte de Carga**

El transporte de mercancías local y regional contribuye considerablemente a la contaminación del aire de la ZMVM. Los camiones (a gasolina) de carga ligera contribuyen de manera importante a las emisiones totales de CO, NO<sub>x</sub> y NMHC. El transporte de carga a diesel, tanto el local como el regional, contribuye a la emisión de partículas y NO<sub>x</sub>.

Al igual que con el transporte público, la duración de los vehículos puede ser muy larga, sobre todo en el caso de los camiones a diesel. La demanda de transporte de mercancías aumenta con la actividad económica y la población urbana. Las mejores opciones de reducción de

emisiones se asemejan a las del transporte público, es decir, la eliminación de los vehículos más viejos y sucios, la introducción de modernas tecnologías para vehículos, y la integración de la transferencia de mercancías desde modos de larga distancia y gran volumen a modos más adecuados de reparto local (trailers con sistemas semejantes a los corredores rápidos para autobuses, transporte por ferrocarril de manera similar al metro, centros de transbordo como los de los colectivos, metro y autobús). Estas opciones suponen retos importantes para la estructura del sector de transporte de carga (empresas habituales de transporte frente a flotas corporativas). Beneficios más sutiles de estas mejoras comprenden un aumento en la productividad económica, y la reducción de las extremadamente altas emisiones de partículas por camiones diesel atrapados en el tráfico de la ciudad. La reducción de la congestión de las carreteras locales juega aquí un papel importante también. Si la congestión persiste, las compañías de repartos tendrán que usar más furgonetas (empeorando la congestión), ya que el número de repartos que cualquier vehículo podrá hacer al día disminuirá.

#### **2.1.4. Sector Residencial**

El inventario de emisiones del 2000 ha identificado los NMHC como el principal contaminante generado por el sector residencial. Esto es el resultado de la combinación de fugas de gas licuado de petróleo (GLP) y del uso de solventes, con consecuencias en la exposición a sustancias tóxicas, la calidad del aire en el interior de los edificios, así como la calidad del aire en el conjunto del área metropolitana. En los barrios más pobres se generan emisiones, generalmente no recogidas en los inventarios, procedentes de la quema de basuras y el uso de restos de combustibles para cocinar y calentar agua. Las medidas seleccionadas para la reducción de las emisiones de los hogares incluyen la sustitución de quemadores y válvulas de GLP para disminuir las fugas, y una mayor oferta de gas natural como combustible residencial. Unos electrodomésticos más eficientes, capaces de consumir menos electricidad, también suponen beneficios sustanciales en cuanto a costos, además de reducir el efecto invernadero, aunque generan beneficios limitados para la calidad del aire local y regional.

Si el progreso económico es lento en la ZMVM, y este progreso no alcanza los hogares con menores ingresos, entonces la capacidad de éstos para procurarse mejores fuentes de energía y equipamientos más eficientes también será baja. El predominio de salarios bajos fomentará una expansión urbana continua (en ausencia de un programa de redensificación de viviendas para grupos de bajos ingresos), reduciendo las posibilidades de acceso a redes de distribución de gas natural, recogida centralizada de basuras y conexión al alcantarillado, así como la incapacidad para llevar a cabo las iniciativas arriba mencionadas relacionadas con un transporte público más limpio y de mayor capacidad.

#### **2.1.5. Sector Comercial – Formal e Informal**

El sector comercial abarca una gama diversa de pequeñas y medianas empresas dedicadas a la venta al por menor, elaboración de alimentos y manufactura ligera, algunas de las cuales son formales (tienen licencia), mientras que otras no. Hablamos de actividades como gasolineras, recarga y reparto de GLP, puestos de comida de carretera, comercios de pintura, carpintería metálica y fabricación de ladrillos, servicios de vigilancia, paisajistas, etc. Estas empresas emplean tecnologías, procedimientos y prácticas muy variadas. En conjunto, el sector comercial es una fuente destacada de empleo, y el equilibrio entre comercio formal e informal depende en parte de la salud de la economía. Por tanto, las emisiones del sector comercial aumentarán no sólo con el crecimiento de la actividad económica en general, sino también según el equilibrio entre empresas formales e informales.

Las opciones propuestas para el sector comercial incluyen la incorporación de equipamiento de recuperación de vapor en las gasolineras, cambios tecnológicos en tintorerías y sustitución de combustibles en industrias concretas (por ejemplo, en los hornos de ladrillos). Aunque beneficiosas para los usuarios finales, resulta improbable que este tipo de medidas tengan un efecto considerable en todo el sector. Sin embargo, una mejora en la caracterización de estas actividades y sus emisiones permitirá la consolidación de opciones futuras para conseguir reducciones más amplias de las emisiones. Su ejecución, en cualquier caso, será todo un reto. La oportunidad más importante para conseguir una reducción de emisiones se encuentra en la sustitución de productos de limpieza y otros solventes. Esto es extensivo a los productos empleados en los hogares.

### **2.1.6. Industria y Energía Eléctrica**

A diferencia del sector comercial, las fuentes puntuales industriales son bien conocidas, entregan informes de emisiones a las agencias gubernamentales y están sujetas a reglamentaciones que incluyen el cierre de las instalaciones durante contingencias de calidad del aire. Asegurar el cumplimiento de estas normas por parte de las empresas, de una manera costo-efectiva, ayudará a eliminar o mitigar las emisiones de estas instalaciones de “gran capacidad”

Durante aproximadamente la última década, la ZMVM ha experimentado un cambio en su sector industrial con el desplazamiento o la expansión de operaciones de algunas empresas hacia el exterior de la ZMVM (por ejemplo, hacia la frontera de EE.UU. - México). Por tanto, la naturaleza cambiante de las empresas de la ZMVM debe tenerse en cuenta a la hora de concretar medidas para gestionar las emisiones de las instalaciones industriales ubicadas en la ZMVM. Un cambio que puede implicar consecuencias adversas en las emisiones es el traspaso de procesos industriales a instalaciones pertenecientes al sector comercial menos regulado.

La continua expansión del gas natural como combustible empleado por las industrias exige que se preste especial atención al desarrollo de una oferta robusta de gas natural y de infraestructura de transporte y distribución, que no se vea afectada por oscilaciones en los precios, las cuales pueden inhibir la adopción de gas natural. Lo mismo podemos decir respecto a convertir el gas natural en un combustible ampliamente disponible para los usos finales comerciales, residenciales y de transporte.

## **2.2. Ideas y Recomendaciones Transversales**

Lograr una disminución “sustancial y sostenida” de las emisiones en la ZMVM durante las próximas décadas es un reto muy importante. Cuantificar la reducción de las emisiones es una manera de medir el grado de mejora general de la calidad del aire, la exposición de los ciudadanos y los efectos sobre la salud. Un repaso a los resultados y recomendaciones del análisis integrado de escenarios señala que es posible una reducción significativa de las emisiones procedentes de la flota de vehículos privados y de transporte público, incluso aunque éstas crezcan en número y uso en el futuro. Merece la pena subrayar el equilibrio entre emisiones más altas, tecnologías más antiguas y su persistencia en las diversas flotas, y el comportamiento ambiental de los autos, camiones y autobuses nuevos, que entran en la flota bien para satisfacer una demanda creciente, bien para sustituir vehículos actuales. Las emisiones del transporte de mercancías son también importantes, y como esta flota tiende a renovarse de manera más lenta que la flota de pasajeros, es un área que merece un estudio

más detallado así como un diseño de las opciones para reducir las emisiones que se centre tanto en los aspectos técnicos de los vehículos de mercancías como en la coordinación e integración del transporte de carga incorporando mejoras organizacionales intermodales y de transbordo.

Mientras que la posibilidad de reducir las emisiones de los vehículos son prometedoras gracias a las mejoras tecnológicas y a la renovación de la flota, por lo general las emisiones procedentes de otros sectores aumentarán o, como mucho, disminuirán muy ligeramente. El crecimiento de la población y de la producción económica amenazan las reducciones totales de las emisiones, ya que el crecimiento en estas áreas, y sus emisiones asociadas, pueden eclipsar las reducciones conseguidas en el sector del transporte. La continua expansión de la ciudad, y su vínculo con la pobreza, exacerbarán estas tendencias. *La gestión del crecimiento urbano, y su influencia sobre la demanda de personal y transporte de bienes, es un elemento esencial en cualquier plan a largo plazo para la reducción de emisiones.*

Hay que dedicar más esfuerzos a la caracterización de las actividades pertenecientes a sectores que no conocemos muy bien, por ejemplo, el sector comercial, y especialmente las actividades comerciales informales. Las emisiones industriales, en concreto los efectos del cambio estructural experimentado por la industria, tanto en relación con el conjunto de productos elaborados como con la descentralización de las industrias manufactureras, informará a los legisladores ambientales no sólo sobre tendencias a largo plazo, sino también sobre la efectividad y facilidad de llevar a cabo, bien un enfoque de control, bien un enfoque basado en el mercado, para controlar las emisiones. En los sectores más dispersos, especialmente en los sectores residencial e informal, los enfoques de sustitución de productos parecen prometedores, especialmente en el caso de las emisiones de NMHC relacionadas con el uso de solventes. Por el contrario, un cambio de combustible parece más problemático ya que depende de la acción del gobierno, que es responsable de extender los sistemas de distribución de gas natural a pequeños consumidores, muchos de los cuales se localizan en las afueras de la ciudad.

La conclusión general del análisis integrado de escenarios es que a corto plazo hay opciones que reducen significativamente las emisiones, pero que a largo plazo, factores como el crecimiento urbano y la forma urbana no han sido incluidos en el diseño de los programas de calidad del aire, transporte y otros, por lo que será difícil expandir y sostener las mejoras de la calidad del aire a largo plazo.

### **3. IMPACTOS EN LA SALUD POR BAJA CALIDAD DEL AIRE**

Una baja calidad del aire representa un costo significativo en la salud de los habitantes de la Ciudad de México. La evidencia epidemiológica indica que de los contaminantes mejor estudiados (e.g. materia particulada, ozono, CO, NO<sub>2</sub>, y SO<sub>2</sub>) son las partículas, seguidas por el ozono, las que causan los impactos más severos en salud.

Los investigadores ahora concuerdan en que las partículas finas (PM<sub>2.5</sub>, es decir partículas con diámetro aerodinámico de 2.5 µm o menos) contienen los componentes más tóxicos. Los incrementos diarios de la concentración de PM<sub>2.5</sub> se han relacionado consistentemente con incrementos en la mortalidad diaria. La mayoría de las muertes causadas por PM<sub>2.5</sub> son por causas cardiovasculares y ocurren principalmente entre los ancianos. Sin embargo, evidencia

reciente indica que la población infantil es también particularmente sensible a los efectos de las partículas finas.

Se cree también que las partículas son causa de bronquítis crónica, de incrementos en admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, de incrementos en visitas en la sala de emergencias por el tratamiento de síntomas respiratorios y ataques de asma, y de un incremento en el ausentismo del trabajo y escuela (i.e. días de actividad restringida).

El ozono tiene un efecto menos significativo en mortalidad en comparación con las partículas. Sin embargo, el ozono tiene efectos importantes y obvios en la función respiratoria, en síntomas respiratorios (tales como irritación del ojo y tos), y en admisiones hospitalarias por asma y otras condiciones respiratorias.

Una estimación cruda de la magnitud de los beneficios en salud que pueden ser obtenidos por la reducción en la contaminación del aire en la Ciudad de México se puede obtener considerando únicamente los beneficios por la reducción en mortalidad causada por la disminución de los niveles ambientales de  $PM_{2.5}$ . En la primera fase del Programa, nosotros estimamos que una reducción del 10% en los niveles ambientales de  $PM_{2.5}$  en la Ciudad de México ayudaría a prevenir alrededor de 1000 muertes cada año, y quizás varias veces esta cantidad. Dada la cantidad de dinero que los habitantes de la Ciudad de México están dispuestos a pagar por la reducción en los riesgos de mortalidad, nosotros estimamos que el valor económico de estos beneficios en salud están en el orden de 650 millones de dolares americanos por cada 1000`

### **3.1. Cuantificando los Beneficios en Salud**

Mientras que los impactos en salud por una baja calidad del aire son significativos, el gobierno Mexicano debe seleccionar de entre muchas necesidades ambientales y presiones sociales al momento de decidir cuáles políticas llevar a cabo. Cuantificando los beneficios en salud por mejorar la calidad del aire, y comparándolos con los costos de la reducción de emisiones, los investigadores pueden ahora colaborar con los tomadores de decisiones en el gobierno para seleccionar entre diversas políticas contando con mejor información. Por lo tanto, durante la segunda fase de el Programa, mejoramos nuestra habilidad para cuantificar los beneficios relacionados con una mejora en la calidad del aire, y comparamos los beneficios y los costos de dos políticas destinadas mejorar las calidad del aire en la Ciudad de México.

#### ***3.1.1. Mejorando las Bases para la Cuantificación de los Beneficios en Salud por el Aumento en la Calidad del Aire***

Para cuantificar los beneficios en salud por reducir las emisiones, los analistas deben cuantificar tres variables que tienen mucha incertidumbre. Primero, la reducción en la exposición humana a contaminantes dañinos debe ser calculada a partir de las reducciones en las emisiones. Segundo, la reducción en los impactos en salud debido a la disminución en exposición (tales como tasas de reducción en mortalidad o de broquitis crónica) es calculada utilizando información de estudios epidemiológicos (i.e. el coeficiente de concentración-respuesta) y evidencia toxicológica. Finalmente, los beneficios en salud son traducidos en beneficios económicos utilizando información sobre la disponibilidad de pago de los ciudadanos para reducir los riesgos en salud. Hemos completado investigación original para caracterizar

dos de estas variables para la Ciudad de México: el coeficiente de concentración-respuesta y la disponibilidad de pago para eliminar los riesgos en salud.

### **Coeficiente de Concentración-Respuesta**

Las estimaciones de la reducción en mortalidad debido a la reducción en contaminación generalmente se basan en coeficientes obtenidos en estudios epidemiológicos de largo plazo, así como de corto plazo, llevados a cabo en diversos sitios alrededor del mundo. Mientras que esos estudios han proveído a los legisladores y analistas con información útil sobre la contaminación y sus efectos en salud, todavía permanecen muchas incertidumbres que rodean las complejas relaciones de mortalidad y contaminación. Las incertidumbres principales incluyen: (1) saber si es que los impactos en salud a largo plazo encontrados en otros sitios del mundo ocurren a la misma tasa en la Ciudad de México, (2) saber si las partículas en la Ciudad de México tienen una mayor, similar o menor toxicidad que las encontradas en otras ciudades, y (3) saber si las muertes ocurridas debido a la contaminación del aire involucran primariamente a los ancianos y la población susceptible (y por lo tanto conllevaría a menores pérdidas de la expectativa de vida) o si puede incluir muertes de individuos jóvenes saludables (con una correspondiente mayor pérdida de la expectativa de vida).

En la primera fase de este trabajo, nosotros describimos cualitativamente estas fuentes de incertidumbre pero no proveimos un sentido cuantitativo de su impacto en las estimaciones de los beneficios en salud por una mejora de la calidad del aire. En la segunda fase de este trabajo, realizamos una elicitación estructurada a varios expertos en contaminación del aire en México y Europa en la cual se les pidió evaluar esta incertidumbre sobre los coeficientes de concentración-respuesta.

Estas incertidumbres son particularmente importantes cuando estos resultados se aplican en México, en donde no se ha realizado ningún estudio de largo plazo al respecto y solo unos pocos estudios de corto plazo se han realizado.

Aunque éste estudio aún no está completado, los resultados preliminares indican que todos los expertos atribuyeron rangos mucho mayores a los coeficientes dosis-respuesta que aquellos utilizados comúnmente en análisis regulatorios (los cuales proveyeron las bases para nuestra estimación inicial de los beneficios en mortalidad por una mejoría del 10% en la calidad del aire en la Ciudad de México). Consiguientes análisis preliminares indican que los expertos atribuyeron rangos mucho mayores de incertidumbre a los coeficientes de concentración-respuesta que aquellos que se derivarían directamente de los intervalos de confianza estadística reportados en los mencionados estudios. Por ejemplo, cuando preguntamos caracterizar el impacto de la reducción permanente de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2.5}$ , los expertos dieron intervalos de confianza del 90% los cuales variaron de un factor de 8 debajo de la media estimada a un factor de 4.5 sobre la media estimada. Los expertos notaron que, de entre las muchas fuentes de incertidumbre, son de particular importancia las diferencias entre las poblaciones utilizadas en los estudios epidemiológicos y la población en México, la relación entre la calidad del aire y la exposición personal a  $\text{PM}_{2.5}$ , y la composición química de la materia particulada en la Ciudad de México.

### **Disponibilidad para pagar**

En general no es posible saber la salud de quién será afectada por un cambio en la calidad del aire. Por tanto, en lugar de utilizar un valor monetario en la estimación de la prevención de

muerres individuales por contaminación del aire, es más relevante evaluar la disponibilidad para pagar de los individuos por pequeñas reducciones en el riesgo de muerte. La disponibilidad para pagar por una reducción del riesgo es entonces agregada sobre el resto de los individuos para obtener el valor estadístico de la vida, i.e. la cantidad que una comunidad pagaría para reducir en uno el número esperado de muertes por contaminación del aire. Un método estándar para estimar la disponibilidad para pagar con el fin de reducir el riesgo en mortalidad consiste en estimar las compensaciones adicionales que los trabajadores reciben por mantener trabajos con altos niveles de riesgo ocupacional. En la primera fase del Programa, nosotros convertimos el valor estadístico de la vida utilizado por la EPA en los Estados Unidos comparando la proporción de los productos nacionales brutos per capita entre ambos países, debido a que estimaciones directas en México no estaban disponibles. Este método produjo un valor central de \$650,000 (con un intervalo de incertidumbre de \$100,000 a \$2 millones) el cual fue utilizado en nuestras primeras estimaciones de los beneficios en salud. En la segunda fase del Programa, nosotros obtuvimos las estimaciones del valor monetario de reducir el riesgo en mortalidad realizando encuestas en trabajadores en la Ciudad de México sobre sus beneficios y sus riesgos ocupacionales tanto fatales como no fatales. Los beneficios fueron comparados tanto con el riesgo actual y el riesgo percibido, resultando en estimaciones del valor estadístico de vida en el rango de \$230,000 a \$320,000, es decir con tendencia hacia el límite bajo de las estimaciones derivadas por la extrapolación de información de EU a México.

### ***3.1.2. Cuantificando los Beneficios de las Reducciones de Emisiones Provenientes de la Combustión del Diesel***

Nuestra investigación evaluó dos grupos de opciones que se estima pueden resultar en beneficios significativos a la salud. Escogimos enfocarnos en opciones que reducen el impacto de las emisiones provenientes de la combustión del diesel porque estas contribuyen en forma importante a las partículas primarias, y a los precursores que forman partículas secundarias y ozono en la atmósfera. Además, los esfuerzos en el pasado por reducir emisiones se han concentrado en fuentes fijas (tales como industrias) y vehículos a gasolina. Por tanto, se espera que las políticas que reducen emisiones provenientes de vehículos a diesel tengan un mayor impacto en la salud a un costo más modesto que otros tipos de políticas de reducción de emisiones. Nosotros analizamos dos políticas que disminuirían las emisiones provenientes de la combustión del diesel a través de 1) modernizar los vehículos existentes con mejores tecnologías de control de emisiones, y 2) el mejoramiento gradual del perfil de emisiones de la flota vehicular a diesel por medio de estándares más estrictos para vehículos nuevos a diesel.

#### **Disel y las fuentes móviles: Los Beneficios de una Política de Modernización**

Nosotros cuantificamos los costos sociales y los beneficios en salud por la modernización de los vehículos a diesel en la Ciudad de México con filtros para partículas en catalizadores a diesel, activamente regenerando filtros para partículas en vehículos a diesel, ó controles de emisión con oxidación catalítica en vehículos a diesel, tanto inmediatamente ó en el año 2008 (cuando se espera que los costos de capital sean menores). Los filtros para partículas en vehículos a diesel son más efectivos, pero también más costosos, que los controles con oxidación catalítica. Se espera que la modernización con filtros de partículas o con controles de oxidación catalítica provean beneficios netos a la sociedad tanto inmediatamente como en el año 2008. Por ejemplo, se espera que modernizando un autobus nuevo promedio con un filtro para partículas en catalizador provea beneficios netos anuales de \$800 dólares por vehículo, y una modernización con controles de oxidación catalítica beneficios de alrededor \$300 dólares por vehículo. Modernizando vehículos en el 2008, después que los precios hayan disminuido, los

beneficios netos anuales se incrementan a \$2,000 dólares por autobús para un filtro catalizador de partículas, y en \$600 dólares por autobús con controles con oxidación catalítica. Aunque la modernización con filtros para partículas provee los mayores beneficios netos, la modernización con oxidación catalítica provee mayores beneficios a la salud por dolar gastado que modernizando con filtros para partículas. Finalmente, la modernización de vehículos viejos y más contaminantes provee mayores beneficios netos que la modernización de vehículos nuevos. Debido a que éste estudio fué realizado antes que el proyecto descrito de elicitación de expertos, los coeficientes de concentración-respuesta usados en este análisis están basados en valores utilizados en la primera fase de nuestro trabajo. Si se aplican las estimaciones mayores provistas por los expertos en el estudio de elicitación, los beneficios se incrementarían por un factor de dos o más.

### **Asegurando una Flota Vehicular a Diesel más Limpia: Los Beneficios de Estándares de Emisión más Estrictos**

Las tecnologías avanzadas, incluyendo los filtros para partículas están actualmente disponibles para reducir emisiones en los vehículos nuevos a diesel. Estas tecnologías reducen las emisiones de partículas de los vehículos nuevos en 90%, y las emisiones de óxidos de nitrógeno en 80%. Sin embargo, el gobierno debe primero reducir los niveles de azufre en el abastecimiento general de diesel. Por lo tanto, el gobierno Mexicano ha decidido reducir los niveles de azufre en el diesel mexicano de 500 ppm a 15 ppm para septiembre del 2008. Para evaluar la decisión del gobierno, cuantificamos y comparamos los costos y beneficios de reducir el azufre en el combustible diesel y requiriendo estándares de emisión más estrictos (equivalentes a los estándares de la EPA del año 2007) para vehículos nuevos a diesel. Al requerir que los vehículos nuevos cumplan con estos estándares de emisión comenzando en el año 2009, alrededor de 1,500 muertes por año pueden ser prevenidas para el año 2020. Se espera que esta política tenga beneficios netos a un valor presente de \$8.1 billones de dólares en comparación con un estatus quo.

## **3.2. Recomendaciones**

Las recomendaciones están agrupadas en dos categorías, aquellas que están relacionadas a estrategias y políticas de control de la contaminación del aire en la Ciudad de México y aquellas relacionadas a la investigación y análisis.

### **3.2.1. Estrategias de Control de la Contaminación del Aire**

Las estrategias que usan tecnologías avanzadas de control de emisiones para reducir partículas provenientes de vehículos a diesel, tales como tecnologías de modernización y estándares de emisión más estrictos para vehículos nuevos a diesel, proveen beneficios a la sociedad. Estas estrategias representan métodos efectivos en costo y de fácil implementación para reducir la exposición a partículas finas y a ozono. Nosotros recomendamos que el gobierno Mexicano adopte políticas que motiven u obliguen la adopción de tecnologías avanzadas de control de emisiones provenientes de vehículos a diesel.

Nosotros recomendamos que el gobierno continúe con la evaluación de políticas que buscan mejorar la calidad del aire a través de un análisis formal de costo-beneficio. Un análisis cuantitativo puede ayudar a los tomadores de decisiones a identificar las políticas que proveerán las mayores ganancias en calidad del aire y salud minimizando los costos y otras imposiciones

sobre la población. Además de las políticas diseñadas por los EU y otros países, se debería poner atención a políticas que pueden ser más apropiadas a las condiciones en la Ciudad de México. Por ejemplo, sugerimos que los tomadores de decisión investiguen el potencial de políticas que buscan reducir las emisiones al mejorar el costo relativo, conveniencia, y seguridad usando medios de transporte público. Además de reducir las emisiones vehiculares, estos tipos de políticas pueden proveer otros beneficios a la sociedad, tales como la reducción en la congestión vehicular y mejoras en la seguridad en carreteras, particularmente para los peatones.

### **3.2.2. Oportunidades para investigación futura**

#### **Mejorando las Estimaciones de la Exposición**

Las estimaciones de los beneficios y, como consecuencia, las decisiones sobre las políticas de control de la contaminación del aire se basan primordialmente en las estimaciones sobre cómo cambiaría la exposición a las partículas y a otros contaminantes como resultado de un cambio en las emisiones. La evaluación de políticas en el futuro pueden ser substancialmente mejoradas con mejores estimaciones de la relación entre las emisiones de clases específicas de fuentes fijas y móviles y la exposición de la población, con base en un refinamiento de las técnicas de modelación de la exposición. Los resultados de las mediciones de campo completadas en la segunda fase del Programa y la mejoría de la caracterización de la química atmosférica pueden ser utilizados para mejorar los modelos de exposición y las estimaciones utilizadas para evaluar políticas en México y en la ZMVM.

#### **Mejorando la Caracterización de la Respuesta en Mortalidad a la Contaminación Atmosférica**

Las estimaciones actuales de mortalidad por contaminación del aire se basan en un número pequeño de estudios epidemiológicos realizados en México, junto con estudios realizados en otros sitios alrededor del mundo. Así, la caracterización de la respuesta en mortalidad a la contaminación del aire en México se puede mejorar realizando más estudios locales para la caracterización directa de los efectos de la contaminación del aire en la población mexicana, particularmente aquellos que tartan con exposiciones a largo plazo. Dichos estudios pueden proveer valiosa información en tanto en investigación como en el proceso de tomas de decisión; sin embargo, éstos son potencialmente caros y sus resultados tomarán varios años para ser completados. Entre tanto, entendiendo cómo la exposición y las características de la población en México se comparan con aquellos en estudios epidemiológicos alrededor del mundo, ayudaría a reducir la incertidumbre en el uso de dichos estudios para estimaciones de los efectos en salud en México. Similarmente, aumentando el análisis de los resultados epidemiológicos (tales como en la consulta de expertos descrita anteriormente) y su aplicación a los análisis de riesgo y a los procesos de toma de decisión en México maximizarían el valor de los estudios existentes para la priorización de políticas y actividades de investigación.

## **4. CIENCIA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFERICA**

Mientras que una estrategia integral será requerida para obtener y mantener mejoras en los niveles de calidad del aire en la Ciudad de México, las estrategias del control de la calidad del aire deben estar basadas en un entendimiento sólido de los contaminantes y de las emisiones de los precursors así como de los procesos atmosféricos que conducen a la contaminación del

aire. El nivel requerido de entendimiento sólo se puede obtener por mediciones atmosféricas completas seguidas por un programa coordinado de modelación atmosférica. Un programa novedoso de monitoreo atmosférico en dos fases, con mediciones exploratorias en Febrero del 2002 y mediciones extensas desde finales de Marzo hasta principio de Mayo en el 2003, se diseñó para ser una característica fundamental de la colaboración MIT/CAM. Mediciones de las especies reactivas intermedias fotoquímicas fueron realizadas en el aire por primera vez; dichas mediciones ayudarán al entendimiento de las causas de la contaminación del aire en México, y pueden llevar a sugerencias sobre su mejora.

La extensa información obtenida de los programas de monitoreo en el 2002 y en el 2003 están siendo todavía analizados y preparados para publicación; sin embargo, nuestros análisis preliminares han arrojado resultados importantes sobre la naturaleza y características de la contaminación del aire en la Ciudad de México. Estos resultados preliminares son presentados en la siguiente sección y proveen el contexto para definir opciones iniciales de políticas y recomendaciones que forman la base de este reporte.

Análisis preliminares de los datos de nuestros programas de monitoreo atmosférico del 2002 y del 2003 confirman muchas de las conclusiones presentadas en nuestro análisis inicial de la calidad del aire en la Ciudad de México (Molina y Molina, 2002). Además, nuestras mediciones atmosféricas y modelación han revelado fuentes de emisión grandes e inesperadas para contaminantes importantes, se han descubierto correlaciones importantes en la evolución de contaminantes secundarios producidos en la atmósfera, y se han producido nuevos puntos de vista sobre la interacción de la contaminación y la dinámica del aire en el Valle de México.

Un producto principal de éste proyecto es la disponibilidad de un modelo fotoquímico atmosférico sofisticado cuyo desempeño está siendo evaluado con las mediciones realizadas durante las campañas extensivas de monitoreo. El modelo puede ser utilizado como una herramienta confiable para investigar la eficiencia de varias estrategias de control de emisiones.

#### **4.1. Hallazgos importantes corroborados por nuestras mediciones atmosféricas**

En relación a ciudades típicas en Estados Unidos y en Europa:

1. La atmósfera en la ZMVM contiene niveles muy altos de compuestos orgánicos volátiles (COVs) altamente reactivos. Estos niveles de COV altamente reactivos son importantes porque contribuyen importantemente a la formación tanto de ozono como de partículas secundarias finas.
2. La atmósfera de la ZMVM contiene niveles muy altos de óxido de nitrógeno reactivos ( $\text{NO} + \text{NO}_2 = \text{NO}_x$ ). Estos compuestos contribuyen también a la formación de ozono y a la formación secundaria de partículas finas.
3. La atmósfera de la ZMVM contiene sorprendentes niveles altos de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), el cual contribuye a la formación secundaria de partículas finas.
4. La atmósfera de la ZMVM recibe altos niveles de radiación solar ultravioleta (UV), aunque grandes concentraciones de partículas secundarias finas frecuentemente disminuyen el nivel de radiación UV a nivel de superficie.

5. Grandes concentraciones de partículas secundarias finas (PM) compuestas principalmente de especies orgánicas oxidadas, nitrato de amonio, y sulfato de amonio están correlacionadas con la producción oxidativa atmosférica.
6. La atmósfera de la ZMVM puede desarrollar ozono y oxidantes relacionados en niveles adversos a la salud sorpresivamente temprano (antes de medio día), aún en días cuando la radiación solar está parcialmente disminuida por nubes.
7. La atmósfera de la ZMVM contiene sorpresivos niveles altos de contaminantes tóxicos, incluyendo formaldehído, acetaldehído, benceno y tolueno.
8. Los vehículos motorizados en la ZMVM son la fuente principal de las emisiones de NOx.
9. Los vehículos motorizados en la ZMVM emiten sorpresivos niveles altos de formaldehído y acetaldehído.
10. Los vehículos motorizados nuevos a gasolina en la ZMVM son una fuente de emisiones de amoníaco.

#### **4.2. Principales recomendaciones del control de la calidad del aire**

Los hallazgos basados en las mediciones atmosféricas listadas arriba conllevan directamente a varias recomendaciones principales del control de la calidad del aire. Estas incluyen:

1. La correlación cercana entre los oxidantes fotoquímicos (ozono) y la producción de las partículas secundarias finas (PM<sub>2.5</sub>) y sus especies precursoras en común (NOx y COVs reactivos) requiere que estos contaminantes críticos sean manejados en una estrategia de control combinada.
2. Muchos contaminantes tóxicos en alta concentración son COVs reactivos; controlando sus niveles no sólo se reducirá la exposición a compuestos tóxicos, pero también contribuirá a la reducción en oxidantes fotoquímicos y partículas secundarias orgánicas.
3. Los vehículos motorizados en la ZMVM son fuentes principales de PM primarias finas, ozono y precursores de PM secundarias finas, y de contaminantes tóxicos, éstas emisiones necesitarán ser reducidas para obtener una calidad del aire aceptable.

#### **4.3. Clases de emisiones de contaminantes/precursores que requieren control**

Los análisis iniciales de la química de la formación de PM y de la fotoquímica en la ZMVM indica que los controles de emisión deben enfocarse en las siguientes clases químicas:

1. PM Primarias finas (carbonáceas)
2. Óxidos de nitrógeno reactivos (NOx)
3. COVs reactivos- aldehídos, oleofinas, aromáticos
4. Amoníaco (NH<sub>3</sub>)

#### **4.4. Opciones de políticas para reducir emisiones**

1. Mejorar los controles de emisión en todos los vehículos; introducir nuevas tecnologías de catalizadores; mejorar la calidad del combustible reduciendo los

- niveles de azufre tanto en gasolina como en diesel; hacer que los vehículos con controles de emisión subestándar sean reparados, mejorados, o removidos.
2. Reducir emisiones aromáticas de procesos industriales y comerciales.
  3. Reducir emisiones de COVs provenientes de procesos de preparación de alimentos.
  4. Reducir emisiones del sistema de alcantarillado y de los canales a cielo abierto.
  5. Reducir las emisiones de smog proveniente de la combustión de basura, industrias clandestinas, y otras industrias que realizan combustión incontrolada.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE EL TRANSPORTE EN LA ZMVM**

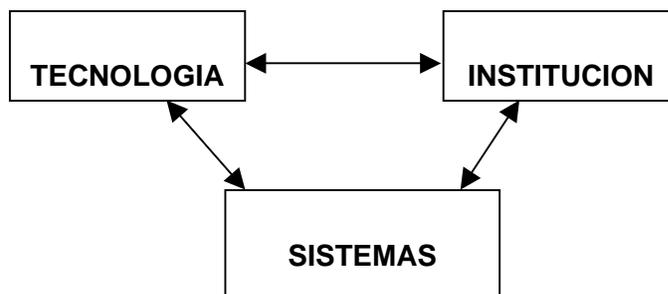
La relación entre la calidad del aire y el transporte en la Ciudad de México ha quedado bien establecida durante varios años de investigación. El reto que enfrentamos es el de asegurar la movilidad de las personas y de los bienes y servicios dentro de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), y a la vez disminuir los impactos negativos de varias actividades de transporte sobre la calidad del aire. El retener la movilidad es central a la agenda de crecimiento económico de la Ciudad de México, y sin embargo si la calidad del aire continúa su deterioro, esto será una carga sobre la salud humana, la productividad y, por supuesto, el crecimiento económico mismo.

Durante los años pasados hemos considerado varios aspectos del sistema de transporte de la ZMVM, enfocándonos a entender los impactos del transporte sobre la calidad del aire y a desarrollar varias opciones estratégicas que podrían utilizarse para minimizar las externalidades negativas sobre el ambiente. De entre las áreas que hemos estudiado están las que se mencionan en seguida.

- El sistema Metro y los cambios asociados en el uso del suelo
- El transporte de carga y en especial, la operación y mantenimiento de camiones en la ZMVM
- El funcionamiento de la red de transporte y sus implicaciones sobre la calidad del aire; la relación entre emisiones y la congestión
- Las emisiones de los modos de transporte que operan en la superficie: camiones, taxis, colectivos (es decir, todos los modos de transporte público excepto el Metro)
- El transporte que opera en las vías y cómo la movilidad se relaciona con los impactos ambientales
- Nuevos enfoques sobre tecnologías de transporte y los problemas de calidad del aire (el uso de Sistemas de Transporte Inteligentes ó STI)
- Enfoque sobre el uso de tarifas para reducir la congestión y mejorar la calidad del aire en la Ciudad de México
- Los factores institucionales en el desarrollo de políticas de calidad del aire y transporte.
- El papel de las partes involucradas al representación el sistema de transporte de la Ciudad de México al desarrollar opciones estratégicas para incrementar la movilidad y mejorar la calidad del aire
- La innovación en la planeación regional estratégica de transporte

Estas áreas, tomadas en conjunto, consideran un trio de *tecnología, sistemas e instituciones* en el que examinamos:

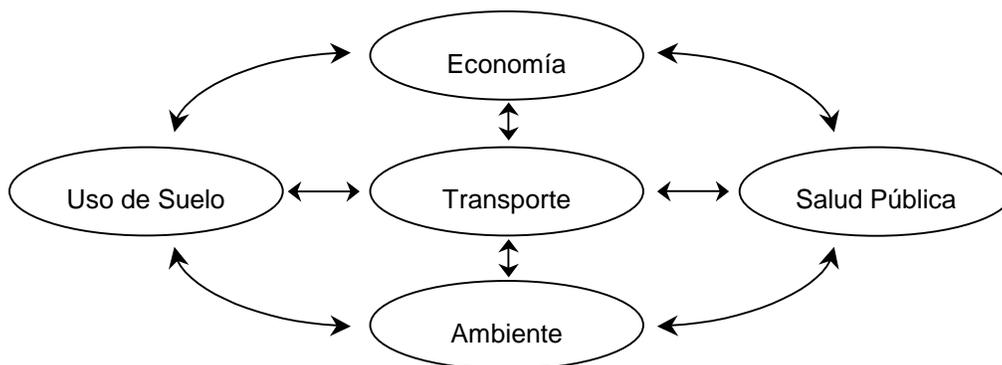
1. Posibilidades tecnológicas de incrementar el funcionamiento de los sistemas de transporte en relación a la calidad del aire (por ejemplo, convertidores catalíticos) y la movilidad (por ejemplo, los STI);
2. Aspectos de sistemas que requieren entender las interrelaciones entre el transporte, el ambiente, el desarrollo económico, el uso del suelo, la salud humana y demás; y
3. Los factores institucionales: las relaciones entre varias agencias gubernamentales, organizaciones del sector privado y partes involucradas y cómo deben ellos ponerse de acuerdo para proveer de un mejor sistema de calidad del aire en la ZMVM sin recortes drásticos en la movilidad.



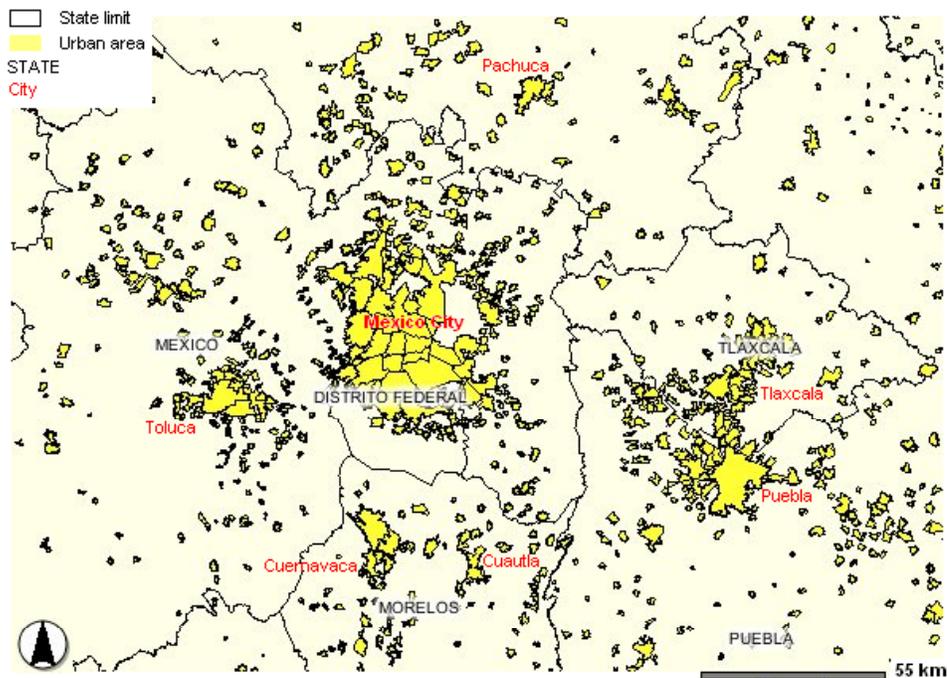
De estos estudios e interacciones considerables con colegas mexicanos, especialmente a través de una serie de talleres sobre calidad del aire en varios lugares en México y Estados Unidos de América, hemos desarrollado una serie de recomendaciones comprensivas para la CAM, en su camino hacia su meta de largo plazo de mejorar la calidad del aire en la ZMVM a la vez de proveer movilidad para personas y carga.

Reconocemos que la Ciudad de México enfrenta un problema impresionante en cuanto a transporte y calidad del aire. Solamente será factible que podamos lograr progreso al largo plazo a través de un amplio enfoque de **sistemas**, reconociendo las interacciones sutiles entre varios subsistemas sociales. Por consiguiente, nuestras recomendaciones se encuentran en un contexto de *pensamiento integrado* en varias dimensiones incluyendo:

**Dominios**- considerando los temas de transporte, ambiente, economía, uso de suelo y salud pública como interrelacionados.



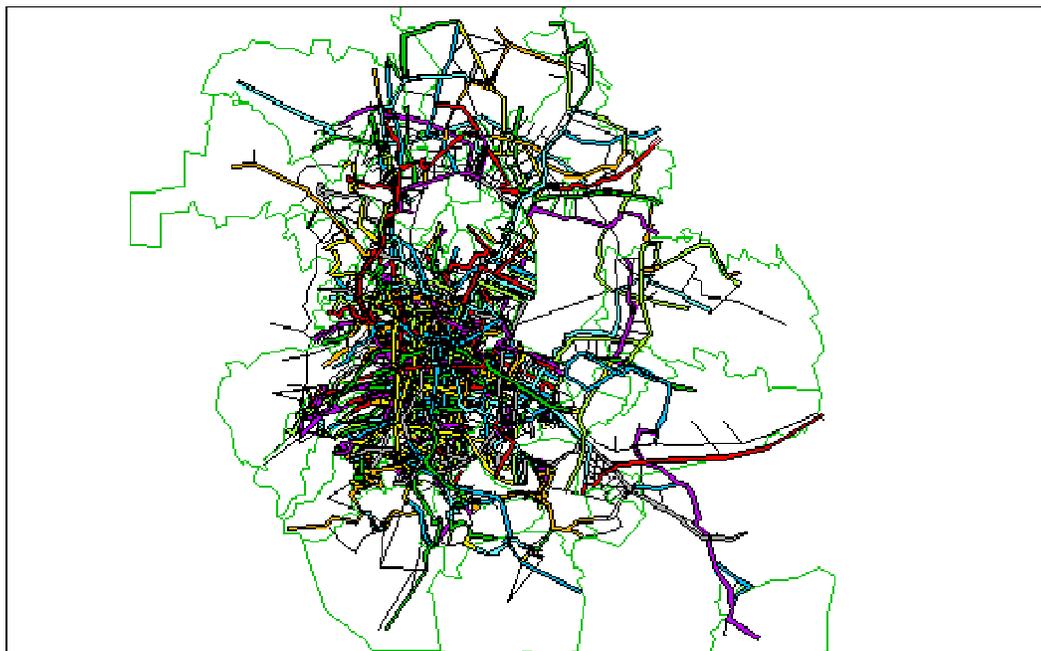
**Geográfica-** Considerando a la ZMVM como una sola región



**Figura 2. La Megalópolis: La ZMVM y las “Ciudades Corona”**

Fuente: INEGI, 2004 (<http://galileo.inegi.gob.mx/website/mexico/viewer.htm>)

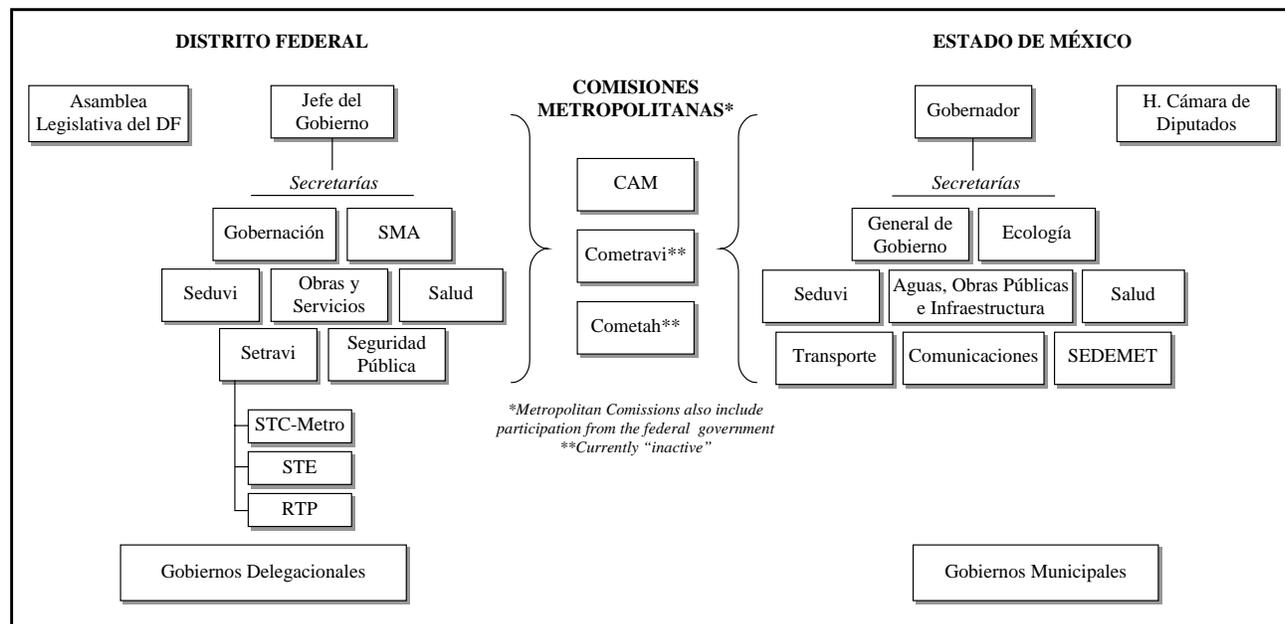
**Modal-** considerando a los modos no como independientes pero más bien como un sistema multimodal integrado e incluyendo tanto a viajeros como al transporte de carga.



**Figura 3. Red Vial de Transporte Público para la ZMVM**

Fuente: Modelo de Transporte Urbano de la Ciudad de México, 2004.

**Institucional-** reconociendo que el estructurar a organizaciones con diferentes misiones y que representan a diferentes grupos y entidades políticas, como por ejemplo, el Distrito Federal (D.F.) y el Estado de México E.M., es un camino legítimo hacia una mejora.



**Figura 4. Estructura Institucional: Administración de Transporte y Calidad del Aire en la ZMVM**

Hablamos abajo sobre *opciones estratégicas* para la ZMVM. El lector debe reconocer que las opciones estratégicas están disponibles a lo largo de los dominios de la tecnología, sistemas e instituciones, pero que *el pensar de forma integrada sobre opciones estratégicas es una pre-condición para el éxito*. Además, entendemos que estas opciones estratégicas deben ser consideradas bajo condiciones de incertidumbre, como se proyecta 20 años hacia el futuro. Por lo tanto, hemos desarrollado tres escenarios futuros; opciones estratégicas son estudiadas bajo cada uno de los tres en nuestra búsqueda por opciones estratégicas que sean robustas en diferentes futuros. Donde es posible, hemos producido estimaciones cuantitativas de los costos y beneficios de estas opciones a lo largo del tiempo y estas han guiado nuestras recomendaciones.

## 5.1. Recomendaciones

Hemos organizado nuestras recomendaciones bajo siete encabezados: principios guías, re-estructuración institucional, tecnología, recursos y capacidades, modos e integración, integración del uso del suelo y transporte, y transporte de carga.

### 5.1.1. Principios Guías

Las siguientes recomendaciones se aplican a todas las decisiones concernientes al transporte y uso de suelo en la ZMVM.

No hay un solo método al considerar cómo mejorar la calidad del aire y la movilidad en la ZMVM. Para que se dé una mejora se requiere de muchas opciones estratégicas coordinadas que involucran tanto nuevas políticas como acciones.

Las opciones estratégicas deben de integrarse para un efecto sinérgico y para evitar efectos negativos imprevistos. En especial, hay que reconocer la interacción de opciones estratégicas en transporte, ambiente, economía, uso de suelo y salud humana (personas expuestas) al formular un enfoque integrado.

El transporte debe considerarse una red integrada multimodal para viajeros y carga. Esto es un principio vital comprensivo al replantear el transporte en la ZMVM.

En los planes de largo plazo para mejorar la calidad del aire y la movilidad se debe reconocer que la demanda de transporte (en términos de kilómetros-vehículo viajados) continuará creciendo tanto por el crecimiento poblacional y económico como por la tenencia de autos. Las opciones estratégicas desarrolladas deben de ser robustas en el tiempo y ante estas tendencias que están virtualmente aseguradas.

La sustentabilidad es un principio vital comprensivo de diseño para cualquier acción en la ZMVM. Las opciones estratégicas para lograr esto deben de desarrollarse en el contexto entero de parámetros de sustentabilidad equitativos y justos en cuanto a ambiente, economía y sociedad.

La construcción de consenso para lidiar con conflictos gubernamentales, del sector privado y de partes involucradas, debe abordarse buscando oportunidades para la cooperación a través de dominios (como se mencionó arriba), modos, entidades geográficas e instituciones.

Donde sea posible, deben utilizarse incentivos económicos para promover resultados en transporte socialmente efectivos. El poner tarifas a la congestión y el intercambio de permisos para emisiones son ejemplos que vale la pena considerar.

### **5.1.2. Re-estructuración Institucional**

Nuestra investigación y conversaciones con colegas mexicanos indican que la configuración de instituciones de gobierno actual, con jurisdicciones en las áreas de transporte y uso de suelo no está adecuada para buscar soluciones integradas para los problemas de calidad del aire y movilidad.

La re-estructuración institucional es una opción estratégica de gran importancia y peso, dada la necesidad de un cambio del sistema. Entendemos las dificultades de lograr el cambio institucional, pero la situación es tal que no podemos darnos el lujo de ignorarla. Específicamente, tenemos que replantear el papel del gobierno federal en los problemas de calidad del aire y transporte y las inter-relaciones entre el D.F. y E.M.

La re-estructuración efectiva puede lograrse ya sea construyendo una nueva serie de agencias o desarrollando instituciones para la toma de decisiones cooperativas entre las agencias existentes. En los Estados Unidos de América (EUA), las Organizaciones de Planeación Metropolitana (MPO's), que proveen de un marco para la toma de decisiones coordinada por diversas agencias, son un ejemplo razonable de éxito en este aspecto. Un

enfoque de esta naturaleza para la toma de decisiones cooperativa requeriría de acción de parte del gobierno federal, para definir un marco legal, así como también para la creación de incentivos apropiados, financieros y de otro tipo, que garanticen una cooperación continua.

La extensión geográfica de la planeación y la política debe de ser la región entera que rodea el área metropolitana. El enfocarse a las necesidades del D.F. y E.M. de forma aislada, aunque institucionalmente conveniente, ha demostrado tener resultados decididamente sub-óptimos.

La planeación *estratégica* de transporte debe de integrarse con la administración ambiental *estratégica*.

- Requisitos legales recientes para los estados miembro de la Unión Europea (Directiva 2001/42/EC de la UE) están llevando a la implementación de Evaluaciones Estratégicas Ambientales (SEA) de planes y proyectos de transporte. La evidencia muestra que muchos estados en los EUA también están adoptando legislación con enfoques similares *estratégicos* y de *sistemas* para evaluar el impacto ambiental de planes y programas de transporte enteros.
- La implementación de este tipo de evaluación ambiental podría sentar las bases para cambios importantes en las relaciones inter-organizacionales (en particular, entre planeadores de transporte y agencias ambientales), al trabajar juntas las agencias en un proceso más estructurado de revisión de planes y programas de transporte.

### **5.1.3. Tecnología**

Nuevas tecnologías proporcionan una enorme gama de oportunidades para reducir emisiones y congestión; así elegir las tecnologías *correctas* es una de las tareas más importantes a las que se enfrenta la ZMVM.

Se deben explorar nuevas tecnologías para seleccionar las oportunidades, tanto para el corto como para el largo plazo, que sean constantes con las metas sociales. Aunque algunos observadores sugieren que la tecnología es "*la respuesta*," la tecnología *no* es una herramienta "independiente". La tecnología será la más eficaz *dentro* de un sistema de opciones estratégicas e integradas. Para lograr esto con eficacia, la ZMVM debe hacer prospectivas de la tecnología para poder anticipar tales oportunidades.

Nuestros modelos muestran que las mejoras incrementales en tecnología no rendirán un gran beneficio al largo plazo, mientras sigan creciendo la población, la actividad económica y el uso del automóvil. Los pasos más agresivos que usan las mejores tecnologías actualmente disponibles (por ejemplo, vehículos híbridos y filtros combinados avanzados para NO<sub>x</sub>/PM) constituyen la única manera tecnológica de alcanzar reducciones al largo plazo. Además, sus costos, normalizados por las reducciones de las emisiones que alcanzan, son justificables.

Nuestros modelos también muestran que a pesar de costos iniciales más altos, es más barato implementar las tecnologías avanzadas tales como vehículos híbridos y las estrategias agresivas de gestión de oferta/demanda en el largo plazo, comparado con el

escenario en que todo sigue igual (“business-as-usual”), generalmente debido a los ahorros inmensos en combustible.

Se deben considerar Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) como una herramienta tecnológica y de gerencia para mejorar la eficacia de la infraestructura convencional existente. ITS ha demostrado ser una alternativa rentable y eficaz comparada con la práctica de ampliar la infraestructura convencional de carreteras.

- La velocidad del tráfico, aceleraciones/deceleraciones, y el tiempo de ralenti influyen mucho en los niveles de emisiones del tránsito. El uso de ITS para mover el tráfico a una velocidad más constante se está convirtiendo en una opción cada vez más popular en muchas ciudades con altos niveles de congestión vehicular, para mejorar el flujo del tránsito sin la necesidad de ampliar la infraestructura actual.
- Para redes viales densas, las estrategias utilizando Sistemas Avanzadas del Control de Semaforización representan a menudo un método altamente eficaz para manejar la circulación. Particularmente, cuando las condiciones del tránsito son altamente variables, los Sistemas de Semaforización Adaptante, que responden a las condiciones "en tiempo real" del tráfico, puede ser la mejor opción. Sin embargo, los recursos para la operación del sistema, la capacitación del personal y el mantenimiento del hardware (tal como anillos de inducción), se deben proporcionar de una manera constante, para asegurar la eficacia de estos sistemas complejos. En muchos lugares, no son necesarios los sistemas muy avanzados de semaforización, y los logros significativos se podrían hacer con acciones más sencillas, tales como la coordinación de semáforos a través de jurisdicciones políticas. Este tipo de acción también podría ser un mecanismo para fomentar una colaboración mejor entre el D.F. y el E.M., así como también entre los municipios y las delegaciones a lo largo del límite entre el D.F. y el E.M.
- Hay un consenso cada vez mayor entre los ingenieros de tránsito y del transporte que, de hecho, construyendo no se puede encontrar la salida al problema de la congestión. Sin embargo, hay a menudo presión política y social considerable para mitigar la congestión a lo largo de los corredores que se consideran "críticos" para moverse dentro de una ciudad. Muchas ciudades, al descubrir que la construcción de capacidad adicional solamente solucionó el problema por unos años antes de que la congestión alcanzara sus niveles anteriores, o niveles aún más altos, han optado por tecnologías basadas en ITS, como la medición de la entrada de vehículos a vías rápidas (*medición en rampas*), una forma de control del acceso a vialidades de acceso limitado. Al controlar el flujo de los vehículos que entran en una carretera o vía rápida, el flujo del tráfico a lo largo de estas rutas críticas se puede mantener en niveles de congestión más aceptables. Sin embargo, dado que este tipo de medición de rampa de acceso no es común en México, y dada la alta incidencia de vehículos pasándose los altos, también podría ser necesario usar ITS como un mecanismo de fiscalización automática, para asegurar la eficacia de una estrategia de medición en rampas.
- La provisión de mejor información a los viajeros con respecto a las condiciones del tráfico es otro método para mejorar la circulación del tránsito, y es posible que genere una mejor toma de decisiones por parte de los automovilistas (encadenamiento de viajes, cambio de rutas o de los tiempos de salida para evitar

condiciones congestionadas o accidentes de tránsito, o incluso la cancelación de viajes innecesarios). Estas estrategias tienen un costo relativamente bajo, sin embargo, pueden requerir coordinación adicional entre las diferentes dependencias de gobierno, también como con los medios de comunicación (radio, periódicos con sitios de web) para consolidar la información en tiempo real del tráfico que viene de varias fuentes, y proporcionar instrucciones e información detalladas a los conductores, vía líneas de teléfono dedicadas, letreros de mensaje variables, y tecnologías que no son ITS, tales como la radio. En cuanto a la información del tráfico en sitios de web, se debe utilizar un interfaz visual apropiado, preferiblemente un interfaz basado en mapas, representando la red del tráfico (rutas primarias) así como la red de transporte público.

Un análisis detallado de los impactos de tránsito/congestión de los Corredores Rápidos de Autobuses (BRT), en particular, las ventajas y los costos de desplegar un sistema de prioridad de semaforización a los autobuses a lo largo de estos corredores, necesita ser emprendido.

- Actualmente, hay mayor vigilancia de policía de tránsito a lo largo de las avenidas donde los primeros corredores BRT serán instalados, para facilitar el flujo del tráfico a lo largo de esas rutas, por ejemplo, prohibiendo vueltas a la izquierda. Mientras que estas acciones pueden mejorar la operación de los BRT, la experiencia en otras ciudades con BRT demuestra que la prioridad del semáforo puede realzar perceptiblemente el funcionamiento de los BRT a lo largo de los corredores que no están completamente separados del tránsito general. Todos los impactos potenciales de la prioridad del semáforo (1) en la operación de los autobuses, (2) en el tráfico general a lo largo de las mismas rutas, y (3) en el tráfico que cruce los corredores, deben ser investigados. Algunas investigaciones han demostrado que la prioridad del semáforo puede tener ventajas sustanciales para el tiempo del viaje y la confiabilidad del tiempo del viaje en transporte público. En condiciones altamente congestionadas, la prioridad "condicional" del semáforo (condicional sobre factores, como por ejemplo, si el autobús viene con retraso, o qué tan lleno viene el vehículo, etc.), se puede utilizar para reducir al mínimo los impactos en la circulación general dentro de y atravesando el BRT.
- Puesto que un Sistema Adaptante de Semaforización está ya en proceso de ser desplegado en las intersecciones dentro de algunas delegaciones del D.F., se necesita investigación adicional con respecto al uso de la prioridad del semáforo con "SCATS" (el Sistema Adaptante de Semaforización que se están utilizando en el D.F.). La consulta y la colaboración con otras ciudades usando sistemas parecidos de Sistemas Adaptantes de Semaforización junto con la prioridad del semáforo para vehículos de transporte público, pueden ser una manera de resolver dudas sobre esta combinación de tecnologías.

Se deben examinar las posibilidades que presenta el precio (valor) a la congestión como instrumento para mejorar la movilidad y la calidad del aire dentro de un paquete general de opciones estratégicas. En particular, se debe considerar la integración del BRT y la provisión de carriles de tarifa de alta ocupación (HOT) a través de la tecnología ITS.

- Carriles BRT y HOT integrados involucran el uso de carriles reservados sólo para operaciones de autobuses BRT y para conductores que están dispuestos a pagar una tarifa para conducir en ese carril. Aún se debate si se debe autorizar el uso de

estos carriles a autos compartidos o vehículos limpios (como los híbridos). Las tarifas se establecen para proveer a los autobuses y automovilistas que usan el carril un ahorro sustancial de tiempo. En áreas donde la expansión de infraestructura está altamente restringida, la combinación del carril BRT/HOT puede ser un medio efectivo para incrementar la capacidad sin construir carriles adicionales necesariamente. El concepto de integración de carriles BRT con HOT también puede abordar preocupaciones sobre equidad, si las recaudaciones de los carriles HOT se usan para dar apoyo operaciones BRT de alta calidad, mientras que las tarifas se mantienen a un nivel de equidad. Rutas radiales principales hacia adentro y fuera de la ciudad, donde las opciones de transporte público son limitadas o implican tiempos de viaje muy largos para sus usuarios podrían obtener un beneficio de la implementación de este tipo de sistema. Los ITS, en la forma de pagos electrónicos para viajes privados, son un componente crítico del monitoreo y operación de carriles BRT/HOT.

#### **5.1.4. Recursos y Capacidades**

Crear y mantener un sistema de transporte y uso de suelo racional y más integrado, requerirá del desarrollo de recursos analíticos y administrativos.

Se debe enfatizar el desarrollo del recurso profesional humano que considera la necesidad de manejar problemas contemporáneos de planeación y administración de transporte complejos.

Se debe crear una base de información para la planeación de transporte incluyendo una encuesta de movilidad de hogares representativos y una base de conocimiento para apoyar las mejores prácticas de planeación.

Se deben mejorar los modelos de demanda de viajes de la red (tal como el Modelo de Transporte Urbano de la Ciudad de México, MTUCM) de formas que permitan enfoques más racionales y directos a preguntas de política sobre transporte y calidad del aire.

##### **Viajeros**

Basado en la encuesta de movilidad mencionada arriba, el MTUCM puede ser aumentado para representar como las decisiones de política con respecto a infraestructura, valoración, operaciones e integración modal pueden influenciar las decisiones individuales de viaje en la dirección de alternativa más sustentables.

##### **Transporte de Carga**

Aumentar el trabajo de modelación actual y el análisis de camiones puede ayudarnos a entender cómo interactúan con otros vehículos en la ZMVM y a esclarecer cómo minimizar las externalidades relacionadas. El trabajo actual de modelación se enfoca sobre estrategias que proveen el mayor beneficio para la ZMVM, incluyendo zonificación y uso de suelo, terminales e intercambio modal, y valoración.

#### **5.1.5. Modos e integración**

Todas las decisiones de política relacionadas con modos individuales deben reconocer y promover la integración modal y la sustentabilidad del sistema entero.

### **Integrando Modos Informales**

Se debe racionalizar e integrar la participación de los proveedores de transporte informal (colectivos) a un sistema formal de transporte. Se debe considerar un papel diferente para los colectivos como alimentadores como un componente vital de un *sistema de transporte público intermodal*.

Actualmente los *colectivos* son la forma más importante de transporte personal en la ZMVM y continuarán siéndolo durante algún tiempo; eliminarlos sencillamente no es realista. Sin duda dados los bajos costos del trabajo y el patrón de desarrollo altamente disperso de la Ciudad, son más económicamente eficientes que un sistema de autobuses convencional en algunos casos. Los colectivos requieren ser mejor regulados, integrados al sistema multimodal y tener sus emisiones reducidas por medio de subsidios a la mejora y renovación del equipo. Organizaciones de colectivos intransigentes harán de esto una tarea difícil pero el traer a los colectivos al sistema de transporte público integrado es una meta que vale la pena perseguir.

### **Desarrollando una Red BRT Integrada**

Introducir el Transporte Rápido de Autobuses (BRT), pero integrado con otros modos para lograr accesibilidad. Nuestros modelos sugieren que las estrategias de BRT son muy costo-efectivas en el largo plazo y las experiencias de algunas ciudades de Latino América han sido positivas.

El éxito del BRT será limitado si no hay sistemas alimentadores apropiados, y esto conllevará integrar los colectivos en un sistema más formal como se notó arriba. Debido a que los colectivos probablemente verán el BRT como una amenaza, alguna forma de incentivo tal como subsidios a rutas que se interceptan con la línea del BRT es una opción que sería útil explorar.

Además, el BRT debe de ser diseñado, en el largo plazo como una red a nivel metropolitano. Actualmente se planean dos corredores, y muchos otros corredores posibles han sido identificados en el D.F.. En el E.M. también se ha considerado el desarrollo de una línea BRT a lo largo de una ruta importante en la sección norte de la ZMVM. Debido a que es factible que el número de viajes entre el E.M. y el D.F. se incremente sustancialmente, la creación de dos sistemas de corredores BRT dispares debilitará su potencial como un servicio metropolitano integrado.

La relación institucional del BRT con los dueños de los colectivos y los choferes debe de establecerse claramente, tanto a lo largo de los corredores donde el servicio de los colectivos será desfasado, así como también sobre corredores que servirán como rutas alimentadoras del BRT importantes.

Por último, se deben considerar el espacio público y los modos no motorizados de acceso al sistema BRT. Idealmente, estos puntos se deben analizar en el contexto de una amplia consulta pública, de forma que se asegure la armonía del componente de uso de suelo con las metas del BRT. La inhabilidad de acceder el sistema BRT de manera cómoda (en particular, cuando se compara con la práctica actual de los colectivos de hacer paradas en cualquier parte para recoger y dejar pasajeros, misma

que es muy cómoda desde el punto de vista de los pasajeros) limitará su capacidad de atraer pasajeros al sistema.

### **Integración de Tarifas**

Ha habido un avance importante en la integración de tarifas y el sistema de transporte público recientemente; esto debe enfatizarse continuamente. Es claro el valor de las “tarjetas inteligentes” en esta aplicación, como muestra el uso que se les ha dado en otras ciudades, y debería de considerarse seriamente para la Ciudad de México.

La implementación de Tarjetas Inteligentes podría ser un paso importante al movernos hacia un sistema de transporte público más inter-modal, permitiendo políticas de tarifas más diversas y diferenciadas, incluyendo descuentos y transferencias (entre Metro, tren ligero, trolebuses, autobuses BRT, y corredores BRT futuros).

Las tarjetas inteligentes también pueden ser un componente importante de la imagen de un sistema de transporte público. El sistema BRT, para el cual con frecuencia la imagen y mercadotecnia son factores importantes para incrementar el número de usuarios y la satisfacción de los pasajeros, deberían utilizarse para ayudar a introducir las Tarjetas Inteligentes a todos los modos de transporte.

Por último, los datos recogidos de Tarjetas Inteligentes pueden ser una fuente valiosa de información sobre flujos de pasajeros dentro del sistema de transporte público. Estos datos se pueden usar para modelación y planeación futura. Mientras que en algunas ciudades las Tarjetas Inteligentes relacionan información personal con sus usuarios, para evitar problemas de privacidad, las tarjetas podrían ser anónimas, y aún así proveer de información importante sobre orígenes y destinos de viajes, en particular si las Tarjetas Inteligentes se implementan a lo largo de todos los modos.

### **5.1.6. Integración de Transporte y Uso de Suelos**

La efectividad de una política de transporte se vera limitada por la ausencia de una política complementaria de uso de suelos, especialmente en el largo plazo.

Considera una forma urbana ideal para la ZMVM obtenible a través de la coordinación de transporte y uso de suelos. El objetivo es mantener la importancia del centro de la ciudad posibilitando el desarrollo fuera de esta área en corredores servidos por Metro, tren ligero o tren suburbano para obtener una mayor accesibilidad para personas de todos los estratos de ingreso.

*Considera la expansión del Metro, **pero sólo** en el contexto de un paquete amplio de medidas estratégicas para favorecer la accesibilidad y, más aun, en el contexto de políticas de uso de suelo tales como desarrollo orientado al transporte público (TOD), para lograr una forma urbana orientada al transporte público para ciudad de México.*

Compromiso gubernamental para la construcción de viviendas económicas localizadas en el entorno de las estaciones de Metro, tren ligero o tren suburbano lo que debiera favorecer un aumento significativo de la demanda de Metro. Si estas viviendas son localizadas en las cercanías de líneas de Metro que en la actualidad están subutilizadas, esto podría aumentar la demanda en dichas líneas y eventualmente aliviar la congestión en las más saturadas.

Es probable que ocurra algún desarrollo a lo largo de las líneas del tren suburbano, por ejemplo en el entrono a la terminal Buenavista del D.F.. Sin embargo, una coordinación metropolitana en la forma de un plan para un corredor suburbano conjunto D.F.-E.M., podría incrementar significativamente el potencial de desarrollo de un corredor de alta densidad, de usos mixtos y orientado al transporte público a lo largo de la línea de tren suburbano.

En la medida en que el Plan Maestro de Metro considere un estudio detallado de las oportunidades de desarrollo inmobiliario en el entorno de las estaciones junto con un plan agresivo de difusión de dichas oportunidades para desarrollo orientado a transporte público (TOD), las posibilidades de acercar recursos al SCT (la compañía, perteneciente al D.F., que opera el Metro) podrían aumentar y reducir así su dependencia de subsidios de parte del gobierno federal.

Si más gente estuviese concentrada en las cercanías de las estaciones de Metro como resultado de la expansión del sistema y la política de ubicar hogares y otros desarrollos inmobiliarios en sus cercanías, los efectos medioambientales y en cuanto a equidad serían considerables. La gente que tiene la opción de usar el Metro sin necesidad de realizar un viaje de alimentación en colectivo tiene gastos en transporte considerablemente menores. No están afectados por la congestión de las vías y luego pueden llegar a destino en forma más rápida y confiable. Esto podría incrementar sus oportunidades de trabajo. Luego, TOD podría ser un impulsor relevante de la equidad en el mundo en desarrollo. La extensa red de Metro que posee la Ciudad de México la pone en una posición favorable para hacer uso de este concepto.

En el lado medioambiental, el TOD podría reducir en forma considerable las emisiones producidas por los colectivos a través de la eliminación o reducciones de viajes en dicho modo. Sin embargo, el efecto medioambiental más significativo del TOD es indirecto y se produce en el largo plazo. La creación de una forma urbana orientada a transporte público (TOD) donde la gente continuara usando modos de transporte masivo (al menos para su viaje al trabajo) incluso después de poder pagar por un automóvil, mitigaría el aumento de contaminación que acompaña a la motorización. Como parte de la política de viviendas económicas orientadas a transporte público Ciudad de México podría incluir limitaciones a la oferta de estacionamientos antes que el aumento en el ingreso de los residentes les permita pagar por un automóvil, reduciendo así en cierta medida la resistencia política a dicha medida.

La coordinación de transporte y uso de suelo es, desde luego, una política de largo plazo y no puede esperarse que entregue resultados en lo inmediato. Sin embargo, una serie de cambios a la cultura de planificación en la ZMVM podrían ayudar a preparar el terreno para una forma urbana orientada a transporte público que sería social y medioambientalmente más sustentable.

### **5.1.7. Carga**

Mejorar en el transporte de carga es de vital importancia tanto para el desarrollo económico como para el control de la calidad del aire. Sin embargo, los tomadores de decisiones debieran considerar además a la carga y transporte de pasajeros como un todo integrado.

Las alternativas de mejora de la tecnología de los vehículos de carga y la calidad de los combustibles incorporadas en PROAIRE tienen buen potencial según desprende de nuestras modelaciones. El monitoreo de las tecnologías existentes y los programas de mejora de los combustibles, asegurar fondos para dar continuidad a estos programas y asegurar que estas políticas están operando según lo deseado debiera tener una alta prioridad en tanto se consideran las opciones de implementación de una política de transporte de carga.

Las estrategias de mejora a la operación y uso de la flota se dividen en viajes interregionales e intraregionales. Las primeras dos medidas mostradas abajo corresponden principalmente a viajes interregionales y la tercera para viajes que se desarrollan por completo dentro de la ZMVM. Todas debieran ser consideradas cuidadosamente.

- Centros de transferencia de carga (Con el objetivo de mantener a vehículos de carga pesados fuera de la ZMVM mediante la provisión de un centro de transbordos para que vehículos livianos retiren los productos y los distribuyan en la ZMVM.
- Aumentar la utilización de líneas de tren (para el despacho de bienes al interior de la ciudad para eliminar a los vehículos pesados en la ZMVM, todo esto en conjunción con el centro de transbordos descrito arriba, asumiendo que las líneas de transporte de carga por tren estarían incorporadas también.
- Fortalecer el rol de las compañías logísticas (para transporte dentro de la ciudad, con el objetivo de reducir el número de vehículos privados que frecuentemente viajan vacíos o subutilizados)

## **6. SECTOR INDUSTRIAL**

Con la excepción del uso de solventes sin control, la contaminación del aire es usualmente proporcional al consumo de energía y a la combinación de combustibles utilizados por un sector. El crecimiento económico de la ZMVM significaría un incremento en la demanda de bienes y servicios, resultando en mayor producción y actividad industrial, comercial y del sector informal.

Además del incremento en la demanda por bienes y servicios, la estructura industrial, y la intensidad energética son variables importantes que afectan la demanda energética y la contaminación del aire por parte de las fuentes industriales en la ZMVM. La estructura del sector industrial, representada por la proporción relativa de los varios sub-sectores de la economía de la región, representa la parte dominante para modificar la demanda energética del sector de manufacturas. Los tres sub-sectores más prominentes del sector industrial en la ZMVM son: la industria química, la industria de productos metálicos, y la industria de alimentos y bebidas. La intensidad energética de la industria química es mayor que la intensidad energética de la industria de productos metálicos. Por lo tanto, si la estructura de la industria de manufacturas en la ZMVM cambiara en forma que el dominio relativo de la industria química continúe, esto afectaría la demanda energética por la industria de manufacturas como un todo. La tasa de cambio en la intensidad energética es otra variable importante que afectaría la magnitud de la demanda energética en la ZMVM. La Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) ha reportado que la intensidad energética de la industria de manufacturas de sus miembros ha estado disminuyendo a una tasa de 0.5% anual, comparado con la tasa de cambio anterior de 3.7% anual (de 1974 a 1986). El cambio de la tasa de

intensidad energética, moderado o rápido, afectaría significativamente la demanda energética del sector de manufacturas.

El sector de manufacturas en la ZMVM consiste en unidades económicas localizadas en el Distrito Federal (DF) y en 37 municipios del Estado de México (EM). En años recientes, el sector de manufactura ha experimentado un cambio estructural. El sector químico ha experimentado un crecimiento en su participación de la actividad industrial en el DF. También en el DF, la industria química tiene una participación dominante y es seguida por la industria de productos metálicos; en el EM el sub-sector de productos metálicos contribuye con la parte más importante de la actividad industrial del Estado. Aproximadamente, el 72% del total de la actividad industrial en el EM es incluida en la actividad industrial de la ZMVM. En la ZMVM, el sub-sector de la industria química mantiene su dominio, y el sub-sector de la industria de productos metálicos mantiene un cercano segundo lugar. La demanda energética de combustibles (gas natural, diésel, y GLP) del sector industrial en la ZMVM fué estimada en 104.6 PJ en 1998. La demanda de energía eléctrica por el sector de manufactura fué estimada en 54 PJ en ese mismo año.

En el escenario sin cambios (business as usual), la demanda energética por combustibles del sector de manufactura en la ZMVM crece a un valor de 128 PJ en el año 2025 (un incremento del 21% con respecto a valores actuales). La mayoría de los escenarios muestra un incremento en la demanda energética por combustibles del sector de manufacturas. El escenario de “*GU-Const-Chem*” muestra los mayores incrementos en la demanda de energía. *GU* se refiere al escenario futuro, *Const* se refiere a que no existe cambio en la intensidad energética, y *Chem* indica que el dominio del sub-sector químico continúa en la estructura industrial de la ZMVM. Se estima que la demanda energética en este escenario se incremente a un alto valor de 339 PJ, más del 200% en incremento con respecto a los valores actuales. Sólo unos pocos escenarios muestran una reducción significativa en la demanda energética, en especial aquellos en los cuales una reducción agresiva en la intensidad energética (a una razón de 2% anuales) es combinada con un cambio estructural hacia el sub-sector de la industria de productos metálicos. El escenario *DC-Agres-Metal*, muestra una reducción del 35% en la demanda energética en el año 2025, con respecto a los niveles actuales.

Asumiendo que la actividad del sector es determinada únicamente por el estado de la oferta – demanda, tal como es gobernado por los indicadores macro-económicos regionales, nacionales, e internacionales, hay solo unas pocas opciones políticas disponibles para reducir la demanda energética y la contaminación del aire por parte del sector manufacturero. Reduciendo la demanda energética introduciendo opciones políticas que afecten la estructura industrial hacia una estructura con menos intensidad energética, reducción agresiva de la intensidad energética, modernización de los procesos de manufactura, y cambiando la mezcla de producción, promoviendo el reuso del capital, resulta ser la parte importante para reducir la demanda energética y la contaminación del aire por parte del sector industrial.

## 6.1. Recomendaciones

- Una reducción agresiva de la intensidad energética, que busque reducirla a una tasa de alrededor del 3%, podría ser la mejor manera de contener la demanda energética y la contaminación del aire del sector manufacturero en la ZMVM.
- Diseñar programas e incentivos para medir, monitorear y reducir la intensidad energética basada en el producto.

- Proveer incentivos para mantener una estructura energéticamente menos intensa del sector manufacturero en la ZMVM.
- Proveer incentivos a los empresarios para iniciar industrias tales como ensamble de componentes electrónicos, los cuales tienen un alto valor agregado y son sectores energéticamente menos intensos.
- En 1998, el gas natural y el GLP proporcionaron el 78% del total de la demanda energética por combustibles por el sector manufacturero. Identificando las industrias que puedan cambiar de combustible puede incrementar aun más la proporción utilizada de combustibles más limpios.
- Equipos de control de la contaminación de *final-del-tubo* pueden ayudar a reducir algunos contaminantes. Explorando el uso de instrumentos de mercado (tales como Cap-and-Trade, o Impuestos en Emisiones) pueden facilitar opciones de menor costo para reducir emisiones.
- Los análisis de la reducción en la contaminación del aire indican una ventaja substancial en el costo al utilizar instrumentos de mercado para reducir la contaminación del aire proveniente de fuentes industriales. Esto requiere identificar a los subsectores adecuados para participar en los programas de comercialización de emisiones y la creación de un mercado.

## 7. LOS SECTORES COMERCIAL E INFORMAL

Los sectores comercial e informal juegan un papel principal para satisfacer la demanda de bienes y servicios y para proveer trabajos a una gran parte de la población en la ZMVM. Sin embargo, su contribución a la contaminación del aire es difícil de medir debido a la falta de una definición clara del sector informal y su demanda energética. El inventario de emisiones base para las actividades comerciales e informales es actualmente incompleto. En general, en el corto plazo, las emisiones más relevantes se incrementarían casi en paralelo en los tres casos de referencia, sin importar cual es el escenario futuro. Más aun, en el medio y largo plazo, las tendencias de las emisiones bajo diferentes casos de referencia y escenarios futuros divergerían, en algunos casos significativamente.

Emisiones de hidrocarburos no metánicos (HCNM) y de SO<sub>2</sub> del sector comercial e informal son especialmente relevantes debido a su gran contribución al inventario de emisiones. Se cree que las emisiones de PM<sub>10</sub> son también relevantes para el sector informal, aunque están actualmente subestimadas, esperamos un crecimiento anual en las emisiones de ambos sectores comercial e informal del 40 a 80% para el año 2025.

Varias opciones políticas específicas para reducir las emisiones de los sectores comercial e informal pueden llevarse a cabo, lo cual puede resultar en una reducción significativa en la contaminación del aire de estos sectores. Por ejemplo, la instalación de sistemas de recolección de vapores (y recuperación de solventes) en tintorerías, imprentas, comercios de pintura de automóviles y panaderías, parece ser efectiva para reducir hasta el 30% de las emisiones de HCNM provenientes de estas actividades, con reducciones potenciales de hasta el 75% de los niveles actuales. Para la reducción de las emisiones de SO<sub>2</sub>, la política más efectiva parece ser la substitución de combustibles, tanto para calentadores como para quemadores, en ambos sectores comercial e informal. El cambio de combustóleo a GLP es la manera más costo-efectiva para reducir las emisiones de SO<sub>2</sub>, aunque esto implicaría un

incremento en NO<sub>x</sub> y HCNM. Para PM<sub>10</sub>, algunas de las reducciones significativas en emisiones pueden ser obtenidas a nivel de subsector, por ejemplo, en la construcción y producción de ladrillos a través de la agrupación de industrias.

### **7.1. Recomendaciones**

- Incluir explícitamente al sector informal en el inventario de emisiones y en los programas de calidad del aire de la ZMVM, haciendo una distinción clara entre las actividades comerciales, formales y las informales.
- Para mejorar la estimación de las emisiones y desarrollar políticas más efectivas, es necesario obtener información sobre las actividades informales, así como desarrollar factores de emisión específicos para las actividades informales.
- Para reducir las emisiones comerciales de HCNM, la instalación de sistemas de recolección de vapores (y recuperación de solventes) en tintorerías, imprentas, comercios de pintura de automóviles y panaderías, parece ser efectiva para reducir hasta el 30% de las emisiones de HCNM de estas actividades, con un potencial para reducir hasta el 75% de las emisiones de HCNM para procesos particulares, así como también reduce los costos debido a la disminución del consumo de solventes.
- La reformulación de productos que contienen solventes es otra medida efectiva de reducir las emisiones de HCNM, debido a que la mayoría de las emisiones del sector comercial se derivan del uso de solventes.
- Para la reducción de las emisiones de SO<sub>2</sub>, la política más efectiva parece ser la sustitución de combustibles, para ambos calentadores y quemadores, en las actividades comerciales e informales. El cambio de combustóleo a GLP parece ser la manera más costo-efectiva de reducir las emisiones de SO<sub>2</sub>.
- Para PM<sub>10</sub>, la agrupación de industrias de la construcción y la producción de ladrillos representa una oportunidad significativa para reducir emisiones.
- Para la reducción de gases invernadero, y en particular de CO<sub>2</sub>, las políticas más efectivas consisten en cambiar a calentadores solares y en la mejora de la eficiencia energética en los edificios y equipos.
- Sustituir combustibles de menor calidad tales como crudo, madera y basura por combustibles comerciales más limpios tales como diesel o GLP.

## **8. REFORMA INSTITUCIONAL**

La mejor manera de lograr mejoras adicionales en la calidad del aire de la Ciudad de México – como en cualquier otra área metropolitana – es que todas las instituciones gubernamentales implicadas tengan (1) una idea clara de los objetivos que se pretende conseguir, y (2) puedan llegar a un acuerdo sobre el reparto de responsabilidades, no sólo entre los diferentes niveles y unidades de gobierno, sino también entre el sector público, privado y la sociedad civil. El logro de un acuerdo de este tipo, que todavía no ha tenido lugar en México, requiere un diálogo cuidadosamente planeado que reúna los diversos actores sociales. La clave para un diálogo así pasa por la expansión de la implicación pública.

Después de muchos años de debatir sobre las soluciones científicas y políticas más adecuadas para el problema de la contaminación del aire en la Ciudad de México, ha quedado claro que existen barreras políticas e institucionales que inhiben la puesta en práctica de políticas de control de la contaminación del aire eficaces e integradas. Abordar el problema de la contaminación del aire de una aglomeración metropolitana exige el análisis de las fuerzas que contribuyen al problema desde una perspectiva tanto ambiental como política e institucional. Políticamente, la ZMVM está dividida en diferentes jurisdicciones, cada una con sus necesidades e intereses. Desde una perspectiva ambiental, para poder gestionar el problema de la contaminación del aire se necesitan reformas coordinadas en el transporte, usos del suelo, ambientales e industriales a escala metropolitana. Es inevitable que algunas negociaciones sean difíciles.

Nosotros pensamos que la situación de la ZMVM está madura para lo que se denomina un Examen de la Situación, que nos ayude a identificar áreas de acuerdo y desacuerdo entre los diferentes actores sociales. Tal examen nos indicará si el diálogo –cuidadosamente planeado– entre actores sociales, imprescindible para alcanzar acuerdos en los asuntos más difíciles, es posible.

## **8.1. Recomendaciones para llevar a cabo un Examen de la Situación**

Durante la primavera y el verano de 2004 se planeó un procedimiento específico para el Examen de la Situación que resumimos a continuación.

### **8.1.1. Objetivos del Examen**

- Lograr entender las diferentes perspectivas de los actores sociales sobre la idoneidad de los acuerdos institucionales actuales para afrontar la gestión ambiental, el transporte y los usos del suelo en la ZMVM.
- Conseguir entender las diferentes perspectivas de los actores sociales sobre los posibles beneficios y costos asociados con la aplicación de normas ambientales más estrictas en la ZMVM para reducir la contaminación del aire.
- Valorar si el establecimiento de negociaciones directas entre los actores sociales y los legisladores puede conducir a una resolución constructiva de las cuestiones metropolitanas y ambientales de la ZMVM.

### **8.1.2. Productos fruto del Examen**

El Examen dará lugar a un informe escrito basado en entrevistas confidenciales con cada grupo de actores sociales susceptibles de ser afectados por un cambio en la política de gestión de la calidad del aire y las normas y financiación relacionadas. El Examen analizará las cuestiones, los actores sociales, sus intereses, además de su disponibilidad y capacidad para participar en procesos de negociación cara a cara. Junto con estos resultados, el Examen ofrecerá recomendaciones sobre si proceder, y cómo, con un proceso de construcción nacional de consenso. La entrevista les da la oportunidad de expresar sus ideas, poner sobre la mesa asuntos que son importantes para ellos, e influir directamente en las negociaciones. La entrevista les obliga también a clarificar sus prioridades y les anima a repasar sus argumentos en “voz alta” en frente de un equipo de profesionales neutral. Por neutral entendemos que este equipo no favorece las preocupaciones o intereses de un grupo social concreto, ni defiende el logro de unos resultados concretos.

### **8.1.3. Pasos a seguir en el Exámen**

Hasta ahora, el equipo del Examen de la Situación ha hecho lo siguiente:

- Desarrollar un protocolo de entrevista e identificar más de 50 actores sociales clave para entrevistar, incluyendo líderes del gobierno nacional, regional, local, comisiones ambientales y metropolitanas, activistas locales, empresarios, líderes académicos, especialistas en salud ambiental, miembros del sector del transporte y otros grupos no gubernamentales interesados en reducir la contaminación del aire en la región;
- Empezar las entrevistas confidenciales y cara a cara con actores sociales relevantes;
- Empezar a sintetizar las preocupaciones de los miembros de cada grupo de actores sociales sobre asuntos clave, sin atribuirles nombre, cargo u organización.
- Empezar a analizar estos resultados y a valorar las oportunidades y los obstáculos que existen para conseguir un acuerdo multilateral sobre cómo luchar de la mejor manera contra los problemas de calidad del aire de la región.

Una vez se termine el Examen, recomendaremos, si resulta apropiado, los elementos clave de un proceso de construcción de consenso (por ejemplo, normas básicas y potocolos organizativos, una agenda preliminar de asuntos a discutir, y alternativas para un calendario de reuniones).

### **8.1.4. Importancia de un director neutral**

Uno de los retos cruciales al preparar un Examen de la Situación es garantizar que el proceso tiene legitimidad. Si hay actores sociales que piensan que un grupo concreto está dominando el proceso, es improbable que éstos y otros actores sociales accedan a participar de una manera constructiva. Es necesario que esté claro que el Examen no compromete a nadie a aceptar un conjunto concreto de cambios políticos. Los participantes necesitan sentirse cómodos compartiendo información con un equipo neutral de profesionales que les asegura que lo que digan confidencialmente no será usado en su contra más tarde. Un director neutral es el símbolo que indica que este procedimiento es 'seguro' y que el objetivo es encontrar un resultado que tenga en cuenta las preocupaciones e intereses de todas las partes.

## **8.2. Recomendaciones para substituir los procedimientos de las actuales Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) de México**

A partir del estudio que hemos realizado durante un año sobre los procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental de México, hemos identificado una serie de principios que deberían guiar los esfuerzos para aumentar la participación pública en el diseño de una política de gestión de calidad del aire. En concreto, proponemos las siguientes recomendaciones:

### **8.2.1. Ser creativo, flexible y proactivo en términos de participación pública**

La institucionalización de la participación pública en el proceso de las EIA de México ha hecho que los profesionales de las EIA tiendan a ver la participación pública más como una obligación

formal que como una oportunidad para mejorar la calidad del análisis y la legitimidad de las políticas finales. El proceso de construcción de consenso que nosotros proponemos sólo funcionará si se ofrece como una verdadera oportunidad para todos los grupos sociales del país para participar en la formulación de un paquete de estrategias políticas. Si en lugar de para este fin, se usa para ‘vender’ un conjunto de medidas decididas previamente, los actores sociales se rebelarán.

En México las EIA no suelen aportar soluciones. Normalmente se ponen en marcha demasiado tarde y terminan demasiado pronto. El caso de la reserva de Silva demuestra que en México es posible que los funcionarios ambientales vayan más allá de los meros requisitos de procedimiento para generar un diálogo de naturaleza creativa y eficaz para la resolución de problemas. Limitarse a hacer campañas de información pública con el fin de convencer a los ciudadanos que la alternativa propuesta por el gobierno es la mejor no va a resolver las preocupaciones de éstos.

### ***8.2.2. Cuanto antes empiece la participación, mejor serán los resultados***

Los profesionales de las EIA de México rara vez consultan a los ciudadanos en las fases de planeación de los grandes proyectos. De hecho, durante el proceso inicial de muchos proyectos importantes de transporte, la población local, así como los actores sociales clave, deberían ser invitados a comentar el proyecto propuesto antes de que la evaluación de impacto ambiental fuera preparada. Ellos pueden ayudar en la identificación de problemas que de otra manera pueden convertirse en origen de conflictos, o incluso sugerir soluciones que los profesionales pueden haber pasado por alto.

Además, la participación pública ofrece excelentes oportunidades para una resolución constructiva de las disputas. Intentar evitar la aparición de disputas políticas no es una buena estrategia, porque aquellos que busquen compensación o desagravio por las posibles consecuencias de una determinada política encontrarán maneras de ejercer presión política o de utilizar el sistema judicial para, en última instancia, frenar el proyecto. En la práctica, según el Servicio Forestal de los EE.UU., la participación de ciudadanos informados en procesos de carácter más colaborativo ‘reduce significativamente el número de denuncias y juicios posteriores’.

### ***8.2.3. Hay que centrarse en cuestiones de contenido, y no simplemente en temas de procedimiento***

Los casos de EIA estudiados sugieren que los profesionales del Gobierno están desaprovechando los beneficios más importantes de la participación pública. El proceso de participación se convierte en un medio de satisfacer requisitos de procedimiento y no de resolver problemas o disputas. Los expertos en Evaluaciones Integradas deberían diseñar programas participativos que estimularan la confrontación de contenidos. Esto puede conseguirse a través de un proceso de Búsqueda Conjunta de Hechos, enmarcado en un proceso común de construcción de consenso. En la práctica, el aprendizaje es más probable en situaciones donde los participantes son activos. Cuando las personas tienen oportunidad de “hacer”, participar en tareas, hablar de sus experiencias y actuar, es más probable que aprendan que cuando solamente observan.

#### **8.2.4. La información debe ser accesible desde el punto de vista geográfico y lingüístico**

En México a menudo la gente no lee las evaluaciones de proyectos polémicos tal y como aparecen en las declaraciones de Impacto Ambiental, pero luego se quejan enérgicamente cuando oyen hablar de las características de esos mismos proyectos en los medios de comunicación. Una de las razones por las que la gente es reacia a participar en un proceso de EIA es que las evaluaciones son difíciles de leer. Así, si los informes fueran más inteligibles, fomentarían niveles más altos de participación. Es decir, que hay que prestar especial atención a la elaboración de informes que los ciudadanos puedan entender.

Después de estudiar durante varios años el aparato institucional de México, a través del cual se toman decisiones sobre los sistemas relacionados de transporte, usos del suelo, salud pública y protección ambiental, estamos convencidos de que hace falta un nuevo enfoque. Anunciar simplemente una nueva asignación de responsabilidades o un nuevo paquete de medidas políticas no es la solución. Hace falta un grado más elevado de participación social en el diseño de políticas. Esto debe ir precedido por un Examen de la Situación que clarifique los intereses comunes y en conflicto que los actores sociales poseen. Si asumimos que el Examen de la Situación puede generar un 'mapa' de los conflictos más importantes (y la contribución científica y técnica necesaria para esclarecer las compensaciones pertinentes), a continuación se deberá emprender un proceso de construcción de consenso, en el cual todos los grupos de actores sociales participarán directamente en un diálogo sostenido cuyo objetivo es la resolución de problemas. El Examen de la Situación generará un diseño detallado de dicho diálogo. En este sentido, serán los actores políticos los que decidirán si tal proceso participativo irá hacia adelante.

## **9. EDUCACIÓN Y COMUNICACIÓN**

El éxito y la sustentabilidad de las políticas ambientales depende en gran medida de un alto nivel de conciencia ciudadana y de una participación social activa e informada. Para lograr este objetivo es necesario desarrollar una cultura ambiental y elevar la educación en todos los niveles, y con esto lograr un cambio permanente de actitudes y conductas. Asimismo, es indispensable continuar con la capacitación de los recursos humanos responsables del diagnóstico de la problemática ambiental, así como de la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de las políticas y programas dirigidos a la reducción de la contaminación atmosférica, tanto a nivel gubernamental como en el sector privado, incluyendo al sector académico y a las organizaciones no gubernamentales.

### **9.1. Actividades Educativas**

Este proyecto se ha dirigido a desarrollar las siguientes actividades educativas:

#### **9.1.1. Cursos de Desarrollo Profesional**

Dos cursos de desarrollo profesional se ofrecieron como parte de las actividades educativas del proyecto. Los objetivos principales de los cursos fueron entrenar a los participantes en estrategias de negociación para alcanzar acuerdos y en la evaluación de los riesgos en salud debidos a la exposición de la contaminación del aire. Más de 60 individuos de agencias

gubernamentales, de la prensa y de organizaciones no gubernamentales de México asistieron a los cursos. Estos fueron impartidos por líderes expertos en el campo de análisis de riesgo y en negociaciones ambientales de la Universidad de Harvard y del MIT.

### **9.1.2. Maestría en Gestión Ambiental y de Salud**

El Instituto Tecnológico de Massachusetts, la Escuela de Salud Pública de Harvard y el Gobierno de México han establecido un nuevo programa “mid-career,” la Maestría en Administración Ambiental y de Salud, en el junio del 2002. Está diseñada especialmente para abordar las necesidades de quienes toman las decisiones en los gobiernos federal y local, así como directivos del sector privado y líderes de organizaciones no gubernamentales.

Esta Maestría representa un parteaguas en la enseñanza de la gestión ambiental, combinando estudios científicos a profundidad con una serie de herramientas de administración interdisciplinarias tales como la evaluación integral, análisis de la negociación, análisis de costo-beneficio y de costo-efectividad y análisis comparativo de riesgo.

Los estudiantes de ésta maestría interaccionan regularmente con los estudiantes del Proyecto de la Ciudad de México; ambos grupos participan en los seminarios y en las actividades de investigación. Como parte de su currículo, el personal del Proyecto de la Ciudad de México diseñó un nuevo curso llamado “Practicum in Environmental Management” (Prácticas de Gestión Ambiental), que examina estrategias de gestión ambiental y el papel que deben llevar a cabo en el control de la calidad del aire en una mega-ciudad como la Ciudad de México. El curso incluye clases, historias de caso (presentadas por profesores invitados), discusiones en clase, y presentaciones de trabajos de los alumnos. El nuevo conocimiento en química atmosférica y modelos fotoquímicos, planeación urbana, salud ambiental, etc., desarrollado por el Proyecto de la Ciudad de México se utilizó para complementar los materiales de enseñanza y sus métodos, enriqueciendo así los currículos existentes.

### **9.1.3. Investigación en colaboración**

La colaboración incluye investigadores y estudiantes del MIT, Harvard y México así como otras instituciones en los Estados Unidos y en Europa.

### **9.1.4. Programa de Intercambio**

Varios estudiantes e investigadores Mexicanos han visitado MIT por períodos tan cortos como una semana y tan largos como más de un año para trabajar con investigadores del MIT. Investigadores y estudiantes del MIT y de otras instituciones colaboradoras también hicieron visitas a México para trabajar con personal mexicano y con varios grupos de personas interesadas en el Programa. Varios estudiantes del MIT ya completaron sus tesis y están llevando a cabo investigaciones en México relacionadas con el medio ambiente.

### **9.1.5. Talleres**

Algunos de los principales componentes de este Proyecto son: a) la divulgación de los resultados de la investigación, y b) la promoción del intercambio de información entre distintos sectores de la sociedad (academia, sector privado, sector público, organizaciones no gubernamentales, etc.). Desde su creación, el Programa de la Ciudad de México ha organizado siete talleres sobre calidad del aire a los que han atendido investigadores del

programa, estudiantes y representantes invitados del gobierno y de la industria. Se han llevado a cabo tres talleres conjuntos de Estados Unidos y México (en enero del 2002, 2003 y 2004) durante la segunda fase del Programa. El número de participantes ha aumentado de aproximadamente 40 en el primer taller a más de 250 en el último. Los resúmenes de los talleres están disponibles en la página de Internet del Proyecto. Además, el Proyecto organizó un “Simposio sobre Inventarios de Emisiones” en Febrero del 2003 (con apoyo de SEMARNAT y CEC); un taller especial sobre “Reducciones en Emisiones relacionadas con el Transporte”, en colaboración con IUAPPA, en Enero del 2004; varios talleres sobre análisis de escenarios y sobre campañas de mediciones atmosféricas, algunos en la Ciudad de México y otros en el MIT. Información sobre estos talleres también está disponible en la página de Internet del Proyecto.

### **9.1.6. Juego de Negociación sobre Contaminación Atmosférica Metropolitana**

Inspirados por el éxito de la clase sobre ‘negociación y resolución de conflictos’, los estudiantes del Proyecto realizaron una simulación de una negociación multilateral. El juego, diseñado para la ocasión, se llamó *La crisis de contaminación atmosférica de Varara*. Los participantes de este juego tienen que desempeñar diferentes roles y simular la clase de diálogo político que puede surgir en respuesta a una hipotética evaluación de diferentes estrategias de gestión de calidad del aire. El juego fue realizado en el taller de Enero de 2003 y participaron en este ejercicio, de dos horas de duración, sesenta y ocho personas que atendían el taller, procedentes de una amplia gama de agencias gubernamentales, corporaciones, ONGs y asociaciones estudiantiles. Después del ejercicio muchas personas solicitaron el material utilizado durante la simulación. En respuesta a estos requerimientos, se creó un sitio en Internet con el juego de simulación para que la gente en México lo pudiera descargar y utilizar en sus salones de clase o en sus oficinas.

### **9.1.7 Página de Internet del Programa**

El Proyecto de la Ciudad de México ha creado una página en Internet, con la siguiente dirección URL: <http://eaps.mit.edu/megacities/>. La información presentada de esta forma ya ha sido utilizada extensivamente por la comunidad internacional.

### **9.1.7. Boletines**

El Programa ha iniciado la publicación de boletines bilingües, disponibles en Internet en la siguiente dirección:

[http://eaps.mit.edu/megacities/newsletter/index\(e\).html](http://eaps.mit.edu/megacities/newsletter/index(e).html)

Además, copias impresas de los boletines se distribuyeron durante los talleres.

## **9.2. Recomendaciones sobre Educación y Comunicación**

Estas actividades educacionales y de comunicación deben de continuar como una parte integral y muy importante del Proyecto. Además, se recomienda que continúen vigorosamente las actividades de las autoridades gubernamentales en la ZMVM destinadas a elevar la conciencia ambiental de la población.

## 10. RESUMEN

La contaminación del aire causa un incremento en la mortalidad y en la morbilidad en la población urbana. Para mejorar la salud de la población se requiere reducir las emisiones.

Es necesario realizar reducciones en las emisiones en el sector de transporte y en el sector industrial, tanto para pequeñas como para grandes industrias. El sector transporte incluye vehículos de carga, automóviles privados, y transporte público. El sector transporte contribuye con la mayor parte de los NOx y de las partículas finas, así como una cantidad considerable de los hidrocarburos en la ZMVM.

En el corto plazo es necesario enfocar los esfuerzos para reducir emisiones en los vehículos existentes. Para los automóviles privados es recomendable impulsar programas sólidos de Inspección y Mantenimiento, con la remoción de los vehículos que no puedan ser reparados, y ,para los vehículos viejos, el uso de los días restringidos de manejo ayudará a reducir las emisiones. En el largo plazo, la gasolina con bajo contenido de azufre y los vehículos de baja emission, tales como vehículos híbridos y Tier 2, serán muy probablemente necesarios. Es de esperar un crecimiento de la flota vehicular privada en la ZMVM debido a que sólo una fracción pequeña de las familias son dueñas de automóviles privados, y el poseer la propiedad de un automóvil privado es generalmente asociado con una mejor conveniencia de transporte y en un mayor status social. Sin embargo, el crecimiento de la flota vehicular contribuirá al continuo incremento de la congestión, resultando en el incremento de las emisiones así como también causará la pérdida económica directa. El uso de sistemas de transporte inteligentes tales como estrategias de control avanzado de señales podrá servir como paliativo de la tasa de crecimiento de la congestión, pero es necesario optar por impulsar el transporte público de baja emisión

Para que sea atractivo, el transporte público tiene que ser conveniente, seguro y confiable. La construcción y extensión de rutas rápidas de transporte de autobuses es un paso hacia esta dirección. El uso de transporte público integrado a través del uso de tarjetas inteligentes ha sido exitoso en incrementar este medio de transporte en algunas ciudades. La mejora de los sistemas de control de emisiones de los taxis y de la flota de colectivos es una necesidad, tanto en el corto como en el largo plazo.

Las emisiones de los vehículos a diesel contribuyen en un gran porcentaje a la cantidad de partículas finas. Debido a que los vehículos a diesel permanecen activos dentro de la flota por largos periodos de tiempo, la actual flota a diesel necesita ser actualizada a través de programas de sustitución y modernización. El reducir el azufre a 15 ppm es extremadamente importante para que las tecnologías de captura de partículas funcionen adecuadamente para los vehículos a diesel nuevos y muchos de los existentes.

Las mejoras en la infrestuctura de transporte pueden contribuir a las reducciones de las emisiones. Además de los sistemas inteligentes de transporte para los automóviles privados, la opción de redireccionar la flota de carga para reducir la necesidad de que los vehiculos a diesel entren al centro de la Ciudad, asi como la creación de vías alternas para vehículos transitando la Ciudad de México, pueden reducir significativamente la exposición a las emisiones provenientes de vehículos a diesel. En forma muy importante, la planeación del uso de suelo para proveer incentivos de manera que la gente tenga infrestucturas residenciales, de educación, de trabajo, y médicas localizadas cerca de nichos de transportación pública ayudará a incrementar el uso del transporte público y disminuir el uso del automóvil privado.

El control y la mejora del monitoreo de grandes industrias debería continuar. Las reducciones de las emisiones pueden llevarse a cabo con el cambio de combustible a gas natural. De particular preocupación es la incertidumbre en la cantidad de emisiones procedentes de las industrias pequeñas, especialmente en el sector informal. Es necesario realizar una investigación para entender mejor la cantidad de contaminantes provenientes de estas fuentes e innovar las medidas e incentivos que puedan ser requeridos para reducir sus emisiones.

Muchos de los contaminantes dañinos no son emitidos directamente, pero se forman a través de procesos químicos atmosféricos. Es necesario realizar estudios científicos y de monitoreo de la calidad del aire de manera de seleccionar y priorizar soluciones técnicas. Una campaña exploratoria y una intensive fueron llevadas a cabo para este propósito en la ZMVM en el 2002 y en el 2003; los resultados preliminares son descritos en este reporte.

Mientras que es posible diseñar soluciones técnicas que reduzcan las emisiones, la creación de una legislación que regule y obligue estas soluciones, así como una implementación exitosa de las mismas, son actividades que representan un reto. Estas actividades son más eficientemente llevadas a cabo cuando una organización metropolitana única está encargada de realizarlas y dicha organización tiene la autoridad, el presupuesto, y la capacidad técnica para realizarlas exitosamente. El diseño de una legislación es más efectivo cuando los actores principales afectados y el público participan en el proceso. Las interacciones que llevan a una participación exitosa son complejas debido a que las partes pueden percibir que ellos tienen objetivos en conflicto. Una metodología que facilita la interacción constructiva es descrita en el presente reporte.

Los estudios de los efectos en salud y exposición en la Ciudad de México son limitados y deberían ser expandidos. Estos estudios deberían ser diseñados para ayudar a los tomadores de decisiones a un mejor entendimiento sobre la prioridad de mejorar la calidad del aire, en el contexto de otras oportunidades también existentes y de los limitados recursos financieros disponibles, para mejorar la salud y la calidad de vida de la gente en la ZMVM.