

**Propuesta para Limpiar el Aire en México en 10  
años  
Reporte del Taller sobre la Contaminación del Aire  
en México**

**Ciudad de México**

**13 de abril 2004**

**Coordinador: Dr. Mario Molina**

**Instituto Nacional de Ecología**

**Con el Apoyo de la Fundación William y Flora Hewlett**

Ciudad de México, mayo 2004

# **Propuesta para Limpiar el Aire en México en 10 años Reporte del Taller sobre la Contaminación del Aire en México**

**Ciudad de México, 13 de abril 2004**

**Coordinador: Dr. Mario Molina**

## **Lista de Coautores**

Diane BAILEY (Costos y Renovación de motores), Consejo para la Defensa de los Recursos Naturales, Programa de Salud Pública, EUA.

Katherine BLUMBERG (Beneficios a la Salud), Universidad de California en Berkeley, Grupo de Recursos y Energía y Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, EUA.

Verónica GARIBAY BRAVO (Beneficios a la Salud), Instituto Nacional de Ecología, Subdirectora de Inventarios y Modelos de Calidad del Aire.

Daniel GREENBAUM (Beneficios a la Salud), Instituto de Efectos a la Salud, Presidente, EUA.

Adrián FERNÁNDEZ BREMAUNTZ (Plan de Acciones, Editor), Instituto Nacional de Ecología, Director General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global

Hal HARVEY (Resumen Ejecutivo, Introducción, Editor), Fundación William y Flora Hewlett, Director del Programa de Medio Ambiente, EUA.

Richard KASSEL (Costos y Renovación de Motores), Representante Legal del Consejo Nacional para la Defensa de los Recursos Naturales, EUA.

David PARK (Costos), Fundación del Noroeste para el Aire Limpio, Ingeniero Ambiental, EUA.

Leonora ROJAS BRACHO (Beneficios a la Salud), Instituto Nacional de Ecología, Directora de Investigación sobre Calidad del Aire

Joseph RYAN (Editor), Fundación William y Flora Hewlett, Codirector del Programa de Relaciones Latinoamericanas, Brasil.

Sergio SANCHEZ MARTINEZ (Editor), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Director General de la Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

Alejandro VILLEGAS LÓPEZ (Editor), Consultor en Transporte Sustentable y Medio Ambiente de la Fundación William y Flora Hewlett

Michael WALSH (Fuentes de Contaminación, Normas Actualizadas), Consultor Internacional en Tecnología de Vehículos y Combustibles, EUA.

Miriam ZUK (Beneficios a la Salud), Instituto Nacional de Ecología, Subdirectora de Estudios Estratégicos de la Calidad del Aire.

**Instituto Nacional de Ecología**

**Con el apoyo de la Fundación William y Flora Hewlett**

Publicado en la Ciudad de México el 25 de mayo del 2004.

# **Propuesta para Limpiar el Aire en México en 10 años Reporte del Taller sobre la Contaminación del Aire en México**

**Ciudad de México, 13 de abril 2004**

**Coordinador: Dr. Mario Molina**



## **Indice**

Resumen Ejecutivo .....	4
Introducción: Aire Limpio para México en una Década .....	5
Beneficios a la Salud al Reducir las Emisiones Provenientes de Vehículos Automotores .....	6
Fuentes de Contaminación en México .....	8
El Aire Limpio Requiere Combustibles Limpios.....	8
Normas Modernas para Vehículos Automotores.....	11
Retiro, Reemplazo y Renovación de la Flota Vehicular de Vehículos de Trabajo Pesado .....	14
Al final.....se trata de nuestra salud .....	17
Plan de acción.....	18
Conclusión.....	19
Referencias bibliográficas .....	20

## Resumen Ejecutivo

Hace tan sólo 10 años, en la Ciudad de México y en otras grandes ciudades del país se rebasaban con mucha frecuencia la norma de calidad del aire de todos los contaminantes monitoreados: plomo, bióxido de nitrógeno, bióxido de azufre, monóxido de carbono, ozono y partículas suspendidas. Gracias a los esfuerzos sostenidos del gobierno y la sociedad, a una mejoría considerable de los combustibles y a la introducción de normas vehiculares más estrictas, hoy en día los primeros cuatro contaminantes han sido controlados. Adicionalmente, los picos de ozono y partículas han disminuido notablemente. Estos esfuerzos requirieron de inversiones multimillonarias para eliminar el plomo de la gasolina y reducir el contenido de azufre en la gasolina y el diesel.

A pesar del progreso que se ha tenido durante la última década, muchas ciudades mexicanas todavía tienen una calidad del aire poco saludable, cargada con contaminantes de automóviles y autobuses y camiones diesel. Afortunadamente, las nuevas tecnologías y los combustibles limpios pueden ayudar a reducir las emisiones de los vehículos nuevos en más de un 95 por ciento. Estas tecnologías, incluyendo convertidores catalíticos avanzados para vehículos de uso intensivo y filtros de partículas para diesel están comenzando a ser parte del equipamiento convencional en algunos lugares del mundo. México ya produce tales tipos de vehículos (que cumplen con las muy estrictas normas TIER 2) pero estos modelos están destinados principalmente para el mercado norteamericano con una limitada comercialización en México. El costo extra de un automóvil ultra limpio, comparado con los modelos de hoy, es de aproximadamente 250 dólares norteamericanos por vehículo.

Las tecnologías de emisiones limpias en vehículos, sin embargo, también requieren de combustibles muy limpios, especialmente la gasolina y el diesel con un contenido muy bajo de azufre. Y eso requerirá una inversión significativa para modernizar las refinerías de PEMEX. El costo de mejorar estas refinerías será de entre 2 mil a 4 mil millones de dólares norteamericanos, o bien de 6 a 18 centavos de peso por litro de combustible. No obstante, este estudio concluye que los beneficios de obtener un aire más limpio (en términos de reducción de enfermedades y de muertes prematuras) será muchas veces mayor que su costo, y el conjunto de la economía se beneficiará.



Foto: Cortesía Periódico Reforma

En la medida en que los nuevos automóviles y vehículos pesados sean equipados con tecnologías limpias, también será necesario enfocar la atención a la renovación de motores, retiro de la circulación, por reemplazo, de los vehículos pesados más viejos y que mayor contaminación producen. Buenos programas para limpiar los motores o retirar aquellos que son contaminantes, ahorrarán miles de millones de dólares en costos de atención a la salud pública y hará a las ciudades mexicanas mucho más habitables.

El aire limpio en México no tiene porque ser un sueño. Los costos de nuevas tecnologías limpias son accesibles y han sido probadas en otros países, además de que están siendo fabricadas en México. Los beneficios del aire limpio serían enormes: en miles de vidas preservadas por año y millones de menos casos de asma, así como otras condiciones médicas. Este documento, que ha sido escrito por científicos, pero basado en discusiones con importantes tomadores de decisiones en México, otros científicos y expertos en todo el mundo, muestra el camino a seguir.

### **Introducción: Aire Limpio para México en una Década**

La Ciudad de México es la segunda ciudad más grande en el mundo, y se asienta en un sitio espectacular a 2,240 metros sobre el nivel del mar, rodeada por volcanes que forman parte de una gran cadena montañosa. Sin embargo, la vista de estas montañas que rodean a la ciudad es oscurecida a menudo por la contaminación del aire, y sus 18 millones de habitantes, en un día típico, tienen que respirar aire que es peligroso para su salud. Muchas otras ciudades mexicanas también sufren de un aire poco saludable como es el caso de Ciudad Juárez, Guadalajara, Mexicali, Monterrey, Puebla, Tijuana, Rosarito y Toluca, y todas tienen una calidad de aire por debajo de las normas mexicanas e internacionales.

El Nobel mexicano Dr. Mario Molina y un grupo de científicos han estado trabajando por años para entender en detalle las fuentes de la contaminación del aire en México, así como para desarrollar una estrategia para limpiar el aire. Su trabajo ha sido complementado por el que han realizado científicos del Instituto Nacional de Ecología (INE), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Secretaría de Energía (SENER), así como las autoridades locales del Distrito Federal y del Estado de México.

En una reciente conferencia de expertos internacionales y mexicanos en energía y contaminación, que fue encabezada por el Dr. Molina y patrocinada por el INE y la Fundación William y Flora Hewlett, se estableció una estrategia que, de ponerse en práctica por completo, significaría un enorme progreso hacia la obtención de un aire limpio y solamente en diez años. El presente reporte describe como llevarlo a cabo.

La contaminación del aire en muchas ciudades mexicanas proviene predominantemente de los automóviles, autobuses y camiones que recorren las calles y carreteras. La mayoría de estos vehículos no tienen controles de contaminación adecuados, ni utilizan combustibles especialmente limpios. En contraste, los vehículos con una tecnología avanzada que operan con combustibles con un contenido de azufre muy bajo, pueden tener una reducción

de emisiones tan grande como del 99 por ciento, comparada con un automóvil promedio, y una reducción de 97 por ciento en el caso de los camiones.

Este reporte, por tanto, propone un plan de 3 partes para limpiar el aire:

1. Introducir combustibles con un contenido de azufre ultra bajo, ambos, tanto gasolina como diesel, son un requisito para las tecnologías más limpias de automóviles y vehículos pesados.
2. Poner en práctica normas de emisiones vehiculares más estrictas para todos los automóviles, camiones y autobuses vendidos en México, de tal manera que se asimilen a las normas más exigentes a nivel mundial.
3. Establecer un programa para acelerar la renovación de la flota vehicular, tanto de automóviles como de autobuses y camiones, o bien retirar de la circulación a los vehículos más contaminantes.

El reporte que se presenta a continuación describe el problema de la contaminación del aire; considera los impactos de la contaminación en la salud; discute cada elemento de la solución; considera los costos y beneficios de la estrategia y, por último, formula recomendaciones para las próximas etapas.

### **Beneficios a la Salud al Reducir las Emisiones Provenientes de Vehículos Automotores**

Antes de discutir cada elemento de un plan de tres componentes, es importante entender el impacto que la contaminación del aire y, en particular, las emisiones vehiculares tienen sobre la salud de la población de México.

La contaminación del aire ha sido vinculada a un número de efectos a la salud, en lo que respecta a pulmón y corazón. La Organización Mundial de la Salud (OMS), en su reporte de salud mundial, (Lancet 2002) estimó que con los niveles actuales de concentración en la atmósfera, la contaminación ocasiona 35 mil muertes prematuras cada año en América Latina. La investigación durante las últimas décadas ha encontrado una variedad de efectos de los diferentes contaminantes, incluyendo impactos en los sistemas respiratorio, neurológico y cardiaco, así como la promoción de diferentes tipos de cáncer. Algunos subgrupos (*e.g* ancianos, asmáticos, niños, personas con enfermedades del corazón) parecen estar en un riesgo mucho mayor por su exposición a la contaminación del aire.

La mayoría de las estimaciones de los beneficios derivados de reducir la contaminación del aire, están basados en los efectos en la contaminación del aire de las denominadas partículas suspendidas (PM), el cual es emitido por vehículos y otras fuentes de combustión. Durante las últimas décadas los científicos han podido conocer que niveles altos de PM ocasionan enfermedad y muerte. Los estudios epidemiológicos de corto y largo plazo publicados en los Estados Unidos y Europa en los años 90, encontraron incluso asociaciones de mayor mortalidad y morbilidad, a niveles mucho más bajos de PM.

Los estudios epidemiológicos más recientes (en particular los análisis de series de tiempo), llevados a cabo en la ciudad de México y en otros lugares de Latinoamérica, han fortalecido mucho más el vínculo entre exposición a PM y mortalidad y morbilidad (Evans en Molina 2002).

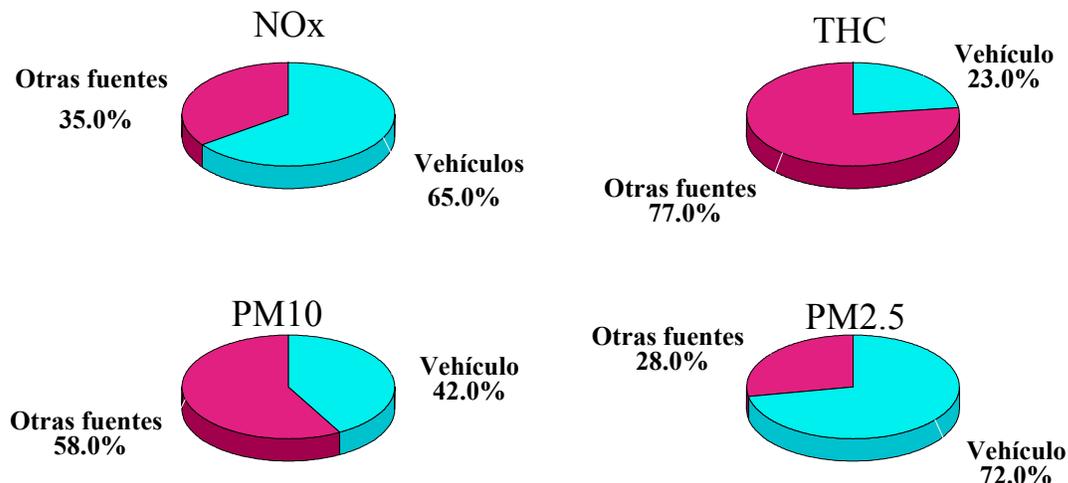
Los beneficios de reducir la contaminación que se discuten en este análisis están basados principalmente en la evidencia científica sustantiva que vincula la exposición a PM y la salud. PM no es, sin embargo, la única emisión vehicular que afecta adversamente a la salud humana. Existen otros 4 contaminantes clave que han sido estudiados de manera extensiva y, aunque no están incluidos en este análisis, una reducción general de las emisiones de vehículos automotores serviría también para reducir la cantidad de estos contaminantes en el aire creando, por lo tanto, beneficios adicionales sustanciales, más allá de las estimaciones que se presentan más adelante. Los 4 contaminantes son:

1. Monóxido de carbono (CO). Se sabe que altos niveles de exposición son letales; bajos niveles en el ambiente pueden acelerar el tiempo del padecimiento de la angina de pecho en gente con enfermedades del corazón. Algunos estudios epidemiológicos recientes han vinculado niveles crecientes de CO con incrementos en enfermedades y muertes (EPA 2000b).
2. Ozono (O<sub>3</sub>). Se forma de emisiones de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, y se sabe que reduce la capacidad, en individuos sensibles, para respirar. Estudios epidemiológicos han vinculado el crecimiento de ataques de asma y hospitalización con los niveles crecientes de este contaminante en la atmósfera. El ozono podría también incrementar la reacción de los pulmones a los alérgicos y otros contaminantes. Estudios comparativos recientes de varias ciudades de Europa y los Estados Unidos, han asociado de igual manera las exposiciones de corto plazo al ozono con mortalidad prematura (EPAQS 1997, HEI, 1995).
3. Partículas provenientes del escape de vehículos diesel. En adición a los peligros a la salud ocasionados por el PM que se describieron anteriormente, las emisiones de vehículos diesel han sido citadas como un probable carcinógeno humano por varios organismos nacionales e internacionales (incluyendo la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), debido a evidencias de cáncer de pulmón en trabajadores que están expuestos a este contaminante. Recientemente algunos estudios también han encontrado, que exacerba el asma y la repuesta alérgica.
4. Tóxicos ambientales. La mayoría de los tóxicos que se emiten por vehículos automotores son carcinógenos animales. El benceno es conocido como un carcinógeno humano. El 1,3-butadieno fue recientemente designado como un probable carcinógeno humano por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer, y como un conocido carcinógeno humano por los Institutos Nacionales de Salud de los Estados Unidos. De igual manera, varios aldehídos (incluyendo formaldehído y acetaldehído) han sido designados como probables carcinógenos humanos, y vinculados con efectos respiratorios agudos. En el 2000, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) identificó un total de 21 tóxicos ambientales que se emiten por el escape de los vehículos automotores (U.S. EPA 2000c).

Una buena estrategia de control de la contaminación proveniente de fuentes móviles, reduciría dramáticamente todas estas emisiones, y lo haría con beneficios que excederían los costos por mucho. La siguiente sección describe la situación actual en México.

### Fuentes de Contaminación en México

Existen 7 áreas metropolitanas en México que ya cuentan con planes de calidad del aire, en inventarios de emisiones. Estas son: Ciudad Juárez, Ciudad de México, Guadalajara, Mexicali, Monterrey, Tijuana-Rosarito y Toluca. En estas ciudades en conjunto, se asienta más de un cuarto de la población de México.



**Figura 1: Fuentes de Contaminación en la Ciudad de México**

Fuente: Víctor Hugo Páramo Figueroa  
Frankfurt, Septiembre 9, 2003

Las concentraciones de contaminantes atmosféricos, que se miden en 6 áreas metropolitanas, muestran que el ozono y las partículas suspendidas, son los contaminantes que más preocupan, afectando a unos 25 millones de residentes (INE, 2004).

El resumen de los resultados de calidad del aire en estas ciudades, muestra que el ozono es el principal contaminante en la Ciudad de México, Guadalajara y Puebla, mientras que las concentraciones de PM son muy altas en Toluca, Monterrey y Ciudad Juárez.

### El Aire Limpio Requiere Combustibles Limpios

El primer componente en el esfuerzo para limpiar el medio ambiente de México en una década, incluye la limpieza de los combustibles, tanto gasolina como diesel. Las normas de vehículos más estrictas (que se discuten más adelante como la segunda parte del plan de calidad del aire), tienen como requisito los combustibles limpios. Actualmente México tiene algunos de los combustibles vehiculares de la más alta calidad en América Latina. De hecho, este mes, PEMEX anunció la reducción de los niveles promedio de azufre en la gasolina Premium de 500ppm a 250ppm. Este es un paso significativo. Sin embargo, todavía el contenido de azufre se encuentra a un nivel 10 veces superior al necesario para introducir tecnologías de control avanzadas. La siguiente etapa para controlar las emisiones

y limpiar el aire, requiere combustibles mucho más limpios, específicamente diesel y gasolina con un nivel ultra bajo de azufre (15ppm).

Los altos niveles de azufre en los combustibles hacen virtualmente imposible utilizar las tecnologías avanzadas (filtros y trampas) para controlar la emisión de partículas y de precursores de *smog* fotoquímico, que son los contaminantes que más amenazan la salud de los mexicanos. Además, cuando los combustibles de azufre ultra bajo son utilizados en combinación con tecnologías avanzadas de control, las reducciones de emisiones provenientes de vehículos a diesel y a gasolina, son dramáticas. Por ejemplo, los filtros y catalizadores pueden reducir emisiones de partículas de los vehículos a diesel hasta en un 95 por ciento.

Con los combustibles de bajo azufre, los filtros pueden también instalarse en muchos vehículos que ya están en circulación, y pueden reducir sus emisiones de un 80 a un 95 por ciento, haciendo de ésta una de las formas de mayor costo-beneficio para limpiar el aire en el corto plazo.

Los niveles actuales de azufre en la gasolina impiden la introducción de convertidores catalíticos más eficaces, los cuales podrían reducir en gran medida las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) e hidrocarburos (HC), que son precursores de ozono y *smog* fotoquímico. Al bajar los niveles de azufre en los combustibles se incrementará también la eficacia de los convertidores catalíticos que ya están en uso, los cuales están normados en México para todos los automóviles nuevos desde 1993.

Sin embargo, eliminar el azufre de los combustibles no es fácil. Las mejoras que se necesitan en las refinerías para remover el azufre son caras.<sup>1</sup> PEMEX estima que costará 3 mil millones de dólares norteamericanos el modernizar las 9 refinerías de México para la producción de gasolina con un contenido de azufre ultra bajo; esto incluye la instalación de equipo de control de la contaminación al que obligan las normas de emisiones recientes para fuentes industriales (NOM 085).

En sus análisis más recientes, PEMEX sugiere que la producción de gasolina y diesel de ultra bajo azufre, implicaría un costo incremental adicional de 17 centavos de peso mexicano por litro.

Sin duda, se requiere una inversión de capital importante para modernizar las refinerías mexicanas, tanto para reducir las emisiones en la refinería como para producir combustibles más limpios de azufre ultra bajo. Los costos anualizados, asumiendo una vida útil de 15 años, están en el rango de 50 a 350 millones de dólares.

PEMEX tuvo la capacidad de aprovechar inversión extranjera y términos crediticios generosos, cuando modernizó sus refinerías para la transición hacia la gasolina sin plomo en México. Arreglos financieros similares son necesarios para la siguiente etapa, a fin de que México realice la transición hacia normas vehiculares y de combustibles, al nivel de las más avanzadas en el mundo.

---

<sup>1</sup> Sin embargo, los costos continúan decreciendo con el desarrollo de nuevos convertidores catalíticos y proceso innovadores que reducen los requerimientos de energía. Si se comparan contra el potencial de reducción de emisiones de los combustibles de bajo azufre, los estudios muestran que los beneficios son mucho más grandes que los costos. El apéndice B tiene más detalles acerca de estos costos.

Las refinerías modernas tienden a disfrutar de márgenes de ganancia muy ligeros, haciéndose difícil con esto recaudar capital de inversión. Esto se complica aún más, por las muchas restricciones que tiene en PEMEX la inversión foránea y privada. Lo anterior, no es un problema poco común. Un estudio del Banco de Desarrollo de Asia identifica el acceso a los fondos de capital necesarios, como el obstáculo más grande para lograr combustibles de ultra bajo contenido de azufre. Arreglos financieros innovadores pueden superar este obstáculo y también agregar valor y rentabilidad a la industria. Actualmente, representantes del INE, SEMARNAT y PEMEX están trabajando conjuntamente para desarrollar un paquete financiero que presentarán a Hacienda, a fin de obtener el capital necesario para el mejoramiento de las refinerías.

PEMEX, por su parte, ha propuesto bajar el azufre en la gasolina Premium a un promedio de 30ppm en el 2006.<sup>2</sup> Esto aceleraría la pronta introducción de automóviles que cumplirían con las normas TIER 2 de los Estados Unidos. En septiembre del 2008, PEMEX reduciría el azufre en el diesel para cumplir con un máximo de 15ppm e introducir niveles de bajo azufre en las gasolinas de todos los grados. Con esto se lograría la introducción de vehículos de trabajo pesado que cumplieran con las normas de los Estados Unidos en el mismo periodo de tiempo.

Al final, los combustibles de azufre ultra bajo permitirán a México, una vez más, estar a la par con las normas vehiculares de los Estados Unidos, y flexibilizará las barreras para el comercio y las industrias de la refinación de combustibles y de la fabricación de automóviles y vehículos pesados.

La programación en el tiempo es crítica: una vez que arranque el proceso para ir introduciendo los combustibles de ultra bajo azufre, deberá establecerse también el programa para la introducción acelerada de normas de emisiones vehiculares más estrictas, consecuentes con los nuevos combustibles.

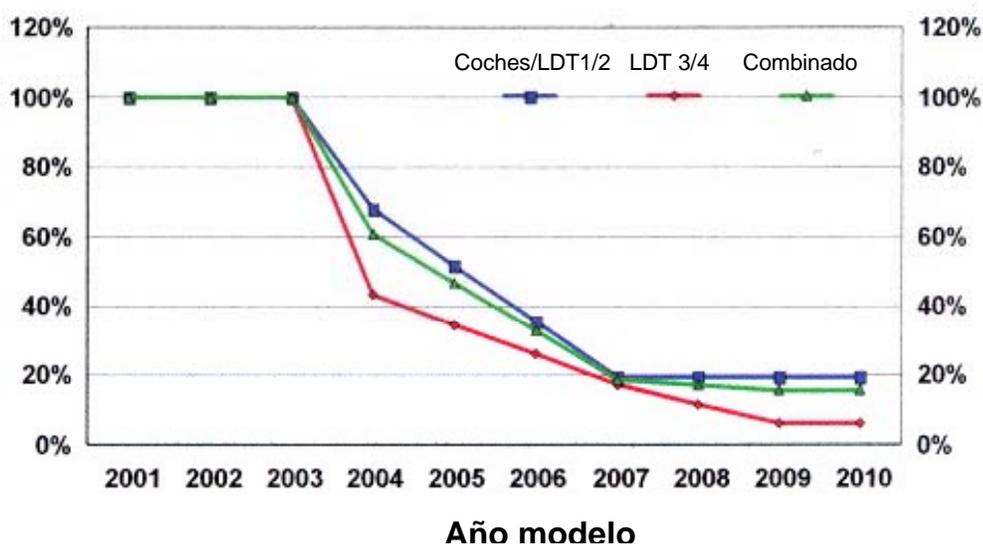
---

<sup>2</sup> El contenido de azufre tendría un máximo de 80ppm.

## Normas Modernas para Vehículos Automotores

Las normas vehiculares más estrictas son críticas para los esfuerzos de mejoramiento de la calidad del aire, debido a que aseguran que, tecnológicamente hablando, todos los automóviles, autobuses y camiones nuevos sean más limpios, más eficientes y contaminen mucho menos que modelos anteriores. Las normas mexicanas para automóviles nuevos fueron ajustadas en 1999 para ser equivalentes a las normas denominadas TIER 1 en los Estados Unidos<sup>3</sup>. Sin embargo, es posible establecer normas mucho más estrictas, las cuales ya están siendo introducidas en los Estados Unidos.

### Estándares de NOx Normalizados a Base FEDLEV



**Figura 2: Normas TIER 2 de los EUA**

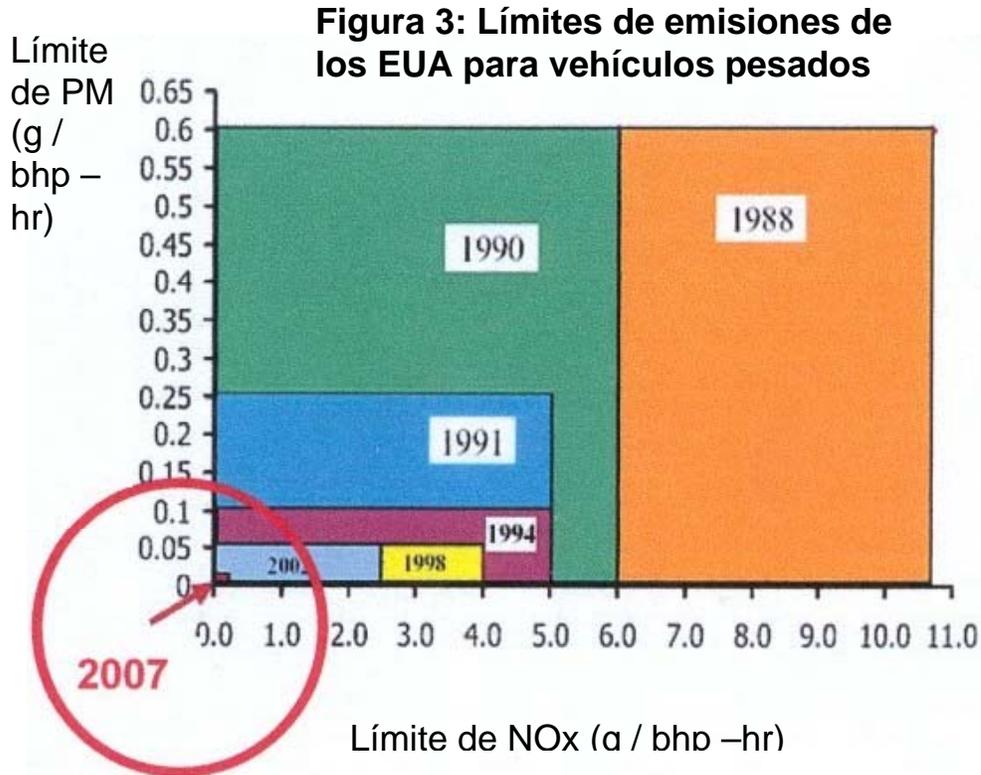
Como se muestra en la figura 2, las normas TIER 2 que se están introduciendo actualmente en los Estados Unidos reducirán las emisiones de NOx en aproximadamente 80 por ciento por debajo de las normas TIER 1. Además, las normas TIER 2 también obligan a los camiones ligeros y a las camionetas de pasajeros (SUV) a alcanzar los mismos niveles de emisión que los automóviles. Adicionalmente, estas normas requieren que los vehículos diesel cumplan con los mismos niveles de emisión que los vehículos a gasolina. Una transición rápida hacia normas TIER 2, asegurará que los nuevos vehículos que circulen por los caminos mexicanos sean extremadamente limpios.

La mayoría del PM vehicular y de los precursores de ozono provienen de autobuses y camiones. Así que al adoptar normas más estrictas para estos vehículos, se recorrerá también un largo camino para asegurar que no se pongan

<sup>3</sup> Estas normas se establecen en 0.156 gramos por kilómetro para hidrocarburos no-metanos, 2.11 gramos por kilómetro de monóxido de carbono, 0.25 gramos por kilómetro para NOx, y 2.0 gramos por kilómetro para hidrocarburos evaporativos. Estas normas aplicarán a vehículos fabricados a partir del 2004 hacia adelante, que utilicen gas LP (propano y butano), gas natural o gasolina como combustible.

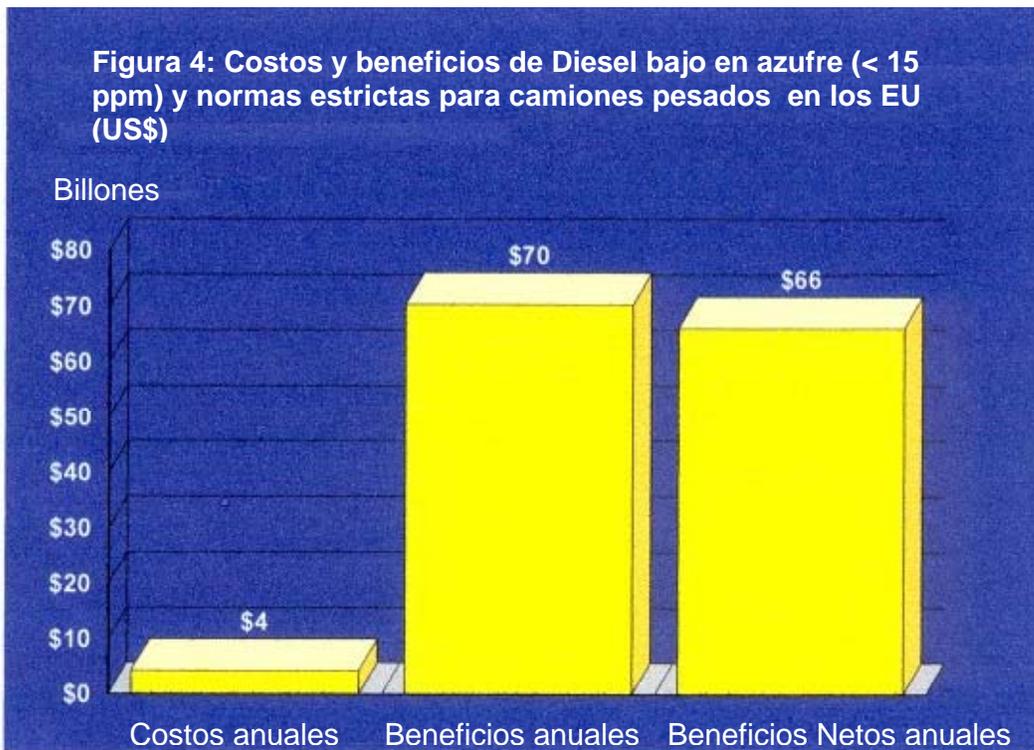
en circulación más vehículos pesados que sean altamente contaminantes en México.

Las normas actuales para autobuses y camiones en México permanecen en niveles que fueron aplicados durante los 90's en los Estados Unidos.



Como se ilustra en la figura 3 las normas para NOx y partículas de motores nuevos de trabajo pesado, serán reducidas sustancialmente en los próximos años en los Estados Unidos. Las emisiones de PM en particular, serán reducidas en más del 90 por ciento. Las normas de los Estados Unidos 2007-2010, requerirán una gran durabilidad y se apoyarán en la utilización de filtros o trampas de partículas, entre otros dispositivos.<sup>4</sup> En este momento, México no tiene planes para moverse rápidamente a estas normas más estrictas para vehículos de trabajo pesado; sin embargo, debería hacerlo. Tales normas son esenciales para asegurar que los miles de autobuses y camiones que se vendan cada año en este país, no empeoren la atmósfera ya contaminada que la gente respira.

<sup>4</sup> En combinación con las normas más estrictas de EPA se introducirá también un nuevo concepto de regulación denominado normas “que no deben excederse” (NTE). Los requerimientos NTE significan que las pruebas de verificación vehicular de motores de trabajo pesado pueden llevarse a cabo en cualquier componente o subsistema del motor, y que el vehículo debe cumplir con las normas o se le determinará que está fuera de cumplimiento.



La Oficina de Administración y Presupuesto de los Estados Unidos (OMB, por sus siglas en inglés), recientemente llevó a cabo una evaluación de todas las regulaciones adoptadas por el gobierno norteamericano en la década pasada. El reporte concluye que los dos programas enfatizados anteriormente, así como las normas TIER 2 para vehículos ligeros y el Programa para Vehículos Diesel de Trabajo Pesado 2007, estuvieron entre los más benéficos.

Solamente enfocándose a las normas de vehículos de trabajo pesado junto con la introducción paralela de combustible de bajo azufre, la OMB encontró que los beneficios anuales, de aproximadamente 70 mil millones de dólares por año, fueron 17 veces más grandes que los costos anuales de aproximadamente 4 mil millones de dólares por año. Entre otros aspectos, estimaron que se salvarían más de 8 mil vidas cada año.

Irónicamente, las compañías automotrices mexicanas ya están produciendo algunos automóviles que cumplen con las normas TIER 2, pero la mayoría de ellos son exportados para su venta a los Estados Unidos. ¿Por qué?. Debido a que los filtros y trampas avanzados utilizados para cumplir con estas normas estrictas, serían destruidos por la cantidad de azufre que contienen los actuales combustibles mexicanos.

A fin de que México se beneficie de estas avanzadas tecnologías y para acelerar la amplia introducción de vehículos ultra limpios, se necesita tener combustibles más limpios, especialmente aquellos con un contenido de azufre más bajo. Una vez que el azufre en el combustible sea drásticamente reducido y que todos los

vehículos cumplan con normas de emisiones comparables con las más estrictas en el mundo, podemos pasar a la parte 3 de esta campaña de aire limpio: la flota actual.

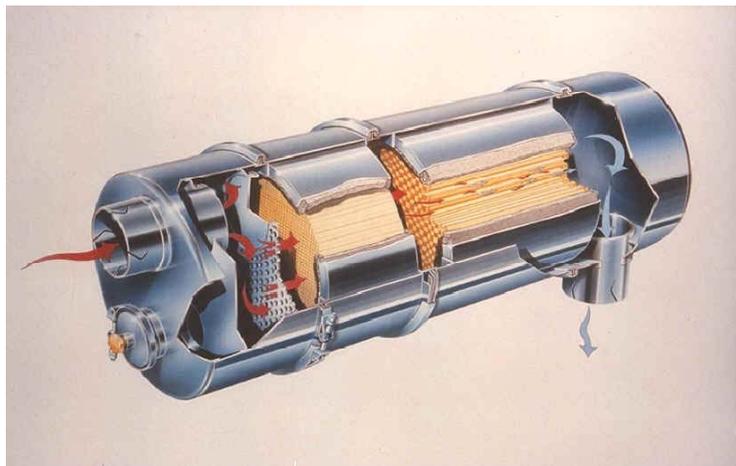
### **Retiro, Reemplazo y Renovación del parque vehicular obsoleto**

El tercer componente para limpiar el aire en México en una década, tiene que ver con los millones de autobuses, camiones y automóviles viejos que circulan actualmente por los caminos.

En el caso de vehículos de uso intensivo como taxis y microbuses, ya se han iniciado esfuerzos en el Valle de México para la sustitución de unidades, aunque será necesario aportar mucho mayores recursos financieros para lograr renovar al total de las flotas de estos vehículos.

Por otro lado, la sustitución de unidades a diesel ha sido sumamente lenta y hasta la fecha no se ha instrumentado ningún programa masivo para la sustitución de motores o la instalación de equipos de control.

Las emisiones de partículas de los vehículos diesel en la ciudad de México son altas en virtud de la avanzada edad de la flota (15 años en promedio), la carencia de controles de emisiones en más de la mitad de los vehículos, el pobre mantenimiento, el alto contenido de azufre en el combustible, y la combustión incompleta en elevadas altitudes.



**Figura 5: Filtro de Partículas Diesel**

Los vehículos diesel duran un increíble largo periodo de tiempo, algunas veces operan durante 1.6 millones de kilómetros o más. Así que esperar a que la flota actual de vehículos diesel viejos cumpla su vida útil por causas naturales y que sea reemplazada por vehículos nuevos y limpios, retrasaría el aire limpio en México, literalmente, por décadas. Por lo tanto, así como las normas más estrictas aseguran que los vehículos nuevos contaminan menos y menos, un programa para potenciar vehículos en uso asegurará que los autobuses y camiones más contaminantes sean equipados para reducir sus emisiones, o bien sacarlos de la circulación. Un programa efectivo de reducción de emisiones debe enfocarse a ambos vehículos: nuevos y en circulación.

Un estudio reciente (Stevens et al, 2004) analizó los costos y beneficios de instrumentar un programa de renovación de vehículos a diesel en la ciudad de México, utilizando 4 tecnologías diferentes de re-equipamiento: un filtro para partículas diesel (DPF, por sus siglas en inglés), un DPF auto-regenerable, un DPF removible y un catalizador de oxidación diesel (DOC, por sus siglas en inglés).

Se consideró a los vehículos de año modelo posteriores a 1994 solamente para catalizador DPF, y los autores asumieron que los tracto-camiones no serían compatibles con el DPF removible. Los siguientes renglones de costo fueron incluidos en el cálculo: El costo de capital del dispositivo de control de emisiones, y los costos de operación y mantenimiento, incluido el costo de cualquier penalidad en el combustible, costo incremental por un combustible de bajo azufre, y costo de limpieza del filtro.

Para cuantificar los beneficios de los programas de sustitución, el estudio de Stevens analizó las reducciones en mortalidad asociadas a la exposición a las partículas primarias de vehículos diesel derivado de emisiones relacionadas con PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub> y HC. Los beneficios a la salud fueron estimados como: 1) el producto de la reducción de emisiones, 2) la proporción de estas emisiones que habrían sido inhaladas como PM<sub>2.5</sub>, 3) la curva de concentración-respuesta y, 4) el valor monetario de una unidad de impacto a la salud. La tabla 1 resume los hallazgos de este análisis.

**Tabla 1: Beneficios netos por año por cada mil vehículos re-potenciados en millones de dólares**

	<b>Autobuses y Camiones</b>				<b>Tracto camiones</b>			
	Año Modelo		Año Modelo		Año Modelo		Año Modelo	
	'94		'93		'94		'93	
	<i>y posteriores</i>		<i>y posteriores</i>		<i>y posteriores</i>		<i>y posteriores</i>	
<b>Re-potenciación en 2008</b>								
Catalizador de Oxidación (DOC)	1.9		3.9		0.3		1.2	
DPF removible	3.4		14					
DPF auto regenerable	3.8		14		0.6		3.8	
Catalizador DPF	4.0				1.1			

Nota: Las áreas grises indican las re-potenciaciones que no son posibles, debido a la tecnología de los vehículos o a las características de su uso.

La re-potenciación de los vehículos diesel en la ciudad de México podría proporcionar beneficios netos significativos a la sociedad. La re-potenciación de vehículos viejos altamente contaminantes, proporciona beneficios netos mayores que la re-potenciación de nuevos vehículos (asumiendo que los dispositivos de control de emisiones tienen una vida útil de 10 años en cualquier tipo de vehículo). Finalmente, la re-potenciación de autobuses y camiones que circulan dentro de la ciudad proporcionan mayores beneficios que la re-potenciación de vehículos como los camiones que operan recorridos de larga distancia y que circulan fuera de la ciudad (Stevens, et. al, 2004).

Adoptar políticas y programas que reduzcan en la práctica las emisiones de camiones y autobuses de las flotas existentes en México denominadas “en

circulación”, debe ser un componente crítico de cualquier plan para lograr el aire limpio en México en la próxima década. De verdad, tomar medidas para retirar los autobuses y camiones más viejos y más contaminantes, y para re-potenciar los vehículos restantes, puede ser una forma eficiente (en términos de costo efectividad) para reducir emisiones de los vehículos mexicanos. Además, la estrategia de “retirar de la circulación, reemplazar y re-potenciar” complementaria una de reducción de emisiones de largo plazo, que incluya combustibles de ultra bajo azufre y normas de emisiones basadas en la tecnología para nuevos motores y vehículos, así como estrategias para reducir el tiempo de operación en *ralenti* y mejorar el mantenimiento del motor.

Cuando se adopte un programa de “retirar de la circulación, reemplazar y re-potenciar”, las autoridades mexicanas deben considerar varios mecanismos para considerar el programa. En los Estados Unidos, las agencias de los gobiernos estatal y federal, han financiado los programas de sustitución y re-potenciación; comúnmente, estos incluyen medidas para compartir costos que requieren que los operadores de las flotas proporcionen cierto nivel de fondos complementarios a la contribución gubernamental, lo que ayuda a asegurar que los operadores están totalmente comprometidos con el éxito del programa. Estos programas incluyen el Programa Carl Moyer de California, el Plan de Reducción de Emisiones de Texas (TERP) y el Programa de Emergencia de Transporte y Aire Limpio de Sacramento (SECAT), así como muchos otros de áreas metropolitanas que son administrados a través del Programa de Ciudades Limpias del Departamento de Energía de los Estados Unidos, los distritos locales de administración de la calidad del aire, o las autoridades regionales de gobierno.

En adición a un programa de sustitución de vehículos diesel, otra medida que podría contribuir enormemente a la limpieza del aire es el reemplazo de vehículos de uso intensivo y alta contaminación como son taxis y microbuses.

Por ejemplo, mediante la sustitución de 70 mil taxis viejos V.W. sedán (que aún no ha sido posible sustituir a pesar del programa lanzado por las autoridades metropolitanas hace algunos años) por nuevos vehículos que cumplan con las normas TIER 2, las emisiones de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos (los principales ingredientes del ozono) caerían en más del 15 por ciento. Dado que algunos automóviles sub-compactos de 4 puertas y 1000 cc, que ahora están disponibles en México, ofrecen el doble de eficiencia en el consumo de combustible, como el viejo V.W. sedán, los propietarios de taxis podrían realmente recuperar el costo de sus nuevos vehículos en un periodo tan corto como de 2 años, sólo por los ahorros en el consumo de combustible.<sup>5</sup> Puede demostrarse que la sustitución de taxis viejos puede ser una medida con un costo-eficiencia muy alto para reducir la contaminación del aire, en la mayoría de las grandes áreas urbanas en todo México.

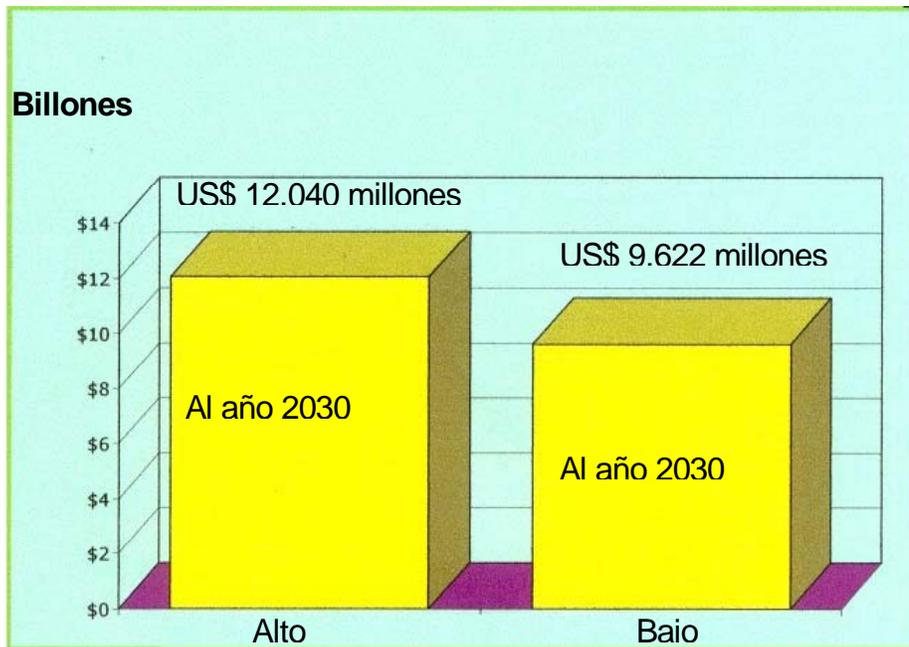
---

<sup>5</sup> En años recientes, un número limitado de créditos han sido puestos a la disposición de los propietarios de taxis, pero esto únicamente ha representado menos del 20 por ciento del total de unidades que se deberían sustituir.

### Al final.....se trata de nuestra salud

Los beneficios a la salud al introducir un sistema de combustibles limpios y de normas para vehículos más estrictas, serían enormemente favorables, tanto para la ciudad de México como para la nación entera. Incluso con la estimación más conservadora de costos, México podría esperar una cosecha de al menos 8 mil millones de dólares norteamericanos en beneficios netos anuales, una vez que los vehículos y combustibles limpios estén en operación.<sup>6</sup> Existe la probabilidad de tener costos más bajos (dadas las experiencias que ya han probado ser realistas en otras partes del mundo), empujando los beneficios netos hasta 11 mil millones de dólares anuales o incluso más altos. Los beneficios son mucho más grandes para la ciudad de México, donde los altos niveles de partículas están muy relacionados con la mortalidad prematura, junto con otros impactos crónicos a la salud y de su debilitamiento.

**Figura 6: Valor total de los beneficios netos a la salud por la reducción de PM de combustibles de ultra-bajo contenido de azufre**



### Beneficio neto de combustibles con niveles ultra- bajos de azufre

En la Ciudad de México la introducción de vehículos diesel avanzados, puede contribuir a reducir las concentraciones ambientales de partículas finas en alrededor de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  con respecto a los promedios actuales (alrededor de  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,) es decir, casi una reducción del 60 por ciento. Se esperaría que este nivel de mejoramiento en la calidad del aire, resulte en aproximadamente 4 mil muertes prematuras menos cada año en la ciudad de México. Monetizando lo anterior y

<sup>6</sup>Los beneficios completos de normas vehiculares avanzadas deberán lograrse en el año 2030. Hasta entonces, la salud y otros beneficios del programa se incrementarán en el tiempo.

otros beneficios a la salud, y utilizando valores desarrollados específicamente para México, esto se traduce en beneficios anuales a la salud entre 3 a 5 mil millones de dólares para la ciudad de México, únicamente.

A nivel nacional, los vehículos y combustibles limpios ofrecerán reducciones de emisiones mucho más significativas. Los vehículos diesel avanzados reducirán emisiones directas de partículas por 150 toneladas cada día en todo el país, de las cuales solamente 17 son emitidas en la ciudad de México. Los óxidos de nitrógeno y los óxidos de azufre, ambos precursores de partículas, serán reducidos en 60 y 70 toneladas por día en todo el país. Utilizando valores de beneficio desarrollados por la US EPA, las reducciones de emisiones nacionales representarían un beneficio anual de 10 mil millones de dólares.

Los vehículos avanzados y los combustibles limpios reducirán enormemente las emisiones de partículas provenientes del diesel en todo México, resultando en un gran beneficio para la salud humana a un costo razonable. De hecho, los beneficios anuales a la salud son aproximadamente de 10 a 20 veces más altos que los costos esperados, y hasta 40 veces más altos para la altamente contaminada ciudad de México.

### **Plan de acción**

La agenda que se describe en este reporte es ambiciosa, pero accesible en lo financiero y factible en lo técnico. Todos los programas que se describen en este reporte han sido probados en otros países. Todos ellos han mostrado beneficios que son muchas veces más altos que los costos.

Con el fin de lograr un aire limpio en México en la próxima década, se requiere llevar a cabo las siguientes acciones:

1. Se requieren combustibles de bajo azufre para adoptar las normas TIER 2. Esto a su vez implica una inversión significativa para modernizar las refinerías de PEMEX. Los autores de este reporte recomiendan un “impuesto ecológico” de aproximadamente 12 centavos de peso mexicano por litro para ser agregado al precio de la gasolina. La recaudación de este impuesto sería utilizada para modernizar las refinerías de PEMEX, y para ayudar a financiar el Programa para Re-potenciar, Reemplazar y Retirar Vehículos con Motor a Diesel (que se menciona en el punto 4).
2. La SEMARNAT, PEMEX y la SENER han acordado una firme propuesta encaminada a que los automóviles cumplan con las normas TIER 2 en el año 2008. Este plan requiere aprobación formal.
3. Un conjunto similar de normas para vehículos de trabajo pesado, probablemente similar a las regulaciones análogas en los Estados Unidos, debe ser adoptado.
4. Un programa para limpiar los motores a diesel debe establecerse para retirar a los motores más contaminantes y re-potenciarlos, o reemplazar las unidades con nuevos modelos. Este programa debe ser diseñado para obtener las reducciones de mayor costo efectividad, y desarrollarse y financiarse conjuntamente con el sector privado. Este programa debe ser diseñado dentro de un año, e instrumentado inmediatamente después.

5. La sustitución de taxis viejos debe ser obligatoria en las grandes ciudades. Debe haber suficientes recursos para que los préstamos de bajo interés estén disponibles para todos los propietarios de taxis. Los préstamos pueden ser pagados en no más de dos o tres años, únicamente a partir de los ahorros en los costos de la gasolina.

### **Conclusión**

Los expertos de la salud humana, tecnología, economía y ciencia del gobierno mexicano, industria y del sector académico y de investigación, coinciden en que la contaminación del aire es peligrosa para la salud humana; han alcanzado un consenso acerca de lo que se requiere para limpiar el aire, y han confirmado que los beneficios son, muchas veces, más grandes que los costos.

Esta conclusión, acompañada de voluntad política, puede ser utilizada para limpiar el aire de México rápidamente y con efectividad. Es tiempo de comenzar.

### Referencias bibliográficas

- Environmental Protection Agency, *Air Quality Criteria for Carbon Monoxide*, Office of Research and Development, Washington, D.C., June 2000b.
- Environmental Protection Agency, *Draft Mobile Source Air Toxics Study*, Office of Transportation and Air Quality, Washington, D.C., July 2000c
- Expert Panel on Air Quality Standards *Ozone* HMSO Publications Centre, London, 1997.
- Health Effects Institute, Research Report 65, Part XI: Consequences of Prolonged Inhalation of Ozone on F344/N Rats; Integrative Summary, Cambridge, Massachusetts, April 1995.
- INE. 2004. *Segundo Almanaque de la Calidad del Aire en Seis Ciudades Mexicanas*. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F.
- Molina Luisa and Molina Mario. 2002. *Air Quality in the Mexico Mega City: An Integrated Assessment*. Kluwer Academic Publishers. Boston, MA, EUA.
- Stevens, G, A. Wilson, and J. Hammitt. 2004. "Benefit-cost analysis of a diesel particulate filter retrofit program in the Mexico City Metropolitan Area: Draft". Harvard Center for Risk Analysis.