

# ESTUDIO DE EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA DEL PROYECTO INTEGRAL DE CALIDAD DE COMBUSTIBLES

*REDUCCIÓN DE AZUFRE EN GASOLINAS Y DIESEL*

Lunes, 26 de Junio de 2006



## RESUMEN EJECUTIVO

La flota vehicular en el país prácticamente se duplicará en los próximos 15 años; esto implicaría, manteniendo las condiciones actuales, un incremento irremisible en las emisiones de contaminantes a la atmósfera de este sector, con el consecuente deterioro de la calidad del aire. No obstante, la comercialización de combustibles con bajo contenido de azufre permitiría que tecnologías vehiculares modernas y avanzadas, que ya están disponibles en Estados Unidos y Europa, funcionen adecuadamente logrando reducciones significativas de las emisiones contaminantes. Los beneficios por la reducción del contenido de azufre en los combustibles no se limitan a la disminución de emisiones de los vehículos nuevos, sino que se extienden a vehículos con tecnologías anteriores. Así, en aquellos vehículos a gasolina las emisiones de hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) pueden reducirse entre 50 y casi 80% (Blumberg, et al. 2003). Para los vehículos con motores a diesel, el combustible de ultra bajo contenido de azufre (aproximadamente 10 ppm) permite una disminución de NO<sub>x</sub> y de partículas de más de 90%.

La reducción de las emisiones de estos contaminantes a la atmósfera conlleva a una mejor calidad del aire. Esta es una prioridad para la protección de la salud pública, dado que la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que en América Latina los niveles actuales de contaminantes en la atmósfera –incluidas localidades en las que se cumple con las normas de calidad del aire- se presentan 35 mil muertes prematuras cada año (Cohen et al., 2004). La situación de la calidad del aire en las principales ciudades de México requiere atención y medidas de control, dado que más de 27 millones de habitantes están expuestos a concentraciones de ozono y PM<sub>10</sub> que frecuentemente exceden las normas de calidad del aire, establecidas por la Secretaría de Salud.

Por todo lo anterior, el 30 de enero de 2006 la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en conjunto con las Secretarías de Energía y de Economía, publicaron la norma NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, que establece nuevas especificaciones para los combustibles que se venden en México, en términos de contenido de azufre y también de olefinas y benceno, entre otros. Asimismo, en forma complementaria, SEMARNAT, en coordinación con diversas instancias del gobierno federal, publicó el 7 de septiembre de 2005 la norma NOM-042-SEMARNAT-2003, en la que se establecen límites máximos permisibles de emisión para vehículos nuevos que implican la adopción de tecnologías Tier 2, condicionada a la disponibilidad de combustible de bajo contenido de azufre.

Las nuevas especificaciones de azufre en combustibles requieren inversiones sustanciales en la estructura de refinación de PEMEX, incluyendo la modernización de 18 plantas de destilados intermedios (diesel y turbosina), la construcción de 11 plantas de postratamiento de gasolina, cuatro hidrosulfuradoras de diesel y siete plantas secundarias asociadas al proyecto (cuatro de hidrógeno, tres de azufre y una de generación de energía eléctrica - 82 MW). El valor presente de los costos asociados con este proyecto es de **\$4,683 millones de dólares**.

En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo valorar los costos y beneficios para la sociedad asociados con la reducción del contenido de azufre en gasolinas y diesel de



uso vehicular en México, para el periodo 2006-2030, de tal forma que se estime la rentabilidad social del proyecto de “*Calidad de combustibles*” de Pemex Refinación. Cabe mencionar que, si bien la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 incluye especificaciones adicionales al contenido de azufre, este estudio *únicamente* considera los costos y los beneficios de la reducción del contenido de azufre y no incluye otros costos asociados con el cumplimiento de otras especificaciones contenidas en la norma.

De acuerdo con los resultados de este estudio, la implementación del proyecto de “*Calidad de combustibles*” de Pemex Refinación, particularmente la reducción en el contenido de azufre en gasolina y diesel de uso vehicular – de acuerdo con las especificaciones y el calendario de introducción incluidos en la norma NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 –, en conjunto con la introducción de nuevas tecnologías vehiculares, reducirían en forma importante las emisiones de HC, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub>, y SO<sub>2</sub> a nivel nacional. Esto traería como consecuencia una mejor calidad del aire, con lo que se evitarían aproximadamente **56,000 muertes prematuras, 166 mil casos de bronquitis crónica, 5.6 millones de días de trabajo perdidos y 78.4 millones de días de actividad restringida por enfermedades respiratorias**, durante el período 2006-2030. Se estima que el valor presente de estos beneficios es de **\$11,373 millones de dólares**, que al compararlo con el valor presente de los costos – **\$4,683 millones de dólares** – se traduce en un **valor presente neto de \$6,690 millones de dólares**. Así, el cociente de beneficio/costo es igual a 2.4, es decir, los beneficios son **más de dos veces superiores a los costos**. Para lograr estos beneficios, es necesario que se cumpla con el calendario especificado en la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, ya que cada año de retraso significa pérdidas de casi 900 millones de dólares.



## I. Origen del proyecto de norma y objetivo del estudio

### 1. Antecedentes de la NOM-086

La contaminación atmosférica se ha asociado con diversos efectos en la salud, incluyendo impactos en los sistemas respiratorio, neurológico y cardíaco, e inclusive algunos tipos de cáncer (Holgate et al., 1999). Diversos estudios a nivel tanto nacional como internacional muestran que estos impactos son más notorios en grupos vulnerables, como los niños, las personas con enfermedades respiratorias o cardíacas preexistentes y los adultos mayores (Holgate et al., 1999). En este sentido, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que las concentraciones actuales de contaminantes en la atmósfera ocasionan 35 mil muertes prematuras cada año en América Latina (Cohen et al., 2004). Los contaminantes atmosféricos que más frecuentemente se asocian con efectos en salud son las partículas suspendidas (PM) de menos de 10 micras ( $PM_{10}$ ) (Evans et al., 2002) y el ozono ( $O_3$ ), que también se ha asociado con agravamiento del asma, reacciones alérgicas y mortalidad prematura (Evans et al., 2002; César et al., 2002; Thurston, G, 2005).

En México las normas de calidad del aire expedidas por la Secretaría de Salud establecen los niveles máximos permisibles de contaminantes en la atmósfera, comparables con normas internacionales orientadas a proteger la salud de la población (WHO, 2000; EPA, 2006). Existen normas que regulan tanto concentraciones altas durante periodos cortos (concentraciones horarias, de 8 horas o diarias) para controlar la exposición aguda, como concentraciones menos elevadas durante periodos largos (concentraciones anuales), para reducir la exposición crónica. Así, se considera que al registrarse concentraciones que superan estos niveles máximos permisibles se tiene una calidad del aire no satisfactoria para la salud humana. Varias zonas urbanas de nuestro país se encuentran en esta situación en hasta 80% de los días del año, como se muestra más adelante en este documento.

Asimismo, en nuestro país existen normas oficiales mexicanas que regulan la emisión de contaminantes a la atmósfera por diversas fuentes y, otras, que regulan la calidad de los combustibles. Por ejemplo, las normas NOM-042-SEMARNAT-2003 y NOM-044-ECOL-1993 establecen los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para los vehículos nuevos en planta accionados con gasolina y diesel, respectivamente. Las emisiones de los vehículos en circulación también se regulan mediante la NOM-041-ECOL-1999 y NOM-045-ECOL-1996. La NOM-042-SEMARNAT-2003 incorpora requerimientos equivalentes a la norma TIER 1<sup>1</sup> y durabilidad a 80 mil kilómetros para los vehículos que se comercializan en la actualidad, así como límites equivalentes a TIER 2<sup>2</sup>, durabilidad de 194 mil kilómetros y un calendario de introducción para vehículos nuevos a partir del año 2006. En el caso de los límites TIER 2, la disposición está sujeta a la disponibilidad de gasolina con un contenido de azufre de 30 partes por millón promedio y 80 ppm máximo (30/80 ppm).

<sup>1</sup> Los estándares Tier 1 regulan las emisiones para vehículos ligeros en los EE.UU y estuvieron vigentes de 1997 al 2004.

<sup>2</sup> Los estándares Tier 2 regulan las emisiones para vehículos ligeros en los EE.UU y estarán vigentes a partir del 2004.



En el Cuadro 1 se presenta una síntesis de las Normas Oficiales Mexicanas aplicables a fuentes móviles:

**Cuadro 1. Normas Oficiales Mexicanas para fuentes móviles**

	Vehículos de peso bruto vehicular		Motocicletas
	Menor a 3,856 kg	Mayor a 3,856 kg	
Emisiones de motores nuevos en planta	042	044, 076*	048, 049***
Ruido de motores nuevos en planta	079	079	082
Emisiones de motores en circulación	041, 047, 050**	045,077	
Ruido de motores en circulación	080	080	080

\*La norma 044 es para vehículos a diesel y la 076 para otros combustibles.

\*\* La norma 041 es para vehículos a gasolina, la 047 y la 050 establece los métodos de medición y límites de emisiones para otros combustibles, respectivamente.

\*\*\* La norma 048 establece los límites y la 049 el método de medición.

En cuanto a los combustibles, su calidad se regula a través de la NOM-086-ECOL-1994 "Contaminación atmosférica -especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles" (publicada el 2 de diciembre de 1994 y modificada en noviembre de 1997). Incluye las especificaciones de gasolinas, diesel, turbosina, gas natural, gas licuado y combustibles industriales líquidos, con objeto de minimizar la emisión de contaminantes a la atmósfera que se origina en los procesos de combustión. El fin último es proteger la calidad del aire y, por tanto, de los ecosistemas y la salud de la población. Esta norma es medular en el establecimiento de niveles permisibles de emisiones vehiculares por la relación intrínseca entre las especificaciones de los combustibles y las tecnologías para el control de emisiones contaminantes.

La expedición de la NOM-086-ECOL-1994 en 1994 contribuyó a atenuar los grandes problemas de contaminación del aire en las zonas urbanas del país, en especial de la Ciudad de México, en donde se lograron mejoras sustanciales en la calidad del aire, fundamentalmente como consecuencia de la eliminación del plomo en las gasolinas y el control de algunos compuestos. Con esta norma se inició el control del contenido de aromáticos, olefinas, benceno y presión de vapor, entre otras especificaciones de las gasolinas. Por lo que refiere al diesel para uso en automotores, se incorporaron mejoras en su calidad, por ejemplo, una primera reducción en el contenido de azufre.

En 1997 se publicó en el Diario Oficial una Modificación a la NOM-086-ECOL-1994 que estableció una excepción al abasto de combustible de bajo azufre (2%) para fuentes fijas



en las zonas abastecidas por la refinería de Cadereyta (zona metropolitana de Monterrey, Nuevo León, corredor industrial de Tampico-Madero-Altamira, en el estado de Tamaulipas, y Samalayuca, Chihuahua), en tanto concluía el proyecto de reconfiguración de la refinería de Cadereyta.

Once años después de su expedición se hace necesaria la actualización de la NOM-086-ECOL-1994 para incorporar los avances tecnológicos que permiten la protección del medio ambiente. A fin de proceder a la revisión de esta norma se inscribió en el Programa Nacional de Normalización desde 2002. Derivado de ello, el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales que preside la SEMARNAT integró un grupo de trabajo constituido por más de 25 representantes acreditados, adscritos a las siguientes instituciones públicas y privadas:

1. Asociación Mexicana de la Industria Automotriz
2. Asociación Nacional de la Industria Química
3. Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tractocamiones, A.C.
4. Comisión Ambiental Metropolitana
5. Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos
6. Petróleos Mexicanos - Pemex Refinación, Pemex Gas y Petroquímica Básica
7. Secretaría de Comunicaciones y Transportes - Dirección General de Autotransporte Federal
8. Secretaría de Economía - Subsecretaría Normatividad, Inversión Extranjera y Prácticas Comerciales Internacionales y la Subsecretaría de Industria
9. Secretaría de Energía - Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico
10. Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal - Dirección General de Gestión Ambiental del Aire
11. Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México - Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica
12. Secretaría de Salud - Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios
13. Universidad Nacional Autónoma de México - Centro de Ciencias de la Atmósfera
14. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Coordinación de Asesores del Secretario, Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, Regional y Global del Instituto Nacional de Ecología, Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Contaminantes de la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Energía y Actividades Extractivas, Dirección General de Industria y Dirección General de Fomento Ambiental Urbano y Turístico de la Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental.

## 2. Origen del proyecto de norma

Después de un largo proceso de deliberaciones y consultas, el grupo de trabajo aprobó por consenso, el 6 de agosto de 2003, un Anteproyecto de revisión de la NOM-086-ECOL-1994. Dicho anteproyecto actualiza y revisa más de 30 especificaciones de los combustibles que PEMEX coloca en el mercado. En aquel momento el grupo de trabajo estableció un calendario de reducción gradual de azufre en gasolinas y diesel, con la meta



de alcanzar 30 ppm promedio y 80 ppm máximo para la PREMIUM en 2006 y esas mismas concentraciones para la MAGNA en 2008. Respecto al diesel, se establecía un máximo de 15 ppm en 2008. El grupo de trabajo consideró que con estas metas se conciliarían satisfactoriamente las necesidades de la industria automotriz, la factibilidad de colocar en el mercado combustibles de bajo azufre y los requerimientos nacionales de carácter ambiental.

Los representantes de SENER y de Petróleos Mexicanos en el grupo de trabajo plantearon que para cumplir con el calendario de metas se requería de la autorización de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y, en su momento, del Congreso de la Unión, para: i) efectuar inversiones en las refinerías de petróleo estimadas en el año 2000 en 2,050 millones de dólares; ii) modificar el programa de importación de gasolinas; iii) disponer de recursos adicionales a los techos de presupuesto 2005 - 2008 a fin de financiar las inversiones; y, iv) repercutir en el precio el mayor costo de producción e importación.

Las circunstancias anteriores dieron lugar a que el grupo de trabajo formulase el artículo quinto transitorio del anteproyecto de revisión de la norma, el cual señala textualmente: “El cumplimiento de las especificaciones sobre contenido de azufre para el año 2008 a que se refieren las Tablas 5 y 7, respectivamente, se condiciona a que la Secretaría de Energía emita a más tardar el día de la entrada en vigor de la presente Norma Oficial Mexicana (NOOM), un dictamen favorable sobre la posibilidad de disponer en el país de la infraestructura necesaria para el suministro de combustibles con estas especificaciones.”

El anteproyecto de revisión de la norma fue presentado al Comité Consultivo de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales (COMARNAT) el 28 de noviembre de 2003. Su aprobación quedó en espera de tener mayor claridad sobre la viabilidad de financiar los requerimientos de inversión. Asimismo, el anteproyecto se presentó ante la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y ante la Oficina de Políticas Públicas de la Presidencia de la República, instancias que analizaron la conveniencia de aprobar el Proyecto de *Calidad de combustibles* de PEMEX para permitir el suministro de combustibles con el contenido de azufre que estipulaba el anteproyecto de norma.

En el año 2005, PEMEX, con el apoyo de SENER y SEMARNAT, presentó nuevamente el Proyecto de *Calidad de combustibles*<sup>3</sup> que fue aprobado para continuar con los procedimientos respectivos para su incorporación al Presupuesto de Egresos de la Federación en la modalidad de “Proyectos de Infraestructura Productiva de Largo Plazo” (PIDIREGAS). Esto sujeto a tres condicionantes que se trabajan actualmente en las dependencias correspondientes: la política de precios, la publicación como Norma Oficial Mexicana de la Modificación a la NOM-086 y la evaluación socioeconómica --objeto del presente estudio.

El COMARNAT aprobó el Proyecto de Modificación PROY-NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 para someterlo a consulta pública y fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de septiembre de 2005, para recibir comentarios por un periodo de 60 días naturales de conformidad con lo que establece la Ley.

<sup>3</sup> El proyecto se presentó un año antes también, pero las instancias correspondientes solicitaron a PEMEX mayor información para fundamentarlo.



La SEMARNAT convocó al grupo de trabajo interinstitucional que elaboró el anteproyecto para elaborar la respuesta a la consulta pública y analizar las modificaciones procedentes al Proyecto de Modificación de la norma. Derivado de los trabajos de este grupo se realizaron adecuaciones, particularmente en lo que se refiere al calendario para cumplir con la disminución gradual del contenido de azufre en gasolina y diesel y, también, al quinto transitorio.

El calendario considerado en el presente estudio socioeconómico corresponde al que se acordó tras la consulta pública del Proyecto de Modificación de la NOM-086. En consideración a los avances que se habían tenido hasta el momento en la aprobación de las inversiones necesarias para suministrar combustibles de bajo azufre, se cambió la redacción del transitorio para quedar como sigue:

*SEGUNDO.- La entrada en vigor de las especificaciones de azufre a que se refieren las Tablas 5 y 7 de la presente Norma Oficial Mexicana, estará sujeta a que el Congreso de la Unión apruebe el proyecto multianual de Calidad de Combustibles (Clave 0518TZZ0001), incluido en el Presupuesto de Egresos de la Federación 2006, Tomo IV.*

El día 11 de enero de 2006 se publicó la respuesta a los comentarios en el Diario Oficial de la Federación y el 30 de enero de este mismo año se publicó la NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 definitiva, con lo que concluyó el proceso de revisión.

La actualización de las Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con la NOM-086 presenta también un grado de avance importante. De particular relevancia es la publicación de la norma NOM-042-SEMARNAT-2005 el 7 de septiembre de 2005, estableciendo que los límites de emisión para vehículos automotores nuevos correspondientes al nivel más estricto de control serán aplicables cuando el instrumento normativo correspondiente garantice la disponibilidad en el país de combustibles de bajo azufre en todo el territorio nacional.

Las especificaciones consideradas en estas Normas Oficiales Mexicanas permitirán que México logre un desarrollo sustentable mejorando la calidad del aire al incorporar las mejores tecnologías de control de emisiones vehiculares disponibles a nivel mundial. Para lograrlo es necesario que Petróleos Mexicanos comercialice combustibles con los estándares internacionales en cuanto al contenido de azufre y también que la industria automotriz comercialice en el país vehículos con los estándares de calidad mundial en los equipos de control de emisiones.

### **3. Impacto del azufre en la calidad del aire**

Los niveles de azufre requeridos en el proyecto de norma citado se sustentan en la necesidad de contar con el funcionamiento eficiente y adecuado de las mejores tecnologías de control de emisiones en los vehículos que circulan en el país. Como se explica más adelante, las fuentes móviles (autos particulares, taxis, autobuses, transporte de carga, etc.) contribuyen de manera significativa al detrimento de la calidad del aire en las principales zonas urbanas del país. El gobierno federal, en coordinación con las



autoridades locales, lleva a cabo varias acciones para controlar la emisión de contaminantes de fuentes móviles – como son los programas de verificación vehicular -, sin embargo, es inminente y necesaria la renovación gradual del parque vehicular nacional. Las más recientes tecnologías vehiculares permiten la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera y, por lo tanto, el mejoramiento de la calidad del aire –aún considerando el crecimiento previsto en el parque vehicular durante los próximos años. Para tal efecto, en México como en otros países, se requiere contar con combustibles de bajo contenido de azufre, pues las nuevas tecnologías de control de emisiones existentes a nivel internacional requieren de estos combustibles para su funcionamiento óptimo.

El azufre que contienen los combustibles vehiculares, además de generar dióxido de azufre, un contaminante en sí mismo y precursor en la formación de partículas secundarias en la atmósfera, inhibe el funcionamiento de los convertidores catalíticos avanzados, que se requieren para reducir las emisiones de otros contaminantes, específicamente, hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), durante vida útil del vehículo. Para vehículos a gasolina, estas tecnologías comenzaron a comercializarse en el mercado estadounidense en el 2004, año en que entró en vigor el estándar de emisiones de vehículos Tier2, que considera reducciones de emisiones significativas en comparación con estándares anteriores.

Además de la sustancial reducción de emisiones en los vehículos nuevos, se pueden reducir las emisiones en los vehículos existentes al utilizar gasolinas con un contenido de azufre de menos de 150 ppm. La experiencia internacional indica que la reducción de azufre en gasolinas de entre 200 y 600 ppm hasta un intervalo de 18 a 50 ppm ha resultado en reducciones de emisiones que llegan hasta 55% en el caso de HC y CO, e incluso hasta 77% para NO<sub>x</sub>, dependiendo de la tecnología vehicular y las condiciones de manejo (Blumberg, et al. 2003).

Por lo que se refiere a motores a diesel, el control de las emisiones se ha centrado en mejorar el proceso de combustión, siendo los mayores logros en el rediseño de la cámara de combustión, el mejoramiento del sistema de inyección de combustible y el aumento de la masa de aire por medio de turbocargadores y post-enfriamiento. Aún con estos avances, las mayores reducciones en emisiones se obtienen con tecnologías post-tratamiento, como las trampas de partículas y los catalizadores de oxidación. De la misma manera que en el caso de las tecnologías de control para vehículos a gasolina, estas tecnologías requieren diesel con muy bajo contenido de azufre.

Por ejemplo, con diesel de 50 ppm, la eficiencia de las tecnologías más avanzadas, como las trampas de partículas, se reduce en 50%; en el caso de los catalizadores de oxidación, esta reducción en la eficiencia puede alcanzar hasta 80% de su potencial. En cambio, con diesel de ultra bajo contenido de azufre (aproximadamente 10 ppm), se pueden incorporar trampas de NO<sub>x</sub> que pueden reducir hasta 90% las emisiones de este contaminante, tanto en vehículos a diesel como a gasolina. De la misma manera, las trampas de partículas funcionan a su capacidad óptima con diesel de ultra bajo contenido de azufre, logrando abatir prácticamente el 100% de las emisiones de partículas.

El Cuadro 2 y el Cuadro 3 presentan un resumen de las diferentes tecnologías de control existentes, sus beneficios y requerimientos de calidad de combustible, para vehículos a



gasolina y diesel, respectivamente.

**Cuadro 2. Tecnologías de control de emisiones para vehículos a gasolina.**

Tecnología	Contaminantes	Niveles de azufre	Beneficios	Aplicaciones
<i>Catalizador de tres vías</i>	NOx, HC y CO	Menos de 50ppm	Reducciones desde 18% en HC y CO y 9% en NOx con 50 ppm de azufre  Hasta 55% para HC y CO y 77% para NOx con 15 ppm de azufre	Vehículos existentes
<i>Catalizadores de tres vías avanzados</i>	NOx, HC y CO	Menos de 30ppm	Beneficios incrementales en términos de emisiones, durabilidad y rendimiento	Vehículos nuevos y en proyecto
<i>Trampa de NOx</i>	NOx	Menos de 15 ppm	Reducción de 90-95% de NOx de emisiones no controladas  Permite mejoras significativas en el rendimiento	Vehículos que requerirán cumplir con objetivos de reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

**Fuente:** Blumberg, et al. 2003

**Cuadro 3. Tecnologías de control de emisiones para vehículos a diesel**

Tecnología	Contaminantes	Niveles de azufre	Beneficios	Aplicaciones
<i>Sin control de emisiones</i>	PM	Menor de 50 ppm	Reducción de 14% para 50 ppm y 50% para 15 ppm	Vehículos existentes
<i>Catalizador de oxidación</i>	PM, HC y CO	Cuando menos menor a 150 ppm. Recomen-dable menor a 50ppm.	Reducciones de 90-100% para HC y 88-99% para CO.  Reducciones de 15-31% para partículas, usando combustible con un contenido de azufre menor a 50 ppm	Útil en conversiones a bajo costo y para sistemas de control integrados a vehículos nuevos



Tecnología	Contaminantes	Niveles de azufre	Beneficios	Aplicaciones
<i>Filtros de partículas</i>	PM, HC y CO	Menos de 50 ppm (requerido). Menos de 15 ppm (altamente recomendado)	Reducciones de 90 a 99% de partículas con combustible de menos de 15 ppm de azufre La eficiencia disminuye aproximadamente 50% con concentración de 50 ppm	Puede ser usado en conversiones de vehículos en circulación y como parte de la tecnología de vehículos nuevos.
<i>Trampa de almacenamiento de NOx</i>	NOx	Menos de 15 ppm (requerido)	Reducciones de 58 a 82% para HC y de 90 a 99% para CO. Reducciones de 78 a 94%	Vehículos nuevos ligeros y pesados Adecuado para vehículos pesados pero también se explora su uso en vehículos de pasajeros
<i>Reducción catalítica selectiva</i>	NOx	Menos de 50 ppm (requeridos)	Reducciones de 80 a 90%	

**Fuente:** Blumberg, et al. 2003

El alto contenido de azufre en los combustibles no sólo perjudica la eficiencia de los dispositivos de control de emisiones, sino que ocasiona un incremento en las mismas, que puede llegar a ser en promedio de 100% para hidrocarburos no metánicos y 197% para óxidos de nitrógeno. Así, se considera que se requiere de un contenido máximo de azufre en gasolinas de 30 ppm para el funcionamiento adecuado de las tecnologías más avanzadas de control de emisiones (Blumberg, et al., 2003).

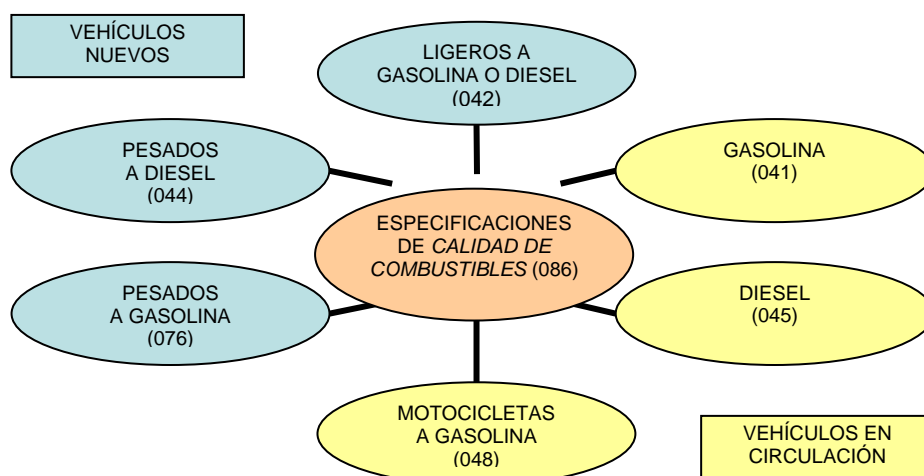
En Estados Unidos, para hacer posibles las reducciones de emisiones requeridas por los nuevos estándares (Tier2 para vehículos ligeros y EPA 2007 para vehículos pesados), se reducirá gradualmente el contenido promedio de azufre de los niveles actuales de 120 ppm a 30 ppm para gasolina y a 15 ppm para diesel a partir de 2006. La adopción de estas nuevas tecnologías en México es inevitable dado que cerca del 75% de los vehículos producidos internamente están destinados a la exportación, alrededor del 52% de los vehículos en el mercado nacional son importados y a partir del primero de enero de 2004 se desgravó en su totalidad la importación de vehículos nuevos provenientes de Estados Unidos.

En nuestro país la actualización de la NOM-086 constituye un requisito insoslayable para consolidar la mejoría de la calidad del aire y evitar un retroceso de la política ambiental,

debido a que, por ejemplo, la norma vigente (NOM-086-SEMARNAT-1994) no establece especificaciones para la gasolina PREMIUM que suministra PEMEX desde hace varios años y, en cambio, regula la gasolina NOVA que ya no se encuentra disponible en el mercado.

La actualización de la NOM-086 permitirá incorporar a las normas de emisión de fuentes móviles los avances tecnológicos actualmente disponibles en la industria automotriz. En la Figura 1 se muestran las NOMs directamente relacionadas con la calidad de las gasolinas y diesel, cuyo proceso de revisión depende de las especificaciones que para dichos combustibles se establezcan en la nueva NOM-086.

**Figura 1. Normas para fuentes móviles relacionadas con la NOM-086**



En nuestro país, debido al alto contenido de azufre en el crudo mexicano, se requieren modificaciones en la infraestructura nacional de refinación y, por consiguiente, inversiones sustanciales para ofrecer combustibles con bajo contenido de azufre. Sin embargo, como se demuestra en este documento, los beneficios obtenidos por el proyecto de Calidad de los combustibles de PEMEX sobrepasan con mucho los costos asociados con su realización.

#### 4. Objetivo del estudio

Evaluar los costos y beneficios que para la sociedad resultan por la reducción del contenido de azufre en gasolinas y diesel de uso vehicular en México, para el periodo 2006-2030, de tal forma que se estime la rentabilidad social del proyecto de "Calidad de combustibles" de Pemex Refinación, mediante el cálculo del cociente beneficio-costos.

Cabe señalar que el proyecto de norma PROY-NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 establece nuevos requisitos de calidad para los combustibles que produce PEMEX, incluyendo especificaciones sobre olefinas y benceno, entre otros. Sin embargo, este estudio *únicamente* considera los costos y los beneficios de la reducción del contenido de azufre y no incluye otros costos asociados con el cumplimiento de otras especificaciones contenidas en la norma.



## II. Diagnóstico de la situación actual

### 1. Situación actual de la contaminación atmosférica en México

Las normas de calidad del aire se exceden con frecuencia en las principales zonas urbanas de nuestro país, ocasionando que la población esté expuesta a una calidad del aire no satisfactoria (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Principales zonas urbanas de México, número de días en que se exceden las normas de calidad del aire y población potencialmente expuesta**

Zona Metropolitana	Población	Días fuera de norma	
		Ozono	PM <sub>10</sub>
Valle de México (ZMVM)	17,786,983	284	32
Guadalajara (ZMG)	3,669,021	68	38
Monterrey (ZMM)	3,236,604	14	64
Cd. Juárez	1,218,817	1	30
Toluca (ZMT)	1,142,426	9	79
<b>Subtotal</b>	<b>27,053,851</b>		
Otras zonas urbanas	36,032,258		
<b>Total de zonas urbanas</b>	<b>63,086,109</b>		

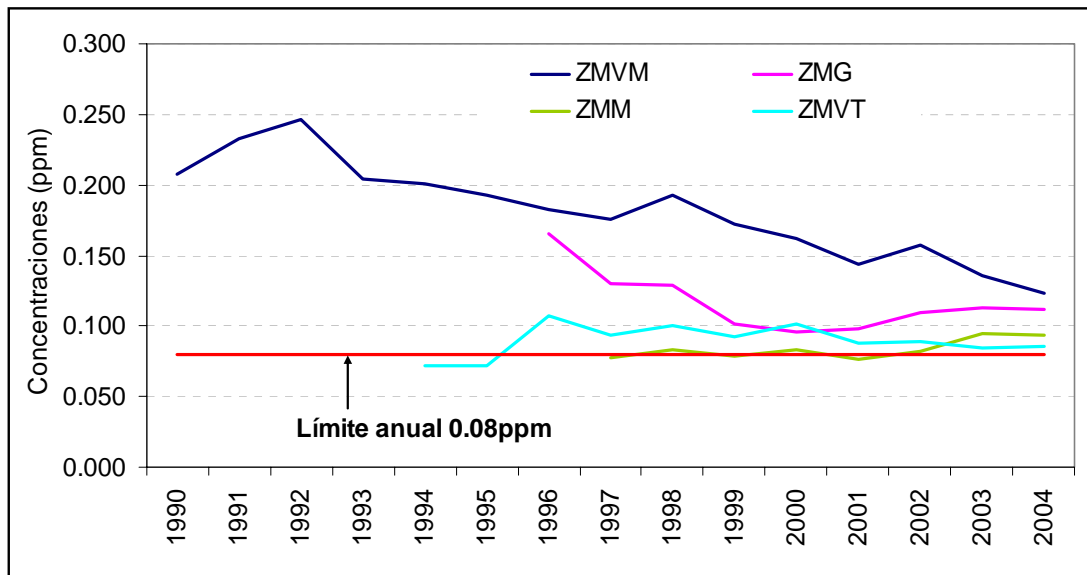
Fuentes: SEMARNAT, 2004 y elaboración propia de los autores del presente estudio.

Las evaluaciones de riesgos realizadas a la fecha en la ZMVM indican que la reducción de los niveles de los contaminantes atmosféricos redundaría en beneficios en la salud, en términos de reducción de muertes prematuras, número de casos de bronquitis crónica, etc., lo que a su vez tendría beneficios económicos para la sociedad (Cesar et al., 2002; Evans et al., 2002).

Múltiples estudios llevados a cabo en México han identificado una asociación entre la contaminación atmosférica, en particular por ozono y partículas, y un aumento en visitas a salas de emergencia por ataques de asma (Romieu et al., 1995; Rosas et al., 1998), infecciones respiratorias (Tellez-Rojo et al., 1997; Torres-Meza, 2000; Hernandez-Cadena et al, 2000), bronquitis crónica (Santos-Burgoa et al., 1998; Romano, 2000), ausentismo escolar (Romieu et al., 1992), síntomas respiratorios (Sánchez Costanza, 1999), disminución de la función pulmonar en niños (Castillejos et al., 1992 y 1995; Gold et al, 1999), reducción en la variabilidad cardíaca (Holguin et al., 2003) así como un incremento en la mortalidad en adultos (Borja-Aburto et al., 1997; Castillejos et al., 2000; Tellez-Rojo et al, 2000; O'Neill et al., 2004) e infantes (Loomis et al., 1999).

Estos resultados son consistentes con el cuerpo de literatura internacional, tanto para morbilidad como para mortalidad. La Figura 2 y Figura 3 muestran que en las principales ciudades del país se rebasan las normas anuales para ozono y PM<sub>10</sub>. Esto quiere decir que más de 27 millones de personas – por lo menos – están expuestas a concentraciones de contaminantes atmosféricos que frecuentemente exceden las normas de calidad del aire, establecidas para proteger su salud.

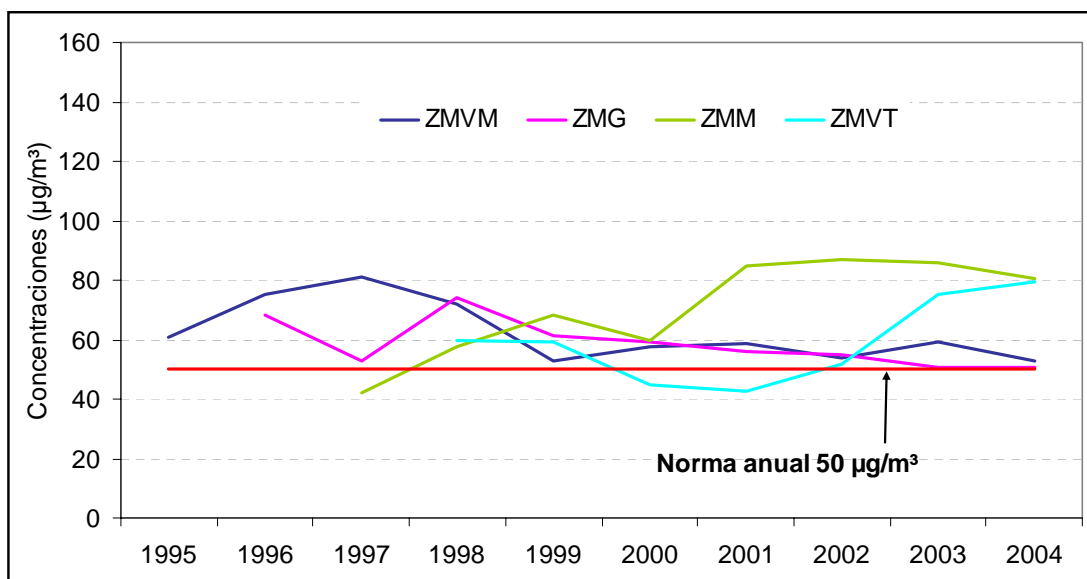
**Figura 2. Concentraciones máximas de ozono\***



\* Valores del quinto máximo anual, promedios móviles de 8 horas.

Fuente: INE (2005), elaboración propia.

**Figura 3. Concentraciones anuales de partículas suspendidas (PM<sub>10</sub>)\***



\* Promedios anuales de concentraciones horarias.

Fuente: INE (2005), elaboración propia.

Si bien las fuentes de emisión de contaminantes a la atmósfera son diversas, los inventarios de emisiones existentes en las diferentes zonas del país muestran una contribución significativa del sector transporte. En las principales zonas metropolitanas



este sector contribuye con la mayor parte de las emisiones de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) e hidrocarburos (HC) (99, 84 y 38%, respectivamente), así como con un porcentaje elevado de bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y PM<sub>2.5</sub> (58 y 52%, respectivamente) (GDF, et al., 2004; GENL et al., 1997; GECh, et al., 1998; GEBC, et al., 2000; GEJ, et al., 1997; GEBC, et al., 1999).

En general, los automóviles particulares que utilizan gasolina contribuyen con la mayoría de las emisiones de estos contaminantes; la excepción la constituyen las partículas suspendidas primarias, emitidas mayoritariamente por vehículos que utilizan diesel (GDF, 2000). Estos datos son congruentes con las cifras de consumo de combustible reportadas por la Secretaría de Energía, que muestran que el sector transporte consume alrededor de 56% del total del combustible en el ámbito nacional (SENER, 2002).

**Cuadro 5. Contribución de fuentes móviles a emisiones de contaminantes atmosféricos en las zonas metropolitanas de México, Monterrey y Guadalajara**

Contaminante	Contribución de fuentes móviles a emisiones contaminantes (%)		
	ZMVM	ZMM	ZMG
SO <sub>2</sub>	58	8	30
CO	99	99	99
NOx	84	64	91
HC	Nd	66	57
PM <sub>10</sub>	19	nd	nd
PM <sub>2.5</sub>	52	nd	nd
COT	29	nd	nd
COV	38	nd	nd

ZMVM = Zona Metropolitana del Valle de México; ZMM= Zona Metropolitana de Monterrey; ZMG= Zona Metropolitana de Guadalajara; SO<sub>2</sub>= dióxido de azufre; CO= monóxido de carbono; NOx= óxidos de nitrógeno; HC= hidrocarburos; PM<sub>10</sub>= partículas suspendidas con diámetro menor a 10 micras; PM<sub>2.5</sub>= partículas suspendidas con diámetro menor a 2.5 micras; COT= compuestos orgánicos totales; COV= compuestos orgánicos volátiles; nd= no disponible.

Fuente: GDF, et al., 2004; GENL et al., 1997; GEJ, et al., 1997.

En la ZMVM las emisiones vehiculares se han reducido durante los últimos años, en parte, gracias a la reducción de los límites máximos permisibles de emisiones de vehículos a gasolina y diesel presentes en las normas oficiales mexicanas, junto con otras medidas, tales como los programas “Hoy no circula” y el de verificación vehicular. No obstante, con el crecimiento continuo de la flota vehicular se prevé que las emisiones de este sector aumenten, aún con las tecnologías de control de emisiones actuales. Se estima que en todo el país el parque vehicular de autos a gasolina ha aumentado desde el año 2000 en 45%, llegando a 14.8 millones de unidades en febrero de 2005. Asimismo, el número de



vehículos a diesel de carga y de pasajeros ha crecido 59% en el mismo período, sumando 7.2 millones de unidades en 2005. De acuerdo con estimaciones de los autores del presente estudio, se espera que en los próximos 15 años se duplique la flota vehicular y, con ello, aumenten las emisiones de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  en aproximadamente 50 y 20%, respectivamente. Estos gases además de ser contaminantes en sí mismos, son precursores de partículas suspendidas secundarias que componen la fracción fina —aquella que se ha asociado principalmente con los efectos en salud—y, también, de la lluvia ácida (INE, 2005).

Por esta razón, el mejoramiento de la calidad del aire que se requiere en el país depende en gran medida de la introducción de nuevas tecnologías de control que reduzcan aún más las emisiones del sector transporte. No es la primera vez que una condición atmosférica crítica debe resolverse de esta manera. Hasta antes de los años ochenta la gasolina en la ZMVM se encontraba entre aquellas con mayor contenido de plomo a nivel mundial, lo que se justificó en su momento por facilitar la combustión dada la altitud de la ZMVM. Además, no se contaba con el cuerpo de la evidencia internacional sobre los efectos potenciales en la salud de la población, hoy reconocidos mundialmente, en particular aquellos neurológicos y neuroconductuales, que además son irreversibles, en la población infantil. Así, el tetraetilo de plomo usado como antidetonante en los combustibles nacionales era la principal fuente de emisión de plomo a la atmósfera. Por sus efectos potenciales a la salud, por inhibir el funcionamiento de los convertidores catalíticos, cuya tecnología estaba siendo introducida en nuestro país, y siguiendo la tendencia internacional, México llevó a cabo un programa de inversiones que culminó con la eliminación del plomo en la gasolina en 1997. Esto permitió la entrada de tecnologías de control de emisiones vehiculares más eficientes y, también, contribuyó a mitigar el problema de salud (Cortez-Lugo et al., 2003).

## **2. Consumo de combustibles vehiculares en México - calidad histórica, actual y proyección de la demanda en el futuro**

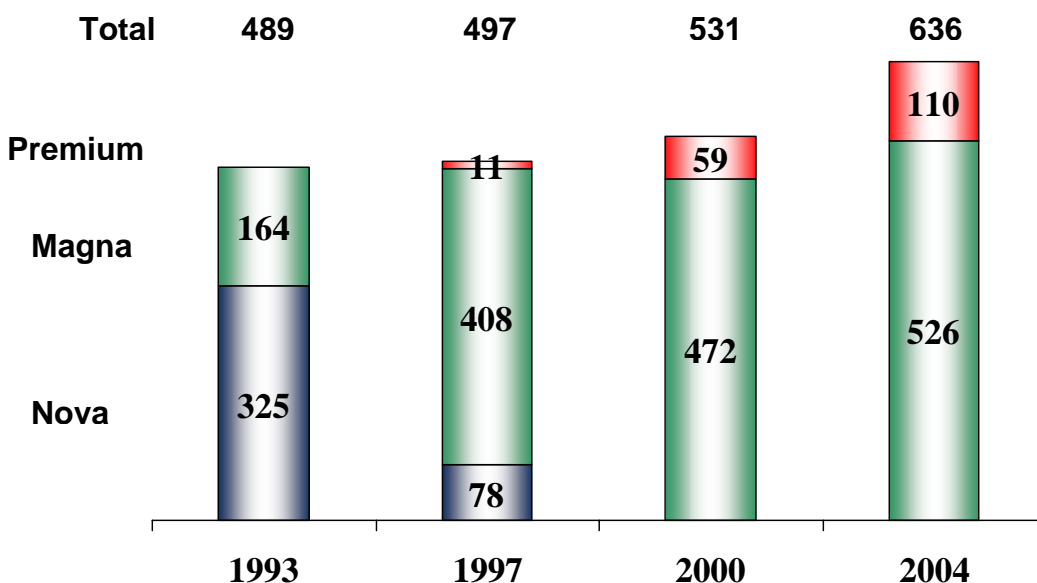
Como se comentó en la sección anterior desde hace varios años México ha tomado medidas para mejorar la calidad de sus combustibles y así contribuir con la gestión de la calidad del aire y proteger la salud de la población. A principios de los noventa Pemex Refinación elaboraba dos tipos de gasolinas automotores: Nova y Magna Sin. La gasolina Nova contenía plomo y era de bajo octanaje; la gasolina Magna Sin, introducida en 1990, no contenía plomo y contaba con un octanaje equivalente a la gasolina regular sin plomo (*Unleaded Regular*) del mercado norteamericano. Existían dos tipos de gasolina Magna Sin: normal y oxigenada, esta última destinada a las zonas ambientalmente críticas, es decir, las zonas metropolitanas del Valle de México, Guadalajara y Monterrey, debido a que los oxigenantes reducen las emisiones de contaminantes, especialmente el monóxido de carbono.

A partir de la introducción de la gasolina Magna Sin comenzó el retiro paulatino de la gasolina Nova del mercado. De esta manera, las ventas de Nova pasaron de 66 por ciento del total de ventas de gasolinas en 1993 a cero en 1997. Asimismo, a partir de 1993, Pemex Refinación inició la producción y distribución en el mercado nacional de la gasolina Pemex Premium, con un índice de octano de 93, superior al de la gasolina Premium del mercado norteamericano (92 octanos).



Actualmente Pemex Refinación elabora la gasolina Pemex Magna en dos especificaciones: Pemex Magna Oxigenada y Pemex Magna Convencional; la primera formulada especialmente para las grandes zonas metropolitanas del país (México, DF., Guadalajara y Monterrey) y la segunda para el resto del país. En lo que respecta a la gasolina Premium, en 2004 Pemex Refinación redujo el contenido de azufre de este combustible pasando de 500 a 300 ppm.

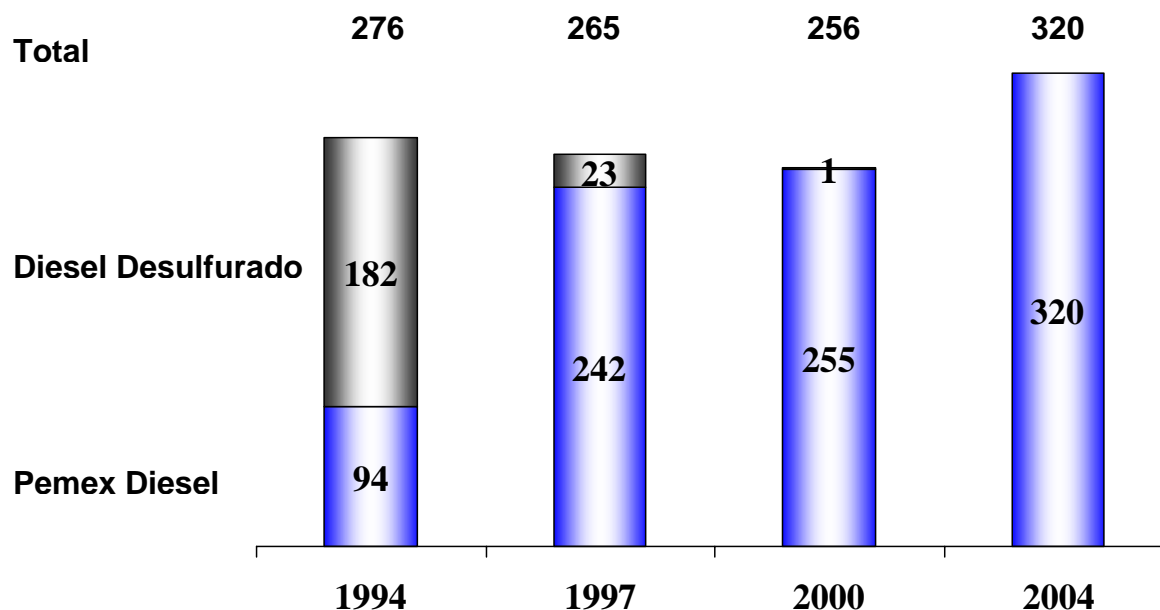
**Figura 4. Volumen de ventas de gasolinas, 1993 – 2004 (miles de barriles por día)**



Fuente: Pemex Refinación (2005), elaboración propia.

En lo que se refiere al diesel se efectuaron esfuerzos similares para mejorar su calidad. En la década de los noventa existían dos tipos: el Diesel Desulfurado – con 1000 ppm de azufre – y Pemex Diesel con un contenido de 500 partes por millón de azufre. En 1994 comenzó el retiro paulatino del primero de ellos, mediante el incremento en el volumen de producción de Pemex Diesel. Actualmente, el mercado nacional cuenta con dos calidades de este último: uno para consumo en las zonas metropolitanas del Valle de México, Guadalajara y Monterrey, con un contenido de 300 ppm de azufre y otro para el resto del país, con 500 ppm de azufre. Adicionalmente, en 2004 Pemex Refinación inició la producción de Pemex Diesel de 50 ppm de azufre, para unidades de transporte público de la ciudad de México.

**Figura 5. Volumen de ventas de gasolinas, 1993 – 2004 (miles de barriles por día)**



Fuente: Pemex Refinación (2005), elaboración propia.

Para producir y distribuir estos combustibles, Pemex Refinación cuenta con la siguiente infraestructura:

**Cuadro 6. Sistema nacional de refinación**

Numero de refinerías	6
Capacidad instalada de destilación atmosférica	1,540 mbd*
Terminales de almacenamiento y distribución	77
Estaciones de servicio	7,101
Longitud de oleoductos	5,266 Km
Longitud de poliductos	8,944 Km
Terminales marítimas	15
Flota marina	25 de capacidad mayor 94 de menor capacidad
Transporte terrestre	2,474 auto tanques fletados 1,525 auto tanques propios 530 carro tanques propios

\* mbd = Miles de barriles diarios

Fuente: Pemex Refinación (2005), elaboración propia.

Figura 6. Sistema Nacional de Refinación



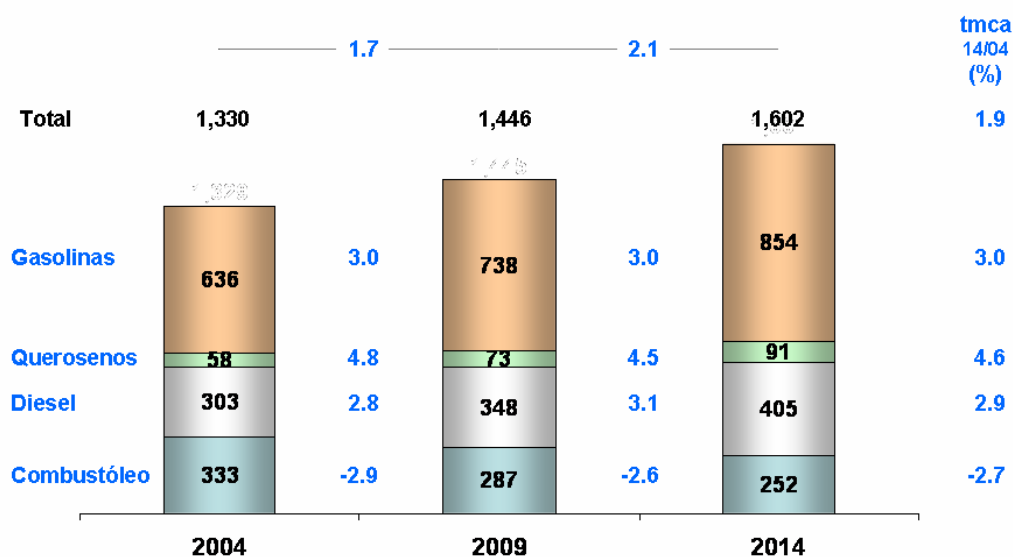
Fuente: Pemex Refinación (2005), elaboración propia.

A partir del petróleo crudo enviado a las refinerías desde Nuevo Teapa, Veracruz, por medio de la red de oleoductos y por buques tanque, se obtienen estos combustibles y otros derivados del petróleo para la petroquímica básica en las seis refinerías de Pemex Refinación. Estos productos son distribuidos mediante la infraestructura de poliductos hacia las terminales de almacenamiento y distribución, en donde se programan los volúmenes a transportar mediante la flota marítima y terrestre, de acuerdo con la demanda de la zona de influencia.

#### *Demanda de petrolíferos en México*

Las proyecciones para 2025 indican que el consumo mundial de energía crecerá a una tasa de 1.9% anual, siendo el petróleo la fuente esencial de energía primaria en las próximas dos décadas. En el entorno nacional, más de dos tercios de la energía consumida proviene de los petrolíferos, cuya demanda se prevé tendrá un aumento medio anual de 1.9%, por la liga estrecha entre crecimiento y requerimientos de energía (Figura 7).

**Figura 7. Demanda de petrolíferos, 2004-2014 (miles de barriles diarios)**



Fuente: Gerencia de Planeación Estratégica, Pemex Refinación

Como puede observarse en la figura, las proyecciones de demanda indican que el consumo de gasolinas aumentará hasta aproximadamente 854 mil barriles diarios (mbd) en 2014, lo que significa 3% promedio de aumento anual. Asimismo, se prevé un aumento sustancial en la demanda de diesel en una proporción similar a las gasolinas (2.9%), hasta aproximadamente 400 mil barriles diarios. Estas estimaciones consideran que los acuerdos del TLCAN y la apertura del mercado nacional a la importación de autos usados a partir de 2008, provocarán un incremento en la tendencia actual de crecimiento del parque vehicular.

#### *Oferta de gasolina y diesel*

Para satisfacer la creciente demanda de gasolina y diesel en México se espera que, una vez concluidos los proyectos contenidos en el Plan de Negocios de Pemex Refinación – como son las reconfiguraciones de Minatitlán y la de Salina Cruz – se presente hacia el año 2014 un incremento importante en el rendimiento de gasolinas del crudo de un nivel de 34% en 2005 hasta 45% que, aunado al mayor proceso de crudo, se traduce en un incremento de 297 mbd de gasolina entre 2005 y 2014.

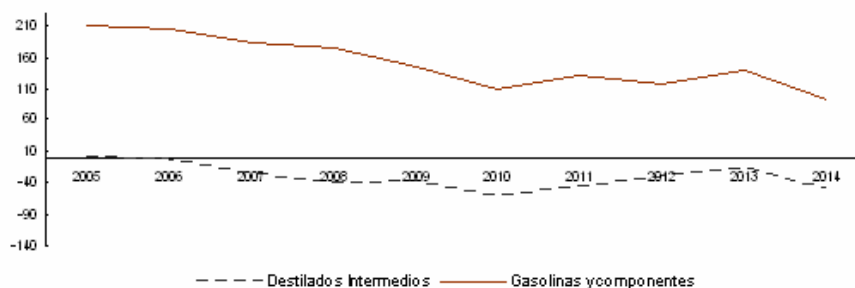
**Figura 8. Producción del crudo de destilados, 2005-2014 (MBD)**



Fuente: Pemex Refinación (2005), elaboración propia.

Con la reconfiguración del Sistema Nacional de Refinación (SNR) se tiene previsto un incremento importante en la oferta de destilados con la calidad establecida en la normatividad ambiental vigente. Por lo tanto, se espera que las importaciones de gasolinas y componentes disminuyan en aproximadamente 120 mbd entre 2005 y 2014<sup>4</sup>. De acuerdo con estimaciones de Pemex Refinación, para 2005 se espera que la importación de gasolinas ascienda a 212 mbd, incluyendo maquila. Por lo tanto, esto se traduce en una estimación de 92 mbd, incluyendo 12 mbd de componentes para mezclado en gasolinas en 2014.

**Figura 9. Importaciones de petrolíferos, 2005-2014 (mbd)**



Fuente: Pemex Refinación

Estas proyecciones, con las especificaciones de calidad señaladas, están incluidas en los estudios de Mercado de Hidrocarburos y el Documento de Planeación de Petróleos Mexicanos 2005.

<sup>4</sup> Actualmente se importa aproximadamente 250 mbd de gasolinas y componentes (dato de diciembre de 2005).



### 3. Calidad de los combustibles fósiles en otros países

En los últimos años, Estados Unidos, la Unión Europea, Japón, Australia y otros países industrializados han emprendido acciones para reducir los límites máximos permisibles de emisiones de vehículos a través de la introducción de mejores tecnologías de control, en conjunto con la reducción del contenido de azufre en sus combustibles como se observa en el Cuadro 7 (Blumberg et al., 2004). Siguiendo esta misma tendencia, varios países en desarrollo están tomando acciones similares para reducir el impacto del sector de transporte en la calidad del aire y minimizar barreras no arancelarias al tránsito y al comercio internacionales.

**Cuadro 7. Estándares internacionales del contenido de azufre en gasolinas (promedio/máximo en ppm)**

	2004	2005	2006	2007	2008	2009
<b>EUA.</b>	30/80	30/80	30/80			
<b>UE</b>		50				10
<b>Japón</b>	50					
<b>Hong Kong</b>	150 (desde 2001)					
<b>Australia</b>		150				
<b>Argentina</b>		600	500		300	50
<b>Brasil</b>	1000					80
<b>Chile</b>	400	100	30			

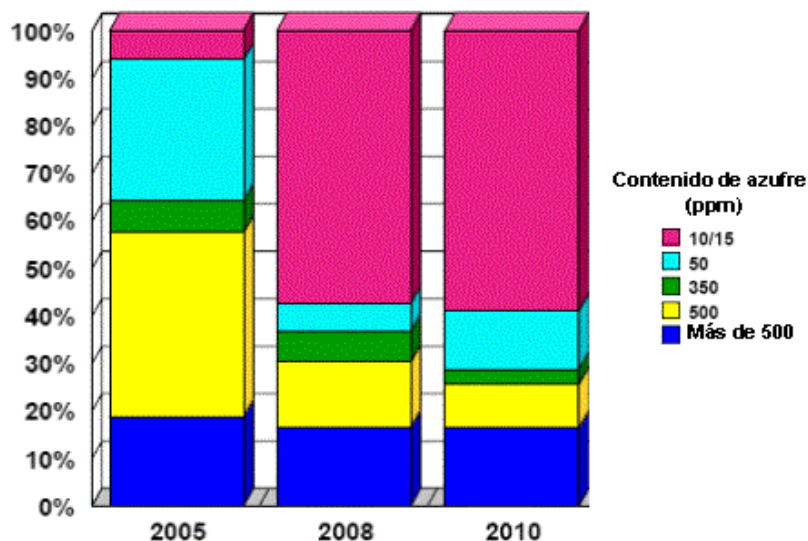
Fuente: Blumberg et al. (2004)

En Estados Unidos y Europa la introducción de nuevas tecnologías de control se da a la par de la producción de combustibles con “ultra-bajo” contenido de azufre, es decir, de 15 ppm para 2007-2010 en EUA y 10 ppm a partir de 2009 en Europa. Asimismo, otros países actualmente desarrollan estrategias para reducir el contenido de azufre en sus combustibles. Por ejemplo, en el caso de diesel, Tailandia cuenta ya con una propuesta nacional para contar con combustible con un máximo de 10 ppm de azufre para el año 2010. Vietnam tiene planes para adoptar los estándares de emisión EURO 4 y, por consiguiente, reducir el contenido de azufre en sus combustibles a 50 ppm, como lo requiere este estándar. China ya ha adoptado los estándares EURO 4, y se encuentra en proceso de autorizar límites la reducción del contenido de azufre en diesel a 50 ppm para 2010. En Brasil existen planes para reducir el contenido de azufre en diesel a 50 ppm primero para las ciudades principales, y después para todo el país. Asimismo, en muchos otros países ya existen negociaciones para reducir el contenido de azufre en diesel (Walsh, 2005).

Así, se prevé que la calidad del diesel a nivel mundial para los próximos años sea como lo muestra la

**Figura 10.**

**Figura 10. Distribución global del contenido de azufre en diesel**



Fuente: Walsh, M. (2005)

#### *Calidad de combustibles, emisiones vehiculares e impacto regulatorio en EUA*

A 2004, la gasolina estadounidense contenía un promedio de 120 ppm y un máximo de 300 ppm de azufre. Para el 2005 el promedio bajará a 90 ppm, y el máximo seguirá siendo de 300 ppm, para finalmente en el 2006 llegar a un promedio de 30 ppm y contenido máximo de 80 ppm de azufre.

De manera simultánea y en congruencia con estas reducciones se definieron normas de emisión Tier2 para vehículos, cuya instrumentación se inició en el 2004 y concluirá en el 2007.

En el caso de vehículos diesel, se prevé la introducción de diesel de bajo contenido de azufre (15 ppm) a partir del primero de junio de 2006, previendo la entrada del requerimiento EPA 2007 y, por consiguiente, la incorporación de filtros, trampas y catalizadores de NOx, en los vehículos diesel nuevos.

El estudio del impacto regulatorio elaborado por la Agencia de Protección Ambiental de los EUA (EPA, por sus siglas en inglés) evaluó tanto los costos como beneficios de la reducción del contenido de azufre en combustibles, junto con las tecnologías avanzadas de control de emisiones. En su análisis de costo beneficio, se estimaron las reducciones en emisiones de contaminantes y en las concentraciones ambientales de los mismos, así como sus impactos sobre la salud de la población. La EPA estimó que disminuir los niveles de azufre en combustibles en conjunto con mejores tecnologías vehiculares podría resultar en una reducción de 12,600 muertes solamente en el año 2030 (EPA, 1999; EPA, 2000). De acuerdo con estos datos, y haciendo la comparación de los beneficios a la salud contra los costos por la reducción de azufre en diesel y gasolina en el año 2030, los beneficios



netos serían de 91.4 miles de millones de dólares para ese año; es decir, casi **10** veces más que los costos.

### III. Descripción del proyecto de Calidad de combustibles, propuesto por Pemex Refinación

El proyecto de *Calidad de combustibles* de Pemex Refinación busca reducir el contenido de azufre en combustibles (gasolina y diesel). Los objetivos principales son:

- Cumplir con la política energética y ambiental (en materia de azufre) del Ejecutivo Federal.
- Garantizar la oferta de combustibles automotores, de acuerdo con las tendencias y requerimientos del mercado.
- Coadyuvar en el mejoramiento de la calidad del aire y del nivel de vida de los mexicanos.
- Asegurar que Pemex Refinación permanezca como una empresa de clase mundial, con productos competitivos.

#### 1. Descripción general

El proyecto considera llevar a cabo modificaciones en el esquema actual de procesamiento del SNR (equipos o instalación de plantas). Para las gasolinas se construirán plantas de postratamiento de las corrientes asociadas al proceso de craqueo catalítico; para diesel se construirán nuevas plantas de hidrot ratamiento de destilados intermedios y se modernizarán algunas existentes, dependiendo de sus condiciones físicas y de los requerimientos de operación a que serán sometidas.

Adicionalmente, se prevé la construcción de plantas de hidrógeno – que tienen como propósito suministrar este gas al postratamiento de gasolinas catalíticas – plantas hidrodesulfuradoras de diesel, plantas recuperadoras de azufre – que permitirán precipitar el azufre recuperado por el hidrot ratamiento para su almacenamiento y disposición - y plantas de tratamiento de gases de cola – que coadyuvan a reducir las emisiones a la atmósfera de los gases residuales.

El proyecto también incluye gastos asociados a su integración a la planta industrial existente y las modificaciones necesarias en servicios auxiliares para garantizar su funcionalidad.

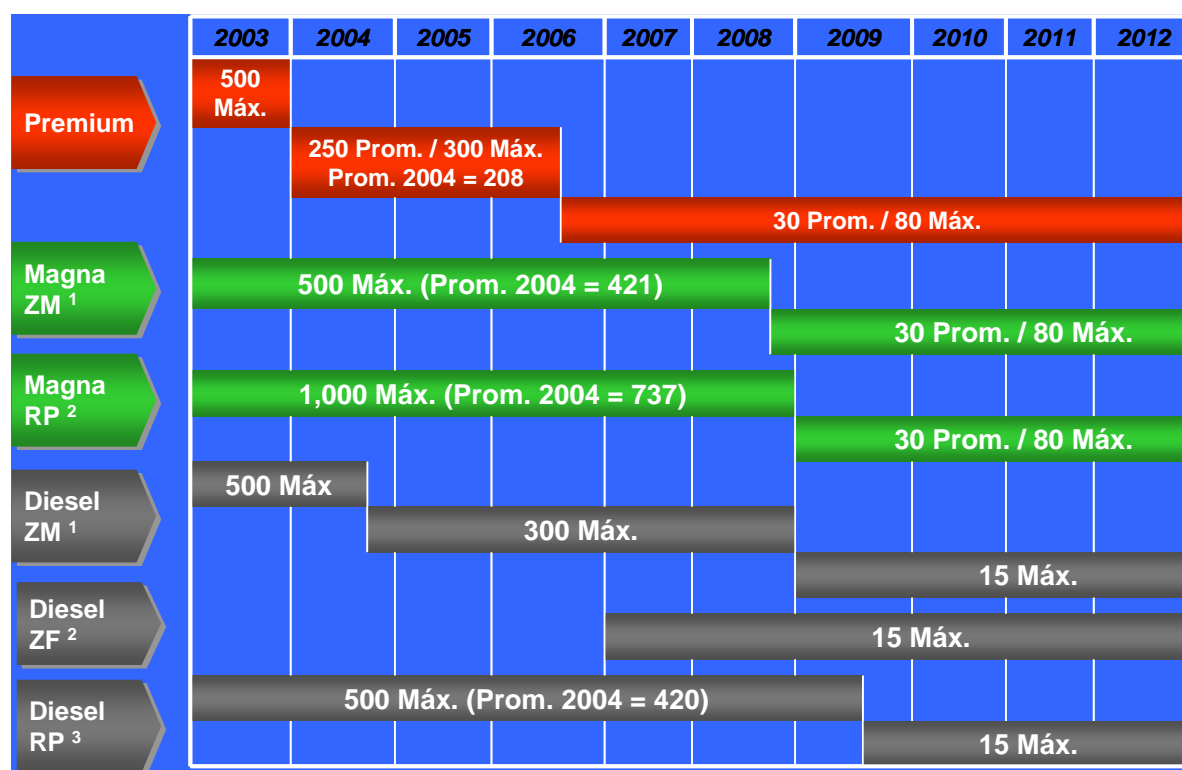
Aun cuando el proyecto de construcción y modernización de las plantas de las refinerías se iniciará en 2006, a mediados del mismo año se podrán ofrecer gasolina Premium de 30 ppm promedio importada. Esto significa que no formarían parte del proyecto como tal, sino que esta acción debe considerarse como un proceso de comercialización.

Por lo tanto, de acuerdo con la Figura 11, la Magna en las Zonas Metropolitanas entrará a

finales del 2008, y en el resto del país en enero 2009, mientras Pemex Diesel entrará al mercado a principios de 2009 en las Zonas Metropolitanas, y a mediados de 2009 en el resto del país. Cabe señalar que se ofrecerá diesel de 15 ppm en la Zona Fronteriza empezando a principios del 2007.

Para tal efecto, es indispensable iniciar el proyecto con ingenierías en 2006, dado que El proyecto completo se lleva 48 meses y las primeras plantas entrarán en el 2008.

**Figura 11. Calendario de introducción de combustibles vehiculares con bajo contenido de azufre <sup>5</sup>**



## 2. Alcance del proyecto de Calidad de combustibles

El proyecto incluirá la ingeniería básica y de detalle, procura y construcción de las plantas mencionadas anteriormente, así como las adecuaciones necesarias para su integración con la infraestructura existente en cada refinería (enlaces de comunicación con sistemas de monitoreo y control existentes, ejecución de obras civil, eléctrica o mecánica relacionada), puesta en operación, calibración, pruebas de desempeño, capacitación y mantenimiento preventivo de dichas plantas.

<sup>5</sup> Este calendario de introducción de combustibles vehiculares de bajo contenido de azufre fue presentado por las autoridades de Pemex en las oficinas de la Presidencia el 21 de septiembre del 2005 y es el mismo que se incluye en la norma NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, que se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 30 de enero de 2006.

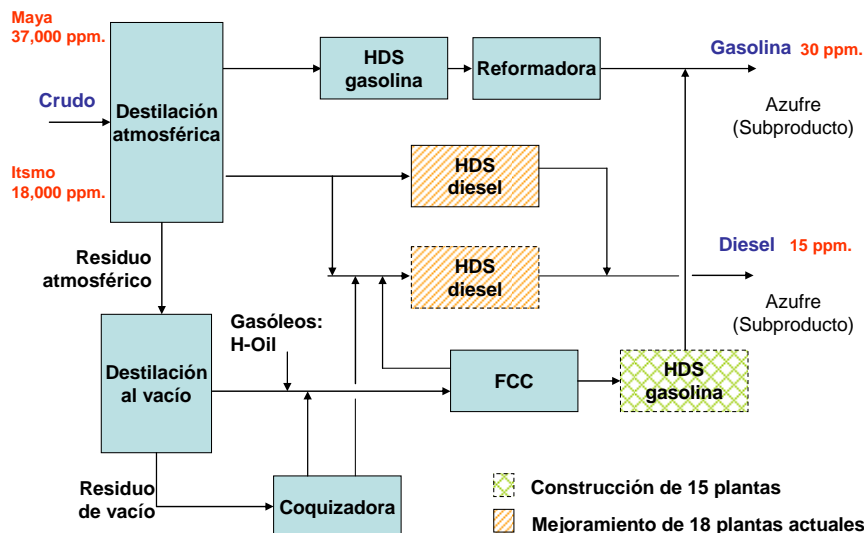


El proyecto está integrado por tres principales vertientes:

- a. Gasolina: construcción de 11 plantas de postratamiento
- b. Diesel:
  - Modernización de 18 plantas de destilados intermedios (diesel y turbosina) en las refinerías de:
    - Cadereyta (3)
    - Madero (2)
    - Minatitlán (1)
    - Salamanca (3)
    - Salina Cruz (4)
    - Tula (5)
  - Construcción 4 hidrosulfuradoras de diesel en las refinerías de:
    - Cadereyta (1)
    - Madero (1)
    - Minatitlán (2)
- c. Servicios auxiliares: construcción de siete plantas secundarias asociadas al proyecto:
  - Hidrógeno (4)
  - Azufre (3)
  - Generación de energía eléctrica (82 MW)

En el diagrama que se muestra a continuación se presenta la configuración de una refinería indicando las plantas nuevas y las modernizaciones previstas por el proyecto.

**Figura 12. Diagrama de flujo simplificado para la producción de gasolina y diesel de bajo contenido de azufre**



\* HDS: Planta hidrodesulfuradora.

El proyecto incluye plantas de hidrógeno y de recuperación de azufre.

### 3. Aspectos técnicos del proyecto de Calidad de combustibles

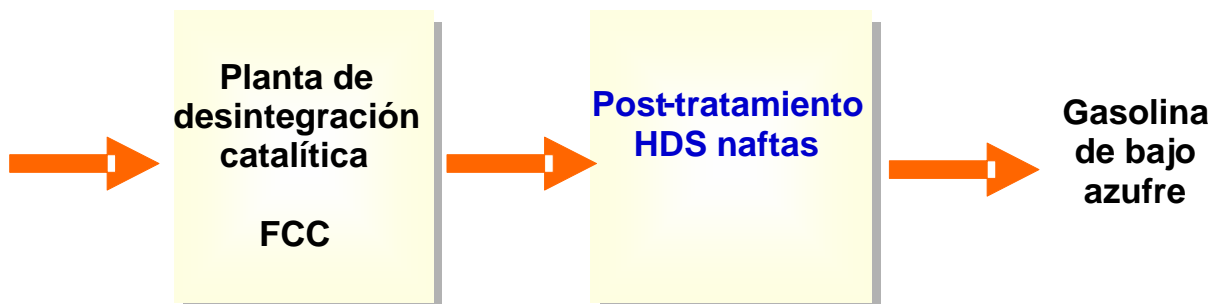
En la producción de gasolina, la nafta catalítica contribuye entre el 30-40% del total del volumen y de 80 a 90% del total del azufre. El resto lo conforman productos de bajo azufre como el alquilado, isómeros, reformado y oxigenantes, entre otros.

Por lo anterior, la estrategia para la remoción de azufre gira alrededor del tratamiento de corrientes involucradas en la unidad de desintegración catalítica (FCC), y se propone el post-tratado, que implica la remoción del azufre contenido en la nafta catalítica mediante las plantas denominadas "hidrotratamiento de naftas".

Este tipo de tecnología implica el tratamiento con hidrógeno de esta corriente. Sin embargo, se tiene una ligera pérdida de rendimiento y una disminución en el octano de la misma. Este proceso conlleva exclusivamente un costo por inversión y por incremento en el consumo de servicios auxiliares.

En la siguiente figura se presenta el esquema propuesto para la producción de gasolina con 30 ppm de azufre.

Figura 13. Esquema propuesto para gasolina de 30 ppm de azufre

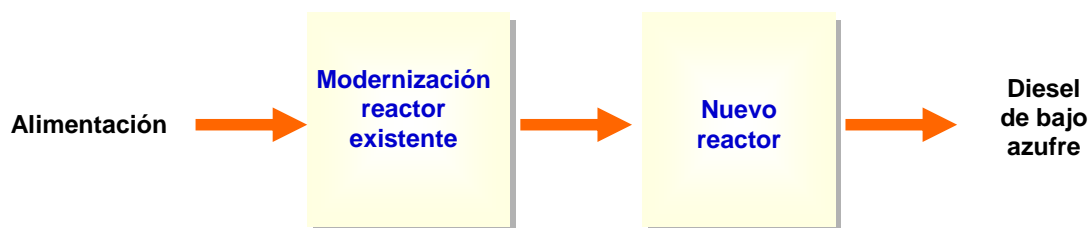


Con relación al diesel, con objeto de optimizar los recursos económicos y de infraestructura se propone lo siguiente:

- *Modernización de las unidades existentes:* se deben instalar platos de distribución más eficientes (no incluidos en las instalaciones actuales), cambiar e incrementar el volumen de catalizador, aumentar la pureza del hidrógeno en la sección de reacción, incrementar la presión de operación y disminuir el espacio velocidad dentro del reactor. Lo anterior implica mayores costos de producción por todas las modificaciones antes descritas y la demanda adicional de servicios auxiliares (vapor y electricidad principalmente). El incremento en los costos de producción sería de 106 a 124 millones de USD al año para los costos fijos, 1.8 cts por litro para el diesel y 0.04 cts por litro para gasolina. Para los costos variables del 341 a 630 MMUSD al año, en pesos por litro es de 7.5 cts para gasolina y 4 cts para diesel.
- *Adición de un tercer reactor a plantas hidrosulfurizadoras de destilados intermedios:* dado que en el SNR se cuenta con una cantidad sustancial de aceite cíclico de la planta de FCC y dado que las unidades existentes no podrían operar a presiones entre 90-100 bar para producir diesel con 15 ppm de azufre a partir de dicha corriente, por tanto, es necesario adicionar un segundo reactor para eliminar el azufre de compuestos más complejos y resistentes (tiofenos, ditiofenos, benzotiofenos, etc.). El nuevo reactor operaría a mayor severidad, utilizaría otro tipo de catalizador (NiMo) resistente a la contaminación de compuestos con azufre y a elevadas presiones de operación. Este catalizador requiere de mayor hidrógeno para saturar los compuestos de aromáticos y como resultado de dicha saturación se mejora el número de cetano, se reduce la densidad y el contenido de poliaromáticos.
- *Construcción de unidades de hidrotreatmento de destilados intermedios:* se plantea sustituir equipos existentes que por su estado físico no funcionarían con las presiones de operación requeridas 90-100 bar. Tal es el caso de los equipos de las refinerías de Cadereyta y Madero.

En la siguiente figura se presenta el esquema propuesto para la producción de diesel con 15 ppm de azufre.

**Figura 14. Esquema para la producción de diesel con 15 ppm de azufre**



Adicionalmente, se prevé la construcción de plantas de hidrógeno – que tienen como propósito suministrar este gas al postratamiento de gasolinas catalíticas y a las plantas hidrodesulfuradoras de diesel, - plantas recuperadoras de azufre – que permitirán producir azufre sólido del gas ácido recuperado por el hidrotreatment para su almacenamiento y venta - y plantas de tratamiento de gases de cola – que coadyuvan a reducir las emisiones a la atmósfera de los gases residuales.

#### 4. Programa de ejecución

Durante 2006 se desarrollarán las ingenierías básicas.

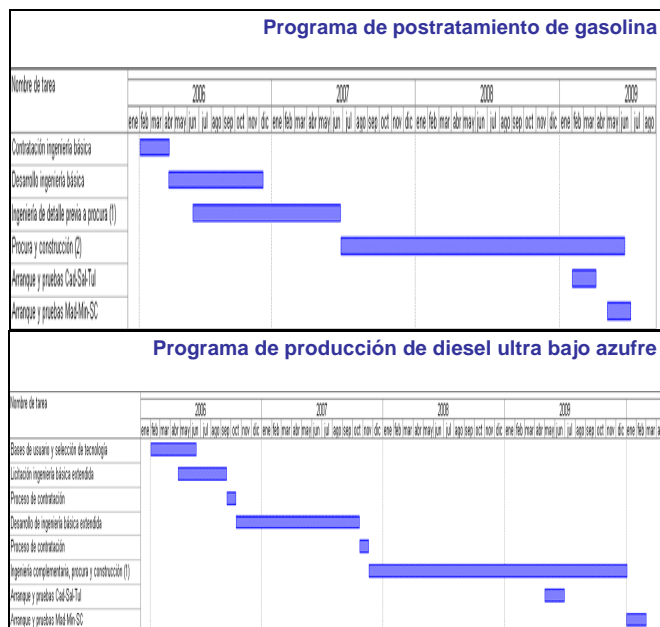
En 2007, con recursos Pidiregas (Proyectos de Infraestructura Diferidos en el Registro del Gasto), se iniciarán los proyectos de mejoramiento de gasolinas: Cadereyta, Salamanca y Tula, para surtir en abril de 2009 las zonas metropolitanas de la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey.

Se continuará con Madero, Salina Cruz y, por último, Minatitlán, para articularlo con el desarrollo de la reconfiguración en proceso.

En cuanto al diesel, en 2007 iniciarán los proyectos de modernización de hidrodesulfuradoras y la construcción de las plantas nuevas.

Los servicios auxiliares deben desarrollarse a la par que las plantas.

**Figura 15. Programa de ejecución del proyecto de calidad de combustibles de Pemex Refinación, 2006-2010**



#### IV. Situación ambiental sin proyecto de Calidad de combustibles

Esta sección incluye una estimación de las emisiones que se tendrían para cuatro contaminantes atmosféricos,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ , hidrocarburos totales (HCT) y  $\text{NO}_x$  para el período 2004-2020, de no contarse con el proyecto de *Calidad de combustibles* (línea base).

Las figuras 17 y 18 muestran los escenarios de estas emisiones para todo el país. Las estimaciones que se muestran se realizaron proyectando la flota vehicular y los factores de emisión, incorporando la renovación natural de la flota. Con respecto a la definición de la distribución de la flota vehicular y a la caracterización de la misma a nivel nacional se utilizó la base de datos de la empresa Melgar, A.C. (Melgar, 2004). Para la proyección de esta información hasta el año 2020 se utilizó la metodología que ha desarrollado la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal para realizar el inventario de emisiones de la ZMVM (GDF, 2000). Para estimar la emisión de contaminantes por vehículo se aplicó el modelo Mobile6-Mexico cada año hasta 2020 (véase el anexo 1 para detalles sobre la metodología) que incorporan las características de la flota vehicular en su cálculo (como la edad promedio etc.).

Asimismo, para las estimaciones de la línea base se asumió que no habría introducción de nuevas tecnologías vehiculares, debido a que éstas requieren de combustibles de bajo contenido de azufre. En el caso de vehículos a gasolina, la NOM-042-SEMARNAT-2003 condiciona la entrada en vigor de límites máximos permisibles más estrictos (equivalentes a los estándares de EU conocidos como Tier 2) hasta que se cuente en todo el país con gasolina de bajo azufre (30/80 ppm) (SEMARNAT, 2005). Para vehículos a diesel, debido

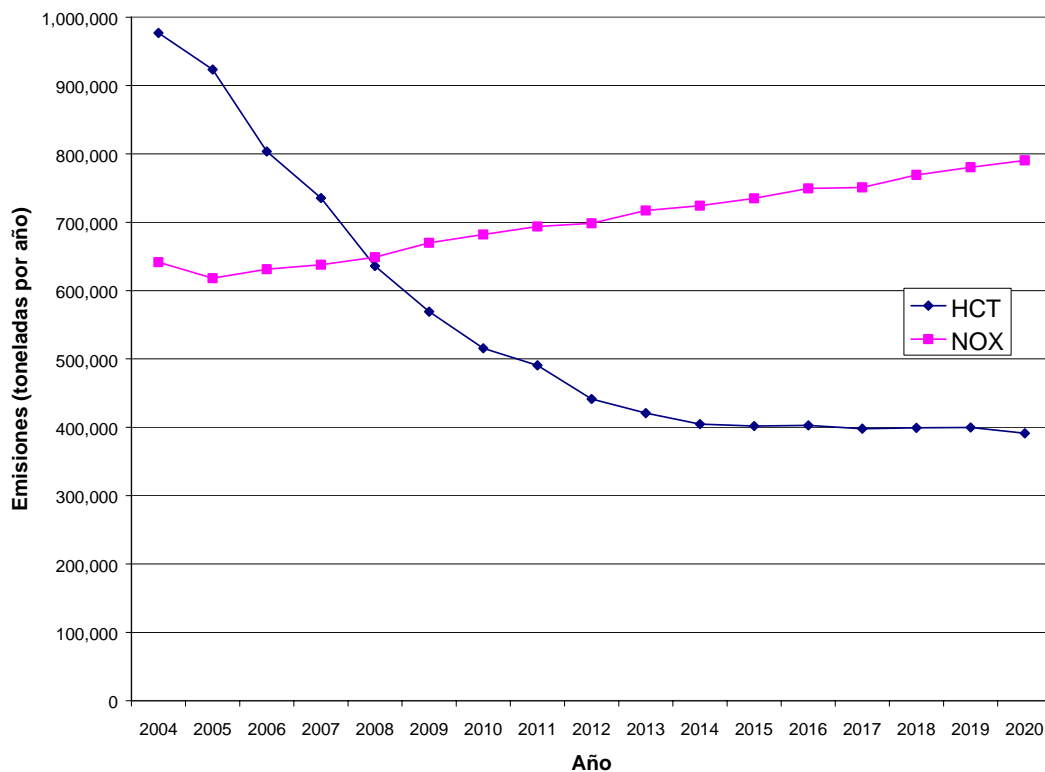
a que la NOM-044-SEMARNAT-1993 se encuentra actualmente en revisión, se asumió que la introducción de nuevas y mejores tecnologías de control de emisiones se daría en el momento en el que se contara con diesel de 15 ppm como concentración máxima; de esta forma se guardó consistencia con los supuestos utilizados para los vehículos a gasolina. Cabe mencionar, que si bien pudo haberse considerado la introducción del estándar EPA 2004 con las concentraciones actuales de azufre en el diesel que se comercializa actualmente, se decidió no hacerlo dadas las modificaciones que sufre actualmente la norma correspondiente y para ser consistentes con el enfoque utilizado para los vehículos a gasolina.

**Figura 16. Proyección de emisiones de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> *sin* proyecto (sin la reducción de azufre en diesel y gasolina vehiculares)**



Fuente: INE (2006), elaboración propia.

**Figura 17. Proyección de emisiones de HCT y NOx *sin* proyecto (sin la reducción de azufre en diesel y gasolina vehiculares)**



Fuente: INE (2006), elaboración propia.

Como se observa en ambas figuras, aún bajo la suposición de que no se contara con el proyecto de *Calidad de combustibles*, las emisiones de partículas suspendidas finas e HCT presentan una tendencia decreciente, debido a que los vehículos a diesel y gasolina de construcción reciente que están en circulación (por ejemplo, aquellos posteriores a 1991 y 1993, que ya contaron con convertidores catalíticos de una vía y tres vías, respectivamente) son mucho más limpios que los vehículos más viejos; por ello, la renovación natural de la flota --tendiente al reemplazo de aquellos vehículos sin ningún tipo de sistemas de control de emisiones-- tendría por sí misma este beneficio relativo.

En cambio, en el caso de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> la combinación de las tecnologías vehiculares actuales -e incluso de la incorporación a la circulación de vehículos-, con tecnologías avanzadas para el control de emisiones, con el crecimiento de la flota vehicular previsto para los próximos años y con combustibles con un elevado contenido de azufre, no sólo no reduciría las emisiones, sino que produciría un incremento considerable de las mismas a nivel nacional. Estos dos contaminantes son de suma relevancia en términos de calidad del aire, por asociarse ambos con partículas suspendidas y ozono, contaminantes que rebasan mayormente las normas de calidad del aire en varias de las grandes ciudades del país. El SO<sub>2</sub> y los NO<sub>x</sub> son precursores de partículas suspendidas finas y, en el caso de los segundo, son también precursores de ozono, amén de también asociarse con la formación



de la lluvia ácida.

## V. Situación ambiental con el proyecto de Calidad de combustibles

En la siguiente sección se presentan los resultados de la evaluación del impacto de la implementación del proyecto de *Calidad de combustibles* de Pemex Refinación, es decir, de las reducciones en el contenido de azufre en gasolina y diesel de uso vehicular, de acuerdo con las especificaciones y calendario de introducción incluidos en la norma NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 (ver Figura 11), simultáneamente con la introducción de nuevas tecnologías vehiculares, para el período 2006-2020.<sup>6</sup> Para el análisis del escenario de control (con proyecto), se tomó la misma proyección de la flota vehicular como en la línea base y se generaron factores de emisión con los supuestos de las nuevas tecnologías vehiculares y combustibles (véase el anexo 1 para detalles sobre la metodología). La Figura 18 y la 19 presentan las reducciones estimadas de emisiones de SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>, HCT y NO<sub>x</sub> para el período 2006-2020. Como puede observarse, los beneficios por la introducción de combustibles con bajo contenido de azufre y de mejores tecnologías vehiculares son inmediatos y se mantienen durante todo el período de análisis, incluso incrementándose con el tiempo.

Las estimaciones de las emisiones contaminantes muestran que la introducción de combustibles con bajo contenido de azufre conllevan a una reducción inmediata de las mismas. Las reducciones de las emisiones, representadas por la diferencia entre las líneas del escenario base (sin proyecto) y el escenario con el proyecto de *Calidad de combustibles*, continúan más allá del año 2020 y, de hecho, presentan un incremento en el tiempo, como se puede observar en ambas figuras. Esto se debe a que continúan, tanto el uso de combustibles con bajo contenido de azufre, como la renovación de la flota vehicular, resultando en beneficios que se siguen manifestando muchos años después de la entrada en vigor de la NOM-086.

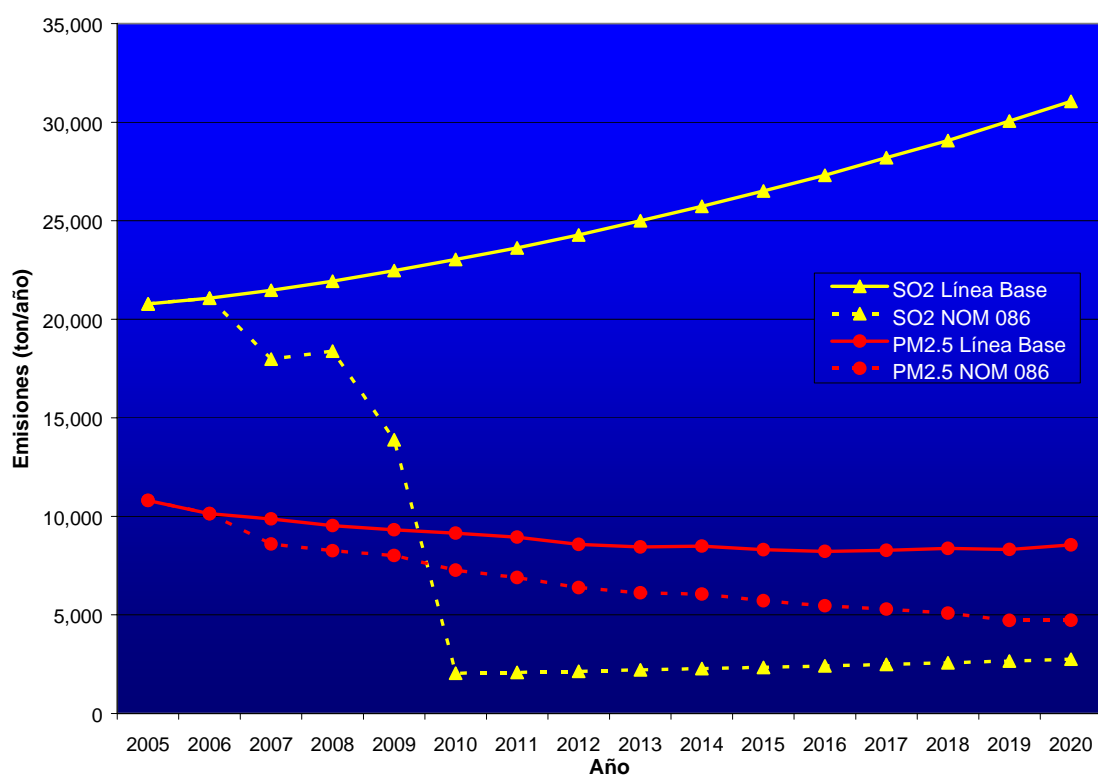
Para SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> la diferencia entre las emisiones de la línea base y el escenario con el proyecto de *Calidad de combustibles* es mucho mayor que para las de PM<sub>2.5</sub> e HCT. En el caso de SO<sub>2</sub>, el comportamiento de la curva con proyecto refleja las diferentes etapas en el calendario de la introducción de contenido gradualmente decreciente de azufre en los combustibles. Para NO<sub>x</sub>, la disminución de emisiones se presenta sólo bajo el escenario de combustibles con bajo contenido de azufre, debido a que sólo las tecnologías avanzadas con sistemas de control de emisiones pueden reducir significativamente las

<sup>6</sup> La estimación de beneficios –que incluye cálculo de emisiones vehiculares, modelación de calidad del aire, estimación de impactos en la salud y la valoración económica- se realizó utilizando la mejor información disponible a nivel nacional e internacional. No obstante, su resolución no permite evaluar los impactos ambientales diferenciando aquellos de las zonas metropolitanas de los del resto del país. Adicionalmente, las estimaciones que se realizan en el presente análisis son anuales, por lo que en el calendario de introducción de combustibles se asumió lo siguiente:

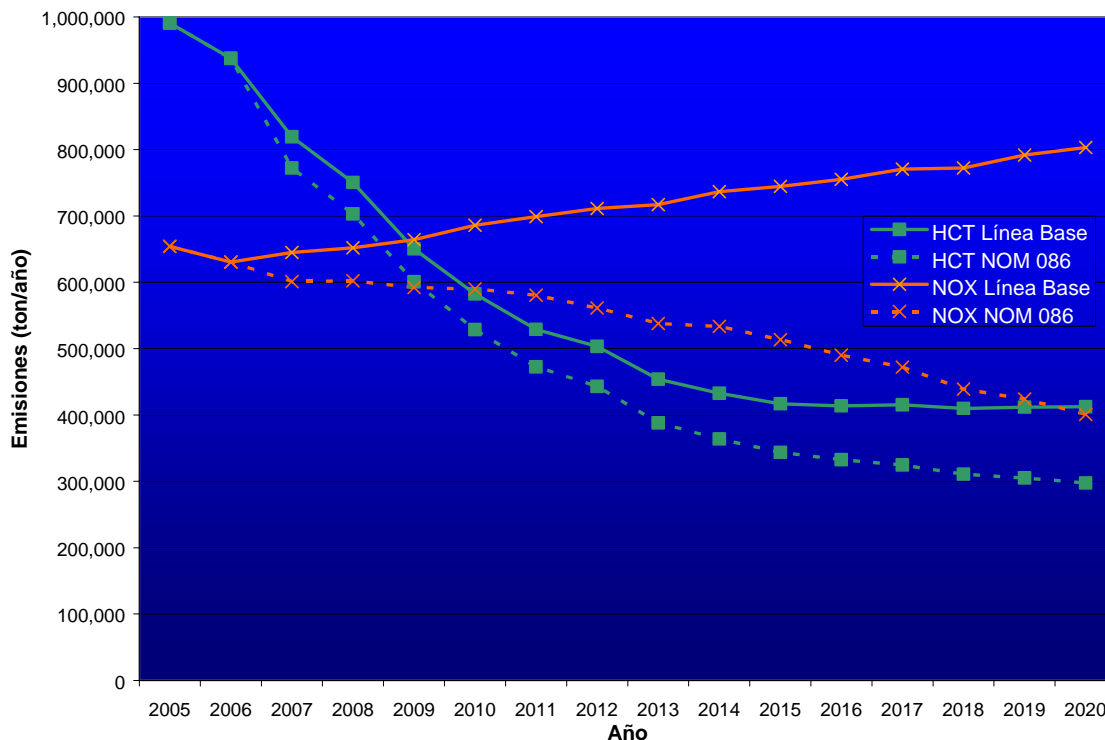
- 1) La gasolina Premium con un contenido de azufre de 30/80 ppm se comercializa en el país a principios de 2007.
- 2) La gasolina Magna con concentraciones de azufre de 30/80 ppm se comercializa en todo el país a principios del 2009.
- 3) El Diesel con niveles de azufre de 15 ppm como máximo se comercializa en todo el país a principios del 2010.

emisiones de estos contaminantes y éstas, para un funcionamiento eficiente, requieren combustibles con bajo contenido de azufre.

**Figura 18. Emisiones de SO<sub>2</sub> y PM<sub>2.5</sub> estimadas para la línea base (sin proyecto) y para el proyecto de calidad de combustibles de PEMEX.**



**Figura 19. Emisiones de HCT y NOx estimadas para la línea base (sin proyecto) y para el proyecto de calidad de combustibles de PEMEX.**



En forma complementaria a las figuras 18 y 19, el Cuadro 8 presenta las reducciones de las emisiones por la introducción de combustibles de bajo contenido de azufre a la par de nuevas tecnologías vehiculares. Es decir, se presenta la diferencia de emisiones (en toneladas emitidas por año) entre la curva de la línea base y la curva del escenario del proyecto de *Calidad de combustibles* (bajo azufre). En este cuadro se incluye la extrapolación de las reducciones de emisiones del año 2020 hasta el año 2030.

**Cuadro 8. Reducciones en las emisiones de contaminantes a la atmósfera por la introducción de combustibles con bajo contenido de azufre y la introducción de nuevas tecnologías vehiculares, 2006-2030\***

Año	Reducción en las emisiones contaminantes			
	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>x</sub>	HCT	SO <sub>2</sub>
	(ton/año)			
2006	0	0	0	0
2007	1,268	43,652	47,120	3,490
2008	1,284	49,621	47,294	3,541
2009	1,299	71,879	49,491	8,587
2010	1,872	95,998	53,409	20,994



Año	Reducción en las emisiones contaminantes			
	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>x</sub>	HCT	SO <sub>2</sub>
	(ton/año)			
2011	2,047	118,262	56,385	21,539
2012	2,190	150,229	60,447	22,136
2013	2,328	179,171	65,584	22,790
2014	2,434	202,957	68,855	23,461
2015	2,598	230,793	73,288	24,169
2016	2,763	264,940	81,305	24,893
2017	2,982	298,623	90,592	25,712
2018	3,286	333,327	99,310	26,509
2019	3,599	367,714	106,853	27,408
2020	3,826	402,454	114,784	28,307
2021	4,052	437,193	122,715	29,206
2022	4,279	471,932	130,646	30,105
2023	4,505	506,672	138,578	31,004
2024	4,732	541,411	146,509	31,904
2025	4,959	576,151	154,440	32,803
2026	5,185	610,890	162,371	33,702
2027	5,412	645,630	170,302	34,601
2028	5,638	680,369	178,233	35,500
2029	5,865	715,108	186,165	36,400
2030	6,091	749,848	194,096	37,299

\* Para la estimación de la reducción de emisiones hasta el año 2030, se realizó una extrapolación a partir del año 2020.

Fuente: INE (2006), elaboración propia.

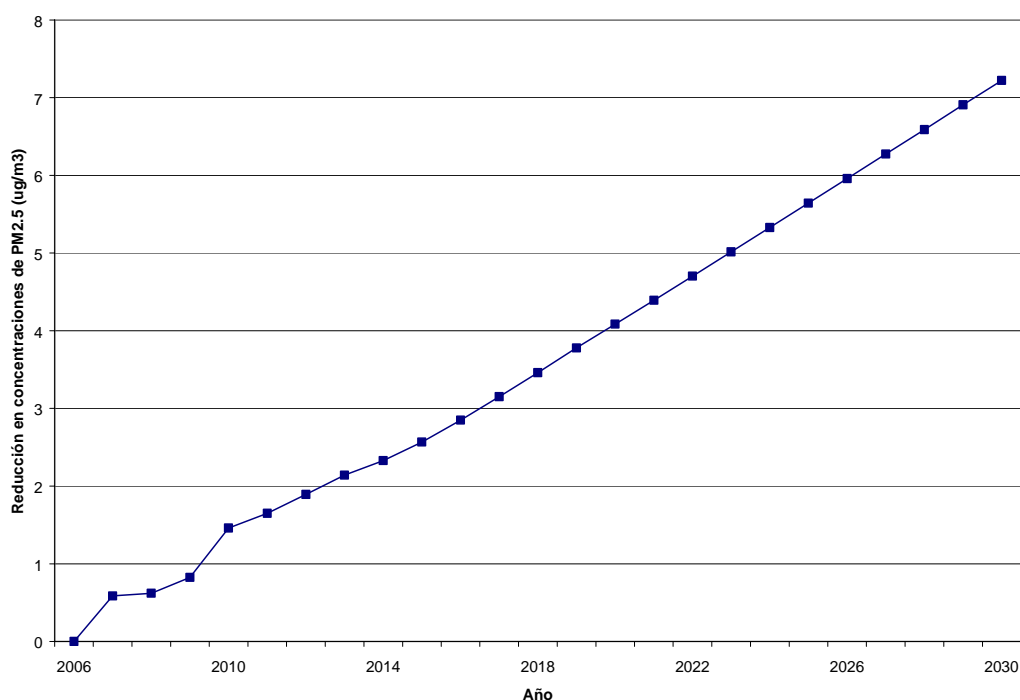
Las siguientes fases del presente análisis se centraron en los contaminantes y efectos que han tenido una mayor contribución a los beneficios en salud, cuantificados en otras evaluaciones, tales como las realizadas por el Banco Mundial y la US-EPA, entre otras (Cesar et al., 2002; EPA, 1999).

Con base en la estimación de las emisiones, con y sin proyecto de *Calidad de combustibles*, se evaluó el impacto que se tendría en las concentraciones de partículas suspendidas de la fracción fina (PM<sub>2.5</sub>) ponderadas por población. Lo anterior se realizó utilizando modelos reducidos de calidad del aire (véase el anexo 1 para detalles sobre la metodología e insumos para la modelación). En la figura 20 pueden observarse las reducciones esperadas en las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> como consecuencia de la reducción en el contenido de azufre en gasolina y diesel vehiculares.

Para poner en perspectiva el efecto que las reducciones de emisiones tendrían en las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> en la ZMVM (este ejercicio sólo puede realizarse en esta zona metropolitana por ser la única que cuenta con mediciones de PM<sub>2.5</sub>) se estimó la reducción porcentual durante el período de análisis, partiendo de las concentraciones registradas en

las estaciones de monitoreo de la RAMA (cuadro 9).<sup>7</sup> Esta comparación preliminar indica que para el año 2030, el proyecto de *Calidad de combustibles* de Pemex podría resultar en reducciones de hasta 25% en las concentraciones ambientales de  $PM_{2.5}$ , suponiendo que sin el proyecto los niveles de  $PM_{2.5}$  quedarían constantes. Cabe señalar que los niveles de  $PM_{2.5}$  en la ZMVM están sujetos a múltiples fuentes de emisión, incluidas las fuentes móviles, pero también otros procesos de combustión realizados a altas temperaturas, como son las actividades industriales. Por ello, las concentraciones de este contaminante pudieran incrementarse o reducirse en el futuro, dependiendo de factores tales como el crecimiento de la población y de actividades económicas, además de la potencial instrumentación de medidas de control para otras fuentes emisoras.

**Figura 20. Reducción en las concentraciones de  $PM_{2.5}$  anuales ponderadas por población en la ZMVM por la reducción de azufre en combustibles, 2006-2030**



<sup>7</sup> El promedio de las concentraciones de  $PM_{2.5}$  ponderadas por población del 2003 al 2004 en la ZMVM fue de  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Cuadro 9. Reducción porcentual de las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> con respecto a las concentraciones actuales, por la reducción de azufre en combustibles en la ZMVM, 2006-2030**

Año	2006	2007	2008	2009	2010	2015	2020	2025	2030
% de reducción	0%	2%	2%	3%	5%	9%	14%	20%	25%

Fuente: INE (2006), elaboración propia.

## VI. Evaluación costo-beneficio de la reducción del azufre en combustibles

### 1. Identificación, cuantificación y valoración de costos

#### 1.1 Inversión y costos de operación del proyecto calidad de combustibles (reducción de azufre en gasolinas y diesel)

En este apartado se muestran los costos asociados con la ejecución de este proyecto para suministrar a la sociedad gasolinas y diesel de bajo azufre, a partir de las fechas establecidas en el cronograma referido anteriormente.

##### *Inversión*

El total requerido es de 2,697 mmusd (del orden de 30.8 mil millones de pesos), cifra compuesta por 2,382 para ingeniería, procura y construcción (IPC); 205 mmusd correspondientes a ingenierías básicas, supervisión, administración y a la construcción de las primeras plantas; y, 110 mmusd, de intereses capitalizables<sup>8</sup>.

Los 2,587 millones de dólares para IPC e ingenierías incluyen los costos de servicios auxiliares e integración, así como los correspondientes a las plantas nuevas de hidrógeno y azufre.

##### *Costos de operación*

La disminución del contenido de azufre en los combustibles implica un costo adicional en términos de operación para el Sistema Nacional de Refinación.

Los costos se dividen en variables y fijos. Cada uno de ellos se calcula de manera distinta. Los costos incrementales de operación variables consisten principalmente en los autoconsumos de combustible y la logística adicional. Los costos fijos consisten principalmente en mantenimiento, mano de obra, seguros y otros gastos generales. Es conveniente aclarar que las instalaciones nuevas se ubican dentro de las refinerías por lo que no se adquieren predios, derechos de vía, etc; de lo contrario el costo del proyecto

<sup>8</sup> El proyecto se pretende sea financiado con un esquema PIDIREGAS (como ya fue acordado por la CIGF); dentro de la normatividad de éstos resulta relevante el apartado de intereses; si fuera realizado con recursos presupuestales no tendría sentido.

sería incompleto.

### *Precios incrementales en gasolina y diesel*

La inversión y los costos de operación determinan el incremento de precio requerido para cada producto, considerando que Pemex Refinación no tendrá ningún beneficio, por lo que el valor presente neto para el Organismo, incluyendo financiamiento, es igual a cero, utilizando una tasa de interés de 12%.

El esquema propuesto considera que la inversión y el costo operacional incremental se recuperan en los primeros diez años y posteriormente el aumento de precio sólo será para cubrir los costos de operación.

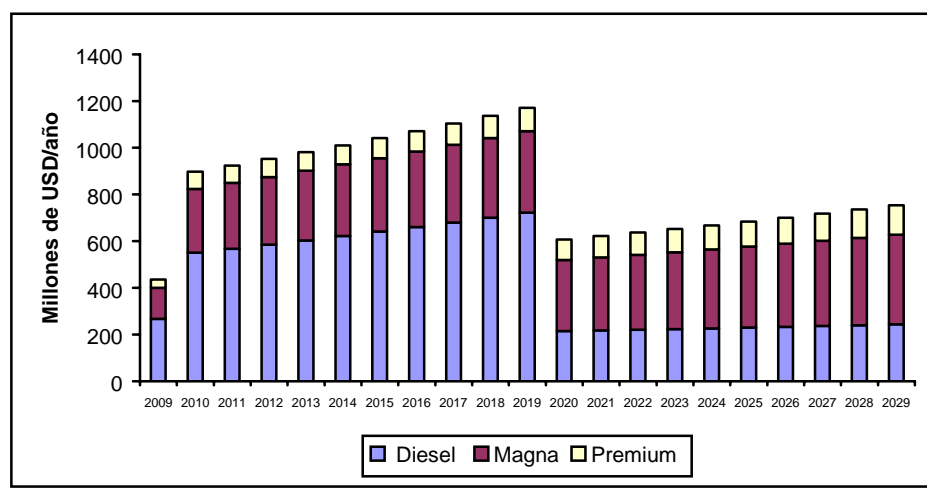
**Cuadro 10. Centavos de peso por litro**

	Gasolinas	Diesel
Primeros diez años	8.9	30.5
Siguientes diez años	7.6	8.2

### **1.2 Costos para la sociedad por la reducción de azufre en gasolinas y diesel**

El sobreprecio referido, multiplicado por la demanda nacional de cada combustible, arroja el costo para la sociedad de la implantación de la reducción de azufre en combustibles de transporte, tal y como se muestra en la Figura 21.

**Figura 21. Costos sociales del proyecto de calidad de combustibles de Pemex Refinación**



De no llevar a cabo el proyecto de Calidad de los Combustibles, para cubrir la demanda sería necesario exportar los productos de Pemex Refinación e importar gasolinas y diesel



de bajo azufre que se evalúa en la sección VII.

## 2. Identificación, cuantificación y valoración de beneficios

En esta sección se presentan beneficios en la salud asociados con la reducción, en primera instancia, de las emisiones de contaminantes atmosféricos, y, en consecuencia, también de las concentraciones atmosféricas de partículas suspendidas de la fracción fina. (véase el anexo 1 para los detalles sobre las metodologías e insumos para los modelos).

La selección de los eventos en salud seleccionados para el presente análisis se basa en la consistencia de los estudios nacionales e internacionales, por tratarse de los beneficios potenciales en salud que son los más importantes y aquellos que permiten una evaluación cuantitativa, dada la información científica y económica disponible. Para tal efecto, se utilizó la mejor información disponible de estudios epidemiológicos para bronquitis crónica, mortalidad y días perdidos de trabajo y de actividad restringida. Los métodos epidemiológicos utilizan las diferencias en la exposición a contaminantes atmosféricos de poblaciones humanas para evaluar las diferencias en las tasas de enfermedades o mortalidad, por ejemplo. Así, aquí se presenta la evaluación de los beneficios en salud por la introducción de combustibles con bajo contenido de azufre y con el mejoramiento de la tecnología vehicular en términos del número de casos evitados (bronquitis crónica y mortalidad total), así como de días perdidos de trabajo y de actividad restringida (Cuadro 11). Como se observa en el Cuadro 11, durante el período 2006-2030 se podrían evitar casi 56,000 muertes, más de 165,000 casos de bronquitis crónica y 84 millones días perdidos de trabajo y de actividad restringida totales.

**Cuadro 11. Beneficios en la salud (casos evitados y días perdidos) por la introducción de combustibles de bajo azufre y nuevas tecnologías vehiculares, 2006-2030**

Año	Mortalidad total* (# casos)	Bronquitis crónica (# casos)	Días perdidos de trabajo (# días)	Días de actividad restringida por enfermedades respiratorias (#días)
2006	0	0	0	0
2007	233	862	36,990	476,100
2008	253	928	39,120	508,400
2009	349	1,257	52,550	689,300
2010	636	2,266	93,090	1,232,000
2011	736	2,606	104,900	1,400,000
2012	864	3,040	119,900	1,612,000
2013	1,001	3,494	135,100	1,829,000
2014	1,118	3,860	146,700	1,998,000
2015	1,265	4,319	161,300	2,209,000
2016	1,442	4,867	178,700	2,459,000
2017	1,640	5,462	197,400	2,727,000

Año	Mortalidad total* (# casos)	Bronquitis crónica (# casos)	Días perdidos de trabajo (# días)	Días de actividad restringida por enfermedades respiratorias (#días)
2018	1,854	6,085	216,600	3,004,000
2019	2,085	6,735	236,300	3,289,000
2020	2,323	7,379	255,200	3,563,000
2021	2,577	8,044	274,300	3,842,000
2022	2,846	8,726	293,600	4,123,000
2023	3,133	9,425	312,900	4,406,000
2024	3,439	10,140	332,300	4,693,000
2025	3,764	10,870	351,800	4,982,000
2026	4,110	11,610	371,300	5,274,000
2027	4,475	12,350	391,000	5,568,000
2028	4,863	13,100	410,600	5,864,000
2029	5,272	13,850	430,200	6,162,000
2030	5,701	14,600	449,800	6,461,000
Total	55,977	165,874	5,591,650	78,370,800

La mortalidad total incluye mortalidad prematura en adultos mayores de 30 años, tanto por causas cardiopulmonares, como por cáncer de pulmón, y, también en infantes, por causas respiratorias y el síndrome de muerte súbita infantil.

Fuente: INE (2006), elaboración propia.

Cabe aclarar, que las cifras de mortalidad total incluyen mortalidad prematura en adultos mayores de 30 años (por causas cardiopulmonares y cáncer de pulmón) y en infantes (por causas respiratorias y el síndrome de muerte súbita infantil). El desglose de las muertes por causa se encuentra en el Cuadro 12.

**Cuadro 12. Beneficios en la mortalidad desglosada por causa (casos evitados) por la introducción de combustibles de bajo azufre y nuevas tecnologías vehiculares, 2006-2030**

Año	Mortalidad cardiopulmonar	Mortalidad por cáncer de pulmón	Mortalidad infantil por causas respiratorias	Mortalidad por síndrome de muerte súbita infantil
	(# de casos)			
2006	0	0	0	0
2007	207	15	11	0
2008	225	16	12	0
2009	311	22	16	1
2010	567	41	27	1
2011	657	47	31	1
2012	773	56	35	1

Año	Mortalidad cardiopulmonar	Mortalidad por cáncer de pulmón	Mortalidad infantil por causas respiratorias	Mortalidad por síndrome de muerte súbita infantil
	(# de casos)			
2013	897	64	39	1
2014	1003	72	42	1
2015	1136	82	45	2
2016	1297	93	50	2
2017	1477	106	55	2
2018	1672	120	59	2
2019	1883	136	64	2
2020	2101	151	68	2
2021	2334	168	72	2
2022	2582	185	76	3
2023	2846	204	80	3
2024	3128	224	84	3
2025	3429	244	88	3
2026	3749	266	91	3
2027	4088	289	95	3
2028	4448	314	98	3
2029	4828	339	101	3
2030	5227	366	104	4

Fuente: INE (2006), elaboración propia.

Ahora, para determinar el valor económico de estos beneficios en la salud se siguieron metodologías de disponibilidad a pagar<sup>9</sup> y productividad perdida<sup>10</sup> (anexo 1). En el primer caso y debido a la falta de estudios mexicanos, se utilizaron valores de un meta-análisis<sup>11</sup> de estudios realizados en Estados Unidos, ajustados al ingreso mexicano, y, en el segundo se utilizaron datos del único estudio llevado a cabo en México.

Como se puede observar en la figura 22 los beneficios monetarios van incrementándose cada año por los ahorros en salud pública. Esto puede relacionarse con los beneficios que se tendrían dada la continua renovación de la

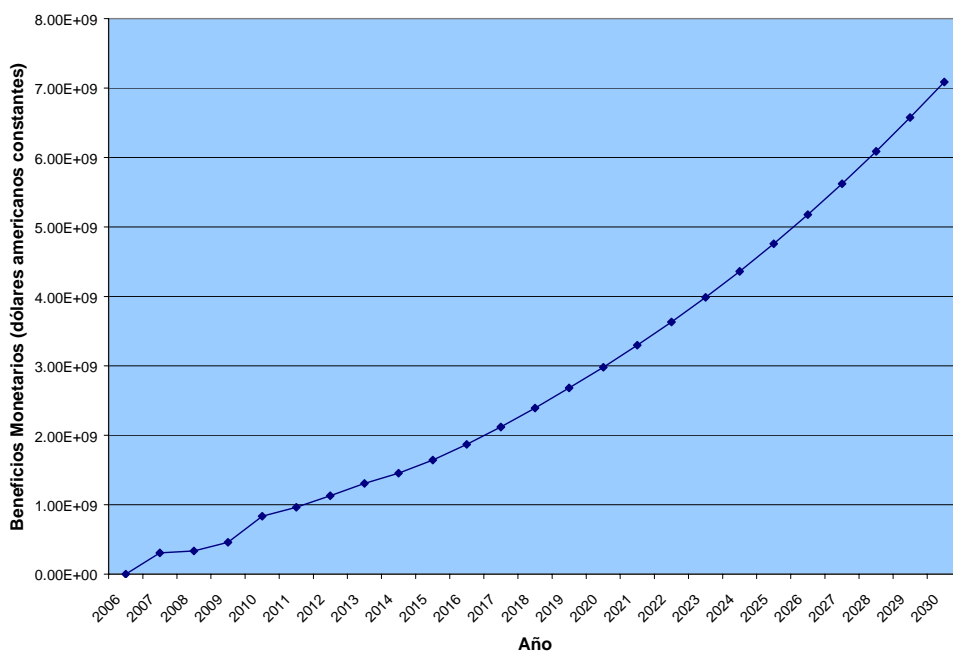
<sup>9</sup> La disponibilidad a pagar es una metodología de valoración económica de salud que cuantifica el monto de dinero que se está dispuesto a pagar para evitar un caso de enfermedad o para reducir el riesgo de mortalidad o morbilidad.

<sup>10</sup> La pérdida de productividad es un enfoque de la valoración económica de salud, que se basa en la estimación del tiempo de trabajo perdido debido a una enfermedad o muerte, con las consecuentes pérdidas en la producción.

<sup>11</sup> El meta-análisis es una técnica estadística que permite combinar resultados de diferentes estudios; para el caso de estudios epidemiológicos, permite tener un estimador central conjunto, siempre y cuando los estudios se hayan realizado utilizando el mismo diseño y evalúen las mismas exposiciones y efectos en salud.

flota vehicular con vehículos que cuentan con sistemas de control de emisiones que funcionan eficientemente con combustibles con bajo contenido de azufre; esto permite que los beneficios continúen incluso muchos años después de la introducción de combustibles de bajo contenido de azufre.

**Figura 22. Beneficios monetarios por la introducción de combustibles con bajo contenido de azufre, 2006-2030**



Estos resultados son coherentes con aquellos de estudios similares realizados para la ZMVM (Evans et al., 2002, César et al., 2002) en los que se estimó que una reducción del 10% en las concentraciones de partículas y ozono resultaría en un beneficio de entre 760 y 2,200 millones de dólares —sólo para la ZMVM. Asimismo, estos resultados proporcionan confianza en el presente estudio, en la metodología aplicada y en los resultados obtenidos.

Adicionalmente, la experiencia en otros países ha sido similar. La EPA de Estados Unidos ha estimado que disminuir los niveles de azufre en los combustibles vehiculares en conjunto con la introducción de mejores tecnologías vehiculares podría resultar en una disminución de 12,600 muertes, solamente para el año 2030 (EPA, 1999; EPA, 2000), aunque debido a diferencias en la composición demográfica y el tamaño de las poblaciones entre los dos países, no se puede comparar esta cifra directamente con México. De acuerdo con estos datos, la EPA considera que, comparando los beneficios a la salud y los costos de la reducción de azufre en diesel y gasolina, los beneficios netos serían de 91.4 mil millones de dólares. De la misma manera, en Europa, la Agencia Ambiental de la Unión Europea ha calculado que los beneficios por la reducción del nivel de azufre en gasolina y diesel de 50 ppm a 10 ppm representaría beneficios netos con un valor presente de 2.7 mil millones de euros (DGE, 2001).

### 3. Comparación de costos con beneficios

Debido a la naturaleza de los costos y los beneficios se presentan variaciones año con año, por lo que la mejor manera de establecer una comparación entre ambos es utilizando los flujos anuales de ambas estimaciones, calculando su valor presente. En el Cuadro 13 se presenta el desglose de los costos y beneficios por año, ambos se presentan en valores reales, ajustados por la inflación al año 2005. Como se observa, los beneficios comienzan a presentarse antes que los costos (en los años 2007 y 2008) ya que en estos años se prevé la importación de gasolinas de bajo contenido de azufre. Debido a que actualmente se importa este combustible, los costos adicionales asociados con la reducción del contenido de azufre en los combustibles importados no fueron incluidos en este análisis.

**Cuadro 13. Costos y beneficios totales por año (en millones de dólares constantes), 2006-2030**

Año	Costos totales	Beneficios totales	Beneficios netos
2006	--	0	--
2007	--	307	307
2008	--	333	333
2009	435	458	23
2010	897	832	-65
2011	924	962	38
2012	952	1,128	176
2013	981	1,305	324
2014	1,010	1,454	444
2015	1,041	1,643	602
2016	1,072	1,869	797
2017	1,104	2,119	1,015
2018	1,137	2,390	1,253
2019	1,171	2,682	1,511
2020	607	2,979	2,372
2021	622	3,296	2,674
2022	636	3,631	2,995
2023	652	3,986	3,334
2024	667	4,361	3,694
2025	684	4,758	4,074
2026	700	5,179	4,479



Año	Costos totales	Beneficios totales	Beneficios netos
2027	717	5,623	4,906
2028	735	6,089	5,354
2029	753	6,578	5,825
2030	772	7,090	6,318
<b>VPN(2005), al 12%</b>	\$4,683	\$11,373	\$6,690
VPN= valor presente neto.			
Fuente: INE y Pemex (2006), elaboración propia.			

Utilizando una tasa de descuento de 12% se obtuvo el valor presente de los costos y de los beneficios (Cuadro 13), obteniéndose un **valor presente de costos de \$4,683 millones de dólares** y, de **beneficios, de \$11,373 millones de dólares**. Esto significa que el **valor presente neto es de \$6,690 millones de dólares**, con un cociente de beneficio/costo igual a dos; es decir, los beneficios son **dos veces mayores que los costos**.

#### 4. Análisis de sensibilidad

##### *Cambios en variables relevantes en el análisis de costos*

Dentro del esquema de transferencia de costos que se propone, cualquier cambio en las variables más relevantes (que para este proyecto son la inversión y la paridad) impactará en el ajuste de calidad contemplado en el precio PEMEX.

En el cuadro siguiente se muestran los efectos de dichas variables en el costo incremental que debiera recibir Pemex Refinación para que el proyecto sea autofinanciable, es decir, para mantener la tasa interna de retorno de la evaluación económica de 12% y el valor presente neto en cero, que es la premisa fundamental de este planteamiento.

**Cuadro 14. Impacto del incremento de 30% en inversión**

	Inversión (mmusd)	TIR (%)	Precio de la gasolina (usd/bl)	Precio del diesel (usd/bl)
Caso Base (sin intereses capitalizables)	2,587	12%	1.211	3.684
Incremento de 30% en inversión (sin intereses capitalizables)	3,363	12%	2.277	5.157



### Tasa de descuento

Para el análisis de los impactos de normatividad o de proyectos con beneficios sociales, la Oficina de Gestión y Presupuesto de los Estados Unidos (OMB, por sus siglas en inglés), recomienda utilizar una tasa de descuento de entre 3% y 7% (OMB, 2003). Esto es debido a que se busca una tasa que refleje las preferencias de beneficios sociales en el tiempo. En este caso, las preferencias por la salud en el futuro no son iguales a las preferencias por otros productos que se encuentren en el mercado, de ahí que mucha gente estime que en el futuro su salud tendría un valor más alto en comparación con otros bienes. De hecho, para muchas personas, el valor de su salud no se deprecia con el tiempo, en comparación con la depreciación que sufren otros bienes, por lo que se considera que vale lo mismo en el futuro que en el presente.

En el siguiente cuadro se presentan los valores presentes de los beneficios y de los costos para este proyecto, con diferentes tasas de descuento. Como se puede observar, al bajar la tasa de descuento, suben tanto el valor presente de los costos como el de los beneficios. Sin embargo, debido a que muchos de los beneficios por la reducción del contenido de azufre en combustibles siguen incrementándose hasta 20 años después de su introducción en el mercado, los beneficios aumentan más que los costos y, por lo tanto, también se presenta un incremento en el cociente de beneficios/costos de dos a tres.

### Cuadro 15. Impacto de la valoración económica con diferentes tasas de descuento

Tasa de descuento	Valor presente de costos totales	Valor presente de beneficios totales	Cociente de beneficios / costos
3%	\$12,295	\$42,097	3.4
5%	\$9,661	\$30,438	3.2
7%	\$7,718	\$22,440	2.9
12%	\$4,683	\$11,373	2.4

\* Millones de dólares americanos

Fuente: INE y Pemex (2006), elaboración propia.

### Valoración económica

Para determinar el valor económico de los beneficios en la salud por la reducción de azufre en combustibles se utilizaron valores de *disponibilidad a pagar* (para mayor detalle sobre éste y otros conceptos relacionados con la metodología, consultar el anexo 1). En México, existe únicamente un estudio sobre disponibilidad a pagar para reducir el riesgo de mortalidad y morbilidad llevado a cabo en la Ciudad de México (Hammit e Ibarrarán, 2005) y, a nivel internacional, existe gran variabilidad entre los resultados de diferentes estudios. Por lo anterior, con el objeto de minimizar la incertidumbre para calcular los beneficios, se utilizaron valores de un meta-análisis de estudios realizados en Estados Unidos, ajustados al ingreso mexicano (véase el anexo 1 para detalles sobre la metodología).

Cabe mencionar que en el estudio de Hammit e Ibarrarán (2005) la mediana estimada del



valor estadístico de una vida se calculó en aproximadamente *300 mil dólares americanos* para adultos, utilizando la metodología de *precios hedónicos*. Asimismo, la mediana del valor estadístico de una vida infantil se calculó en *1.3 millones de dólares* y la mediana para bronquitis crónica se calculó en *52 mil dólares*, ambos valores estimados a través de *valoración contingente*.

Ahora bien, al utilizar únicamente los valores de disponibilidad a pagar del estudio realizado en México (Hammit e Ibararán, 2005) para calcular el valor presente de los beneficios de la reducción de muertes prematuras – que es el efecto más importante en el análisis y aporta el 85% de los beneficios – y utilizando con una tasa de descuento de 12%, el resultado es de aproximadamente *6,800 millones de dólares americanos*. Esto quiere decir que el valor de los beneficios es casi 50% mayor que el valor presente de los costos. Sin embargo, como ya se mencionó, debido a que sólo existe un estudio mexicano la decisión para el presente estudio fue el utilizar los valores del cuerpo de la evidencia de los estudios realizados en Estados Unidos, ajustados por el ingreso mexicano.

#### *Modelación de calidad del aire*

Para estimar los impactos de la reducción de emisiones sobre la calidad del aire se utilizaron modelos reducidos, que se basan en mediciones y modelos simplificados. Existe incertidumbre en estos métodos y, como se observa en el cuadro 3 del anexo 1, puede haber una diferencia de un orden de magnitud entre los estimadores. Para el cálculo del estimador en la ZMVM, se utilizó el promedio de tres modelos: el modelo de caja, regresión, y aportación de fuentes. Este promedio está muy influenciado por los resultados del modelo de aportación de fuentes que está basado en mediciones y no toma en cuenta emisiones que ocurren fuera de la cuenca.

Para estimar la sensibilidad de los resultados al método de modelación de calidad del aire, se corrió el modelo de beneficios utilizando solo el promedio del modelo de regresión y de caja *sin* aportación de fuentes, y se encontró que los beneficios presentes se reducen a más de la mitad – *4,784 millones de dólares* – todavía más alto pero similar al valor presente de los costos. Sin embargo, existe evidencia reciente, de los resultados de un modelo de tres dimensiones de calidad del aire – CAMx - que indica que el promedio de los tres métodos es más cercano a lo que podría ser la realidad para la ZMVM (Stevens et al., 2006).

## **VII. Alternativas al proyecto de inversión de Pemex Refinación**

Considerando que Pemex Refinación tiene la obligación constitucional de abastecer la demanda de combustibles, de no llevarse a cabo las modificaciones en infraestructura del SNR, el cumplimiento de las especificaciones de contenido de azufre que incluye la norma NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005 sólo podría darse a través de la importación de crudos ligeros con bajo contenido de azufre o importando la gasolina y el diesel con las especificaciones requeridas. A continuación se analizan ambas situaciones:

### **1. Importar crudos ligeros con bajo contenido de azufre**

- Esta opción tiene el inconveniente de no consumir el crudo pesado disponible en



México, situación que impacta de manera directa el precio de mercado de éste y la subutilización del SNR (principalmente reconfiguraciones de Cadereyta, Madero y Minatitlán). Adicionalmente, haría poco rentable las actividades de refinación del país, por precios elevados del insumo. De cualquier forma, si se importara el total de productos, los volúmenes importados ascenderían a: 650 mbd de gasolinas y 350 mbd de diesel. Esta situación sería inviable y requeriría cerrar las refinerías o exportar la producción fuera de especificación a precios castigados.

- También tiene impacto en los ingresos derivados de la exportación de crudo, por incremento en el volumen, con las repercusiones correspondientes en las finanzas públicas. Se estima que por cada 100 mbd adicionales que se exporten a la Costa Norteamericana del Golfo de México de cada tipo de crudo, el precio se reduce 1 dólar por barril en el caso del Maya y 1.20 en el del Istmo.

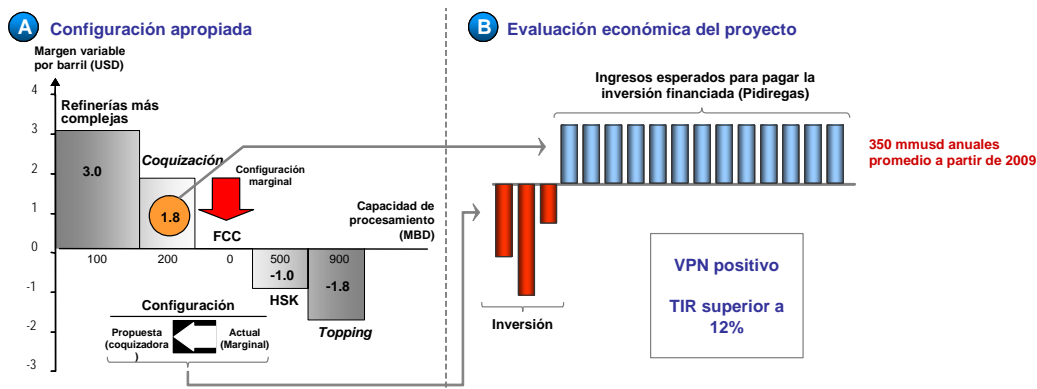
## **2. Importar volúmenes sustantivos de gasolina y diesel con las especificaciones requeridas**

- Además de la salida de divisas por concepto de importaciones, el proceso de crudo interno se verá reducido haciendo incosteable su operación, existirá un impacto al mercado de combustibles de la Costa Norteamericana del Golfo de México (CNGM) que se verá reflejado en precios elevados y se requerirá invertir en infraestructura para puertos, ductos y terminales. Esta alternativa incrementaría de manera extrema el costo de suministro.
- Se requerirán recursos adicionales en gasto corriente anual del orden de 1,778.2 MMDL, de los cuales 713.1 MMDL corresponden a gastos de distribución y 1,065.1 MMDL al mayor costo por productos importados. De manera adicional, se estima un gasto de 2,537.1 MMDL por concepto de infraestructura en ductos<sup>12</sup>.
- Asimismo se requeriría la ampliación en puertos, la infraestructura para la recepción y almacenamiento en las terminales marítimas y de almacenamiento y distribución, descargaderas y la infraestructura necesaria para desalojar toda la producción en las refinerías y garantizar la exportación de toda la producción nacional<sup>13</sup>.
- Si se analiza el proyecto de reconfiguración de Cadereyta, por ejemplo, se observa que éste fue concebido para generar ingresos a partir de la sustitución de crudo ligero por pesado y la producción de destilados con mayor valor agregado. Por dicho proyecto, con las especificaciones actuales, los ingresos anuales previstos para el periodo 2009 – 2013 son del orden de 350 millones de dólares en promedio (Figura 23).

<sup>12</sup> El ejercicio se llevó a cabo para el año 2010 y supone el funcionamiento del proyecto de reconfiguración de la refinería de Minatitlán.

<sup>13</sup> No se cuenta con un estimado de este tipo de infraestructura.

**Figura 23. Reconfiguración de Cadereyta: rentabilidad prevista considerando producción nacional de combustibles de bajo contenido de azufre**



Sin embargo, de optarse por la importación de los combustibles con bajo contenido de azufre, se subutilizaría el SNR y por lo tanto, los ingresos se reducirían a sólo 170 mmusd en promedio (52% menos que lo inicialmente planteado para Cadereyta), situación que impediría el pago de la deuda Pidiregas. En resumen, se pondría en riesgo la viabilidad económica de la empresa (Figura 23).

Sin embargo, tratar de conseguir estos volúmenes en el mercado exterior no se podría garantizar y produciría escasez que afectaría el nivel de precios internacionales.

### 3. Suministro de combustibles de bajo contenido de azufre solo en Zonas Metropolitanas (México, Guadalajara y Monterrey)

Aunque los problemas de contaminación del aire se concentran en las zonas metropolitanas de México, el suministro de combustibles de bajo contenido de azufre se complica por la logística de distribución (especialmente para diesel). El diesel y la gasolina, se distribuyen principalmente por medio de ductos a todo el país. Manejar productos separados presiona las infraestructuras de almacenamiento y distribución por ductos principalmente; reduciendo su flexibilidad y capacidad, genera costos por degradación y por uso de medios alternos de transporte, incrementando el costo de distribución y el costo de suministro de combustibles para la sociedad.

Asimismo, esta estrategia sería poco efectiva debido a que los autos que cargaran combustible fuera de las zonas metropolitanas emitirían mayores cantidades de contaminantes aún cuando contarán con sistemas de control de emisiones muy eficientes, y naturaleza de los vehículos que pueden moverse y salir de las zonas metropolitanas. Como se mencionó con anterioridad, el alto contenido de azufre en los combustibles no sólo perjudicaría la eficiencia de los dispositivos de control de emisiones en los nuevos vehículos, sino que puede provocar que éstos se incrementen, en promedio, en 100% para hidrocarburos no metánicos y en 197% para óxidos de nitrógeno.

Por lo anterior, no se recomienda optar por suministrar gasolinas y diesel de bajo



contenido de azufre sólo en las zonas metropolitanas de México.

#### 4. Calendario de introducción

El cumplimiento con el calendario de introducción de combustibles de bajo contenido de azufre es crítico para obtener los mayores beneficios de esta inversión. De hecho, con cada año de retraso en la introducción de combustibles con bajo contenido de azufre se estimó que se incurre en pérdidas de aproximadamente **876** millones de dólares americanos en beneficios a la salud.

#### 5. Renovación más agresiva de las flotas vehiculares en zonas urbanas

Una de las fuentes más importantes de emisiones de contaminantes son los vehículos viejos, por contar con tecnologías caducas, que carecen de sistemas para el control de emisiones o cuyos sistemas de control son menos eficientes que aquellos de las tecnologías modernas o que están dañados, resultando en emisiones que pueden ser 90% mayores que las de vehículos modernos. La flota vehicular se renueva naturalmente, cuando los vehículos viejos dejan de funcionar. Sin embargo, una renovación más agresiva de la flota podría resultar en reducciones de emisiones significativas en el futuro próximo, aún mayores que las proyectadas en las figuras 18 y 19 en las que se muestran las emisiones contaminantes si no se realizara el proyecto de *Calidad de combustibles*. No obstante, la falta de combustibles de bajo contenido de azufre impediría que las tecnologías más avanzadas entraran al mercado mexicano y que se diera una mayor y más rápida reducción de emisiones de fuentes móviles.

Para vehículos a diesel, aunque las nuevas tecnologías existentes en México pueden reducir significativamente sus emisiones, tales reducciones son marginales y son mucho menores que las que pueden obtenerse con tecnologías más avanzadas (como ocurre con trampas de partículas, etc.), con las cuales casi se pueden eliminar las emisiones contaminantes. De nuevo, el funcionamiento eficiente de estas tecnologías avanzadas de control requieren, como condición indispensable, de diesel con bajo contenido de azufre.

### VIII. Limitaciones del estudio

#### 1. Limitaciones en el análisis de costos:

- Para llevar a cabo el proyecto de *Calidad de combustibles* con recursos Pidiregas, éste debe cumplir las reglas asociadas con este esquema de financiamiento, en el sentido de que el proyecto debe ser autofinanciable. Uno de los aspectos que más afectan dicho cumplimiento involucra la revisión del esquema de precios productor, en virtud de la volatilidad de las cotizaciones actuales.
- El análisis no incluye los costos asociados con la importación de gasolinas con bajo contenido de azufre para el periodo 2006 a 2008, por lo que puede resultar en una sub-estimación de los costos durante esos años.
- El análisis incluye los intereses sobre la inversión. Sin embargo, éstos no implican un costo para la sociedad, por ser el gobierno federal quien otorga el



crédito y recibe el interés; por ello, los costos pudieran estar sobre-estimados.

- El estudio no incluye los costos incrementales asociados con la introducción de nuevas tecnologías vehiculares, lo que puede representar costos sustnativos.

## 2. Limitaciones en el análisis de beneficios:

- Este análisis no considera que los vehiculos en circulación también se beneficiarían con el uso de gasolina con bajo contenido de azufre. Las emisiones de estos vehículos pueden reducirse hasta en 55% para HC y CO, asimismo, para NOx la reducción puede ser de hasta 77%. Esto implica una subestimación en los beneficios.
- El suministro de gasolina y diesel de bajo azufre abre la posibilidad de instrumentar programas de “retrofit” (instalación de equipos de control en vehículos que nos los traen de fábrica), programas que han sido sumamente eficientes en otros países para lograr una reducción sustancial de las emisiones contaminantes en vehículos en circulación que carecen de sistemas avanzados de control de emisiones. Estos programas podrían incrementar los beneficios con reducciones adicionales de emisiones.
- El estudio no incluye la cuantificación de beneficios adicionales que se obtendrían por la entrada de Magna en Zonas Metropolitanas a partir de finales de 2008, ni tampoco los beneficios que se obtendrían por la entrada de Diesel de 15 ppm a partir de 2007 en la Zona Fronteriza; su exclusión del análisis se debe a limitaciones en la información disponible.
- El proyecto de *Calidad de combustibles* reduciría el contenido de azufre en todo el diesel producido por Pemex Refinación, incluyendo Diesel Industrial (utilizado por CFE y la industria en general), diesel Marino (utilizado en embarcaciones) y el uso de diesel en equipos de construcción y agrícolas (vehículos no carreteros, conocidos como “Off Road” en Estados Unidos). Los beneficios potenciales por el uso de diesel de bajo azufre en estas aplicaciones no se cuantificaron en este estudio.
- Se asumió que algunos parámetros de la flota vehicular de la ZMVM se mantenían iguales para todo el país, dada la escasez de información en otras áreas y ciudades. Esta metodología pudiera resultar en una subestimación de las emisiones por algunos de los supuestos utilizados, por ejemplo, en el caso de la distribución de la flota vehicular, que pudiera tener una mayor proporción de vehículos nuevos en la ZMVM en comparación con el resto del país.
- La tasa de descuento utilizada para calcular los beneficios es más alta que la que se utiliza en estudios de beneficios sociales en otros países (3% - 7%) (OMB, 2003).
- El análisis no incluye todos los daños en salud que pudieran estar asociados con la exposición a PM<sub>2.5</sub> ni aquellos asociados con la exposición a otros



contaminantes, como sería el ozono.

- Para la valoración económica se utilizaron datos de estudios realizados en Estados Unidos ajustados por el ingreso mexicano, debido a la escasez de estudios realizados en el país.

## IX. Conclusiones

1. Para lograr mejoras en la calidad del aire al nivel nacional y, por consiguiente, en la salud pública y en la calidad de vida es necesaria la introducción de mejores tecnologías de control de emisiones vehiculares, cuyo funcionamiento eficiente requiere del suministro de gasolina y diesel con bajo contenido de azufre. Para tal efecto, las Secretarías de Medio Ambiente, Energía y Economía elaboraron el proyecto de norma PROY-NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, asimismo, Pemex Refinación registró ante la SHCP el proyecto *Calidad de combustibles*.
2. Se sugiere que el proyecto de *Calidad de combustibles* se registre como Pidiregas y ejerza recursos a partir de 2007 con un mecanismo que reconozca incrementos en el precio productor (precio Pemex) asociados con la calidad, que garantice la recuperación de las inversiones y el gasto de operación (inicialmente estimado mediante un VPN igual a cero).
3. Se requieren recursos presupuestarios para iniciar las ingenierías básicas en 2006, y recursos Pidiregas a partir de 2007 para iniciar los proyectos de mejoramiento de calidad de gasolinas en Tula, Salamanca y Madero, los proyectos de modernización de hidrosulfuradoras y la construcción de las plantas nuevas.
4. El proyecto de *Calidad de combustibles* generará los recursos necesarios para pagar la inversión.
5. Pemex Refinación no tiene injerencia en la determinación del precio al público.
6. En términos de salud pública, la introducción de combustibles de bajo contenido de azufre significaría, para el periodo de 2006-2030, que se evitaran casi 56,000 muertes, más de 165,000 casos de bronquitis crónica y más de 78 millones de días perdidos de trabajo y de actividad restringida, representando un beneficio monetario presente de 11.4 miles de millones de dólares americanos.
7. Los beneficios sociales por la reducción de azufre en combustibles son entre 2.4 y 3.4 veces los costos totales, utilizando tasas de descuento de 3 y 12%, respectivamente.
8. Los beneficios en la salud que se presentan en este estudio están sub-estimados por no incluir los beneficios que se obtendrían con la reducción de emisiones de vehículos en circulación que utilizaran combustibles con bajo azufre; con menores emisiones al instrumentar programas de *retrofit* en vehículos a diesel sin sistemas para control de emisiones instalados de fábrica; con la introducción anticipada de gasolina y diesel en Zonas Metropolitanas y de diesel en la Zona Fronteriza, antes de su introducción en el resto del país; y, también, con la disminución de emisiones durante procesos de



combustión de usos no vehiculares y de vehículos no carreteros.

9. Cada año de retraso en el calendario del proyecto con respeto a la norma significa pérdidas de casi 900 millones de dólares.



## Referencias

Abbey, D. E.; Ostro, B. E.; Peterson, F.; Burchetter, R. J. (1995) Chronic respiratory symptoms associated with estimated long-term ambient concentrations of fine particles less than 2.5 microns in aerodynamic diameter (PM<sub>2.5</sub>) and other air pollutants. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 5, 137-159.

Abt Associates Inc. (2003) "BenMAP: Environmental Benefits Mapping and Analysis Program: User's Manual: U.S. Version," U.S. Environmental Protection Agency.

Blumberg, K.O., Walsh, M.P., Pera, C. (2003). Low sulfur gasoline and diesel, the key to lower vehicle emissions. The International Council on Clean Transportation, 66pp.  
[http://www.cleantransportcouncil.org/documents/Low-Sulfur\\_ICCT\\_2003.pdf](http://www.cleantransportcouncil.org/documents/Low-Sulfur_ICCT_2003.pdf)

Borja-Aburto VH, M. Castillejos, DR. Gold, S. Bierzwinski, and D. Loomis (1998) Mortality and ambient fine particles in southwest Mexico City, 1993-1995. *Environ Health Perspect* 106: 849-856.

Castillejos M, Gold DR, Dockery D, Tosteson T, Baum T, Speizer FE. Effects of ambient ozone on respiratory function and symptoms in Mexico City schoolchildren. *Am Rev Respir Dis* 145: 276-282 (1992).

Castillejos M, V. Borja-Aburto, D. Dockery and D. Loomis (2000) Coarse particles and mortality in Mexico City. *Inhalation Toxicol* 12 (Supp 1): 61-72.

Cesar, H., X. Olsthoorn, et al. (2002). Improving Air Quality in Metropolitan Mexico City: An Economic Valuation. México, DF., World Bank, Policy Research Working Paper #2785.

Chow, J. C., Watson, J. G., Edgerton, S. A., & Vega Rangel, E. (2002). Chemical composition of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in Mexico City during winter 1997. *The Science of the Total Environment*, 287, 177-201.

Cohen, A. J., Anderson, H. R., Ostro, B., Pandey, K. D., Krzyzanowski, M., Kunzli, N., Gutschmidt, K., Pope, C. A., Romieu, I., Samet, J. M., and Smith, K. R. (2004) Urban Air Pollution. In *Comparative Quantification of Health Risks: Global and Regional Burden of Disease Attributable to Selected Major Risk Factors*; Ezzati, M., Lopez, A. D., Rodgers, A., Murray, C. J. L., Eds.; World Health Organization: Geneva, pp 1353-1434.

Consejo Nacional de Población; CONAPO (2002) Proyecciones de la Población de México:2000-2050. México, D.F.

Cortez-Lugo M. Tellez-Rojo MM. Gomez-Dantes H. Hernandez-Avila M. (2003) Trends in atmospheric concentrations of lead in the metropolitan area of Mexico city, 1988-1998. *Salud Publica de Mexico*, 45 Suppl 2:S196-202.

DeFoy, B. (2006) Comunicación personal sobre los resultados del modelo de CAMx aplicado en la ZMVM por el equipo de modelación del MIT.



Directorate-General Environment (2001) The Costs and Benefits of Lowering the Sulphur Content of Petrol and Diesel to less than 10 ppm. Brussels, European Commission.

EPA (1999) Regulatory Impact Analysis - Control of Air Pollution from New Motor Vehicles: Tier 2 Motor Vehicle Emissions Standards and Gasoline Sulfur Control Requirements. EPA420-R-99-023.

EPA (2000) Regulatory Impact Analysis: Heavy-duty Engine and Vehicle Standards and Highway Diesel Fuel Sulfur Control Requirements. EPA 420-R-00-026.

EPA (2006) National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) <http://epa.gov/air/criteria.html>

EPA (1999) Update of Heavy-Duty Emission Levels (Model Years 1988-2004+) for Use in MOBILE6. EPA420-R-99-010.

Expert Panel on Air Quality Standards (1997) Ozone. HMSO Publications Centre. London.

Evans et al. (2002) "Health benefits of air pollution control". In: Air Quality in the Mexico Megacity: An Integrated Assessment, Kluwer Academic Publishers, Boston, 384 pp.

Federal Register (2000) Control of Air Pollution From New Motor Vehicles: Tier 2 Motor Vehicle Emissions Standards and Gasoline Sulfur Control Requirements; Final Rule

Federal Register (2000) Control of Air Pollution From New Motor Vehicles: Heavy-Duty Engine and Vehicle Standards; Highway Diesel Fuel Sulfur Control Requirements; Proposed Rules

Gobierno del Distrito Federal (2000). Inventario de Emisiones Zona Metropolitana del Valle de México 1998.

Gobierno del Distrito Federal (2004). Inventario de Emisiones Zona Metropolitana del Valle de México 2002.

Gobierno del Estado de Baja California SEMARNAP, Gobierno Municipal de Mexicali (1999) Programa para Mejorar la Calidad del Aire de Mexicali 2000-2005, 243 pp.

Gobierno del Estado de Baja California, SEMARNAP, Gobierno Municipal de Tijuana (2000) Programa para Mejorar la Calidad del Aire Tijuana-Rosarito 2000-2005, 244 pp.

Gobierno del Estado de Chihuahua, SEMARNAP, Gobierno municipal de Ciudad Juárez (1998) Programa de Gestión de la Calidad del Aire de Ciudad Juárez 1998-2002, 265 pp.

Gobierno del Estado de Jalisco, SEMARNAP, Secretaría de Salud (1997) Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de Guadalajara 1997-2001, 240 pp.

Gobierno del Estado de México, SEMARNAP (1997) Programa para el Valle de Toluca 1997-2000, 172 pp.

Gobierno del Estado de Nuevo León, SEMARNAP, Secretaría de Salud (1997) Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 1997-2000

Gold DR, Damokosh AI, Pope III CA, Dockery DW, McDonnell WF, Serrano P, Retama A, Castillejos M. Particulate and ozone pollutant effects on the respiratory function of children in



southwest Mexico City. *Epidemiology* 10: 8-16 (1999).

Greco, S. L., Levy, J. I., & Wilson, A. (2005). Primary and Secondary results for Mobile Sources from S-R matrix. *Draft*.

Hammitt, J. K., & Ibararán, M. E. (2005). The economic value of reducing fatal and non-fatal occupational risks in Mexico City using actuarial- and perceived-risk estimates. Harvard Initiative for Global Health (HIGH) Working Paper no. 3, <http://www.globalhealth.harvard.edu/Files/Working%20Paper%20No%203.pdf>

Health Effects Institute (1995). Research Report 65, Part XI: Consequences of Prolonged Inhalation of Ozone on F344/N Rats; Integrative Summary. Cambridge, Massachusetts.

Hernandez-Cadena L., Tellez-Rojo MM., Sanin-Aguirre LH., Lacasana-Navarro M., Campos A., Romieu I. (2000) Relationship between emergency consultations for respiratory diseases and air pollution in Juarez City, Chihuahua. *Salud Pública de México*, 42(4):288-97.

Holgate, S., Samet, J., Koren, H., Maynard, R. eds. (1999) Air Pollution and Health Academia Press, London, UK.

Holguin F., Tellez-Rojo MM., Hernandez M., Cortez M., Chow JC., Watson JG., Mannino D., Romieu I (2003) Air pollution and heart rate variability among the elderly in Mexico City. *Epidemiology*, 14 (5):521-7.

Instituto Nacional de Ecología (2005) Reporte sobre factores de emisión y consumo de combustible. *Reporte Interno*.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (2001) Encuesta nacional de ingresos y gastos de los hogares, 2000.

Loomis D, Castillejos M, Gold DR, McDonnell W, Borja-Aburto VH. (1999) Air pollution and infant mortality in Mexico City. *Epidemiology* 10: 118-123.

McKinley, G., Zuk, M., Hojer, M., Avalos, M., González, I., Iniestra, R., et al. (2005). Quantification of local and global benefits from air pollution control in Mexico City. *Environmental Science & Technology*, 39(7), 1954

Melgar Asociados (2004) Análisis del Estudio Melgar Asociados – Estadística de la Población de Vehículos en México 1972-2004.

Office of Management and Budget (2003) OMB Circular A-4 – Regulatory Analysis.

<http://www.whitehouse.gov/omb/circulars/a004/a-4.pdf>

O'Neill, M., D. Loomis, and V. Borja-Aburto (1994) Ozone, area social conditions, and mortality in Mexico City. *Environmental Research*, 24, 234-242.

Pemex Refinación (2005) *Programa maestro para mejorar la calidad de los combustibles (NOM-086)*. Presentación para las negociaciones con Secretaría de Hacienda. Versión 21 de septiembre de 2005.

Pope, C. A.; Burnett, R. T.; Thun, M. J.; Calle, E. E.; Krewski, D.; Ito, K.; Thurston, G. D. (2002) Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution.



*Journal of the American Medical Association*, 287, 1132-1141.

Romieu I, Cortez-Lugo M, Ruiz-Velasco S, Sanchez S, Meneses F, Hernandez M. (1992) Air pollution and school absenteeism among children in Mexico City. *Am J Epidemiol* 136: 1524-1531.

Romieu I, Meneses F, Sienra-Monge J, Huerta J, Velasco SR, White MC, Etzel RA, Hernandez-Avila M (1995) Effects of urban air pollutants on emergency visits for childhood asthma in Mexico City. *Am J Epidemiol* 141: 546-553.

Rosas I, McCartney HA, Payne RW, Calderon C, Lacey J, Chapela R, Ruiz-Velasco S. Analysis of the relationships between environmental factors (aeroallergens, air pollution, and weather) and asthma emergency room visits to a hospital in Mexico City. *Allergy* 53: 394-401 (1998).

Sánchez Constanza. Evaluación de índices de exposición en el estudio de efectos a la salud por contaminantes atmosféricos del sistema de vigilancia epidemiológica ambiental en la zona metropolitana de la Ciudad de México. En *Conserva Reporte de estudios financiados*, Capitulo 2: Salud. Centro Nacional de Salud Ambiental. 1999.

Secretaría de Energía (2002) Balance Nacional de Energía 2001.

Secretaría de Salud (2004) Base de datos de mortalidad.

SEMARNAT (2004) *Grupo de Trabajo para Mejorar la Calidad de Combustibles*. Presentación ante la Oficina de Políticas Públicas de Presidencia. Marzo de 2004.

SEMARNAT y SENER (2005). Proyecto de Modificación del PROY-NOM-086-SEMARNAT-SENER-2005.- Especificaciones de los combustibles fósiles para la protección ambiental.

Stevens, G. (2005) *Quantifying the Benefits of Reducing Sulfur in Mexico's Fuels*. Harvard Center for Risk Analysis, Boston.

Stevens, G., de Foy B., Zavala M., Lei W., Levy J. (2006) Developing intake fraction with limited data: How do methods compare? *Draft*.

Tellez-Rojo MM, Romieu I, Polo-Peña M, Ruiz-Velazco S, Meneses-González F, Hernández-Avila M. (1997) Efecto de la contaminación ambiental sobre las consultas por infecciones respiratorias en niños de la Ciudad de México. *Salud Publica Mex* 39: 513-522.

Tellez-Rojo MM, Romieu I, Ruiz-Velasco S, Lezana MA, Hernandez-Avila MM. (2000) Daily respiratory mortality and PM10 pollution in Mexico City: importance of considering place of death. *European Respiratory Journal*, 16(3):391-6.

Thurston GD. (2005) The role of air pollution in asthma and other pediatric morbidities. *Journal of Allergy & Clinical Immunology*. 115(4):689-99.

Torres-Meza V. (2000) Acute morbidity at primary care settings and air pollution in Mexico City. Master in Sciences, National Institute of Public Health. Cuernavaca, Morelos, Mexico.



Walsh, M. (2005) Status Report: Low Sulfur Diesel Fuel Trends Worldwide.

Woodruff, T. J.; Grillo, J.; Schoendorf, K. C. (1997) The Relationship between selected causes of postneonatal infant mortality and particulate air pollution in the United States. *Environmental Health Perspectives* 105, 608-612.

World Health Organization, WHO (2000) Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, Copenhagen.



## ANEXO I. MEMORIA DE CALCULO PARA LA ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS AMBIENTALES POR LA REDUCCIÓN DEL CONTENIDO DE AZUFRE EN GASOLINA Y DIESEL

La metodología que se utilizó para la estimación de los beneficios en la salud por reducción de azufre en gasolina y diesel de uso vehicular en México consta de cuatro etapas: 1) estimación de las reducciones de emisiones de contaminantes; 2) modelación del cambio en la exposición poblacional a los contaminantes; 3) estimación del número de casos evitados de mortalidad y morbilidad, así como de días perdidos de trabajo y de actividad restringida asociados a la reducción de los niveles de contaminantes atmosféricos; y, 4) valoración económica de los beneficios en la salud.<sup>14</sup>

### 1) Estimación de las reducciones de emisiones de contaminantes

Para estimar las emisiones contaminantes vehiculares se multiplicaron factores de emisión (en gramos de contaminante emitido por kilómetro recorrido) por el kilometraje de diferentes tipos de vehículos. Se generaron y proyectaron los factores de emisión de todas las categorías de vehículos utilizando el modelo MOBILE6-México bajo dos escenarios (INE, 2005). El primer escenario (línea base) representa las condiciones sin el proyecto de *Calidad de combustibles*, es decir, sin reducciones en los niveles de azufre en gasolina y diesel, y sin cambios en la tecnología vehicular. El segundo escenario (escenario de control) considera lo siguiente:

- a) La reducción en el contenido de azufre en combustibles, de acuerdo con el calendario de introducción de combustibles vehiculares de bajo contenido de azufre de la norma NOM-086-SEMARNAT-SENER-SCFI-2005, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 30 de enero de 2006 (ver figura 11 del reporte).
- b) El mejoramiento de las tecnologías vehiculares, siguiendo la normatividad estadounidense y sus calendarios de entrada (Federal Register, 2000), con un desfase de tres años.

**Cuadro 1. Parámetros considerados en la modelación**

Especificaciones		Escenario base	Escenario de control – con el proyecto de Calidad de combustibles
Tecnología vehicular	Vehículos a gasolina	Tier1	Tier2
	Vehículos a diesel	EPA 1998	EPA 2010
Contenido de azufre en combustibles (ppm)	Gasolina: concentración promedio/máxima	300/500	30/80
	Diesel: concentración máxima	500	15

<sup>14</sup> Para mayor información consulte el "Reporte sobre factores de emisión y consumo de combustible" (INE, 2005) y "Quantifying the Benefits of Reducing Sulfur in Mexico's Fuels" (Stevens, 2005), en donde se puede encontrar una descripción más detallada de la metodología que se utilizó para el presente análisis.



Las emisiones de cada contaminante para ambos escenarios se calcularon con base en la siguiente ecuación:

$$E_k = \frac{KRV_i \times FE_{ik} \times N_i}{1,000,000} \quad \text{Ecuación 1}$$

en donde:

$E_k$  = emisiones vehiculares del contaminante  $k$  [ton/año]

$KRV_i$  = kilómetros recorridos por tipo de vehículo  $i$  [km/año]

$FE_{ik}$  = factor de emisión del tipo de vehículo  $i$ , del contaminante  $k$  [g/km]

$N_i$  = número de vehículos del tipo  $i$

1,000,000 = factor de conversión de gramos a toneladas

Algunos de los parámetros necesarios para utilizar esta ecuación se obtuvieron de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y se aplicaron para todo el país. Por ejemplo, para obtener la distribución y las características de la flota vehicular a nivel nacional para el periodo de análisis, se proyectó la información existente sobre la flota vehicular nacional (Melgar, 2004) con base en la metodología utilizada en el Inventario de Emisiones 1998 de la ZMVM<sup>15</sup> (GDF, 2000). Asimismo, el kilometraje recorrido por tipo de vehículo se tomó del Inventario de Emisiones de la ZMVM 2002 (GDF, 2005), ponderado por año-modelo, y se consideró como una constante para la proyección futura. Esta metodología pudiera resultar en una subestimación de las emisiones por algunos de los supuestos utilizados. Este podría ser el caso de la distribución de la flota vehicular, ya que puede ser más antigua en el resto del país en comparación con la ZMVM, y, también, del kilometraje recorrido, ya que pudiera incrementarse en el futuro, mientras que se asumió como constante hasta el año 2030.

En lo que respecta a los factores de emisión, el cuadro 2 muestra los detalles de los supuestos utilizados para su obtención. A partir de estos supuestos, se generaron factores de emisión globales (un solo factor por tipo de vehículo, ponderado por año modelo) para hidrocarburos totales (HCT), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y partículas suspendidas con diámetro menor a 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>), considerando una velocidad promedio de 30 km/hr. Se ajustaron los factores de PM<sub>2.5</sub> para vehículos a diesel con un factor de corrección para altitudes mayores a 1,600 metros (EPA, 1999) (MOBILE6-México hace la corrección para vehículos a gasolina internamente). Se homologaron los factores de emisión por categoría vehicular del modelo MOBILE6-México con las categorías de vehículos del Inventario de Emisiones de la ZMVM 2002 (GDF, 2005) (véanse cuadros 3 y 4).

<sup>15</sup> Los inventarios más recientes de la ZMVM no incluyen proyecciones.



**Cuadro 2. Cambios tecnológicos y de combustible considerados en el escenario de control**

Combustibles/tecnologías	Cambios de calidad en combustibles/tecnológicos	Calendario de introducción
Gasolina	Contenido de azufre: 30/80 ppm (promedio/máximo)	Premium: a partir de enero 2007 Magna: a partir de enero 2009
Diesel	Contenido de azufre máximo: * 300 ppm 15 ppm	De 2007 a 2009 A partir de 2010
Vehículos ligeros a gasolina (LDGV) Camiones ligeros a gasolina (LDGT1 y LDGT2)	Tecnología TIER 2	25% en 2007 50% en 2008 75% en 2009 100% en 2010
Camiones ligeros a gasolina (LDGT3 y LDGT4)	Tecnología TIER 2	50% en 2011 100% en 2012
Vehículos a diesel (HDDV)	Tecnología EPA 2007	A partir de 2010 (con las mismas reglas que en EU.)

**Cuadro 3. Homologación de categorías vehiculares del inventario de emisiones de la ZMVM y Mobile6-México**

Categorías del inventario de emisiones de la ZMVM	Correspondencia con las categorías de Mobile6-México*	
	Vehículos a gasolina (%)	Vehículos a diesel (%)
Autos particulares	LDGV (99)	LDDV (1)
Taxis	LDGV (100)	-----
Combis	LDGT1 (100)	-----
Microbuses	HDGV3 (99.2)	HDDV3 (0.8)
Pick-ups	LDGT1 (67.966)	LDDT1 (0.034)
	LDGT2 (31.984)	LDDT2 (0.016)
Vehículos < 3 toneladas	LDGT3 (92.67)	LDDT3 (7.33)
Tractocamiones	-----	HDDV8b (100)
Autobuses	-----	HDDBT (100)
Vehículos > 3 toneladas	HDGV2B (34.9)	HDDV2B (7.55)
	HDGV3 (33.98)	HDDV3 (7.37)
	HDGV6 (0.70)	HDDV6(0.15)
	HDGV7(3.55)	HDDV7 (0.77)
	HDGV8A (9.05)	HDDV8A(1.98)
Motocicletas	MC (100)	-----

**Cuadro 4. Categorías vehiculares empleadas por Mobile6-México**

Número	Tipo de vehículo	Descripción
1	LDGV	Vehículos ligeros a gasolina (autos de pasajeros)
2	LDGT1	Camiones ligeros a gasolina 1 (PBV* de 0 a 2,722 kg; PP** de 0 a 1,701 kg)
3	LDGT2	Camiones ligeros a gasolina 2 (PBV de 0 a 2,722 kg; PP > 1,701 a 2,608 kg)
4	LDGT3	Camiones ligeros a gasolina 3 (PBV > 2,722 a 3,856 kg; PPA*** de 0 a 2,608 kg)
5	LDGT4	Camiones ligeros a gasolina 4 (PBV > 2,722 a 3,856 kg; PPA de 2,609 kg y mayores)
6	HDTV2b	Vehículos pesados a gasolina clase 2b (PBV > 3,856 a 4,536 kg)
7	HDTV3	Vehículos pesados a gasolina clase 3 (PBV > 4,536 a 6,350 kg)
8	HDTV4	Vehículos pesados a gasolina clase 4 (PBV > 6,350 a 7,258 kg)
9	HDTV5	Vehículos pesados a gasolina clase 5 (PBV > 7,258 a 8,845 kg)
10	HDTV6	Vehículos pesados a gasolina clase 6 (PBV > 8,845 a 11,794 kg)
11	HDTV7	Vehículos pesados a gasolina clase 7 (PBV > 11,794 a 14,969 kg)
12	HDV8a	Vehículos pesados a gasolina clase 8a (PBV > 14,969 a 27,216 kg)
13	HDV8B	Vehículos pesados a gasolina clase 8b (PBV > 27,216 kg)
14	LDDV	Vehículos ligeros diesel (autos de pasajeros)
15	LDDT12	Camiones ligeros a diesel 1 y 2 (PBV de 0 a 2,722 kg)
16	HDDV2b	Vehículos pesados a diesel clase 2b (PBV de 3,856 a 4,536 kg)
17	HDDV3	Vehículos pesados a diesel clase 3 (PBV > 4,536 a 6,350 kg)
18	HDDV4	Vehículos pesados a diesel clase 4 (PBV > 6,350 a 7,258 kg)
19	HDDV5	Vehículos pesados a diesel clase 5 (PBV > 7,258 a 8,845 kg)
20	HDDV6	Vehículos pesados a diesel clase 6 (PBV > 8,845 a 11,794 kg)
21	HDDV7	Vehículos pesados a diesel clase 7 (PBV > 11,794 a 14,969 kg)
22	HDDV8a	Vehículos pesados a diesel clase 8a (PBV > 14,969 a 27,216 kg)
23	HDDV8b	Vehículos pesados a diesel clase 8b (PBV > 27,216 kg)
24	MC	Motocicletas (a gasolina)
25	HDGB	Autobuses a gasolina (escolar y transporte urbano e inter-urbano)
26	HDDBT	Autobuses de transporte urbano e inter-urbano a diesel
27	HDDBs	Autobuses escolares a diesel
28	LDDT34	Camiones ligeros a diesel 3 y 4 (PBV > 2,722 a 3856 kg)

\* PBV (GVWR por sus sigla en inglés) = Peso Bruto Vehicular (es el peso máximo de un vehículo, incluyendo; el peso del vehículo vacío sumado al de su máxima capacidad de carga, con el tanque de combustible lleno a su capacidad nominal).

\*\* PP (LVW por sus siglas en inglés) = Peso de Prueba (es el peso total de carga recomendado para un vehículo)

\*\*\*PPA (ALVW por sus siglas en inglés) = Peso de prueba alternativo (es el promedio del peso del vehículo y el peso bruto vehicular)

Una vez calculadas las emisiones totales por contaminante ( $E_k$ ) para el escenario base y el escenario de control, se calculó la reducción en emisiones por la introducción de combustibles de bajo contenido de azufre y tecnologías vehiculares, mediante la diferencia entre las emisiones totales por contaminante estimadas para la línea base y las emisiones estimadas para el escenario de control durante el periodo 2005-2020. Para extrapolar las tendencias hasta 2030, se calculó la tendencia lineal de los años anteriores y se aplicó esta tendencia al periodo 2020-2030. Esta extrapolación podría resultar en una sobreestimación de los beneficios, debido a que la renovación de la flota en el periodo 2020-2030 podría ser menor que en el periodo 2005-2020. Sin embargo, ya que la vida promedio de un vehículo es de aproximadamente 25 años, el supuesto de que la tendencia de reducciones continúa hasta 2030 se considera más razonable.



## 2) Modelación del cambio de concentraciones de contaminantes atmosféricos

Una vez obtenidas las proyecciones de las emisiones, se utilizaron modelos simplificados de calidad del aire para estimar los cambios de concentraciones de partículas suspendidas de la fracción fina ( $PM_{2.5}$ ) ponderadas por población, considerando tanto partículas primarias (las partículas emitidas directamente del escape del vehículo), como secundarias (partículas formadas por procesos químicos en la atmósfera a partir de contaminantes primarios, emitidos directamente a la misma, tales como  $NO_x$ ,  $SO_2$  e HCT). Para lograr una mejor aproximación del posible impacto de las emisiones de los contaminantes atmosféricos en la salud se utilizó la metodología de “fracción *intake*”; esta fracción es aquella proporción de los contaminantes atmosféricos emitidos a la atmósfera que puede entrar al organismo, ya sea por vía oral o nasal. El análisis se desarrolló para cuatro “fracciones *intake*”: una para PM asociadas con emisiones de partículas primarias; otra para sulfatos de PM finas, asociados con emisiones de  $SO_2$ ; una tercera para nitratos, también contenidos en PM finas, asociados con emisiones de  $NO_x$ ; y, por último, una para PM asociadas con emisiones de hidrocarburos totales. El cálculo de dichas “fracciones *intake*” se realizó utilizando los siguientes tres modelos (Stevens, 2005): 1) *modelo de regresión*; 2) *modelo de caja*; y, 3) *modelo de atribución de fuentes*. El modelo de caja y el de atribución de fuentes se desarrollaron específicamente para la ZMVM, por lo cual no es posible aplicarlos al resto del país. A continuación se presentan algunos detalles sobre cada modelo.

1. El *modelo de regresión* está basado en estudios de calidad del aire realizados en EUA. Este modelo relaciona emisiones y densidad poblacional con concentraciones ambientales de partículas suspendidas (Greco *et al.*, 2005). En el caso de la ZMVM, se puede considerar que el modelo de regresión puede subestimar las concentraciones porque se deriva de la situación de ciudades de los EUA, por lo que puede no tomar en consideración las condiciones específicas de la ZMVM, tales como meteorología local y situación geográfica, que inciden en la formación y retención de los contaminantes en la ZMVM.
2. El *modelo de caja* (McKinley *et al.*, 2005) considera la dispersión de partículas primarias en la ZMVM, tratando a la cuenca como una caja, con contaminantes entrando, saliendo y distribuyéndose uniformemente en ella. Este modelo sólo considera partículas primarias para la ZMVM.
3. El *modelo de atribución de fuentes* (Chow *et al.*, 2002) toma como base el análisis de composición de partículas suspendidas para determinar las fuentes principales de emisión de cada uno de los componentes de las partículas. Combinando esta información con el inventario de emisiones de la ZMVM, se estima la contribución relativa de emisiones primarias (de gases y partículas) a la concentración final de partículas suspendidas (McKinley *et al.*, 2005). Se considera que este modelo puede sobre-estimar las concentraciones ambientales porque sólo relaciona las emisiones reportadas por el inventario de emisiones de la ZMVM e ignora aquellas que provienen de fuentes de emisión ubicadas fuera de la cuenca, que seguramente contribuyen en alguna medida a los niveles de partículas suspendidas de la ZMVM.

**Cuadro 5. Fracción *intake* <sup>(1)</sup> con base en tres métodos de estimación**

Método	Fracción <i>intake</i> (toneladas inhaladas por millones de toneladas emitidas)			
	Partículas finas primarias	Partículas finas secundarias		
		Sulfatos (por emisiones de SO <sub>2</sub> )	Nitratos (por emisiones de NO <sub>x</sub> )	Orgánicas (por emisiones de HCT)
<b>ZMVM</b>				
Modelo de atribución de fuentes	230	14	1.5	0.5
Modelo de regresión	26	3.2	0.4	--
Modelo de caja	39	--	--	--
Promedio de los tres métodos	100	8.8	1.0	0.5
<b>Resto del país</b>				
Modelo de regresión	3.5	0.61	0.07	--

<sup>(1)</sup> La fracción *intake* se refiere a la proporción de los contaminantes atmosféricos emitidos que pueden entrar al organismo, ya sea por vía oral o nasal.

Debido a las limitaciones de cada modelo, para la ZMVM se calcularon las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> como el promedio aritmético de los tres modelos. Cabe mencionar que esta estimación puede proporcionar resultados similares a los que se obtendrían utilizando un modelo de tres dimensiones de calidad del aire, como indica un estudio reciente (deFoy, 2006). Para el resto del país, se utilizó el resultado del modelo de regresión, debido a que no existen datos adecuados para aplicar la metodología de los otros dos modelos. Los valores que se utilizaron para la conversión de emisión a “fracción *intake*” se encuentran en el cuadro 5.

### 3) Evaluación de los casos evitados de mortalidad y morbilidad

Con base en los resultados de la estimación de cambios en la calidad del aire se utilizaron funciones concentración-respuesta para estimar los posibles beneficios en salud que se tendrían por la reducción en las concentraciones de contaminantes en la atmósfera. Las funciones de concentración-respuesta se obtuvieron de estudios epidemiológicos, relacionando las concentraciones ambientales de PM<sub>2.5</sub> con una respuesta en la salud, como mortalidad o morbilidad. Se evaluaron los siguientes indicadores de salud, utilizando la mejor información disponible proveniente de estudios epidemiológicos, tanto nacionales como internacionales:



1. Mortalidad cardiopulmonar (Pope et al., 2002)
2. Mortalidad por cáncer de pulmón (Pope et al., 2002)
3. Mortalidad infantil por causas respiratorias (Woodruff et al., 1997)
4. Mortalidad por síndrome de muerte súbita infantil (Woodruff et al., 1997)
5. Bronquitis crónica (Abbey et al. 1995)
6. Días de actividad restringida (Abt, 2003)
7. Días de trabajo perdidos (Abt, 2003)

Se incluyeron estos efectos con base en la consistencia en la evidencia, y en la disponibilidad de información científica y económica (de estudios epidemiológicos, incidencia, y valoración monetaria).

Para estimar los impactos en salud se utilizó la ecuación siguiente:

$$I = T * P * F * \frac{e^{\Delta C \hat{\beta}} - 1}{e^{\Delta C \hat{\beta}}} \quad \text{Ecuación 2}$$

en donde:

I = impacto a la salud (e.g. casos evitados de mortalidad o morbilidad)

T = tasa basal de mortalidad o morbilidad de la población

P = población total

F = fracción de la población afectada por grupo de edad (dependiendo del tipo de impacto bajo estudio)

$\hat{\beta}$  = estimador de la función de concentración-respuesta (riesgo relativo)

$\Delta C$  = cambio en la concentración ambiental de partículas suspendidas por año, ponderado por la población (calculado en la etapa anterior)

Esta ecuación se aplica a las reducciones anuales de concentraciones de  $PM_{2.5}$ . Por ello, fue necesario contar con información sobre la población y su distribución por edades al futuro. Para tal efecto, se utilizaron las proyecciones de la población de CONAPO. El cuadro 6 detalla los datos usados en los cálculos de impactos a la salud:

Cuadro 6. Insumos para el cálculo de impactos a la salud

Impacto	Grupo de edad afectado	Porcentaje de la población total por grupo de edad en el año 2000 <sup>(1)</sup> (%)	Porcentaje de la población total por grupo de edad en el año 2030 <sup>(1)</sup> (%)	Riesgo relativo ( $\hat{\beta}$ ) (por $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2.5}$ )	Incidencia (por 1000 personas)
Mortalidad cardiopulmonar	>30 años	38	53	0.00892 <sup>(2)</sup>	3.42 <sup>(6)</sup>
Mortalidad por cáncer de pulmón	>30 años	38	53	0.013 <sup>(2)</sup>	0.17 <sup>(6)</sup>
Mortalidad infantil por causas respiratorias	Entre 4 semanas y 1 año	2	1.5	0.018* <sup>(3)</sup>	1.28 <sup>(6)</sup> 2.31 para la ZMVM
Mortalidad por síndrome de muerte súbita infantil	Entre 4 semanas y 1 año	2	1.5	0.011* <sup>(3)</sup>	0.12 <sup>(6)</sup>
Bronquitis crónica	>30 años	38	53	0.017 <sup>(4)</sup>	3.78 14 para la ZMVM <sup>(4)</sup>
Días de actividad restringida	>15 años	67	77	0.0074 <sup>(5)</sup>	7800 <sup>(4)</sup>
Días de trabajo perdidos	Trabajadores	42	49	0.0046 <sup>(5)</sup>	2170 <sup>(4)</sup>

\* Estos dos estimadores de riesgo relativo corresponden a mortalidad infantil por una disminución de  $1\mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$ .

<sup>1</sup> Conapo (2002), <sup>2</sup> Pope et al. (2002), <sup>3</sup> Woodruff et al. (1997), <sup>4</sup> Abbey et al. (1995), <sup>5</sup> Abt (2003), <sup>6</sup> Salud (2004), <sup>7</sup> Evans et al. (2002).

#### 4) Valoración económica de los beneficios en la salud

Para poder comparar los impactos en la salud con los costos de inversión asociados con la reducción del contenido de azufre en los combustibles vehiculares, fue necesario convertirlos a beneficios monetarios. En este estudio, se utilizó la ecuación 3 para determinar el valor económico de los beneficios:

$$IM_{T(\$)} = \sum_i (V_{i(\$/\text{caso})} \times \sum_j (I_{i(\text{casos})})) \quad \text{Ecuación 3}$$

en donde:

$IM_T$  = impacto monetario total (en dólares por año)

$V_i$  = valor unitario del impacto  $i$  (p.e. costo de un caso de bronquitis crónica)

$I_i$  = número de casos del impacto en la salud  $i$  (p.e. muertes, casos de bronquitis crónica, etc.)

Existen dos metodologías para obtener el valor unitario del impacto ( $V_i$ ): la *disponibilidad a*



pagar (*DAP*) y los *costos directos de enfermedad*. La *DAP* determina la cantidad de dinero que alguien está dispuesto a pagar para evitar una enfermedad o la muerte (incluyendo el dolor y el sufrimiento), mientras que los *costos directos de enfermedad* únicamente incluyen los costos que alguien tiene que pagar para el tratamiento de una enfermedad (como honorarios médicos, medicamentos, hospitalización, etc.). Se puede determinar la *DAP* a través de estudios de *valoración contingente* o de *precios hedónicos*. Para el método de la valoración contingente se utilizan cuestionarios para simular un mercado hipotético, en el que la oferta está representada por la persona entrevistadora y la demanda por la entrevistada. Por otro lado, los estudios de precios hedónicos usan las preferencias reveladas a través de un análisis de datos del mercado de trabajo. En tales estudios, se utiliza información sobre sueldos y niveles de riesgo en diferentes trabajos y se aplican modelos econométricos para determinar la cantidad monetaria que se compensa por el riesgo en el lugar de trabajo.

Los resultados de los estudios de valoración contingente y precios hedónicos describen el valor monetario que uno asigna a una unidad de riesgo. Al dividir la *DAP* entre la unidad de riesgo se obtiene el valor de una vida estadística (*VVE*) o el valor de un caso de morbilidad estadístico para la población.

En este caso, se utilizaron los resultados de estudios realizados en EEUU (Abt, 2003) ajustados al ingreso mexicano. Para ajustar los valores de dichos estudios de EEUU a México se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_{México} = V_{EEUU} \times \left( \frac{I_{México}}{I_{EEUU}} \right)^{\varepsilon} \quad \text{Ecuación 4}$$

en donde:

$V$  = valor estadístico de una vida (o enfermedad) para la población

$I$  = ingreso para la población

$\varepsilon$  = elasticidad de ingreso para la salud

Para propósitos de la valoración de los efectos en salud, la elasticidad de ingreso relacionada con la *DAP* es el porcentaje de cambio en la disponibilidad a pagar que corresponde a un porcentaje de cambio en el ingreso. En este caso, debido a que no se conoce el valor exacto de la elasticidad de ingreso para la salud, se utilizó un rango de 0.5 para el valor máximo y 2 para el valor mínimo (Evans et al., 2002). El cuadro 7 muestra el promedio geométrico de los valores de *DAP* para los diferentes efectos en la salud, utilizados en el cálculo final de los beneficios.

En lo que respecta a los impactos económicos asociados con días de trabajo perdidos, sólo se consideró el costo de la enfermedad, es decir, el ingreso perdido por falta de trabajo, cuantificado como salario promedio (cuadro 7).



**Cuadro 7. Valores monetarios de disponibilidad a pagar  
por caso de impacto a la salud**

<b>Impacto a la salud</b>	<b>Mediana del valor monetario en dólares americanos (USD en 2000)</b>
Mortalidad cardiopulmonar	660,000
Mortalidad por cáncer de pulmón	660,000
Mortalidad infantil por causas respiratorias	660,000
Mortalidad infantil por síndrome de muerte súbita infantil	660,000
Bronquitis crónica	36,000
Días de actividad restringida	5
Días de trabajo perdidos	13*

\*Pérdida de productividad. Fuente: INEGI (2001)  
Fuente: Stevens, 2005; Abt (2003) ajustados al ingreso mexicano utilizando la metodología explicada arriba.



## ANEXO II. ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS POR LA REDUCCIÓN DEL CONTENIDO DE AZUFRE EN GASOLINA Y DIESEL

### 1. Calendario de inversiones y distribución del costo total en sus rubros principales

*(Cifras en millones de dólares americanos)*

	2006	2007	2008	2009	Total
Gasto programable	68	43	62	32	205
Inversión financiada		415	976	991	2,382
Intereses capitalizables			27	83	110
<b>Total</b>	<b>68</b>	<b>458</b>	<b>1,065</b>	<b>1,106</b>	<b>2,697</b>

Este estimado de inversión es de tipo V (rango de incertidumbre de +50% /- 30%).

### 2. Costos de operación

La disminución del contenido de azufre en los combustibles implica un costo adicional operación para el Sistema Nacional de Refinación.

Los **costos** incrementales de operación **variables** se calculan como sigue:

Se utiliza el Modelo de Optimización de Suministro y Distribución de Combustibles (MOSDEC) con base en PIMS<sup>16</sup>, donde se simula la optimización del abastecimiento de la demanda nacional de energía y se generan dos escenarios de comparación:

- Considera el SNR operando con los proyectos de reconfiguración de las refinerías de Cadereyta, Madero, Tula y Salamanca y Minatitlán y sin las plantas requeridas para cumplir la especificación de azufre de la norma.
- Contempla la utilización de las plantas de las cinco reconfiguraciones y las plantas incluidas en este proyecto.

Para estas simulaciones del modelo se consideran las premisas siguientes:

- El proyecto de Conversión de Residuales entra en operación posteriormente y se aprovecha la infraestructura planteada aquí. De realizarse simultáneamente ambos

<sup>16</sup> Process Industries Modeling System.



proyectos, empatan perfectamente y se podrían generar sinergias.

- La reconfiguración de Salina Cruz se considera que iniciaría en 2007.

#### Costo incremental por operación para gasolinas

	2010	2011	2012	2013	2014
Demanda de gasolinas (MBD)	761	783	807	831	855
Costos por operación (dls/bl)	1.00	0.98	0.96	1.00	1.26

#### Costo incremental por operación para diesel

	2010	2011	2012	2013	2014
Demanda de diesel (MBD)	300	307	316	324	333
Costos por operación (dls/bl)	0.49	0.58	0.58	0.57	0.55

Los **costos fijos** considerados corresponden a los estándares de la industria, tal y como fueron auditados por Arthur D Little para todos los proyectos del programa de reconfiguraciones del SNR, el desglose del estimado se muestran en el siguiente cuadro:

#### Costos Fijos

*(Cifras en miles de dólares americanos)*

##### COSTOS DE OPERACIÓN los primeros 10 años

Administración.	\$222
Operación. (M. O. D.)	\$1,421
Supervisión Técnica	\$475
Mantenimiento. (Mat. y M. O.)	\$62,082

##### GASTOS FIJOS

Generales de Planta	\$41,730
Fijos directos	\$953
Seguros e Impuestos	\$38,801

**Total** **\$145,685**

##### COSTOS DE OPERACIÓN a partir del año 11

Administración.	\$222
Operación. (M. O. D.)	\$1,421
Supervisión Técnica	\$475
Mantenimiento. (Mat. y M. O.)	\$80,190

##### GASTOS FIJOS

Generales de Planta	\$53,500
Fijos directos	\$953
Seguros e Impuestos	\$38,801

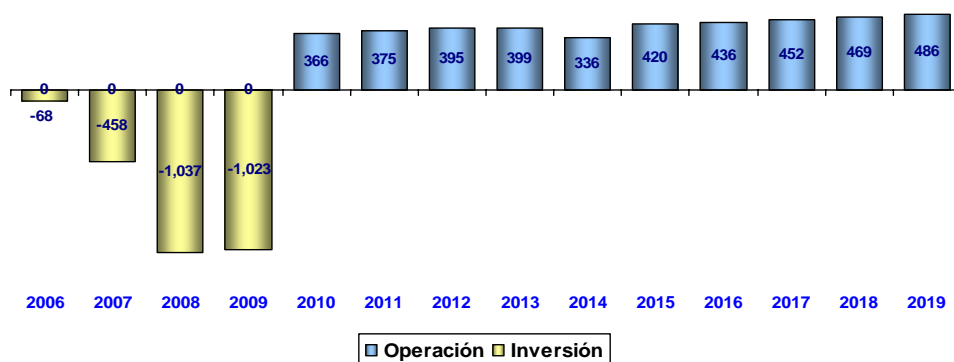
**Total** **\$175,562**

Determinación de los precios con base en el requisito de rentabilidad mínima.

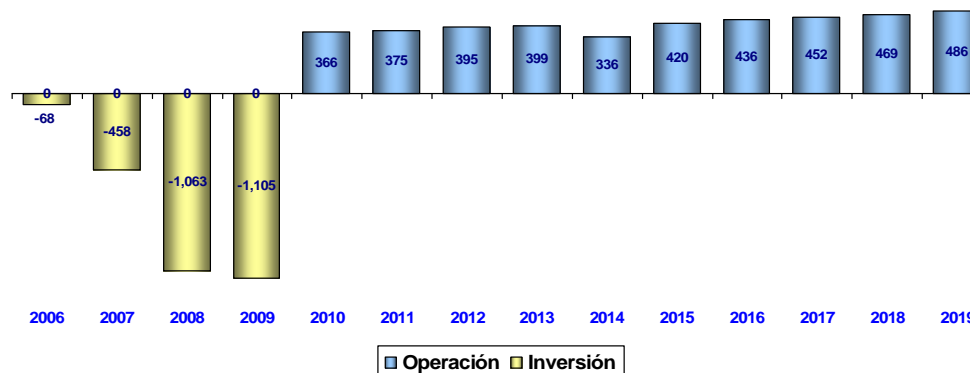
Para el cálculo de los precios se propone que incluyan un componente para de pago de inversión que permanecería por 10 años en el precio y un componente para pago de los costos de operación (fijos y variables), que permanecería durante toda la vida útil del proyecto.

### Flujos de efectivo para la evaluación económica

Sin deuda: VPN = -332.7 (MMUSD)



Con deuda: VPN = 0 (MMUSD)



### Evaluación económica y financiera

Horizonte del proyecto	20 años
Capital de trabajo	\$0
Inversión total (programable y física)	2,587 mmusd
Paridad	11.4236
<b>Indicadores económicos (sin deuda)</b>	



Tasa de interés anual	12.0%
Valor presente neto (VPN)	-332.7 mmusd
Tasa Interna de Retorno (TIR)	7.71%
<b>Indicadores financieros (con deuda)</b>	
Inversión total + intereses capitalizables <sup>1/</sup>	2,694 mmusd
Tasa de interés anual	12.0 %
Valor presente neto (VPN)	0 mmusd
Tasa Interna de Retorno (TIR)	12.0%

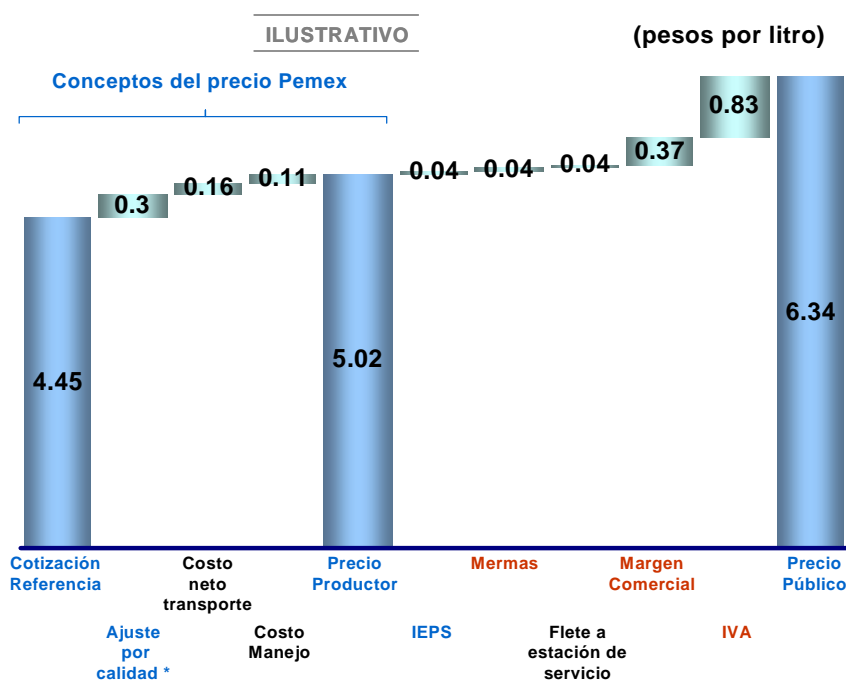


### ANEXO III. OPCIONES DE AJUSTE POR CALIDAD EN AZUFRE EN EL PRECIO PEMEX

El precio al público de los productos que comercializa Pemex Refinación está integrado por diversos elementos y considera los incrementos mensuales programados por SHCP, acordes con la inflación anual.

De esos elementos unos son montos fijos (costos de manejo, logística y flete a estación de servicio) que se actualizan cada cuatrimestre; las mermas, el margen comercial y el IVA se calculan con porcentajes preestablecidos.

Los costos variables (cotización de referencia, los ajustes de calidad y el IEPS) están en función del precio productor y del precio al público.

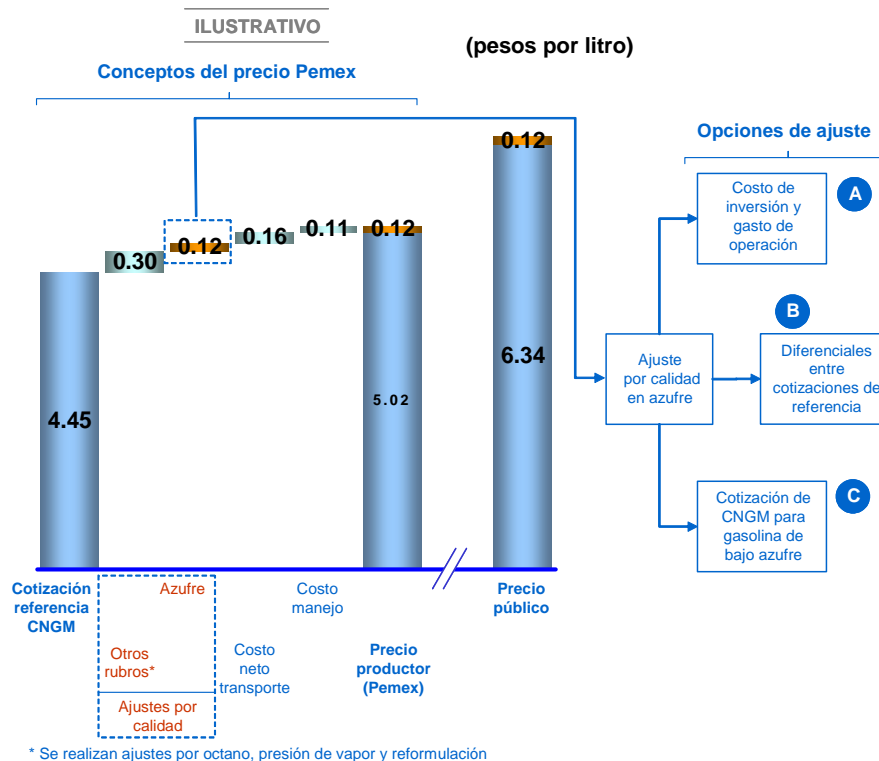


\* Se realizan ajustes de calidad por octano, presión de vapor y reformulación

Cuando las cotizaciones de referencia alcanzan niveles altos, el precio productor se incrementa y la participación del IEPS disminuye, para mantener el precio al público estipulado. En sentido opuesto, cuando descienden el precio productor disminuye y la participación del IEPS aumenta.

Las cotizaciones de referencia que se utilizan en el cálculo del precio productor son: para gasolina la "unleaded regular convencional" y para el diesel el "Fuel Oil 2 (FO2)".

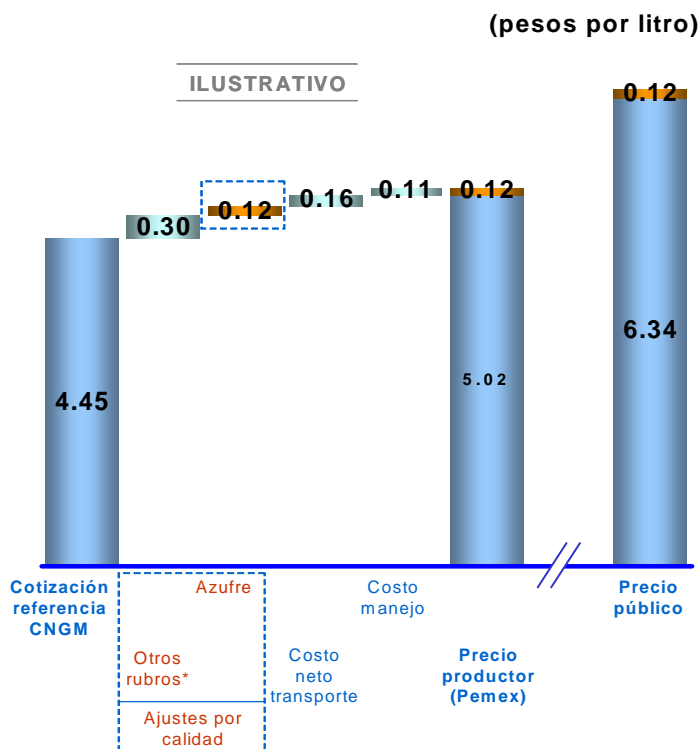
*Precio Pemex asociado al esquema Pidiregas*



Los ingresos que avalan el proyecto están asociados al precio Pemex en su componente de ajuste por calidad en azufre. Las opciones de ajuste se describen en el Anexo II. Ante cualquier variación en la cotización, el ajuste permanecerá intacto, lo que permite asegurar la viabilidad del proyecto.

En caso de que la cotización alcance niveles elevados, como los actuales, que impacten al IEPS y éste sea menor a cero la reducción debe aplicarse a la cotización y no al ajuste para no afectar los ingresos del proyecto.

*A: Reconocimiento de la inversión y el gasto de operación*



Esta opción es la base para la evaluación del proyecto pues en la actualidad no existe un mercado de productos de bajo azufre en la CNGM.

El ajuste por calidad en azufre considera, inicialmente, los requerimientos de inversión y gasto de operación para producir los combustibles. Éstos se determinaron a partir de una inversión de 2,694 millones de dólares y se evaluaron con un VPN igual a cero.

- Para gasolina el incremento calculado es de 9 centavos por litro y en diesel de 26.
- Estimación del incremento asociado a la *Calidad de combustibles* de bajo azufre

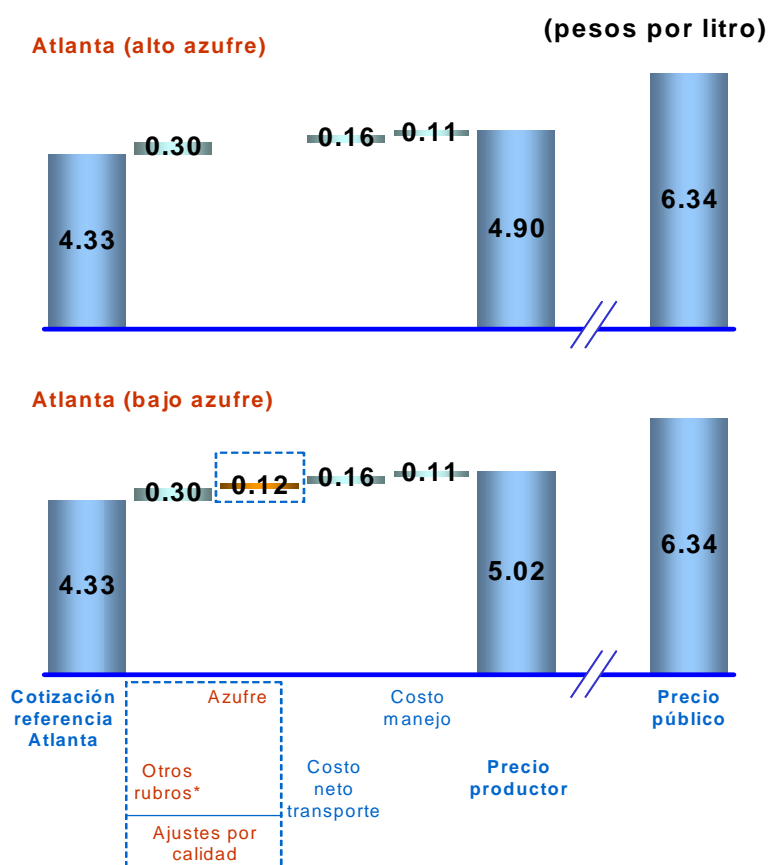
Se calculó con base en el costo de inversión en las plantas y servicios, y el gasto de operación asociado a éstas y un VPN igual a cero, aplicando una tasa implícita de captación de 5.8% en la inversión financiada y una amortización de 10 años.

**Incremento asociado a la calidad en azufre  
(pesos por litro)**

	Costo de captación (%)	
	12.0	5.8
Gasolina	0.10	0.09
Diesel	0.27	0.26

*B: Diferenciales entre cotizaciones de alto y bajo azufre*

Esta opción es intermedia y se refiere a un mercado diferente al de la CNGM.



El ajuste de calidad se calcula conforme al diferencial entre cotizaciones de combustibles de alto y bajo azufre presentes en un mercado profundo y estable (v.gr., Atlanta).

Este diferencial, aplicado al ajuste de calidad en el esquema vigente (CNGM), será suficiente a fin de garantizar los ingresos que requiere el proyecto para ser autofinanciable.

### C: Cotización de CNGM para gasolina de bajo azufre

Esta opción es la ideal. El reconocimiento de calidad en azufre deberá ser resultado del diferencial entre cotizaciones del mismo mercado y estar incorporado en el esquema actual.

El ajuste por azufre debe ser independiente de las variaciones en la cotización para garantizar los ingresos del proyecto.

Si la cotización alcanza niveles altos y el precio productor se incrementa, cualquier ajuste para no variar el precio al público debe reflejarse en la cotización.

