



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN**

**ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO DE LA REDUCCIÓN DE AZUFRE EN LA
GASOLINA EN LA ZMCM.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADA EN ECONOMÍA**

P R E S E N T A

VERÓNICA GONZÁLEZ ILLESCAS

ASESORES:

**DR. AMÉRICO SALDÍVAR VALDÉS.
DR. ADRIÁN S. BARRERA ROLDÁN.
MTRA. PATRICIA ROSALES CALZADA**

MEXICO, D.F.

ENERO 2004.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS:

A MIS PADRES

MARÍA DE JESUS Y ANTONIO

POR EL AMOR QUE ME BRINDAN, POR GUIAR MI CAMINO Y POR ESTAR CERCA DE MI CUANDO MÁS LOS NECESITO, USTEDES SON EL PILAR DE MI VIDA Y MI FUENTE DE INSPIRACIÓN PARA SEGUIR ADELANTE, TODOS MIS TRIUNFOS PROFESIONALES SE LOS DEBO A USTEDES.

A MIS HERMANOS

LAURA, TONY, ADRIAN

POR EL GRAN AMOR QUE NOS UNE Y POR SABER SUPERAR LOS MOMENTOS DIFÍCILES QUE SE HAN PRESENTADO, POR EL APOYO INCONDICIONAL QUE DÍA CON DÍA ME BRINDAN.

A PATY

ALGUNA VEZ ME COMENTASTE QUE TU IBAS A ESTAR MUCHO TIEMPO AQUÍ CON NOSOTRAS, TENÁS MUCHA RAZÓN MIENTRAS EXISTA ALGUIEN QUE TE RECUERDE CON CARIÑO SIEMPRE VIVIRAS.

DR. ADRIAN

POR SER GRAN AMIGO, Y POR TODO EL APOYO QUE ME BRINDÓ EN MI ESTANCIA EN EL IMP, PORQUE SIN SU APOYO ESTE TRABAJO TALVEZ NO EXISTIRÍA.

DR. AMÉRICO

*POR HABER ACEPTADO ASESORARME Y CON SUS
SUGERENCIAS Y OBSERVACIONES CONCLUIR ESTA
TAREA.*

*A LAS PERSONAS CON LAS QUE HE COMPARTIDO
MOMENTOS DIFÍCILES Y MOMENTOS MARAVILLOSOS
Y QUE YO SE QUE EL DÍA QUE LAS NECESITE
ESTARÁN A MI LADO,.....MIS GRANDES AMIGOS:
LORENA, YURIDIA, HUGO, JULIO.*



ÍNDICE

ACRONIMOS

INTODUCCION..... I

OBJETIVOS..... IV

CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO

1. Métodos de Valoración de Proyectos.....	2
1.1 Análisis Costo-Beneficio.....	2
1.1.1. Antecedentes del Análisis Costo – Beneficio.....	4
1.1.2. Objetivo del Análisis Costo – Beneficio.....	4
1.1.3. Marco conceptual del Análisis Costo – Beneficio.....	5
1.1.4. Especificación de Costos y Beneficios a considerar.....	6
1.1.5. Comparación entre los Costos y Beneficios.....	6
1.2. Análisis Costo-Beneficio Ambiental.....	7
1.3 Método de los Costos Evitados e Inducidos.....	8
1.4. Método de los Precios Hedónicos.....	8
1.5. Método de los Costos de Viaje.....	9
1.6. Método de Valoración de Contingencias.....	9
2. Principales Indicadores Económicos.....	10
2.1. Valor Presente Neto.....	10
3. Tasa Interna de Retorno (TIR).....	11
4. Relación Beneficio / Costo.....	12
5. Análisis Costo – Beneficio de Proyectos Ambientales en México.....	13
6. Análisis Costo-Beneficio de la Reducción de Azufre en la Gasolina a 50 ppm en la ZMCM.....	13

CAPITULO 2 CALIDAD AMBIENTAL DE LA ZMCM

1.1 Características Fisiográficas, climáticas y Demográficas de la ZMCM.....	16
1.1.1 Características Fisiográficas.....	16
1.1.2 Características Climáticas.....	17
1.1.3 Características Demográficas.....	17
1.1.4 Factores que Contribuyen a la Contaminación.....	20
1.1.4.1 Automóviles en la ZMCM.....	20
1.2 Antecedentes.....	21
1.2.1 Evolución de las Medidas para Reducir la Emisión de Contaminantes.....	21
1.2.2 Mejoramiento de la Calidad del Aire durante los 90's.....	24



1.3 Situación Actual.....	27
1.4 Futuro y Tendencia de la Calidad del Aire.....	32
1.4.1 Perspectivas y Tendencias de Corto Plazo.....	32
1.4.2 Sustentabilidad Urbana y Calidad del Aire.....	32

CAPITULO 3 TECNOLOGIA AUTOMOTRIZ Y SALUD

2.1 Convertidor Catalítico.....	34
2.1.1 ¿Qué es un convertidor catalítico?.....	34
2.1.2 ¿Cómo funciona un convertidor?.....	34
2.1.3 ¿Cómo diagnosticar si el vehículo esta funcionando correctamente?.....	35
2.1.4 ¿Qué problemas puede tener un convertidor catalítico?.....	36
2.1.4 Cuidados del Convertidor Catalítico.....	36
2.1.5 Consumo de Combustible.....	37
2.2 Calidad del Aire y Salud.....	38
2.2.1 Acidificación del Medio Ambiental.....	43
2.2.2 Efectos sobre los Materiales.....	45
2.2.3 Efectos sobre los Ecosistemas (lluvias ácidas).....	46
2.2.4 Efectos sobre el Clima (efecto invernadero).....	47

CAPITULO 4 RESULTADOS

4.1 Análisis Costo-Beneficio de la Reducción de Azufre en la Gasolina a 50 partes por millón.....	49
---	----

CONCLUSIONES.....	73
--------------------------	-----------

GLOSARIO.....	77
----------------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA.....	80
--------------------------	-----------

ANEXO A

ANEXO B



ACRONIMOS

ΔC	Nivel de la Contaminación del Aire
Δy	Cálculo de un Cambio en la Salud
ACB	Análisis Costo-Beneficio
AMIA	Asociación Mexicana de la Industria Automotriz
BM	Banco Mundial
CA	Contingencias Ambientales
CENSA	Centro Nacional de Salud Ambiental
CO	Monóxido de Carbono
DAP	Disponibilidad de pago
DDA	Disponibilidad a aceptar
DDF	Departamento del Distrito Federal
DF	Distrito Federal
ER	Función de Exposición respuesta o FDR (Función dosis-respuesta)
GDF	Gobierno del Distrito Federal
HC	Hidrocarburos
IMECA	Índice mexicano de la Calidad del aire
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
IVM	Instituto de Investigación de Holanda
KM	Kilómetros
MVC	Método de Valoración Contingente
NOM	Norma Oficial Mexicana
Nox	Óxidos de Nitrógeno
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PICCA	Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica.
Ppb	Partes por billón
ppm	Partes por millón
PROAIRE	Programa para mejorar la Calidad de Aire en la ZMCM
S	Azufre
SECOFI	Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
SEDUE	Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología
SEMARNAT	Secretaría de Marina y Recursos Naturales
SHCP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
SMA	Secretaría de Medio Ambiente
SPP	Secretaría de Programación y Presupuesto
TIR	Tasa Interna de Retorno
VAB	Valor Actual de los Beneficios
VAC	Valor Actual de los Costos
VPN	Valor Presente Neto
Y	Efectos en la salud



ACRONIMOS

ZMCM

Zona Metropolitana de la Ciudad de México



INTRODUCCIÓN

Ante el creciente deterioro de la calidad del aire y sus consecuencias a la salud de la población, resulta una prioridad el diseño e instrumentación de políticas ambientales.

El aplicar metodologías de análisis y evaluación de proyectos de inversión, permite que los recursos se asignen y utilicen eficientemente, uno de esos métodos es el Análisis Costo-Beneficio.

El análisis Costo Beneficio corresponde a un modelo de evaluación socio-económica que identifica las metas y objetivos del proyecto, calcula los costos y los beneficios de manera conveniente, cuyo fin es que los resultados coincidan con los objetivos propuestos.

En cualquier proyecto, el objetivo es obtener el mayor beneficio; pero en un proyecto de tipo social la parte más delicada es la cuantificación de los beneficios, debido a que es difícil cuantificar de manera monetaria muchos de éstos tales como los bienes ambientales y la salud humana.

El presente trabajo trata de estimar los beneficios y los costos de la aplicación de la reformulación de las gasolinas de la ZMCM, cuyo objetivo es permitir la introducción de la normatividad "Tier 2" a la flota vehicular en México y disminuir los daños a los automóviles y los dispositivos anticontaminantes (catalizador automático).

La contaminación del aire ha sido uno de los retos ambientales más serios que han enfrentado los habitantes de la ZMVM. Los primeros indicios del problema fueron identificados por investigadores universitarios a principios de la década de los sesenta. En ese entonces y en la década de los setenta se realizaron algunos esfuerzos aislados para medir los niveles de contaminación y se crearon las primeras instituciones y leyes ambientales del país.

La ZMCM es quizá el la zona más contaminada por ser el centro económico de México, por ello es de vital importancia aplicar las medidas para mejorar la calidad del aire ya que es el hogar de alrededor de 18.1 millones de personas¹ siendo además la ciudad más grande de México.

Veamos cuales son los factores principales que contribuyen a la contaminación:

El área urbana se extiende en una cuenca semicerrada, en la porción suroeste del Valle de México, la cual está sujeta de manera natural a condiciones que no favorecen una

¹ Gobierno del Distrito Federal, SMA 2002, Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 2002-2010.

*Las normas Tier 1 y Tier 2 Son normas que limitan las emisiones vehiculares, que generalmente se acompañan de cambios en las especificaciones de los combustibles.



adecuada ventilación de la atmósfera. Entre los principales factores fisiográficos y climáticos que afectan la calidad del aire destacan los siguientes:

El entorno montañoso que rodea la cuenca constituye una barrera natural, las frecuentes inversiones térmicas que ocurren en el valle, los sistemas anticiclónicos, la intensa y constante radiación solar que se registra en el Valle de México a lo largo de todo el año, favorece la formación del ozono.

La altitud a la que se ubica el Valle de México (2,240 MSN), determina que el contenido de oxígeno sea 23% menor que a nivel del mar, lo cual tiende a hacer más contaminantes los procesos de combustión.

Quizá el factor que más contribuye a la contaminación del aire en la ZMCM es la flota vehicular particular la cual sumaba al 2002 2,849,418 vehículos, se calcula una tasa anual de crecimiento de 5.9 % anual. La flota vehicular particular emite cerca del 75 % de las emisiones contaminantes en el valle de México.

Las medidas de control han ido evolucionando de tal manera que han ido mejorando la calidad de los productos petrolíferos ofrecidos en México. Es hasta el año 2002 cuando se publica el "Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la ZMCM", en este se promueve la introducción de gasolina con 50 partes por millón en volumen de azufre.

La presencia de azufre en la gasolina aumenta el desgaste en el motor, deteriora el aceite, corroe el sistema de escape, disminuye la eficiencia y durabilidad del convertidor catalítico, además de producir un incremento en la generación de óxidos de nitrógeno.

El dispositivo anticontaminante más significativo es el convertidor catalítico, el cual acelera el proceso de conversión de gases nocivos a gases inofensivos. Este permite reducir las emisiones de los tres principales contaminantes (HC, CO, NOX) hasta en un 90 %.

Las emisiones contaminantes son peligrosas para la salud de los seres vivos, provocan diversas enfermedades, ya que exposiciones a altas concentraciones o exposiciones crónicas tienen efectos en la salud. Los síntomas a causa de la exposición a la contaminación del aire se manifiestan principalmente en dolor pulmonar, tos, dolores de cabeza, malestares en la garganta, irritación y lagrimeo de los ojos, por mencionar algunos.

Los contaminantes del aire tienen distinto potencial para producir daño a la salud humana, lo cual depende de sus propiedades físicas y químicas, de la dosis que se inhala y del tiempo de exposición, el ozono y las partículas son los contaminantes que tienen una mayor importancia debido a sus efectos a la salud. La población más afectada o propensa son los menores de 5 años y los adultos mayores de 65.



INTRODUCCION

El presente trabajo se desarrolla en cuatro capítulos; el primer capítulo trata sobre el marco conceptual manejado para nuestro trabajo.

En el segundo se hace un recuento de el avance en materia de políticas ambientales de nuestro país hasta llegar al "Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México" 2002-2010.

El tercer capitulo trata sobre el principal dispositivo anticontaminante el catalizador automático y los efectos de los contaminantes en la salud de la población. En el capitulo cuatro se muestran los resultados del ACB.



OBJETIVO GENERAL

Calcular costos y beneficios de reducir el contenido de azufre en la gasolina que se utiliza en los vehículos que circulan en la ZMCM.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ◆ Distinguir y comparar la calidad del aire de la ZMCM la cual se ha deteriorado a través del tiempo.
- ◆ Determinar el grado de daño para los habitantes de la ZMCM debido al actual contenido de azufre en la gasolina de los vehículos
- ◆ Determinar el efecto que ha tenido sobre la población la calidad del aire.
- ◆ Analizar los Costos y Beneficios que traería reducir el contenido de azufre en la gasolina utilizada por los vehículos de la ZMCM sociales, económicos, ecológicos.



CAPITULO I MARCO TEÓRICO

En los últimos años se ha incrementado el interés en torno de la valoración económica de bienes ambientales. Su importancia radica en el posible impacto que pueden tener los proyectos específicos o la puesta en marcha de diversas medidas de regulación.

Actualmente es posible acudir a metodologías económicas con la intención de comparar los beneficios y costos asociados con diferentes intervenciones en el medio ambiente. La determinación de beneficios y costos en unidades monetarias permite contar con un indicador cuantitativo, que puede ayudar en la toma de decisiones con respecto al manejo de los bienes ambientales.

Esto ocurre en proyectos de desarrollo y conservación de recursos naturales, por lo cual se han desarrollado varios métodos que ayudan a estas comparaciones y a encontrar un valor aproximado de estos recursos, tales como: método de los precios sombra, método de los precios hedónicos, costo de viaje, etc.

La valoración económica se fundamenta en la Teoría del Bienestar, cuya premisa es el incremento del bienestar de las personas que conforman la sociedad. El bienestar de una persona depende del consumo de bienes y servicios (intercambiables en el mercado o bienes sin mercado), y para obtener valores económicos es necesario medir los cambios en el bienestar de los individuos y por tanto de la sociedad. Otro punto a considerar son las preferencias de los individuos, que tienen la característica de ser sustituibles es decir que si la cantidad de un bien se reduce, es posible sustituirlo incrementando la cantidad de otro bien.

Si partimos del punto en que el ser humano da valor a las cosas, incluyendo el medio ambiente (agua, suelo, aire) porque cumple con una serie de funciones que proporcionan bienestar a la sociedad, podemos afirmar que al estar considerando bienes públicos, de no exclusividad y de no rivalidad en el consumo, quien otorga su valor son los usuarios del mismo.

Las medidas en el cambio del bienestar de las personas se asocian con cambios en los niveles de precios o cambios en las cantidades consumidas de un bien. Para bienes ambientales, el objetivo es determinar el cambio en el bienestar del individuo que se atribuye a un cambio en la calidad o cantidad de un bien ambiental.

Valorar económicamente los servicios ambientales significa obtener una medida monetaria de los cambios en el bienestar que experimenta una persona o grupo de personas a causa de una mejora o daño de estos servicios ambientales. Asociar una determinada cifra



monetaria con el valor económico de los servicios ambientales no pretende representar un precio, sino un indicador monetario del valor que tendría en el mercado para un individuo o conjunto de individuos el servicio en cuestión.

Las metodologías de valoración económica tienen los siguientes aportes:

- ❖ La importancia que el medio ambiente tiene en las estrategias de desarrollo de los países debido a que los daños ambientales originan costos elevados a las naciones. Muchos de estos costos no están incluidos en los indicadores macroeconómicos debido a que no se pueden observar en los mercados. Por lo tanto, es necesario conocer estos valores para incorporarlos y establecer estrategias de desarrollo con una visión a largo plazo.
- ❖ La incorporación de los aspectos ambientales a las cuentas nacionales, que registran las transacciones económicas realizadas en cada país.¹
- ❖ El establecimiento de prioridades sectoriales y nacionales.
- ❖ Evaluación de proyectos, programas y políticas. La evaluación tradicional de proyectos no considera los aspectos ambientales por lo que se han propuesto diferentes metodologías de valoración de bienes ambientales, las cuales se explican más adelante.

1. MÉTODOS DE VALORACIÓN DE PROYECTOS.

1.1 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

Por naturaleza, el ser humano está totalmente lleno de necesidades sean estas básicas o superfluas, las cuales han sido parcialmente cubiertas por quienes se han preocupado por invertir recursos principalmente económicos, para producir aquellos bienes escasos y dar solución a los problemas que se presentan.

Con la finalidad de buscar una solución tendiente a resolver dichas necesidades surgen los proyectos y con ellos la necesidad de evaluarlos y estudiarlos; para ello mediante la elaboración de un análisis Costo - Beneficio podemos seleccionar cuál es la mejor inversión, tomando en cuenta la relación Beneficio/Costo, para asegurarse que el proyecto se ejecute en el tiempo obteniendo rendimientos más altos.

La evaluación, cualquiera que ésta sea, tiene por objeto conocer su rentabilidad económica y social de modo que asegure resolver una necesidad en forma eficiente, segura y rentable, seleccionando la mejor alternativa.

¹ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1996), "Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México 2000-2002". México



El concepto de un análisis de Costo - Beneficio (ACB) consiste en establecer un marco para evaluar si en un momento determinado en el tiempo, el costo de una medida específica es mayor que los beneficios derivados de la misma.

Dentro de la evaluación social de proyectos compara los costos y beneficios que determinada inversión pueda tener para la comunidad de un país en su conjunto. Debido a que no siempre un proyecto que es rentable para un particular es también rentable para la comunidad y viceversa.

El resumen de los costos y beneficios netos deberá ser desarrollado evaluando todos los impactos del proyecto, positivos y adversos, que afectan los ambientes físicos, biológicos, socioeconómicos y de interés humano. Los elementos específicos de los ambientes afectados que deben ser considerados en el análisis de Costo - Beneficio incluyen ²:

El Ambiente físico, el área de alteración, los impactos en el medio ambiente y las consecuencias sociales.

Las consideraciones anteriormente mencionadas deben ser usadas para formular una evaluación acumulativa del proyecto y los principales efectos positivos y negativos que ocurrirán en el área de aplicación del mismo.

En la mayoría de casos los aspectos positivos contribuirán a las utilidades de él en general y al mejoramiento social. En otros, el proyecto puede generar un impacto negativo acumulativo en el ambiente circundante que debe ser considerando y tal vez no beneficie a la mayoría.

En este sentido, el análisis Costo - Beneficio se encarga de cuantificar los costos y beneficios sociales, además de costos y beneficios tangibles e intangibles que no sólo ocurren para el inversionista, en este caso el gobierno o encargado de poner en marcha dicho plan sino también para la comunidad ³.

Sin embargo, aunque es útil al sector privado por considerar los efectos sociales y secundarios de un proyecto, se adapta principalmente a la toma de decisiones en el sector público. Debido a que este análisis es una herramienta que ayuda a tomar decisiones públicas realizadas desde el punto de vista de la sociedad en general, puesto que se aplica a políticas y programas que tienen tipos de productos fuera del mercado, es decir, no cuantificables de manera monetaria, como por ejemplo las mejoras de la calidad ambiental y de ecosistemas.

² Minera Barric Misquichilca, "Estudio de Impacto Ambiental", Santiago de Chile 1997.

³ Minera Barric Misquichilca, "Estudio de Impacto Ambiental", Santiago de Chile 1997.



Actualmente, el Análisis Costo – Beneficio, es una de las principales herramientas para la evaluación económica, el cual se utiliza para proyectos públicos en la administración de recursos naturales.

1.1.1. ANTECEDENTES DEL ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO

Este análisis se utilizó por primera vez en 1936 en Estados Unidos en el “Acta para Control de Inundaciones” del mismo país; y a la fecha goza de gran auge y utilización en todo el mundo⁴.

Ha sido utilizado por diversos organismos ente ellos:

- ❖ Agencia de Protección al Ambiente, EUA.
- ❖ Banco Interamericano de Desarrollo.
- ❖ El Instituto Latinoamericano de Planificación Económica Social.
- ❖ Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.
- ❖ Nacional Financiera. FONEP.
- ❖ Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal.
- ❖ Secretaria de Hacienda y Crédito Público.
- ❖ Secretaría del Medio Ambiente del DF.

En suma, el análisis Costo – Beneficio, es una técnica que nos permite ordenar tanto los costos como los beneficios de una norma o programa, de manera tal que provee información en la toma de decisiones con respecto a la conveniencia de la misma para la sociedad⁵.

1.1.2. OBJETIVO DEL ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO

Este análisis, se define como la relación que existe entre el costo económico de aplicar una medida y el beneficio que se obtiene de la misma. Su objetivo es evaluar el impacto de la ejecución del proyecto versus el no ejecutarlo, sobre el nivel de bienestar socioeconómico de la unidad productiva o social donde se efectúa.

“Para la identificación de los costos y de los beneficios del proyecto que son pertinentes para su evaluación, es necesario determinar una situación base o situación sin proyecto; la comparación de los que sucede con proyecto versus lo que hubiera sucedido sin proyecto, definirá los costos y beneficios pertinentes del mismo”⁶.

⁴ Rosales, Patricia. “Valuación Económica de la Contaminación del Agua en la Cuenca baja del Río Coatzacoalcos”,(Tesis Profesional para obtener el Título de Maestro en finanzas), UNAM. México, 1998.

⁵ Cohen E., Franco R. “Evaluación de Proyectos Sociales”, 1996, Siglo veintiuno, México.

⁶ Fontaine E.(1984), “Evaluación Social de Proyectos”,Chile,1984.



Por tanto este análisis permite determinar si los proyectos son o no rentables, comparando los flujos actualizados de beneficios y de costos que derivarán de su implementación.

El análisis Costo – Beneficio proporciona criterios para seleccionar entre los diversos escenarios de desarrollo aquél que maximice tanto la rentabilidad como los beneficios para la comunidad. Por ello se basa en considerar los beneficios y costos para cada una de las partes.

1.1.3. MARCO CONCEPTUAL DEL ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO

Un análisis Costo – Beneficio implica medir y comparar todos los beneficios y todos los costos de un proyecto o programa público.

Existen inicialmente cuatro pasos en un análisis costo – beneficio:

- Especificar en forma clara el proyecto o programa, definiendo el alcance del mismo que puede darse a nivel global, poblacional, para un país o algún ámbito espacial del mismo.
- Describir en forma cuantitativa las entradas y salidas del programa, estableciendo la vida útil del proyecto.
- Calcular los costos y beneficios sociales de estas entradas y salidas en términos monetarios para poder interpretar todos los impactos del proyecto.
- Comparar estos beneficios y costos calculando la razón beneficio/costo la cual determina beneficios que producirá el proyecto por cada unidad monetaria gastada.

“El análisis costo beneficio, emplea principios de agregación basados en la eficiencia, así una propuesta es eficiente si lo que se gana es mayor a lo que se pierde, de manera que los ganadores están en posición de compensar a los perdedores y estar aún algo mejor que antes, o una propuesta es eficiente si la suma de beneficios es mayor que la suma de los costes, sean quien sean los ganadores y perdedores”¹.

Se basa en un principio muy simple: compara los beneficios y costos de un proyecto particular, si los primeros exceden a los segundos éste se aceptará, si por el contrario los costos superan a los beneficios, el proyecto debe ser rechazado.

¹ Layard Richard. “Análisis Costo – Beneficio”, Ed F.C.E, México, 1978.



1.1.4. ESPECIFICACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS A CONSIDERAR

Los proyectos sociales requieren el estudio de los costos y beneficios directos, indirectos e intangibles que produce, así como de las externalidades que puede generar.

Los costos y beneficios directos se miden por el aumento o disminución que el proyecto provocará en el ingreso nacional mediante la cuantificación de la venta monetaria de sus productos.

Los costos y beneficios sociales indirectos correspondientes a los cambios que provoca la ejecución del proyecto en la producción y consumo de bienes y servicios relacionados con éste.

A. Costos Indirectos

Son todos aquellos impactos desfavorables o negativos que son resultado de la implementación de un proyecto o programa.

B. Costos Directos

Son todos aquellos recursos que deben destinar los particulares y/o el gobierno para que se realice el programa o proyecto que se propone. Estos pueden ser:

- ❖ Identificación de los insumos necesarios para aplicar y hacer cumplir el proyecto. Como por ejemplo adquisición de tecnología, infraestructura, equipo, etc.
- ❖ Los precios de esos insumos y sus fuentes de abastecimiento.

C. Costos Públicos

Son los costos en los que incurre el gobierno por llevar a cabo un proyecto o programa; por ejemplo, la reglamentación y supervisión de hacer cumplir una Norma Ambiental.

D. Costos Privados

Son los costos en que incurren los diferentes grupos o sectores sociales y productivos afectados.

Ejemplos de éstos pueden ser los costos de adquisición de equipo, costos de instalación, capacitación, insumos auxiliares, etc.

Costos Totales

Estos serán la suma de los costos públicos y los costos privados.

1.1.5. COMPARACIÓN ENTRE LOS COSTOS Y BENEFICIOS.

Se emplea el análisis Costo - Beneficio para asegurarse de que el proyecto se ejecutará en el tiempo y en la forma que produzca la razón mas alta de beneficio con respecto al costo, para obtener los rendimientos financieros más altos, y lograr el valor presente neto más elevado.



Habiendo seleccionado las alternativas viables para comparación se prepara una tabla para cada proyecto, señalando los siguientes detalles para cada uno de los años de vida del mismo:

- A. El costo total del proyecto durante cada año, incluyendo los costos de capital, operación y mantenimiento, costos sociales y otros costos tangibles.
- B. Los beneficios totales que se obtendrán del proyecto por las ventas de bienes y servicios, incluyendo el valor de los beneficios sociales.

Para llevar a cabo su comparación deben considerarse todos los ingresos y egresos del proyecto, el valor relativo del dinero en el tiempo y la tasa de interés equivalente, cuando se comparan magnitudes monetarias en momentos diferentes.

Las formas de cálculo más utilizadas son el Valor Presente Neto, la Tasa interna de Retorno y la relación Beneficio /Costo.

1.2. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO AMBIENTAL

El Análisis Costo - Beneficio sigue un camino relativamente sencillo

- ❖ Identificación de todas las actividades que se tiene previsto ejecutar en el marco de un proyecto;
- ❖ Identificación de todas las consecuencias predecibles de cada actividad;
- ❖ Asignación de valores a cada consecuencia;
- ❖ Reducción de todos estos valores (positivos y negativos) a un común denominador (normalmente económico); y
- ❖ Suma de todos los valores (positivos y negativos) para obtener un valor neto.

Si se obtiene un valor positivo neto como resultado de este ejercicio, se podrá concluir que el proyecto generará una mejora del bienestar social. Sin embargo, aunque el proceso que se ha descrito anteriormente pueda parecer relativamente sencillo, existen algunas dificultades prácticas que limitan la aplicación del mismo. Entre ellas está la dificultad de asignar valores a activos ambientales, recursos culturales, humanos y sociales u oportunidades de conservación, para los cuales no existen mercados.

Veamos a continuación los principales métodos de valoración de la teoría neoclásica.



1.3 MÉTODO DE LOS COSTOS EVITADOS E INDUCIDOS

Dado que existen bienes ambientales que están relacionados con bienes que si tienen mercado. Se presenta el caso en el que el bien ambiental forma parte de la función de producción del bien o servicio intercambiable en el mercado, como un insumo. Otra situación es cuando el bien ambiental entra a formar parte, junto con otros bienes privados, de la función de producción de utilidad de un persona o familia ⁸.

El Método de Costos Evitados o inducidos ha sido aplicado para cuantificar el impacto de un cambio ambiental sobre distintos medios receptores. Este método intenta medir la disminución de costos en caso de evitar o reducir cierta actividad.

En este método, los cambios en la calidad ambiental pueden reflejarse, entre otros, en los costos de mantenimiento y gastos de las familias; por ejemplo, gastos médicos.

Por medio de las funciones dosis-respuesta correspondientes, y midiendo los niveles de daño en la zona de estudio. Se estiman los impactos que tiene la medida propuesta sobre las distintas actividades productivas afectadas a partir de las características del entorno analizado.

1.4. MÉTODO DE LOS PRECIOS HEDÓNICOS.

El modelo de los precios hedónicos para valorar externalidades ambientales y bienes no intercambiables en el mercado fue impulsado por Sherwin Rosen⁹. El utiliza la justificación teórica entre la relación de los precios de mercado y las características de los bienes.

El modelo desglosa el precio de un bien de mercado en función de varias características o cualidades específicas y particulares, las cuales tienen un precio implícito cuya suma determina el precio de mercado en cuestión.

Este método se basa en la premisa de que los consumidores ajustan sus compras de bienes y servicios como respuesta a cambios en la calidad del ambiente; es decir que es posible encontrar diferencias en los precios de algunos bienes que son provocados por las diferencias en factores ambientales¹⁰.

⁸ Azqueta Oyarzun Diego. "Valoración Económica de la Calidad del aire", Ed. Mc Graw Hill, Madrid 1994.

*El hecho de carecer de mercado no impide que los bienes ambientales estén relacionados con bienes que sí lo tienen. El bien ambiental entra a formar parte de él como sustitutivo de una determinada función producción:

- a) Ordinaria de un bien o servicio normal, como un insumo productivo.
- b) Forma parte junto con otros bienes privados de la función de producción de utilidad de una persona o familia determinada.

⁹ Melgar Margarita, et al. "Valoración Contingente sobre la Calidad del Aire de la Ciudad de México", I.M.P., México, 2002.

¹⁰ Azqueta Oyarzun Diego. "Valoración Económica de la Calidad del aire", 1994



1.5. MÉTODO DE LOS COSTOS DE VIAJE.

En el año 1949, Harold Hottelling¹¹ esboza los postulados básicos de lo que sería el modelo de costos de viaje. El modelo se fundamenta en los costos en que tiene que incurrir el visitante por disfrutar de servicios recreativos ofrecidos en un lugar específico. Este método, se busca estimar la variación en la demanda del bien ambiental, traducida por el número de visitas, ante cambios en los costos de viaje.

M. Freeman menciona al respecto que desde el punto de vista económico los servicios recreativos proporcionados por sistemas de recursos naturales tales como, lagos, ríos, bosques, entre otros, poseen dos características importantes:

- ❖ Las condiciones y la calidad de los recursos naturales son fundamentales para la determinación del valor económico de los servicios recreativos.
- ❖ El acceso a los recursos que ofrecen alternativas de recreación no puede ser determinado a través de mercados.

Este método se aplica para averiguar el valor monetario de espacios naturales cuya conservación implica costes monetarios a cargo de las autoridades y algunos costes de oportunidad, es decir aquellos que se dejan de ganar por conservar su belleza natural, no valora los beneficios comerciales que podrían obtenerse de un espacio natural; lo que el método averigua es puramente la disposición a pagar de los visitantes del mismo (DAP).

1.6. MÉTODO DE VALORACIÓN DE CONTINGENCIAS.

El método de valoración contingente surgió en 1947, cuando Ciriacy-Wantrup¹² sugirió el uso del método de entrevista directa para medir los valores asociados a los recursos naturales.

En 1963, R. Davis realizó su tesis doctoral y aplicó esta técnica. Posteriormente, los avances en materia de economía ambiental permitieron el adelanto en el método el cual intenta medir el valor económico que los individuos le otorgan a un flujo de servicios que genera el medio ambiente. Éste se caracteriza por crear un mercado hipotético, en el que los individuos declaran sus preferencias, expresando su disposición a pagar una cantidad de dinero por la provisión de un bien público.

¹¹ Melgar Margarita, et al. "Valoración Contingente sobre la Calidad del Aire de la Ciudad de México", I.M.P., México, 2002.

¹² Melgar Margarita, et al. "Valoración Contingente sobre la Calidad del Aire de la Ciudad de México", I.M.P., México, 2002.



Existe una larga lista de bienes que tienden a ser valorados usando el método de valoración contingente, incluyendo cambios en la provisión de calidad de agua, aire suelo, etc.

A diferencia de los métodos indirectos (costos de viaje o precios hedónicos), en el método de valoración contingente se pregunta directamente a una muestra de la población en cuánto valora un determinado bien ambiental. La pregunta básica es disposición a pagar o la disposición a aceptar una compensación por un cambio específico en la calidad o cantidad del recurso ambiental.

En algunas ocasiones puede ser interesante obtener el valor monetario que una población está dispuesta a pagar, por la conservación de un bien ambiental o por evitar una externalidad negativa, es decir, puede ser interesante averiguar su DAP para obtener un bien ambiental o para evitar su deterioro¹³.

Puede resultar útil a un estado o municipio contar con un estudio que incluya cuánto estarían dispuestos a pagar los ciudadanos por un bien ambiental.

Para realizarlo se procedería de la manera siguiente:

1. Se realizaría una encuesta a la población afectada tomando sólo una muestra de la misma.
2. Describir y comunicar a los entrevistados la situación física que se desea corregir o el bien ambiental que se desea preservar,
3. Se les pregunta cuál sería su disposición a pagar.

En resumen el Método de valoración de Contingencias se realiza preguntando sobre la disposición a pagar de una muestra de la población afectada. Para así poder tomar la decisión correcta en beneficio de toda la población.

2. PRINCIPALES INDICADORES ECONÓMICOS

2.1. VALOR PRESENTE NETO

Este método es uno de los más utilizados para la evaluación de proyectos de inversión. El valor presente neto (VPN) es el valor obtenido mediante la actualización de los flujos netos del proyecto (ingresos menos egresos) considerando la inversión como un egreso a una tasa de descuento determinada previamente.

¹³ Martínez Alier. "Introducción a la Economía Ecológica Valoración de Proyectos".



Si el VPN es positivo se considera que el proyecto es favorable, si es igual o cercano a cero, el proyecto apenas cubre el costo mínimo, si es negativo, la rentabilidad esta por debajo de la tasa de aceptación y por lo tanto el proyecto debe descartarse, a no ser que existan riesgos o costos sociales que ameriten su realización.

Consiste (VPN) en determinar la equivalencia en el tiempo cero los flujos de efectivo futuros que generará un proyecto y comparar éste, con el desembolso inicial¹⁴.

El VPN nos determinará si es rentable aplicar este tipo de medida, es decir, si se recuperan los costos de inversión iniciales; demostrando que si estos costos son menores a los que genera en el tiempo, es recomendable aceptar el proyecto.

La fórmula para determinar el valor presente neto de los flujos generados por un proyecto de inversión es la siguiente:

Donde:

- VPN = Valor Presente Neto.
- So = Inversión Inicial.
- St = Ingreso neto del año t
- n = Número de Períodos de Vida del Proyecto.
- i = Tasa de Descuento

El criterio de selección formal para la medida de valor presente neto consiste en aceptar todos los proyectos cuyo VPN sea positivo. Esto es $VPN > 0$ indica que el proyecto es aceptable, $VPN < 0$ aconseja que el proyecto no debe realizarse.

3. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de actualización que vuelve igual a 0 el valor presente neto del flujo de fondos. Representa la rentabilidad media de la inversión realizada en el proyecto durante toda su duración.

¹⁴ Cohen E., Franco R. "Evaluación de Proyectos Sociales", 1996



$$TIR = \sum_{t=0}^n S_t (1+i)^{n-t} = 0$$

Donde:

S_t = Flujos de Efectivo Neto del Período t.

n = Número de Periodos de Vida del Proyecto

i = Tasa de Interés

Es conveniente realizar la inversión cuando la TIR es mayor que la tasa de interés. Esto es cuando el uso de capital invertido en el proyecto es mayor que el invertido en otras alternativas.

4. RELACIÓN BENEFICIO / COSTO

Teniendo presente que las distintas corrientes de beneficios y costos deben ser actualizadas para hacerlas comparables, su relación será igual al cociente del valor actual de los beneficios (VAB) sobre el valor actual de los costos (VAC) ¹⁵.

La relación beneficio/costo es el cociente de los flujos descontados de los beneficios o ingresos totales del proyecto, sobre los flujos descontados de los costos o egresos totales del proyecto.

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Beneficios}}{\text{Costos}} = \frac{B}{C}$$

Para que el proyecto sea aceptable la Relación Beneficio / Costo (B/C) debe ser mayor o igual a la unidad. Si es igual indica que el VPN del proyecto será igual a cero y los beneficios y los costos se igualan cubriendo apenas el costo mínimo, si fuera menor significaría que el proyecto es desfavorable, pues reporta que la tasa aplicada no cubre los costos por lo que no se estaría recuperando la inversión.

La relación, B/C varía en función de la tasa de actualización. Cuanto mayor sea ésta, menor será la relación y viceversa. Si se elige una tasa de actualización suficientemente elevada la relación beneficio/costo descenderá por debajo de la unidad lo cual indicara que el proyecto es desfavorable, pero desde el punto de vista del bienestar de generaciones futuras, las bajas tasas de descuento benefician la conservación de los recursos naturales y del largo plazo.

¹⁵ Cohen E., Franco R. "Evaluación de Proyectos Sociales", 1996



Adicionalmente a esto existe otra limitante derivada de que las relaciones costo/beneficio; dependen de cómo se clasifican y agrupan los costos y beneficios, por lo que no hay ninguna regla que pueda uniformizar el análisis.

5. ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO DE PROYECTOS AMBIENTALES EN MÉXICO

La parte más difícil del análisis, es la cuantificación de los beneficios ambientales. Sin embargo, ya se cuenta con tres trabajos que utilizaron el método de los costes evitados o inducidos para realizar esta estimación.

El primero es el realizado por el Banco Mundial, en 1992 denominado "Back-of-the-Envelope Estimates of Environmental Damage Costs in México"¹⁶, donde se calculan beneficios ambientales debidos a la mejora en la erosión del suelo, calidad del aire y del agua; utilizando funciones dosis respuesta y costos de atención médica en los Estados Unidos de América.

El segundo es el realizado por el Instituto Nacional de Salud Pública en 1995, este proyecto realizó una valuación económica de los beneficios que se logran de reducir la contaminación del aire en la ciudad de México, para ozono, PM10 y plomo, usando información de funciones dosis respuesta y costos de tratamiento médico para la población nacional.

Por último, entre los estudios mas recientes encontramos, el estudio de "Valuación Económica de la Contaminación del Agua en la Cuenca baja del Río Coatzacoalcos"¹⁷.

6. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE LA REDUCCION DE AZUFRE EN LA GASOLINA A 50 PPM EN LA ZMCM

Para esta investigación el Análisis Costo – Beneficio comprende la determinación de los costos en los que se incurrirá por la reformulación de la gasolina al pasar de contener un volumen de 450 ppm a 50 ppm de azufre.

TIPOS DE BENEFICIOS

Los beneficios cuantificados son aquellos en los que se incurre por la aplicación de ésta medida, entre ellos se identificaron los siguientes:

¹⁶ Rosales, Patricia. "Valuación Económica de la Contaminación del Agua en la Cuenca baja del Río Coatzacoalcos", (Tesis Profesional para obtener el Título de Maestro en finanzas), UNAM. México, 1998

¹⁷ Rosales, Patricia. "Valuación Económica de la Contaminación del Agua en la Cuenca baja del Río Coatzacoalcos", (Tesis Profesional para obtener el Título de Maestro en finanzas), UNAM. México, 1998



BENEFICIOS PRIVADOS

Los beneficios privados son los cuantificados en este análisis para los automovilistas como son los costos por mantenimiento.

BENEFICIOS PÚBLICOS

Son aquellos que gracias a la disminución de emisiones y la mejor calidad del aire, se generan en la población dada la disminución de contaminantes que se dará a través de la reformulación de la gasolina.

BENEFICIOS TOTALES

Se obtienen a través de la suma de los beneficios públicos y los beneficios privados.

TIPOS DE COSTOS

Los costos cuantificados son aquellos en que se incurre por la aplicación de la misma medida, entre ellos se encuentran:

COSTOS PRIVADOS

Son aquéllos en que incurren los particulares por la elaboración del proyecto, en este caso la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, la cual invertirá para adoptar la nueva tecnología a los autos fabricados del año 2006 en adelante.

COSTOS PÚBLICOS

Aquéllos en que incurren las autoridades, gobiernos estatales y locales por la aplicación de normas ambientales, en este caso PEMEX para la reconfiguración de la refinería de Tula y la adquisición del equipo necesario para la producción de la gasolina reformulada.

COSTOS TOTALES

Se obtienen a través de la suma de los costos públicos y costos privados



CAPITULO II CALIDAD AMBIENTAL DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Teniendo en cuenta que la Ciudad de México es el centro cultural, económico e industrial de la República Mexicana, se puede observar que el medio ambiente esta siendo afectado de manera directa, en lo que toca a la calidad de aire de la ciudad.

Son factores inapelables para su contaminación:

- ❖ La reanudación de un crecimiento económico sostenido hará aumentar aceleradamente el número de vehículos en circulación, el total de kilómetros recorridos y el consumo de combustible.
- ❖ El debilitamiento y pausa observados en la creación de políticas e instrumentos normativos.

Pero, ¿qué es el aire?

El aire es una mezcla de gases que rodea la Tierra en una capa relativamente delgada. La mayor parte del aire (95%) se encuentra dentro de los primeros 20 kilómetros sobre el nivel del mar, por encima de los cuales disminuye la densidad hasta desvanecerse de manera gradual en el vacío del espacio, algunos cientos de kilómetros sobre la superficie de la tierra. La parte más baja de dicha capa, la troposfera, tiene aproximadamente 8 kilómetros de espesor en los polos de la Tierra,

En su mayor parte, las actividades del hombre se realizan sobre la superficie de la Tierra dentro de los primeros 2 kilómetros de la atmósfera; los contaminantes generados por estas actividades se filtran directamente en la troposfera donde son mezclados y transportados.

Los componentes principales del aire, nitrógeno (78%), oxígeno (20.94%) y argón (0.93%), no reaccionan entre sí bajo circunstancias normales. Así mismo las pequeñas cantidades de helio, neón, criptón, xenón, hidrógeno y óxido nitroso tienen poca o ninguna interacción con otras moléculas. Algunos otros gases, también presentes en pequeñas cantidades, no son químicamente inertes, sino que interactúan con la biosfera, la hidrosfera y entre ellos mismos; en consecuencia, esos gases tienen un tiempo de permanencia ilimitado en la atmósfera y concentraciones característicamente variables. Los gases reactivos de este grupo son los que se consideran contaminantes cuando los produce el hombre en cantidades suficientemente elevadas como para exceder en forma significativa las concentraciones del ambiente señaladas. Los gases más importantes dentro de este



grupo son los que se encuentran presentes de manera general en el aire de las ciudades del mundo, a saber, dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO y NO₂), monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos, excepto el metano. Otros gases reactivos también pueden causar problemas de contaminación en concentraciones elevadas; por ejemplo, los gases halógenos cloro y flúor, así como sus ácidos derivados: ácido clorhídrico y ácido fluorhídrico.

En las ciudades la contaminación proviene de una multiplicidad de fuentes y una de las principales es el automóvil, el cual contribuye con más del 70% de los hidrocarburos y óxidos de nitrógeno en la mayoría de los "cobertizos" del aire contaminado que cubren las ciudades, y con un 90 % de monóxido de carbono. Estos contaminantes afectan a la ciudad y se producen en forma severa donde existen velocidades de viento bajas y condiciones atmosféricas estables, lo cual impide la dispersión de contaminantes y maximiza sus oportunidades de reaccionar. Por lo que se han realizado importantes esfuerzos para reducir la contaminación, tomando diversas medidas como la mejora en la calidad de las gasolinas, dispositivos anticontaminantes en los vehículos y se han implementado normas para regular la emisión de contaminantes a la atmósfera además de programas como el "Hoy no circula" y diferentes planes de contingencia; así como atención especial a la tecnología automotriz.

1.1 CARACTERISTICAS FISIOGRÁFICAS, CLIMÁTICAS Y DEMOGRÁFICAS DE LA ZMCM

En la ciudad de México se concentran las instituciones gubernamentales del país, así como gran parte de sus recursos. Estos factores combinados con un acelerado crecimiento durante los últimos cuarenta años y una modernización e industrialización constantes, hacen que el problema de la contaminación del aire se intensifique.

Para poner esto en perspectiva, más de la mitad de la industria del país se encuentra en una área urbana de más o menos 1,050 kilómetros cuadrados inscrita en la ZMCM. Adicionalmente, más de una quinta parte de la población nacional habita en la Ciudad, donde se consumen más de 150 veces el promedio de energía por unidad de área y circulan las tres quintas partes de los vehículos del país.

Estos factores, aunados a la altitud y a que está rodeada de montañas contribuyen al deterioro de la calidad del aire.

1.1.1 Características fisiográficas :

La ZMCM se encuentra localizada a una latitud tropical de 19 grados norte, a una altura de 2 mil 240 metros, por lo que el contenido del aire es 23% menor que al



nivel del mar. Esto hace que los procesos de combustión interna sean menos eficientes y produzcan por tanto una mayor cantidad de contaminantes¹.

Debido a la latitud de la ciudad de México la atmósfera es aproximadamente 25 % menos densa que al nivel del mar. Esto significa que el filtro protector que la atmósfera ofrece es 25 % menor, en consecuencia la mayor incidencia de radiación azul y ultravioleta acelera las reacciones fotoquímicas en la atmósfera y da lugar a una mayor formación de ozono².

La ZMCM está rodeada por las montañas de las sierras del Ajusco, Chichinautzin Nevada, Las Cruces, Guadalupe y Santa Catarina, las que constituyen una barrera física natural para la circulación del viento, impidiendo el desalojo del aire contaminado fuera del valle. Esto es un factor importante para la formación de un fenómeno natural conocido como inversión térmica.

La ZMCM se localiza dentro de la región central del país por lo que está sujeta también a la influencia de sistemas anticiclónicos, generados tanto en el Golfo de México como en el Océano Pacífico. Estos sistemas ocasionan una gran estabilidad atmosférica, inhibiendo el mezclado vertical del aire.

1.1.2 Características Climáticas :

La ZMCM presenta con frecuencia inversiones térmicas que provocan el estancamiento de los contaminantes. Por las mañanas la capa de aire que se encuentra en contacto con la superficie de los suelos adquiere una temperatura menor que las capas superiores, por lo que se vuelve más densa y pesada. Las capas de aire que se encuentran a mayor altura y que están relativamente más calientes actúan entonces como una cubierta que impide el movimiento ascendente del aire contaminado.

1.1.3 Características Demográficas:

Por otra parte, se ha comprobado que el aumento de la contaminación al medio ambiente está directamente relacionado con el número de personas que la habitan, así como por los procesos de industrialización ocurridos en el país. Entre las principales características demográficas que contribuyen a agudizar el problema de la contaminación encontramos las siguientes:

La ZMCM está integrada de 16 delegaciones políticas del D.F. y 18 municipios conurbados del Estado de México (figura 2.1), con una superficie de 3,540 km² por lo que se considera una de las metrópolis más grandes del mundo, sino es que la

¹ Santibáñez, Norma. Método para la creación de poblaciones sintéticas de la flota vehicular de la ZMCM, 2000.

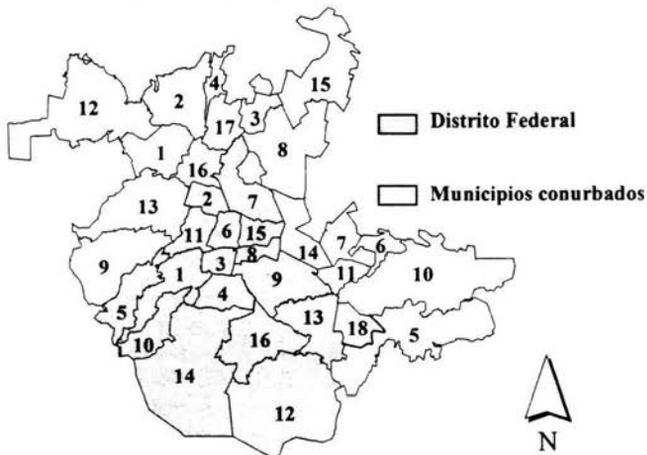
² Santibáñez, Norma. Método para la creación de poblaciones sintéticas de la flota vehicular de la ZMCM, 2000.

³ Gobierno del Distrito Federal, SMA 2002, Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 2002-2010.



más grande. Aun cuando ha disminuido el crecimiento poblacional, en la actualidad alberga a 18.1 millones de habitantes⁴.

Figura 2.1 Zona Metropolitana del Valle de México.



Fuente: Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México, 1999.

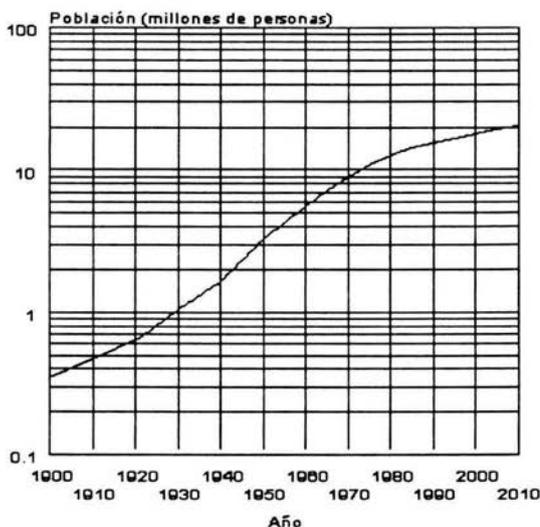
En los últimos veinte años, el ritmo de crecimiento de la población ha disminuido significativamente en la zona metropolitana; sin embargo, de continuar las tendencias actuales, la población de la ZMVM pasará de 18.1 millones de habitantes a aproximadamente 20.5 millones en el año 2010 y unos 22.5 millones en el año 2020⁵ (figura 2.2). Esto afecta de manera importante el problema de contaminación atmosférica porque a mayor número de personas mayor es la necesidad de transporte.

⁴ Gobierno del Distrito Federal, SMA 2002, Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 2002-2010.

⁵ Gobierno del Distrito Federal, SMA 2002, Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 2002-2010.



Figura 2.2 Evolución y proyección de la población de la ZMVM, 1900-2010.



Fuente: CONAPO, 2000. Estimaciones y proyecciones de población.

Otro factor que contribuye al aumento de contaminación en nuestra ciudad, es la deforestación que ha sufrido la cuenca de México, ya que aproximadamente el 75 % de la vegetación original ha sido devastada.⁶

Debido a la gran cantidad de vehículos que circulan en la ZMCM, las políticas y programas contra la contaminación se han dirigido fundamentalmente a tratar de controlar el uso de vehículo privado con un estricto control del estado mecánico de los vehículos y el uso de combustibles menos contaminantes.

OZONO

El ozono se forma en la naturaleza por medio de reacciones fotoquímicas complejas, éstas involucran la interacción de la componente ultravioleta de la luz solar con los contaminantes atmosféricos. Los procesos fotoquímicos que se llevan a cabo en la atmósfera dan lugar al ozono y otros contaminantes secundarios.

⁶Gobierno del Distrito Federal, SMA 2002, Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 2002-2010.



1.1.4 Factores que contribuyen a la contaminación:

Los autos mal afinados o mal mantenidos contaminan mucho más que los que reciben un mantenimiento adecuado; aunque también existen factores relacionados con la tecnología de vehículos: su cilindrada, el modelo y la utilización de dispositivos anticontaminantes.

1.1.4.1 AUTOMÓVILES EN LA ZMCM

En la Ciudad de México las primeras medidas que tomó el Gobierno para reducir la emisión de contaminantes generadas por los vehículos automotores se iniciaron a principios de la década de los setenta. Los esfuerzos se centraron principalmente en la detención de unidades que emitían humos en forma ostensible, a través de su identificación visual, sin embargo los programas para concientizar a los automovilistas han evolucionado.

Características tecnológicas de los automóviles que circulan en la ZMCM son:

Gasolina:

Modelos anteriores a 1990 contienen carburadores, encendido electrónico, no contienen convertidor catalítico. Por lo que para los modelos de 1991 en adelante se necesitan gasolina sin plomo, así como bajo contenido de azufre y con un mayor índice de octano⁷.

Tabla 2.1 Mejoramiento en la calidad de los combustibles

Mejoramiento en la calidad de los combustibles suministrados en la ZMCM.
(1989) Reducción del 92 % del contenido de plomo en gasolina Nova Plus.
(1989) Oxigenación de gasolinas con el fin de favorecer una combustión más eficiente
(1990) Introducción de gasolina Magna Sin para cubrir la demanda de combustible de autos con convertidor catalítico.
(1996) Introducción de la gasolina PEMEX Magna con estrictas especificaciones de calidad.
(1996) Introducción de la gasolina PEMEX Premium de 92 octanos.
(2004) Reformulación de gasolina a 400 ppm de azufre.
(2006) Introducción de gasolina PEMEX Premium con 50 ppm.

Fuente: Elaboración propia.

⁷ Santibáñez, Norma. Método para la creación de poblaciones sintéticas de la flota vehicular de la ZMCM, 200



Tecnología

La tecnología influye en que autos con carburador, producen mayores emisiones evaporativas que las que tienen sistema de inyección de combustible⁸.

Cilindrada

La cilindrada influye a la emisión de contaminantes a la atmósfera en general ya que entre más grande el motor, es decir, a mayor cilindrada, se tienen mayores emisiones de escape⁹.

Modelo

La antigüedad, ya que los autos nuevos contaminan en menor proporción que los viejos¹⁰.

Dispositivos

El utilizar dispositivos en general reduce la emisión de contaminantes, por ejemplo el cánister (dispositivo que evita la emisión al aire de gasolina sin combustionar), reduce las emisiones evaporativas de hidrocarburos, mientras que el convertidor catalítico reduce en gran proporción las emisiones de escape de CO, HC y en menor proporción los óxidos de nitrógeno¹¹.

Así de entre los factores que contribuyen a la emisión de contaminantes son: la antigüedad del parque vehicular, la tecnología de motores, la presencia de sistemas de control de emisiones, las condiciones y frecuencia del mantenimiento de los vehículos y además la cantidad de vehículos en circulación.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Evolución de las medidas para reducir la emisión de contaminantes:

En 1975 fueron incorporados los primeros analizadores manuales de gases para medir las concentraciones de monóxido de carbono e hidrocarburos, como apoyo a los operativos de detención de vehículos con emisiones ostensibles. Asimismo, se inició la instalación de centros equipados para el diagnóstico de la afinación.

En años posteriores se buscó que los automovilistas acudieran a verificar las emisiones de sus unidades, en forma voluntaria y gratuita. Al mismo tiempo el número de centro de verificación fue en aumento.

⁸ Santibáñez, Norma. Metodo para la creación de poblaciones sinteticas de la flota vehicular de la ZMCM, 200

⁹ Op.Cit

¹⁰ Op.Cit

¹¹ Op.Cit



En 1985 por una propuesta de la SECOFI se prohíbe la fabricación de motores de 8 cilindros. En 1989 se hizo obligatoria la verificación en la ZMCM, tanto para los vehículos a gasolina como a diesel. A partir de entonces, el número de centros de verificación se incrementó rápidamente para atender la totalidad de la flota vehicular; en el mismo año dadas las condiciones meteorológicas que dificultaban la dispersión de contaminantes, se inicia la aplicación obligatoria del programa "Hoy no circula" en la ZMCM el cual sigue vigente hasta la fecha.

Para 1990 se incluye la verificación vehicular semestral en el D.F. y Estado de México y la verificación semestral para camiones de carga que circulan por carreteras federales. En 1991 se introduce el convertidor catalítico en vehículos ligeros de la Chrysler, General Motors, Ford, Nissan y Volkswagen. Y en 1993 la introducción de convertidores catalíticos de tres vías en todos los modelos nuevos de automóviles a gasolina.

En 1996 se implementa el doble "Hoy no circula" con el cual a aquellos vehículos que cuentan con calcomanía dos, en días de contingencia se les prohíbe circular dos días a la semana, incentivando así la renovación del parque vehicular. Y por último a principios de 1999 se introdujo la calcomanía doble cero que exenta de la verificación por dos años a los vehículos nuevos siempre y cuando cuenten con tecnología de punta.

Entre 1950 y 1988 el número de vehículos en el D.F. aumentó más de 24 veces, mientras que la población apenas 3.4. Si en 1940 existía un vehículo por cada 36 habitantes, en 1988 lo había por cada 6. En 1988 circulaban en toda la ciudad 2.8 millones de vehículos¹².

El combustible que utilizan es muy elevado, entre 1970 y 1988 su consumo en la ciudad se incrementó más del doble y representó un tercio del total nacional. Una estimación comparativa en estos mismos años muestra que el número de vehículos y combustible consumido indica el crecimiento directamente proporcional de éstos con el de contaminantes emitidos.

Las principales vías de circulación: Insurgentes, Reforma, circuito interior, viaducto Miguel Alemán, periférico, Zaragoza, y calzada de Tlalpan, son los mayores focos de emisiones de contaminantes¹³.

En la Ciudad de México se registran anualmente alrededor de 180 días con inversión térmica¹⁴. Durante el invierno es más frecuente, prolongada y notoria; de 4 a 10 de la mañana la concentración de contaminantes es mayor, pues la temperatura ambiente registra sus más bajos valores; la masa de contaminantes llega a su máxima estabilidad por enfriamiento, por lo que su difusión es mínima. Esto ha reducido

¹² Strauss, W. Contaminación del Aire causas, efectos y Soluciones, México 1997. Tercera reimpresión.

¹³ Strauss, W. Contaminación del Aire causas, efectos y Soluciones, México 1997. Tercera reimpresión.

¹⁴ GDF, SMA. "Programa para mejorar de la Calidad del Aire de la ZMCM". 2002.



notoriamente la visibilidad en la Ciudad; en 1940 era de 12 km. en promedio y en 1985 fue de 2 km¹⁵.

Planes Programas y Acciones

Durante la administración de López Portillo, la complejidad del asunto de la contaminación requirió de la intervención de múltiples dependencias, lo que amplió el conocimiento sobre la contaminación, pero generó mayores dificultades para actuar en una sola dirección. El programa Intersectorial que hizo concurrir— aunque no obligatoriamente — a diversas dependencias públicas y al sector industrial, fue el ya mencionado “Para Mejorar la Calidad del Aire del Valle de México” en 1978.

En el marco del Plan Nacional de Desarrollo, la administración de Miguel de la Madrid elaboró desde 1984 seis programas donde se incluyeron propuestas anteriores y otras nuevas con respecto al control y prevención de la contaminación por transporte.

- Programa Nacional de Ecología 1984 –1988 (SEDUE).
- Programa de Desarrollo de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y la Región Centro (SPP), 1984.
- Programa de Reordenación Urbana y Protección Ecológica del Departamento de Distrito Federal (DDF), 1985.
- Las Medidas Contra la Contaminación en la ZMCM. Decreto Presidencial del 14 de febrero de 1986.
- Las 100 acciones necesarias, en 1987, y
- Convenio General de Concentración DDF – Grupos Ecologistas-, en 1987.
- Los tres primeros tuvieron un carácter meramente normativo. El resto, por el contrario, fueron concertados entre los distintos niveles de gobierno, las dependencias públicas involucradas, el sector privado y el social. Transcribimos los objetivos y las medidas propuestas en dichos planes; también aquí muchas quedaron en palabras y otras se cumplieron parcialmente.

¹⁵ Strauss, W. Contaminación del Aire causas, efectos y Soluciones, Mexico 1997. Tercera reimpresión.



HOY NO CIRCULA

El "Hoy no Circula" es quizá el programa más controvertido que ha llevado a cabo el Gobierno del D.F. para reducir las emisiones de contaminantes procedentes de los automotores. Surgió en noviembre de 1989 como una medida para reducir las contingencias ambientales de invierno, en marzo de 1990 fue impuesta como permanente por el entonces regente de la Ciudad, Manuel Camacho Solís. Desde su instrumentación, se caracterizó por ser un programa sin precedentes debido a que las sanciones fueron las más altas jamás impuestas para un delito administrativo en materia de tránsito: 30 días de salario mínimo y la incautación del vehículo por 48 horas a quien circula en un día no permitido.

Finalmente, en 1990 el gobierno de la Ciudad de México acepta la existencia del problema y establece un Programa Integral de Control de la Contaminación Atmosférica (PICCA) en el cual se fijan en una primera fase 41 compromisos entre los diversos sectores de la sociedad.

1.2.2 MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE DURANTE LOS 90'S

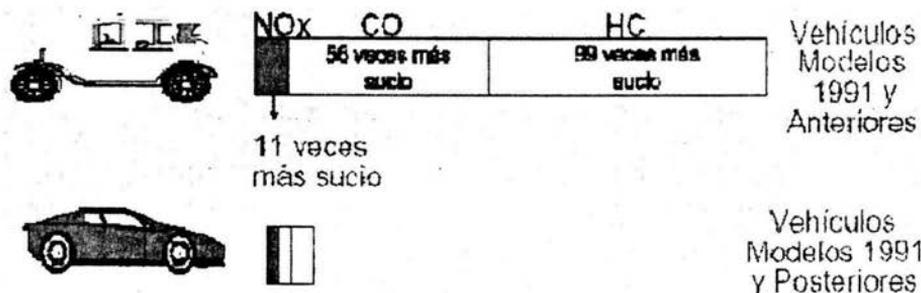
En octubre de 1990, se acordó la instrumentación del Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica en el Valle de México (PICCA). Los esfuerzos del PICCA se dirigieron a la reducción de las emisiones de plomo, bióxido de azufre, monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, así como de las partículas generadas por la destrucción de bosques, erosión de zonas deforestadas, tiraderos clandestinos y calles sin pavimentar. Para ello, las estrategias del PICCA se concentraron en: a) el mejoramiento de la calidad de los combustibles, b) la reducción de emisiones en vehículos automotores, c) la modernización tecnológica y el control de emisiones en industrias y servicios, y d) la restauración ecológica de las áreas boscosas que circundan al Valle de México¹⁶.

Los logros más relevantes fueron la introducción de convertidores catalíticos de dos vías en los vehículos nuevos a partir del modelo 1991, a la par que se introdujo el suministro de gasolina sin plomo. También se restringió el contenido de compuestos reactivos y tóxicos en la gasolina, se inició la comercialización, en 1993, de un diesel de bajo azufre (0.05 % en peso) lo que contribuye a la disminución de emisiones (figura 2.3) y se establecieron normas vehiculares que propiciaron la introducción de convertidores catalíticos de tres vías en los nuevos vehículos a gasolina. Por otro lado, se completó la sustitución de combustóleo por gas natural en las termoeléctricas y principales industrias del Valle de México en 1992 y se instrumentaron medidas para controlar las emisiones evaporativas en las terminales de distribución de las gasolinas.

¹⁶ GDF,SMA. "Programa para mejorar de la Calidad del Aire de la ZMCM".2002.



Figura 2.3. Introducción de catalizador automatico

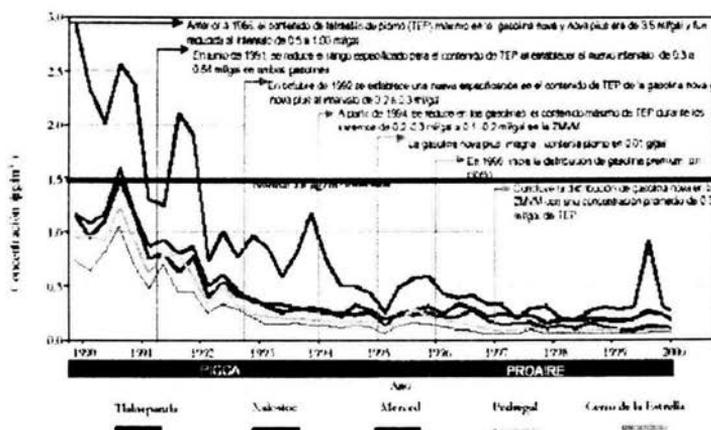


Fuente: Scrap a Clean-Air Initiative from Unocal.

Con las medidas del PICCA se lograron mejoras sustanciales en la calidad del aire, principalmente respecto al plomo y al bióxido de azufre (figuras 2.4, 2.5).

Figura 2.4

Tendencia del monitoreo atmosférico de plomo y principales acciones para reducir sus emisiones en la ZMVM, 1990-2000.

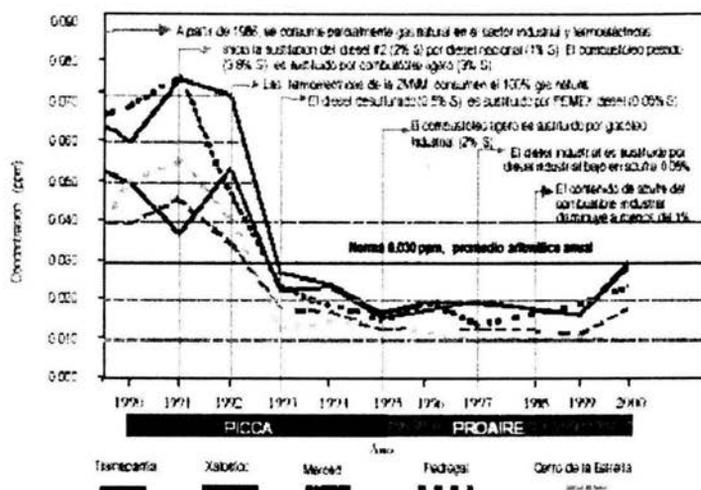


Fuente: <http://www.sma.df.gob.mx>. 1 de oct. 2002



Figura 2.5

Tendencia del monitoreo atmosférico de dióxido de azufre y principales acciones para reducir sus emisiones en la ZMCM, 1990-2000.



Fuente: <http://www.sma.df.gob.mx>. 1 de oct. 2002

En 1996, la entonces Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, la Secretaría de Salud, el Gobierno del Estado de México y el entonces Departamento del Distrito Federal acordaron la instrumentación del **Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000**, conocido como **PROAIRE**, con el propósito de ampliar, reforzar y dar continuidad a las medidas iniciadas a principios de la década. El objetivo del **PROAIRE** estuvo enfocado explícitamente a la reducción de las concentraciones pico y promedio de ozono, con la finalidad de disminuir el riesgo a la salud asociado con la exposición de corto y largo plazo a este contaminante. Para tal fin, y dado que el ozono es un contaminante que se forma en la atmósfera a partir de los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos, las medidas implementadas fueron dirigidas a la reducción de las emisiones de estos contaminantes.



Recientemente se publica el Programa de Mejora de la Calidad del Aire de la ZMCM (PROAIRE) 2000-2010.

1.3 SITUACION ACTUAL

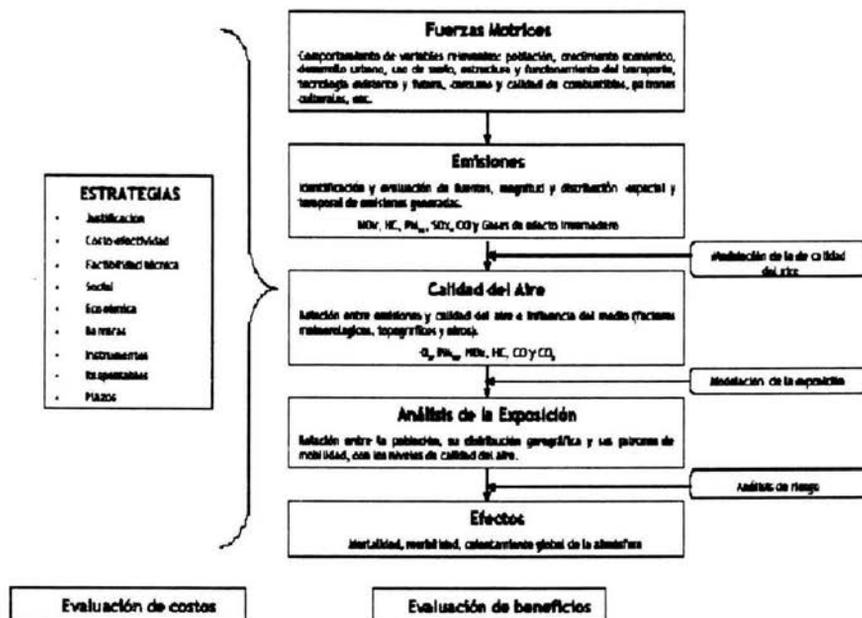
EL PROCESO DE INTEGRACIÓN DEL PROAIRE 2002-2010

El proceso de análisis y evaluación en el cual se basó el desarrollo del **PROAIRE 2002-2010** se fundamentó en primer lugar en el análisis de las principales fuerzas motrices que determinan la generación de contaminantes atmosféricos, entre las cuales destacan el crecimiento de la población, el crecimiento económico, la expansión de la mancha urbana y los patrones de uso del suelo, el crecimiento de la flota vehicular, los índices de motorización, las políticas ambientales, el consumo de energía y la calidad de los combustibles, entre otros (figura 2.6). En segundo lugar, se analizó la generación de contaminantes en los diferentes sectores de actividad de la ZMVM, así como sus tendencias.

A partir de esos elementos se definieron los objetivos de mejoramiento de la calidad del aire y las estrategias de control dirigidas a los diversos sectores que generan las emisiones de contaminantes.



Figura 2.6 Proceso de análisis y evaluación en el cual se basó el desarrollo del Proaire 2002-2010.



Fuente: Proyecto para el Diseño de una Estrategia Integral de Gestión de la Calidad del Aire en el Valle de México, 2001-2010. MIT, 2000.



El PROAIRE 2000-2010 tiene como propósitos:

Tabla 2.2

Cuadro resumen de medidas

Vehículos y transporte	1. Establecimiento y aplicación de límites de emisión más estrictos para vehículos nuevos a gasolina.
	2. Reducción del contenido de azufre en la gasolina a 50 ppm.
	3. Mejoramiento continuo del programa de verificación vehicular obligatoria.
	4. Modernización y actualización del programa hoy no circula como incentivo para la renovación de la flota vehicular.
	5. Rediseño del programa integral de reducción de emisiones contaminantes.
	6. Adaptación de sistemas de control de emisiones a vehículos no equipados desde fábrica (RETROFIT).
	7. Rediseño del programa de detección y retiro de vehículos ostensiblemente contaminantes y unidades sin verificar.
	8. Renovación de la flota vehicular de transporte de pasajeros de baja capacidad.
	9. Sustitución del transporte de pasajeros de mediana capacidad por vehículos nuevos de alta capacidad.
	10. Establecimiento de disposiciones normativas y mecanismos de control para evitar la introducción de vehículos importados fuera de especificaciones ambientales.
	11. Diseño e instrumentación de un programa de prueba de aditivos y dispositivos anticontaminantes incluyendo un protocolo de pruebas y procedimientos administrativos.
	12. Establecimiento y aplicación de límites de emisión más estrictos para vehículos nuevos a diesel.
	13. Reducción del contenido de azufre en el diesel.
	14. Actualización del programa de verificación de vehículos a diesel a nivel federal y homologación con los Estados Unidos de América y Canadá.
	15. Instrumentar un programa de sustitución de motores y trenes motrices de vehículos a diesel y/o retroadaptación de sistemas de control de emisiones.
	16. Revisión y reforzamiento del programa de autorregulación de vehículos a diesel.
	17. Diseño, evaluación y/o ejecución de proyectos piloto demostrativos.
	18. Expansión de la red de estaciones de recarga de gas natural comprimido (GNC).
	19. Introducción de vehículos eléctricos.
	20. Establecimiento de corredores de transporte.
	21. Eliminación de vehículos contaminantes de mayor edad de uso privado.
	22. Renovación de autobuses de la red de transporte de pasajeros (RTP) y del servicio de transportes eléctricos (STE).
	23. Renovación de la flota de transporte de carga local.
	24. Regulación del horario de circulación para los vehículos de carga.
	25. Expansión del metro.
	26. Establecimiento de una red de trenes suburbanos.
	27. Ampliación de la red de trolebuses y tren ligero.
	28. Localización de taxis en bases.
	29. Elaboración de estudios de volúmenes y movilidad en el transporte público de pasajeros en la ZMVM.
	30. Fomento del uso de combustibles alternativos en vehículos del sistema de transporte público de pasajeros.
	31. Implantación del registro estatal del transporte público.
	32. Programa integral para el transporte público de carga.
	33. Promoción de rutas directas o expres, locales y metropolitanas.
	34. Modernización de los sistemas de gestión del tránsito metropolitano.
	35. Promoción de la gestión y coordinación para la pavimentación de vialidades en zonas marginadas de la ZMVM.
	36. Fomento a la gestión y coordinación para la construcción de anillos y libramientos en la ZMVM.
	37. Fomentar la coordinación para mejorar la infraestructura vial metropolitana.
	38. Gestión y coordinación para mejorar la construcción y modernización de los paraderos de la ZMVM.

Fuente: <http://www.sma.df.gob.mx>. 1 de oct. 2002



REDUCCIÓN DEL CONTENIDO DE AZUFRE EN LA GASOLINA A 50 PARTES POR MILLON.

En 1994 se aprobaron en México límites de emisión de contaminantes para los autos nuevos similares a los adoptados en los Estados Unidos en 1981, lo que significaba un retraso tecnológico de 13 años. Posteriormente, en 1999, se logró que todos los vehículos vendidos en nuestro país cumplieran con estándares internacionales vigentes, que operan desde 1994 (TIER I), con lo que se cerraba la brecha de cinco años creada a partir de 1994. Finalmente, a finales del año 2000, la Comisión Ambiental Metropolitana firmó un acuerdo con la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz para garantizar que, en el futuro, no podrá haber un desfase mayor a dos años para la introducción de las nuevas tecnologías vehiculares en México. Gracias a este acuerdo, los automóviles TIER 2 empezarán a venderse a más tardar en el 2006, además de contar con sistemas de Diagnóstico a Bordo (OBDII) y de cumplir con estándares de durabilidad de por lo menos 80 mil kilómetros.

Mas para el óptimo desempeño de esa nueva generación de vehículos será necesario el suministro de gasolina con bajo contenido de azufre (menor a 50 ppm). Para ello, Pemex tiene un plan en dos etapas: La primera etapa del plan sería para fabricar y comercializar gasolina con 300 ppm de azufre, la segunda y última etapa permitiría producir gasolina de bajo azufre (30-50 ppm) hacia el 2010.

Objetivo: Mejorar las características de las gasolinas en México para permitir la introducción de normatividad TIER 2 en vehículos nuevos.

Justificación: La presencia de azufre en la gasolina aumenta el desgaste en el motor, deteriora el aceite, corroe el sistema de escape, disminuye la eficiencia y durabilidad del convertidor catalítico, además de producir un incremento en la generación de óxidos de nitrógeno. Pruebas de emisiones vehiculares han mostrado que niveles menores a 50 ppm en gasolinas, utilizando tecnología catalítica actual, permite reducir los tres principales contaminantes vehiculares (HC, NOx y CO). Asimismo, el avance mundial en las tecnologías de control de emisiones para vehículos nuevos requieren gasolinas con un contenido de azufre por debajo de 80 ppm que permita cumplir con las normas de emisión. A partir del año 2006, se proporcionará una gasolina Premium con 50 ppm de azufre y una gasolina Magna con 300 ppm.

Beneficios: La reducción de emisión de contaminantes lograda por la incorporación de tecnologías de control en vehículos nuevos asociada a la gasolina de bajo contenido de azufre. Se detallan en el capítulo cuatro.

Costos: Los costos se detallan en el capítulo cuatro.



Instrumentación: La SEMARNAT actualizará la Norma Oficial Mexicana NOM-086-ECOL-1994 estableciendo el contenido de azufre en las gasolinas, el cual será homogéneo en todo el país para evitar daños en los sistemas de control de emisiones de los motores que se pudieran vender o circulen en zonas donde no se expandan estas gasolinas.

PEMEX realizará las modificaciones a sus refinerías para poder ofrecer gasolina de bajo contenido de azufre. La SHCP otorgará el presupuesto necesario para que PEMEX realice la inversión requerida en la medida.

Tabla 2.3

Calendario de ejecución.

Actividad	2002	2003	2004	2005	2006	2007-2010
Revisión y actualización de la NOM-086-ECOL-1994						
Revisión del proyecto y autorización de la SHCP						
Modernización de Infraestructura en PEMEX						
Reducción del contenido de azufre en las gasolinas						

Fuente: <http://www.sma.df.gob.mx>. 1 de oct. 2002

Actores involucrados: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Secretaría de Energía, Secretaría de Hacienda y Crédito Público, Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, Petróleos Mexicanos, Asociación Mexicana de la Industria Automotriz y Comisión Ambiental Metropolitana.



1.4 FUTURO Y TENDENCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE

La mayoría de las medidas que más han contribuido al mejoramiento de la calidad del aire en la ZMCM (eliminación del plomo de la gasolina, reducción del azufre en el diesel, introducción de automóviles con convertidor catalítico), han sido de aplicación nacional y por tanto sus beneficios se reflejan paulatinamente en otras ciudades. A pesar del constante crecimiento del parque vehicular urbano, el volumen total de emisiones generadas va disminuyendo, por el hecho de que cada automóvil de modelo 1985 y anterior que sale de circulación, emite una cantidad de contaminantes que equivale fácilmente a 50 vehículos de modelo 1993 a 98 y a cerca de 100 autos de modelo 1999 y 2000.

1.4.1 Perspectivas y tendencias de corto plazo

A pesar del éxito obtenido en la reducción de contaminantes (plomo, bióxido de azufre y monóxido de carbono), aún existen problemas de contaminación por ozono y por partículas suspendidas.

En términos de calidad del aire, si se aplican medidas más estrictas para el control de emisiones, en años futuros, la norma de calidad del aire de ozono y PM10 se violaría menos, el pico del ozono se rebasaría sólo muy ocasionalmente, siempre y cuando se establezca con éxito un programa de control de las unidades ostensiblemente contaminantes, se consolide un programa de verificación de todos estos vehículos, y se sigan impulsando la restauración de terrenos deforestados en las zonas noreste y este del valle de México.

1.4.2 Sustentabilidad urbana y calidad del aire

Para continuar mejorando la gestión de la calidad del aire en las principales cuencas atmosféricas del país es necesario revertir algunas tendencias negativas sobre aspectos estructurales del funcionamiento de nuestras ciudades. A continuación se plantean algunos de los retos y pendientes más importantes:

Patrones de movilidad

Existe una continua expansión de las manchas urbanas por el crecimiento poblacional y porque el uso del suelo en las zonas centrales es cada vez menos



habitacional y más comercial y de servicios. Por motivos de confort o de seguridad, las minorías afluentes buscan residencias en la periferia citadina por lo que sus viajes cotidianos en automóvil entre la casa y el trabajo tienen con frecuencia una duración de por lo menos una hora. De igual forma, aunque por motivos diferentes, los grupos de menores ingresos se establecen en multifamiliares económicos o en asentamientos irregulares en zonas que se encuentran con frecuencia a 30 o más kilómetros de distancia de las zonas centrales de la ciudad donde muchos de ellos trabajan.

Se sabe que más del 50 por ciento de individuos que usan el transporte público tienen que realizar por lo menos un cambio entre diferentes medios de transporte; y que por lo menos el 25 por ciento de los usuarios pasa cuatro horas por día desplazándose por la Ciudad.

¿Qué hacer con el automóvil?

El uso del automóvil seguirá en aumento y la tasa de motorización de nuestras ciudades continuará siendo, incluso, mayor que la de crecimiento poblacional. Sin embargo, los gobiernos pueden y deben actuar para orientar las tendencias futuras de los consumidores de varias formas que pueden ser complementarias.

Se debería dar trato preferencial a aquellos vehículos que dañen menos al ambiente: los que consuman menos combustible y emitan menor cantidad de contaminantes por kilómetro recorrido. Esto se puede hacer diseñando y aplicando esquemas diferenciados con relación a: montos por el pago de tenencias, impuesto sobre automóviles nuevos, frecuencia con la que se realiza la verificación, aplicación/exención del Hoy No Circula.



CAPITULO III TECNOLOGIA AUTOMOTRIZ Y SALUD

2.1 CONVERTIDOR CATALÍTICO

Los automóviles son los grandes generadores de los cuatro elementos contaminantes más importantes, todos con efectos perjudiciales a la salud humana y al medio ambiente.

Tres de ellos son:

- Monóxido de carbono (CO), que es un elemento tóxico.
- Hidrocarburos (HC) que contribuyen a la contaminación y a la formación de ozono. Se piensa que algunos son cancerígenos.
- Óxidos de nitrógeno (NO_x), los cuales están asociados a la lluvia ácida, así como a la formación de ozono.

Es posible reducir estos contaminantes en más de 90 % utilizando un catalizador automotriz o convertidor catalítico¹.

El cuarto elemento es el plomo (Pb), es potencialmente peligroso para el desarrollo mental de los niños y se han llevado acciones para reducirlo.

2.1.1 ¿qué es un convertidor catalítico?

Por definición el catalizador es un elemento que acelera una reacción química. En este caso el catalizador es la mezcla de metales preciosos (platino, paladio, rodio), es un dispositivo anticontaminante que forma parte del sistema de escape en automóviles y camiones equipados con motor a gasolina o gas, que transforma los gases nocivos en gases inofensivos.

EL platino favorece la oxidación de los HC y el CO, mientras que el rodio favorece más bien la reducción de los óxidos de nitrógeno. Por regla general hay de 1 a 2 gramos de metales preciosos en cada convertidor catalítico².

2.1.2 ¿cómo funciona un convertidor?

Para los vehículos con motores a gasolina es recomendado utilizar gasolina sin plomo para no "envenenar" el catalizador con este metal. El catalizador es calentado a través del calor de los gases de escape, estos gases alcanzan una temperatura superior a 200⁰C.

¹ www.arvinmeritor-eu.com.,

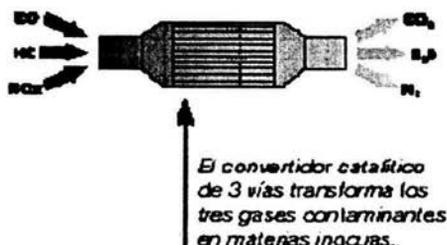
² www.arvinmeritor-eu.com.



Las mejores condiciones de funcionamiento de los catalizadores suceden a partir de 200°C. Un vehículo en condiciones normales de uso, arrancando en frío, alcanza estas condiciones en apenas 30 segundos.

A medida que los gases de escape pasan por el catalizador, reaccionan con el recubrimiento de metales preciosos y se transforman en gases inertes como agua, nitrógeno y dióxido de carbono (figura 3.1).

Figura 3.1



fuelle:Harbin meritor,2003

Algunos sistemas de escape pueden tener un catalizador adicional colocado más cerca del motor, esto minimiza el tiempo necesario para llegar a la temperatura inicial de operación ayudando de esta manera a reducir aun más los gases contaminantes cuando un vehículo arranca.

2.1.3 ¿cómo diagnosticar si el vehículo esta funcionando correctamente?

- ◇ Golpear el convertidor con un mazo para revisar si el sustrato esta suelto, si se escuchan piedras sueltas se deben reemplazar.
- ◇ Checar con un pirómetro la temperatura de entrada y de salida del convertidor.
- ◇ Si el convertidor esta funcionando correctamente, la temperatura de salida debe de ser mayor que la de entrada, si es lo contrario el convertidor debe ser reemplazado.
- ◇ Analizar las emisiones del sistema de escape. Para esto se requiere de un analizador de gases, esto puede sustituirse por el resultado de la verificación vehicular. Si el automóvil no pasó la verificación a pesar de ser recientemente verificado, el convertidor catalítico debe cambiarse.



2.1.4 ¿qué problemas puede tener un convertidor catalítico?

1. El sustrato o núcleo se puede derretir, debido a una mezcla demasiado rica aire-combustible, lo que provoca que el combustible sin quemarse entre en el sistema de escape.
2. El sustrato se puede tapar, debido a una mezcla demasiado rica aire-combustible; anticongelante o aceite entran en el sistema de escape.
3. Decoloración de la concha debido a excesivo calor generado por explosiones de gasolina en el convertidor o por una mala afinación.
4. Sustrato quebrado o roto, debido a daño externo de la concha (golpe).
5. Sustrato cubierto con depósitos de carbón, debido a la falta de afinación.

2.1.4 Cuidados del convertidor catalítico

1. Nunca utilizar gasolina con plomo.
2. Mantener el vehículo bien afinado.
3. Asegurarse de que se instaló correctamente y que fue el modelo adecuado.
4. Mantener el sistema de escape en excelentes condiciones de operación.

Siguiendo estas recomendaciones su convertidor catalítico deberá sumar más de 40,000 Km; incluso el doble.

Causas que originan un mal funcionamiento del convertidor catalítico y por lo mismo causan invalidación de la garantía.

1. Motor en mal estado.

Pueden causar exceso de emisiones de combustible crudo, así como exceso de aceite, lo que dañaría al convertidor catalítico.

2. El uso de gasolina con plomo.

El plomo de la gasolina, aun en pequeñas cantidades cubre el metal catalizador evitando las reacciones químicas de oxidación y eventualmente pueden tapar el sustrato.

3. Una incorrecta instalación

La instalación de un convertidor que no es el adecuado para el vehículo, además de dañar al convertidor catalítico, puede también causar serios daños al motor.

4. Sistema de escape en mal estado o roto.

Si el sistema de escape se encuentra averiado, principalmente si hay fugas de gases de combustión antes de que entren al convertidor catalítico, la conversión de los gases no ocurrirá en forma eficiente.



2.1.5 Consumo de combustible

Las investigaciones realizadas demuestran que un aumento en el consumo de combustible en un auto equipado con catalizador, es inferior al 3%.

Este valor es despreciable, pues es menor que las variaciones de consumo resultantes de manejar en embotellamientos o más lentamente bajo la lluvia. Sin embargo algunos vehículos equipados con convertidor han demostrado también un menor consumo.

Rendimiento.

Normalmente no se distinguen diferencias en el rendimiento de un vehículo, posea o no catalizador. Por ejemplo la diferencia promedio en la velocidad máxima para un vehículo a gasolina con catalizador comparado con uno sin catalizador, es solamente 2 km/hr.

Arranque

No es aconsejable empujar un vehículo para hacerlo arrancar, ya que la mezcla aire-combustible pasara sin quemar por el motor y puede afectar el catalizador si el automóvil no arranca debidamente. Sin embargo es mejor y más aconsejable hacer un puente conectando las terminales de la batería de un vehículo a la batería de otro.

Mal olor.

A veces cantidades de azufre en la gasolina dan residuos de ácido sulfhídrico en el interior del catalizador, lo cual genera un olor característico a huevo podrido. Este inconveniente no es significativo comparado con los problemas de contaminación que el catalizador ayuda a evitar.

Incendio de pastos.

Los silenciadores de todos los vehículos funcionan a altas temperaturas alcanzando muchas veces los 600°C. Normalmente los catalizadores están provistos de un aislante de calor que ayuda a minimizar los riesgos de incendio.

La flota vehicular particular se divide a grandes rasgos en tres tipos:

- ❖ Vehículos de 4 cilindros.
- ❖ Vehículos de 6 cilindros.
- ❖ Vehículos 8 cilindros.



2.2 CALIDAD DEL AIRE Y SALUD

¿Cómo afecta la contaminación atmosférica al cuerpo humano?

La respuesta depende de la situación, es decir, la frecuencia y duración en que una persona se exponga a la contaminación, el tipo de contaminante y su concentración, el lugar, la hora y día de la semana, la temperatura y el estado del tiempo, entre otros factores.

El nivel de riesgo individual está determinado por diversos factores que incluyen: la predisposición genética, edad, estado nutricional, presencia y severidad de condiciones cardíacas y respiratorias, y el uso de medicamentos; así como la actividad y el lugar de trabajo. En general, la población con mayor riesgo a la exposición de contaminantes está constituida por los niños menores de 5 años, las personas de la tercera edad (mayores de 65 años), las personas con enfermedades cardíacas y respiratorias y los asmáticos.

La exposición a los contaminantes se puede clasificar en aguda y crónica, de acuerdo al período de exposición y a la concentración de contaminantes. La exposición aguda es una exposición a concentraciones elevadas de contaminantes y de corto tiempo, que puede ocasionar daños sistémicos al cuerpo humano. Por otra parte, la exposición crónica involucra exposiciones de largo plazo a concentraciones relativamente bajas de contaminantes. En estas circunstancias, los contaminantes van ocasionando daños a la salud humana como respuesta a factores acumulados, interactuantes y recurrentes.

Los efectos más observados en relación con la exposición aguda a los contaminantes atmosféricos son los cambios en la función pulmonar, el aumento de síntomas respiratorios y la mortalidad.

Varias investigaciones describen un incremento en la mortalidad total (no incluye muertes accidentales) asociada con la exposición a partículas, ozono y sulfatos, lo cual ocurre principalmente en individuos con padecimientos cardiovasculares y/o respiratorios. El incremento de la mortalidad en estos grupos ocurre entre uno y cinco días después de una exposición peligrosa.

La morbilidad también está asociada con la exposición aguda a los contaminantes. Las enfermedades del tracto respiratorio superior e inferior, bronquitis, neumonía y enfermedades pulmonares obstructivas, son un ejemplo de la morbilidad asociada a la exposición aguda.

Los efectos a la salud debidos a una exposición crónica a contaminantes atmosféricos se conocen menos, sin embargo son similares a los reportados para una exposición aguda.

El incremento de enfermedades respiratorias (como la bronquitis) se reporta como una consecuencia de la exposición crónica a los siguientes contaminantes:



a) ozono.

Ozono (O₃). Oxidante fotoquímico que se produce por la reacción entre hidrocarburos reactivos, óxidos de nitrógeno y la intensidad de la radiación solar. Resultados de numerosos estudios indican que la exposición al ozono puede ocasionar inflamación pulmonar, depresión del sistema inmunológico frente a infecciones pulmonares, cambios agudos en la función, estructura y metabolismo pulmonar, y efectos sistémicos en órganos blancos distantes al pulmón, como por ejemplo el hígado³.

El ozono es un gas altamente reactivo, su impacto en la salud se debe a su capacidad de oxidación, por ello daña a las células en las vías respiratorias además reduce la capacidad del aparato respiratorio para combatir las infecciones y remover las partículas externas. Afecta los mecanismos de defensa, por lo que puede provocar un aumento de las infecciones respiratorias.

El ozono es un riesgo para la salud de los niños, las personas de la tercera edad y para quienes padecen problemas cardiovasculares y respiratorios, como el asma, el enfisema y la bronquitis crónica. También afecta a personas aparentemente sanas y en excelentes condiciones de salud, por ejemplo a atletas que requieren la inhalación de altos volúmenes de aire durante sus ejercicios, provocándoles una disminución de su rendimiento atlético.

b) partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros (mm).

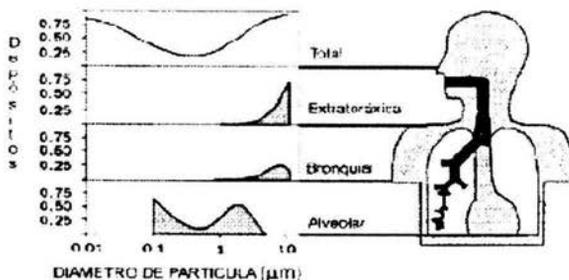
Una partícula suspendida se encuentra en estado sólido o líquido, su tamaño varía de 0.001 a 100 μm , encontrándose mayormente partículas entre 0.1 y 10 μm . Las partículas dentro de este intervalo se llaman partículas menores a 10 μm (PM₁₀). Dentro de las PM₁₀ se encuentra otro grupo, llamado partículas menores a 2.5 μm (PM_{2.5}).

A diferencia de las partículas mayores a 10 micrómetros, las PM₁₀ penetran directamente al aparato respiratorio sin ser capturadas por sus mecanismos de limpieza. Una vez que las partículas han entrado al tracto respiratorio, dependiendo de su tamaño, pueden acumularse en diferentes sitios dentro del aparato respiratorio (figura 3.2). Las PM₁₀ penetran hasta la zona traqueobronquial, mientras que las PM_{2.5} pueden penetrar hasta los alvéolos pulmonares.

Los riesgos a la salud asociados con las partículas en el área pulmonar son mucho mayores que el riesgo por las partículas que se quedan en la garganta.

Figura 3.2

³ GDF,SMA. Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 2002-2010.



Fuente: <http://www.sma.df.gob.> 1 de oct. 2002

El aumento en las concentraciones de partículas PM10 y PM2.5 generalmente se han relacionado con el aumento de visitas a servicios de urgencias, aumento de sintomatología respiratoria, hospitalización por incremento de los padecimientos respiratorios, bronquitis aguda en niños, bronquitis crónica en adultos y muerte prematura, principalmente en menores de edad y personas de la tercera edad.

Entre los componentes de las partículas PM10 y PM2.5 se encuentran compuestos orgánicos (como benceno, butadieno, hidrocarburos aromáticos policíclicos, dioxinas, etc.) y compuestos inorgánicos (como carbono, sulfatos y nitratos), entre otros (GDF, 2002).

c) bióxido de azufre (SO₂).

Contaminante producido durante el proceso de combustión de los combustibles con contenido de azufre. Los óxidos de azufre son solubles en agua y al hidratarse dan lugar a la formación de ácidos sumamente agresivos, éstos se hidratan con la humedad de las mucosas conjuntival y respiratoria y constituyen un riesgo para la salud al producir irritación e inflamación aguda o crónica y suelen absorberse en las partículas suspendidas, lo que da lugar a un riesgo superior, puesto que su acción conjunta es sinérgica⁴.

d) bióxido de nitrógeno (NO₂).

Contaminante generado cuando el nitrógeno contenido en los combustibles y en el aire es oxidado en un proceso de combustión. La acumulación de bióxido de nitrógeno en el cuerpo humano constituye un riesgo para las vías respiratorias ya que se ha comprobado que puede alterar la capacidad de respuesta de las células

⁴ www.ine.gob.mx, 1999. 02-dic-2002



en el proceso inflamatorio, como sucede con las células polimorfas nucleares, macrófagos alveolares y los linfocitos, siendo más frecuente en casos de bronquitis crónica⁵.

c) monóxido de carbono (CO).

Gas venenoso, incoloro e inodoro producido por la combustión incompleta de combustibles fósiles. La Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos estableció como norma de calidad del aire para el monóxido de carbono, un valor de 9 partículas por millón (pm.) para un promedio móvil de 8 horas. En un individuo promedio este nivel de exposición se traduce en niveles de carboxihemoglobina (COHb) cercanos al 2%. Estudios de laboratorio han demostrado efectos deletéreos (reducción del tiempo en el que se presenta ataque de angina) en sujetos enfermos de la arteria coronaria a niveles de COHb de 2% y 2.9%⁶.

Como parte de los trabajos que se desarrollaron para la realización del Programa de calidad del aire, en el año 2000 se realizaron dos estudios sobre el efecto de los contaminantes en la salud y la cuantificación económica del mejoramiento de la calidad del aire el estudio "**Valoración Económica del Mejoramiento de la Calidad del Aire en la ZMVM**" se llevó a cabo por investigadores del Centro Nacional de Salud Ambiental (CENSA) y del Centro de Investigaciones en Medio Ambiente de Holanda (IVM), con auspicio del Banco Mundial. El segundo estudio "Contaminación Atmosférica en la ZMVM y Salud Humana" se realizó en colaboración con la Escuela de Salud Pública de Harvard, el Instituto de Salud, Ambiente y Trabajo y la Universidad Autónoma Metropolitana.

En estos estudios se estimó la relación y el efecto que puede tener la contaminación en la salud de las personas a través de:

- a) la estimación de funciones de exposición-respuesta,
- b) la cuantificación del incremento en la admisión a hospitales,
- c) el número de visitas a la sala de emergencias,
- d) los efectos en asmáticos,
- e) el aumento en los síntomas respiratorios,
- f) los días que la población tiene que reducir sus actividades y,
- g) la mortalidad, todos ellos asociados a la contaminación atmosférica.

En la tabla 3.1 se presentan los efectos en la población de los estudios anteriormente mencionados. Estos efectos pueden ir desde el aumento en molestias respiratorias, el aumento en la visita a las salas de emergencia, ausentismo escolar y días de actividad restringida, hasta el aumento en los casos de muertes.

⁵ Op.Cit.

⁶ www.ine.gob.mx, 1999. 02-dic-2002



Tabla 3.1

Funciones exposición respuesta en la ZMCM - población general.

Indicadores
Admisión en hospitales
• Respiratoria
• Cardio cerebrovascular
• Falia congestiva del corazón
Visitas a la sala de emergencia
• Respiratoria
Días de actividad restringida
• Total (adultos)
• Días laborales perdidos (adultos)
• Total (niños)
• Días laborales perdidos de mujeres
Días de actividad restringida menor
• Total (adultos)
Efectos en Asmáticos
• Ataques de asma
• Tos sin flema (niños)
• Tos con flema (niños)
• Tos con flema y uso de broncodilatador
• Algunos síntomas respiratorios (niños)
• Síntomas respiratorios menores
Síntomas respiratorios
• Síntomas en vías respiratorias superiores
• Síntomas en vías respiratorias inferiores
• Sibilancias
• Bronquitis aguda
Morbilidad crónica
• Bronquitis crónica, casos adicionales
• Tos crónica, prevalencia niños
Mortalidad por medición longitudinal
• Total
Mortalidad por medición transversal
• Total
• Infantil

Fuente: IVN, DGSA-SSA/CENSA, CAM, PAMO, EHS-UCLA, Economic valuation of improvement of air quality in the Metropolitan Area of Mexico City, México, D.F., 2000.



La mortalidad atribuible a la contaminación atmosférica, ocurre principalmente en individuos los cuales ya tienen alguna enfermedad cardíaca o alguna enfermedad respiratoria, en las personas de edad avanzada y en los niños.

El ser humano no es el único ser viviente que es afectado por la contaminación del aire, también la vegetación. Entre los distintos contaminantes que se presentan generalmente el S y los NOx, el es el que tiene mayor importancia debido a la gran toxicidad que tiene para ésta.

2.2.1 Acidificación del medio ambiental

Entendemos por acidificación del medio ambiente la pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra en forma de ácidos de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera.

La acidificación es un ejemplo claro de las interrelaciones entre los distintos factores ambientales, atmósfera, suelo, agua y organismos vivos. Así la contaminación atmosférica producida por los SOx y NOx afecta directa o indirectamente al agua, al suelo y a los ecosistemas.

La amplitud e importancia de la acidificación del medio es debida, principalmente, a las grandes cantidades de óxidos de azufre y de nitrógeno lanzados a la atmósfera, siendo de destacar que del total de las emisiones de SO₂ en el globo terrestre. El proceso de acidificación se origina de la siguiente forma:

- El azufre se encuentra en un principio en estado elemental, fijado en los combustibles fósiles.
- El nitrógeno en forma elemental se encuentra en el aire y también en los combustibles.
- Durante el proceso de la combustión de los combustibles fósiles se liberan el azufre y el nitrógeno a la atmósfera como dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NOx), respectivamente.
- Los óxidos de azufre y nitrógeno sufren una serie de fenómenos tales como transporte a gran distancia, reacciones químicas, precipitación y deposición. Con el tiempo estos óxidos y los distintos compuestos a que dan lugar retornan a la superficie de la tierra donde son absorbidos por los suelos, el agua o la vegetación.

El proceso de retorno a la tierra puede realizarse de dos maneras:

- a. Deposición seca. Una fracción de los óxidos vertidos a la atmósfera retornan a la superficie de la tierra en forma gaseosa o de aerosoles. Esto puede ocurrir cerca de las fuentes de emisión de los contaminantes o a distancia de hasta algunos cientos



de kilómetros de la misma, en función de las condiciones de dispersión. No obstante, la deposición en seco es predominante en zonas próximas al foco emisor.

- b. Deposición húmeda. La mayor parte de los SO₂ y NO_x que permanecen en el aire sufren un proceso de oxidación que da lugar a la formación de ácido sulfúrico (SO₄H₂) y ácido nítrico (NO₃H). Estos ácidos se disuelven en las gotas de agua que forman las nubes y en las gotas de lluvia, retornando al suelo con las precipitaciones. Una parte de estos ácidos queda neutralizada por sustancias presentes en el aire tales como el amoníaco, formando iones de amonio (NH₄⁻). Los ácidos disueltos consisten en iones de sulfato, iones nitrato e iones de hidrógeno. Todos estos iones están presentes en las gotas de lluvia, lo que da lugar a la acidificación de la misma⁷.

Los daños producidos por el SO₂ a las plantas obedecen a la exposición a altas concentraciones durante períodos cortos; o por la exposición a concentraciones relativamente bajas durante largos períodos. Los daños agudos se producen como consecuencia de exposiciones cortas a concentraciones elevadas. Exposiciones medias diarias de 130 microgramos de SO₂ por metro cúbico de aire durante el período de crecimiento, pueden causar daños en las coníferas más sensibles. Estos daños se caracterizan por la aparición de necrosis apicales de color rojo o anaranjado.

La exposición a menores concentraciones durante tipos de exposición más largos ocasiona lesiones crónicas. Exposiciones medias anuales de anhídrido sulfuroso de 50 microgramos por metro cúbico de aire pueden causar daños a especies forestales sensibles. Estas se manifiestan por un gradual amarillamiento de la hoja que se va extendiendo desde la zona apical a la base de la misma, causada por dificultades en el mecanismo sintetizador de la clorofila. En las plantas dañadas se encuentran grandes cantidades de sulfato en las hojas con síntomas crónicos.

Las brumas de ácido sulfúrico, causadas por la presencia en el aire de los óxidos de azufre, producen daños en las hojas, caracterizados por la aparición de manchas producidas por las gotas de ácido depositadas sobre las hojas humedecidas por el rocío o la niebla. Concentraciones relativamente bajas de SO₂ pueden causar daños importantes en la vegetación sensible, como consecuencia de la acción sinérgica de este contaminante con el ozono y los óxidos de nitrógeno, aunque estos se presenten en bajas concentraciones en el aire.

Entre los óxidos de nitrógeno solo el NO₂ es tóxico para las plantas, a pequeñas concentraciones y largo tiempo de exposición. Los daños se manifiestan por la aparición de necrosis y clorosis de color negro o marrón rojizo en las hojas. Los sinergismos de NO₂ y SO₂ provocan a bajas concentraciones alteraciones en la vegetación. Este hecho se ha observado en las zonas urbanas.

La contaminación atmosférica fotoquímica produce daños en la vegetación a concentraciones que ya se están alcanzando en algunas ciudades. El ozono es el principal causante de estos daños. Las lesiones producidas por el ozono se

⁷ www.omega.ilce.edu.mx. 22-octubre-2002



manifiestan como manchas blancas o punteados claros sobre el haz de las hojas. Los daños producidos por los PAN se presentan como graves lesiones foliares caracterizadas por una tintura plateada o vidriosa en el envés de la hoja, así como por un ataque general en las hojas jóvenes.

2.2.2 Efectos sobre los materiales

Cada vez se está prestando más atención por los daños irreparables que causa sobre los objetos y los monumentos de alto valor histórico-artístico, a los efectos que la contaminación atmosférica produce sobre los materiales.

La acción de los contaminantes atmosféricos sobre los materiales puede manifestarse por la sedimentación de partículas sobre la superficie de los mismos, afeando su aspecto externo, o por ataque químico al reaccionar el contaminante con el material. Los SOx causan daños a muchos tipos de materiales, bien directa o indirectamente.

Un alto contenido de SOx en el aire produce la aceleración de la corrosión de los metales tales como el acero al carbono, zinc, acero galvanizado, compuestos del cobre, níquel y aluminio. Esta aceleración se ve favorecida por la presencia de partículas depositadas por la humedad y por la temperatura⁸.

En general, puede señalarse que la corrosividad de una atmósfera depende de condiciones meteorológicas y factores de contaminación. Se han observado correlaciones entre tasas de corrosión en metales y concentraciones de SO₂ en la atmósfera, dándose las tasas altas de corrosión más altas en zonas industrializadas. Las nieblas de ácido sulfúrico procedentes de la conversión catalítica del SO₂ a SO₃ en la atmósfera, atacan a los materiales de construcción como el mármol, la caliza y la argamasa, convirtiendo los carbonatos en sulfatos solubles en el agua de lluvia. Esto unido a que el volumen específico de los sulfatos es mayor que el de los carbonatos, hace que en la piedra aparezcan escamas y se debilite mecánicamente. Los compuestos de azufre pueden producir daños en pinturas plásticas, papel, fibras textiles y sobre los contactos eléctricos de los sistemas electrónicos, dando lugar a deficiencias en su funcionamiento. La acción de los oxidantes fotoquímicos se produce sobre todo en los cauchos y elastómeros en los que causan un rápido envejecimiento y agrietamiento. Los óxidos de nitrógeno decoloran y estropean las fibras textiles y los nitratos producen la corrosión de las aleaciones de cupro-níquel.

⁸ www.omega.ilce.edu.mx. 22-octubre-2002



Efectos Globales

Cada vez está más admitida la necesidad de realizar estudios sobre los posibles efectos que a largo plazo puede producir la contaminación atmosférica sobre los distintos ecosistemas, sobre el clima y sobre la estratosfera. Tanto las modificaciones de las características de los suelos, debidas al lavado de los elementos del mismo por las lluvias ácidas, como los cambios producidos en las grandes masas de agua por el aumento de la concentración de metales tóxicos, pueden tener consecuencias ecológicas irreversibles.

El aumento de las concentraciones de dióxido de carbono y de otros contaminantes en la atmósfera puede dar lugar a una elevación general de la temperatura del globo (efecto invernadero), lo que produciría alteraciones. Por otra parte, los sulfatos y las partículas finas que disminuyen la visibilidad pueden igualmente reducir la intensidad de la radiación solar.

2.2.3 Efectos sobre los ecosistemas (lluvias ácidas)

La acidificación de las aguas interiores tiene efectos muy graves sobre los ecosistemas acuáticos. Se ha demostrado que todos los tipos de organismos integrantes de los ecosistemas de agua dulce son sensibles a la acidificación, produciéndose cambios en todos los niveles tróficos. La acidificación de los lagos y de las masas de agua se está extendiendo progresivamente cada vez a mayor número de países, afectando día a día a más extensas áreas.

Las zonas más propensas a la acidificación del agua tienen suelos ácidos de poca profundidad, superpuestos a rocas graníticas o son suelos arenosos muy erosionados. El aumento de la acidez del agua de los lagos y ríos provoca un fuerte aumento del contenido de iones aluminio disueltos en el agua, lo cual resulta muy tóxico para la mayor parte de los organismos y provoca la muerte de las poblaciones.

Los suelos presentan, por lo general, una mayor resistencia a la acidificación que el agua. No obstante, el grado de sensibilidad puede variar muy ampliamente de unas zonas a otras dependiendo, principalmente, del espesor de la capa de humus, de la consistencia del sustrato, así del tipo de rocas y suelo. El daño a los bosques es causado por la acción combinada de ácidos y metales en el suelo y por las altas concentraciones de SO₂ presentes en el aire de estas zonas. La combinación de un bajo pH en el agua del suelo unido a la presencia de metales, produce daños en las raíces de los árboles, a través de las cuales absorben gran cantidad de nutrientes. Este hecho produce una pérdida de vitalidad haciéndolos especialmente sensibles a las plagas



2.2.4 Efectos sobre el clima (efecto invernadero)

Durante los últimos años se ha venido poniendo de manifiesto una preocupación creciente por los posibles efectos que sobre el clima pudiera causar el aumento progresivo de contaminantes en la atmósfera como consecuencia de las actividades humanas.

Se cree que el incremento de CO₂ en la atmósfera es debido a las alteraciones que las actividades humanas producen en el ciclo biogeoquímico del carbono ya que, por una parte, en la combustión de combustible fósiles y en los incendios forestales se producen grandes cantidades de CO₂, y por otra parte, estos mismos incendios y la tala progresiva de bosques, que produce una disminución de las masas forestales mundiales, la degradación del suelo y la creciente desertificación, producen una disminución de la tasa de la absorción total del CO₂ presente en la atmósfera por la vegetación⁹.

El incremento de la concentración del CO₂ en la atmósfera puede alterar la temperatura de la Tierra debido a que el CO₂ es transparente a la radiación solar recibida del sol, dejándola pasar libremente, pero absorbe la radiación infrarroja emitida desde la tierra. El efecto total es que cuanto mayor sea la concentración de CO₂ en la atmósfera, mayor es la cantidad de energía recibida por la Tierra desde el Sol que queda atrapada en la atmósfera en forma de calor. Este fenómeno que se conoce con el nombre de «efecto invernadero» produciría un recalentamiento de la atmósfera¹⁰.

Se estima que, de duplicarse la concentración actual de CO₂ en la atmósfera, podría aumentar en dos o tres grados centígrados la temperatura de la misma. En las zonas lluviosas se incrementarían las precipitaciones y las zonas áridas serán aún más áridas, mientras que los hielos polares comenzarán a derretirse.

Los sulfatos y las partículas finas presentes en la atmósfera pueden tener igualmente efectos sobre el clima. Las partículas finas tienen una doble acción sobre la radiación solar: por una parte, difunden la luz incidente y, por otra, absorben una parte de esta radiación, lo que produce un calentamiento de las partículas y la emisión de radiación infrarroja. Los efectos atmosféricos que producen dependerán de la altitud a que las partículas se encuentre.

Las partículas de baja altura disminuyen el flujo solar sobre el suelo, pero contribuyen a aumentar el efecto invernadero. A más alta temperatura, el efecto de barrera solar es preponderante, produciendo un enfriamiento de la baja atmósfera y un calentamiento en la estratosfera. Las partículas pueden causar también efectos sobre el clima de forma indirecta al actuar como núcleos de condensación del vapor de agua y jugar éste un importante papel en los cambios de calor atmosférico.

⁹ Santibáñez, Norma. Metodo para la creación de poblaciones sinteticas de la flota vehicular de la ZMCM, 2000

¹⁰ Santibáñez, Norma. Metodo para la creación de poblaciones sinteticas de la flota vehicular de la ZMCM, 2000



Otro tipo de contaminantes vertidos a la atmósfera que pueden afectar el clima son los clorofluorcarbonos, debido a su acción sobre la capa de ozono y a que, como ya se ha indicado anteriormente, el ozono es el principal absorbente de la radiación solar ultravioleta en la estratosfera, regulando la temperatura de la misma.



4. RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LA REDUCCIÓN DE AZUFRE EN LA GASOLINA A 50 PARTES POR MILLÓN.

La contaminación del aire ha sido uno de los retos más importantes ya que este representa un problema severo para los habitantes de la ZMCM. Por ello, se han elaborado diversas políticas ambientales. A continuación se presenta el análisis de una de las medidas que se pretende llevar a cabo en el “Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 2002-2010”. El cual fue elaborado la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal de la Ciudad de México.

Para el presente análisis se toman en cuenta diferentes escenarios uno base y dos alternativos, es decir, se maneja un escenario base con una gasolina de 450 ppm en volumen de azufre hasta al año 2010.

En el primer escenario alternativo se reformula la gasolina a 300 ppm en volumen de azufre y comienza en al año 2004 al 2010; y por ultimo el segundo escenario alternativo en el cual se reformula la gasolina a 50 ppm en volumen de azufre éste es el escenario meta.

Para los tres escenarios se mantiene la misma metodología, es decir, los cálculos se hacen en forma similar.

Se estima que las fuentes móviles son la principal fuente de emisiones contaminantes de la ZMCM.

Para el presente trabajo se tomaron en cuenta los datos de la secretaria del medio ambiente del distrito federal reportadas en el “inventario de emisiones del distrito federal”, en este trabajo se hacen las proyecciones de la flota vehicular de acuerdo con una tasa de crecimiento de 5.9 % anual, reportada por la Secretaría del Medio Ambiente y una tasa de supervivencia de la flota vehicular de 3.9 % anual.

Para las proyecciones de la flota vehicular se basaron en la tasa anual promedio de crecimiento compuesto del periodo 1989-1999, con la siguiente ecuación:

$$TACCV = [(VU / VP) (1/NP) - 1] 100$$

Donde:

TACCV: Tasa anual de crecimiento compuesto de ventas de autos (%)

VU (1999): ventas de ultimo año (220,133)

VP(1989): ventas del primer año (124,169)

NP: numero de periodos (10 años)

Sustituyendo:

$$TACCV = ((220,133 / 124,169) (1/10) - 1) 100 = 5.893\%$$



La tasa de crecimiento compuesto de las ventas de autos obtenidas como resultado de la aplicación de la ecuación anterior, en el periodo 1989-1999, se toma constante para las proyecciones de ventas al año 2010.

Para hacer el cálculo de la flota vehicular particular por año-modelo que circula en la ZMCM, se obtiene a partir de un análisis de los datos de las tasas de supervivencia, se construye una curva con los datos de supervivencia de los 5 años modelo mas viejos (vehículos que tienen de 20 a 24 años de circulación), esta curva se ajustó a una función exponencial e igualmente por regresión se obtuvo la siguiente ecuación:

$$Y = (3.9928e - 0.1135x) 100$$

Donde:

Y: tasa de supervivencia.

X: años de circulación (24 años o más).

Por lo tanto, la proyección de la Flota Vehicular particular se estima crecerá a una tasa de 5.9% anual, y la tasa de renovación de la será de 3.9%, según estimaciones del Inventario de Emisiones 1998 (GDF, 1998).

La estimación de la flota vehicular particular al año 2010 se presenta en la tabla 4.1.

Tabla 4.1

FLOTA VEHICULAR PARTICULAR TOTAL	
AÑO	TOTAL
1998	2,341,733
1999	2,449,055
2000	2,556,376
2001	2,702,897
2002	2,849,418
2003	2,995,939
2004	3,142,459
2005	3,288,980
2006	3,435,501
2007	3,643,226
2008	3,850,952
2009	4,058,677
2010	4,266,402

Fuente: Elaboración propia con datos de la SMA.



La flota vehicular particular emite a la atmósfera cerca del 75 % de las emisiones contaminantes: HC, CO, NOx y S.

En el caso del material particulado (PM10) Para el escenario base se toman las proyecciones reportadas por la SMA en el I.E. 1998, tomando en cuenta las toneladas emitidas por cada fuente (área, flota vehicular total, etc); en base a esto se compara con las toneladas dejadas de emitir al año 2010 al entrar los automóviles Tier 2 (426 ton) reportadas por el World Bank, 2003. De esta manera se obtienen las toneladas emitidas para el escenario alternativo meta

Una vez realizada la proyección de la flota vehicular de la ZMCM al año 2010, se calcularon las emisiones contaminantes por tipo de vehículo.

Las emisiones generadas de contaminantes dependen de varios factores, entre ellos, y quizá los más importantes son los kilómetros recorridos, la tecnología automotriz, la calidad de las gasolinas.

Para calcular el kilometraje recorrido se toman en cuenta:

- ❖ Días de circulación : 313 para los modelos anteriores a 1991, 365 días para los modelos posteriores a 1991.
- ❖ Promedio de kilómetros recorridos por día 33 Km.
- ❖ Numero de autos por año-modelo

$$\text{KM} = \text{autos por año-modelo} * \text{días de circulación} * \text{promedio de kilómetros recorridos al día} / 1000000$$

Se observa que estos van incrementándose, en parte por la renovación del parque vehicular y por el incremento en la población, los totales son los siguientes (tabla 4.2):



Tabla 4.2

KM RECORRIDOS	
AÑO	TOTAL
1998	25,619,791,329
1999	27,059,829,159
2000	28,499,851,512
2001	30,399,679,233
2002	32,299,503,522
2003	34,199,332,959
2004	36,099,141,771
2005	37,998,969,492
2006	39,898,790,349
2007	42,512,276,730
2008	45,125,775,156
2009	47,739,256,389
2010	50,352,735,906

Fuente: Elaboración propia con datos de la SMA.

Para obtener las emisiones se utilizaron los factores de emisión que se obtuvieron en el IMP (IMP, 2003). Los cuales representan una relación entre la cantidad del contaminante emitido a la atmósfera y la distancia recorrida.



PROYECCION DE EMISIONES CONTAMINANTES 2010 ESCENARIO BASE 450 PPM DE AZUFRE.

Para calcular las toneladas de contaminantes emitidas por la flota particular se utiliza la siguiente formula:

$$E_{ijk} = (KRVi_j) (FE_{ijk}) / (1,000,000)$$

Donde:

E_{ijk} = emisión del tipo de vehículo i del año/modelo j del contaminantes k (ton/año)

$KRVi_j$ = kilómetros recorridos por el tipo de vehículo i del año/modelo j (km / año)

FE_{ijk} = factor de emisión del tipo de vehículo i del año/ modelo del contaminante k (km/año)

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

AZUFRE

Con respecto a las emisiones de azufre se llevó a cabo una metodología diferente:

Para estimar la reducción en emisiones de azufre, se consideró que estas se reducirían en forma lineal con respecto a la reducción en el contenido de azufre en las gasolinas. Al año 2004, se reducirían en 1.5 las emisiones ya que el azufre se reduciría a 300 ppm en la gasolina. A partir del año 2006 se consideró que la gasolina que consumirían los autos nuevos tendría un contenido de 50 ppm de azufre, lo que implicaría una reducción a 1/9 en las emisiones al pasar de 450 a 50 ppm de S en gasolina

PARTICULAS PM10

Se toman las emisiones reportadas por la SMA (I.E. 1998), para los años 1998, 2000, 2006, 2010, los años intermedios se calcularon mediante una interpolación.

Las emisiones proyectadas para el año 2010 son las siguientes:

Tabla 4.3.

Emisiones de HC (Ton/año)												
	83,308	80,310	77,175	74,431	71,572	68,594	66,499	62,282	58,944	56,733	54,444	49,626

Fuente: Elaboración propia con datos del IMP.



Tabla 4.4.

Emisiones de CO (Ton/año)

	811,162	779,174	746,161	718,251	689,518	669,933	629,469	598,088	565,766	545,334	524,428	503,011	481,040

Fuente: Elaboración propia con datos del IMP.

Tabla 4.5.

Emisiones de NOX (Ton/año)

	49,069	46,867	45,671	44,616	43,569	42,530	41,496	40,466	39,437	38,839	38,256	37,686	37,126

Fuente: Elaboración propia con datos del IMP.

Tabla 4.6.

EMISIONES DE AZUFRE (ton/año) BASE 450

1996	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
2,000	2,028	2,056	2,131	2,209	2,290	2,374	2,461	2,551	2,652	2,757	2,866	2,980

Fuente: Elaboración propia con datos del SMA.

Tabla 4.7

EMISIONES PM10 TON/AÑO

DATOS	1996	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
BASE	701	734	757	811	854	898	942	985	1,029	1,081	1,133	1,185	1,237

Fuente: Elaboración Propia con datos de la SMA.

PROYECCION DE EMISIONES CONTAMINANTES 2010 ALTERNATIVO 300 ppm.

En este escenario se toma en cuenta que la gasolina va a ser reformulada, es decir, que va a pasar de tener 450 ppm de azufre a 300 ppm en el año 2004.

Para el cálculo de las emisiones se va a seguir la misma metodología aplicada al escenario base:

$$E_{ijk} = (KRVi_j) (FE_{ijk}) / (1,000,000)$$

Donde:

E_{ijk} = emisión del tipo de vehículo i del año/modelo j del contaminantes k (ton/año)

KRVi j= kilómetros recorridos por el tipo de vehículo i del año/modelo j (km / año)

FE_{ijk}= factor de emisión del tipo de vehículo i del año/ modelo del contaminante k (km/año)

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



Las emisiones proyectadas para el año 2010 son las siguientes:

Tabla 4.8.

Emisiones de HC (Ton/año)													
83,308	80,310	77,175	74,431	71,572	68,594	64,991	61,740	58,366	56,112	53,779	51,365	49,868	

Fuente: Elaboración propia con datos del IMP.

Tabla 4.9.

Emisiones de CO (Ton/año)													
811,162	779,174	746,161	718,251	689,518	669,933	625,653	593,947	561,280	540,438	519,099	497,224	474,775	

Fuente: Elaboración propia con datos del IMP.

Tabla 4.10.

Emisiones de NOX (Ton/año)													
48,069	46,867	45,671	44,616	43,569	42,530	40,822	39,736	38,654	37,990	37,339	36,699	36,066	

Fuente: Elaboración propia con datos del IMP.

Tabla 4.11.

EMISIONES DE AZUFRE (ton/año) ALTERNATIVO 300													
1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
2,000	2,028	2,056	2,131	2,209	2,290	1,583	1,641	1,701	1,763	1,827	1,894	1,964	

Fuente: Elaboración propia con datos de la IMP, SMA.



PROYECCION DE EMISIONES CONTAMINANTES ESCENARIO ALTERNATIVO 50 PPM DE AZUFRE.

En este escenario se toma en cuenta que la gasolina va a ser reformulada, es decir, que va a pasar a 50 ppm en el año 2006.

Para el cálculo de las emisiones se va a seguir la misma metodología aplicada al escenario base:

$$E_{ijk} = (KR_{Vij}) (FE_{ijk}) / (1,000,000)$$

Donde:

E_{ijk} = emisión del tipo de vehículo i del año/modelo j del contaminantes k (ton/año)

KR_{Vij} = kilómetros recorridos por el tipo de vehículo i del año/modelo j (km / año)

FE_{ijk} = factor de emisión del tipo de vehículo i del año/ modelo del contaminante k (km/año)

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

PARTICULAS PM10

para calcular las toneladas emitidas por la flota vehicular particular se tomaron en cuenta los datos reportados por el Banco Mundial, en este documento se hace una proyección de reducción de emisiones de PM10, al año 2010 se dejaron de emitir 426 ton de estas partículas, tomando como base la proyección de emisiones de estas partículas reportadas por la SMA (I.E. 1998), se restan las toneladas dejadas de emitir y se obtiene la proyección de emisiones de PM10 para el escenario alternativo meta.

Las emisiones proyectadas para el año 2010 son las siguientes:

Tabla 4.12.

Emisiones de HC (Ton/año)													
	83,308	80,310	77,175	74,431	71,572	68,594	64,991	61,740	57,789	54,819	51,748	48,566	45,243

Fuente: Elaboración propia con datos del IMP.

Tabla 4.13

Emisiones de CO (Ton/año)													
	811,162	779,174	746,161	718,251	689,518	669,933	625,653	593,947	559,318	535,510	510,345	483,827	455,953

Fuente: Elaboración propia con datos del IMP.



Tabla 4.14.

Emisiones de NOX (Ton/año)													
	48,069	46,867	45,671	44,616	43,569	42,530	40,822	39,738	38,151	36,884	35,575	34,225	32,834

Fuente: Elaboración Propia con datos del IMP.

Tabla 4.15

EMISIONES DE AZUFRE (ton/año) ALTERNATIVO 50												
1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
2000	2028	2056	2131.2496	2209.25334	2290.11201	1582.62007	1640.54397	188.954208	195.889932	203.038772	210.469991	218.173193

Fuente: Elaboración Propia con datos del IMP.

Tabla 4.16

EMISIONES PM10 FLOTA PARTICULAR													
AÑO	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ESCENARIO ALTERNATIVO	701	734	767	811	854	898	942	985	1.029	1.006	983	959	851

Fuente: Elaboración Propia con datos de la SMA.



El objetivo del programa para mejorar la calidad del aire de la ZMCM, es primordialmente reducir la emisión de contaminantes, ya que estos son nocivos para la salud de los seres vivos por lo tanto representan un peligro para la población en general. Pero todo proyecto, ya sea público o privado conlleva costos por su aplicación. Para el presente Análisis Costo-Beneficio se toman en cuenta los costos reportados por PEMEX para la reformulación de la gasolina para la flota vehicular de la ZMCM, así como los beneficios derivados de la medida.

Costos:

Los costos en los que se basa el presente análisis son los reportados por PEMEX, y la industria automotriz

Los costos reportados fueron los siguientes:

- ❖ Inversión Pemex
- ❖ Costos fijos incrementales de las plantas
- ❖ Costo incremental por importaciones
- ❖ Costo por financiamiento
- ❖ Inversión privada Industria Automotriz

Las cantidades fueron reportadas por PEMEX (Rodrigo Favela, 1999) y se muestran en En las siguientes tablas.

Cabe aclarar que los costos son dados en millones de dólares. Para la conversión a pesos se tomó el tipo de cambio de diciembre del 2002.(Banco de México,2003).

COSTOS PÚBLICOS

Aquellos en que incurren las autoridades, gobiernos estatales y locales por la aplicación de normas ambientales que coadyuven al cumplimiento de determinados objetivos en este caso lograr que gradualmente el parque vehicular de la ZMVM sea convertida a este combustible. En este caso la paraestatal PEMEX.

La inversión que se estimó para el proyecto se muestra en la tabla 4.17 Como inversión pública se consideró la inversión en plantas requeridas para el procesamiento de la gasolina de bajo azufre

Tabla 4.17

		ZMCM						
ESTIMACIÓN DE COSTOS	GRUPOS INVOLUCRADOS	INVERSION POR PERIODO						
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
inversion publica plantas PEMEX	PEMEX	966,779,010	1,935,692,190	1,935,692,190				

Fuente: Pemex



Los costos fijos incrementales de las plantas son anuales, lo mismo que los costos incrementales por importación y comienzan a partir del año en el que se empieza a producir la gasolina reformulada, el 2006.

Tabla 4.18.

		ZMCM							
ESTIMACIÓN DE COSTOS	GRUPOS INVOLUCRADOS	INVERSION POR PERIODO							
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
costos fijos incrementales de las plantas (anual)	PEMEX	-	-	-	175,270,000	175,270,000	175,270,000	175,270,000	175,270,000
costo incremental por importaciones (anual)	PEMEX	-	-	-	453,640,000	453,640,000	453,640,000	453,640,000	453,640,000

Fuente: Pemex

Además se consideró un costo de financiamiento del 15 % sobre la inversión.

Tabla 4.19.

		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
costo por financiamiento	PEMEX	145,016,662	290,363,629	290,363,629	-	-	-	-	-

Fuente: Pemex

COSTOS PRIVADOS

Aquellos en que incurren los particulares por la implantación de nueva tecnología a la flota vehicular particular con el fin de cumplir con las normas de emisión. Se consideró como inversión privada la necesaria para equipar a los automóviles nuevos con la tecnología Tier 2 , a partir del 2006 (World Bank, 2003).

Tabla 4.20

		ZMCM							
ESTIMACIÓN DE COSTOS	GRUPOS INVOLUCRADOS	INVERSION POR PERIODO							
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
inversion privada sector automotriz	SECTOR PRIVADO	-	-	-	591,472,874	662,991,252	686,901,728	715,691,404	743,711,231

Fuente: Banco Mundial.



COSTOS TOTALES

Se obtienen a través de la suma de los costos públicos y costos privados

COSTOS ANUALES M.N.

DATOS	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Públicos	966,779,010	1,935,692,190	1,935,692,190	-	-	-	-	-
Costos fijos incrementales de las plantas (anual)	-	-	-	170,268,433	175,270,000	175,270,000	175,270,000	175,270,000
Ccosto incremental por importaciones (anual)	-	-	-	453,640,000	453,640,000	453,640,000	453,640,000	453,640,000
Costos por financiamiento (15%)	145,016,852	290,353,829	290,353,829	-	-	-	-	-
TOTAL	1,111,795,862	2,226,046,019	2,226,046,019	623,908,433	628,910,000	628,910,000	628,910,000	628,910,000
Inversión Privada (AMIA)	-	-	-	591,472,874	662,991,262	688,801,728	715,691,404	743,711,231



BENEFICIOS

Los beneficios cuantificados derivados de la aplicación de ésta medida que se identificaron fueron los siguientes:

- ❖ Beneficio por reducción de emisiones.
- ❖ Beneficios por costo de mantenimiento
- ❖ Beneficios ingresos por venta (Pemex).
- ❖ Beneficios a la salud de la población de la ZMCM por reducción de Ozono y PM10.
- ❖ Incremento en la vida útil del catalizador automático.

BENEFICIOS PÚBLICOS

Son aquellos que generan bienestar por la disminución de emisiones y mejor calidad del aire; se generan en la población, beneficios por no degradación del ambiente, beneficios por ingresos de ventas de la gasolina, beneficios a la salud de la población de la ZMCM.

Beneficio por reducción de emisiones.

Con base en la reducción de emisiones obtenida por tipo de contaminante y de acuerdo a los datos presentado por el INEGI en el documento "**Sistema Cuentas Económicas y Ecológicas de México, 2000-2002**" se obtuvo el precio por tonelada para cada tipo de contaminante. El INEGI utilizó los siguientes métodos para asignar un valor al recurso natural.

Valoración de Activos no Producidos

Los métodos más utilizados para asignar un valor a los activos no producidos son: **Renta Neta**, **Costo de uso**, conocido también como **Asignación por Agotamiento** y **Costo de Mantenimiento**. Los dos primeros se aplican alternativamente, a los aspectos del agotamiento y el tercero a los de la degradación.

Cabe destacar que para esta investigación solo se tomo en cuenta el método de Costo de Mantenimiento el cual se describe a continuación.

Con respecto a la contaminación del aire, se tomo en cuenta la alteración de su calidad, ya que esta problemática esta relacionada con la degradación del recurso, el análisis se centra en estimar los costos en que se incurre para evitar y/o restablecer su deterioro, utilizándose el método de costo de mantenimiento.

Costo de Mantenimiento. Este procedimiento toma en cuenta los costos en que se incurriría si se deseara evitar el deterioro o restablecer las cualidades del recurso de acuerdo con los estándares de calidad considerados como aceptables. En el caso del aire no se puede acotar la disponibilidad total de activos, por lo que se calculan los costos por



degradación que se refieren al monto monetario requerido para evitar y/o disminuir su contaminación.

Los costos generados por la contaminación del aire, fueron estimados considerando las erogaciones que sería necesario realizar para reducir o eliminar dicha contaminación.

Así, para obtener estos costos, se emplearon los costos por degradación por contaminante, las toneladas emitidas para cada uno de ellos y el índice de precios al consumidor de 2000 y 2002 para obtener el valor actual de los mismos mediante un deflector.

Ejemplo.

$$CDGRN = (28,616,576 \times 1000 / 3,657,540) (1.07150921) = 8,383$$

CDGRN: Costo por degradación por contaminante HC: \$28,616,576

Toneladas Emitidas: 3,657,540

IPC 2000: 336.60

IPC 2002: 360.67

Deflactor*: 1.07150921

*Se obtiene al dividir el IPC de 2000 entre el de 2002

La reducción de emisiones por tipo de contaminante se muestran en las siguientes tablas

Tabla 4.20

REDUCCION DE EMISIONES HC TON/AÑO

DATOS	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ALT 300 PPM	508	543	578	621	665	711	758
ALT. 50 PPM	508	543	1,175	1,914	2,697	3,520	4,384

Fuente: Elaboración propia con datos del IMP.

Tabla 4.21

REDUCCION DE EMISIONES CO TON/AÑO

DATOS	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ALT 300 PPM	3,816	4,142	4,487	4,896	5,330	5,787	6,265
ALT. 50 PPM	3,816	4,142	6,448	9,825	14,083	19,184	25,087

Fuente: Elaboración propia con datos del IMP.



Tabla 4.22

REDUCCION DE EMISIONES NOX TON/AÑO							
DATOS	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ALT 300 PPM	674	728	782	848	917	987	1,059
ALT. 50 PPM	674	728	1,285	1,955	2,681	3,461	4,291

Fuente: Elaboración propia con datos del IMP.

Tabla 4.23

REDUCCION DE EMISIONES SO2 TON/AÑO							
DATOS	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ALT 300 PPM	791	820	850	889	930	972	1,016
ALT. 50 PPM	791	820	2,362	2,456	2,554	2,656	2,761

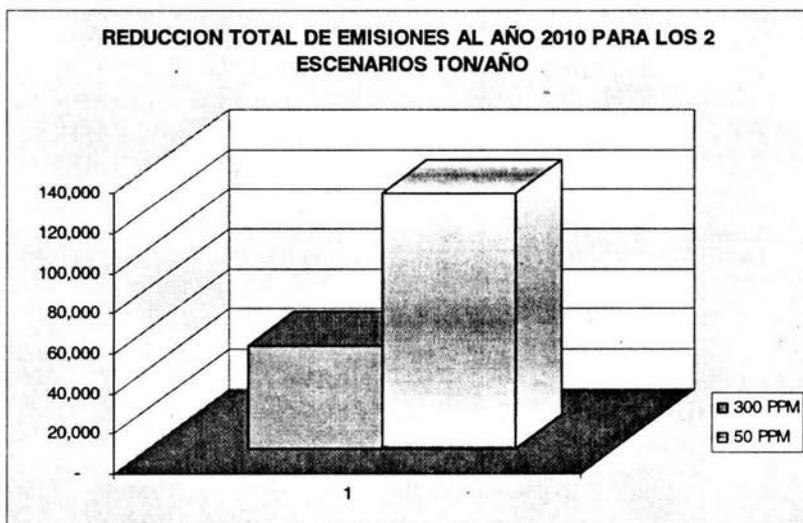
Fuente: Elaboración propia con datos del IMP, SMA.

Tabla 4.24

REDUCCION DE EMISIONES PM10 TON/AÑO							
DATOS	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ALT. 50 PPM	0	0	0	86	170	256	426

Fuente: Elaboración propia Con datos de SMA, World Bank.

GRAFICA 4.1



Fuente: Elaboración propia con datos del IMP,SMA:



De acuerdo a los datos presentados por el INEGI el precio por tonelada dejada de emitir para cada tipo de contaminante se muestra en la tabla 4.25, los beneficios por dejar de emitir CO, HC, NO_x y SO₂ en pesos de 2002 se observan en la tabla 4.26

Tabla 4.25

aspectos por degradacion	\$2002/ton
bioxido de azufre	12848
oxido de nitrogeno	7073
hidrocarburos	8383
monoxido de carbono	9661
particulas suspendidas totales.	4632

Fuente: elaboración Propia con datos del INEGI.

Tabla 4.26.

datos	BENEFICIOS ANUALES POR REDUCCION DE EMISIONES PESOS								
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	
HC	-	4,259,620	4,548,618	9,853,870	16,048,088	22,606,402	29,512,537	36,749,549	
CO	-	36,869,270	40,014,935	62,298,318	94,917,597	136,057,957	185,239,570	242,366,559	
NOx	-	4,770,590	5,145,961	9,092,476	13,628,944	18,963,398	24,477,974	30,354,076	
S	-	10,166,364	10,538,453	30,344,891	31,553,831	32,810,912	34,118,050	35,477,237	
PM10	-	-	-	-	1,094,608	2,189,216	3,283,824	5,473,040	

Fuente: Elaboración Propia con datos del INEGI.

INGRESOS POR VENTA DE GASOLINA

Para realizar los beneficios por venta de la gasolina se procede a calcular el consumo de esta misma hasta el año 2010.

La proyección se hizo a partir del rendimiento de la gasolina (km/lt), y el promedio de kilómetros recorridos diario de la flota vehicular particular.33 km



Tabla 4.29

LITROS/AÑO		
AÑO	MAGNA	PREMIUM
1998	250,163,350.85	167,094,754.92
1999	260,223,623.10	216,495,973.11
2000	267,573,356.46	284,889,671.34
2001	281,633,229.95	350,300,953.97
2002	293,478,720.62	429,744,410.63
2003	305,273,939.02	509,691,126.33
2004	315,739,275.61	592,660,393.54
2005	327,394,250.93	684,283,479.43
2006	3,762,790,755.63	393,333,239.06
2007	3,602,831,735.94	825,530,423.44
2008	3,433,467,211.45	1,254,291,193.58
2009	3,282,915,669.69	1,689,923,537.50
2010	3,122,957,189.69	2,122,119,467.19

Fuente: Elaboración Propia con datos de IMP.

En lo que se refiere al precio de la gasolina se maneja un incremento del 6% (R. Favela, 1999) para compensar el impacto durante el periodo 2006-2010. Además del 3% anual, que fue anunciado (Pemex, 2003). Es decir, se tendrá un incremento del 3% anual en el periodo 2003 al 2010 y la gasolina de 50 ppm en volumen de azufre tendrá un incremento del 4.2 % en el periodo del 2006 al 2010. Los precios proyectados se muestran en la tabla 4.30.

Tabla 4.30

PRECIO GASOLINA		
AÑO	MAGNA	PREMIUM
1998	4.25	4.68
1999	4.79	5.27
2000	5.27	5.91
2001	5.61	6.29
2002	5.84	6.56
2003	6.02	6.76
2004	6.20	6.96
2005	6.38	7.17
2006	6.57	7.47
2007	6.77	7.70
2008	6.97	7.93
2009	7.18	8.16
2010	7.40	8.41

Fuente: Elaboración Propia con datos de Pemex

Para estimar el beneficio por venta de gasolina se consideraron únicamente los ingresos obtenidos por la venta de la gasolina de 50 ppm en el periodo 2006-2010.

También se consideró que la gasolina con 300 ppm continuaría con el mismo precio de la gasolina de 450 ppm. Estos beneficios se muestran en la tabla 4.31.



Tabla 4.31

BENEFICIOS ANUALES PESOS								
AÑO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
ingresos por ventas (diferencial)	-	-	-	34,849,346	75,336,301	117,898,100	163,611,081	211,618,052

Fuente: Elaboración Propia con datos de Pemex

BENEFICIOS PRIVADOS

Los beneficios cuantificados en este análisis son los beneficios obtenidos por menores costos por mantenimiento de los vehículos, así como mayor vida útil del convertidor catalítico,

BENEFICIO POR COSTO DE MANTENIMIENTO

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos reporta que el costo de mantenimiento de los autos con tecnología Tier 2 es menor que el de un auto convencional los beneficios totales por reducción de costo de mantenimiento se resumen en la tabla 4.33

Tabla 4.32

BENEFICIO * COSTO MANTENIMIENTO			
costo anual de mantenimiento de un vehículo Tier 2 (día)	95.6	10.3125	985.875
costo anual de mantenimiento de un vehículo convencional (día)	106.68		1100.1375

Elaboración Propia con datos del Banco Mundial, S.M.A.

Tabla 4.33

BENEFICIOS ANUALES PESOS								
datos	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
beneficios por costo de mantenimiento	-	-	-	35,820,265	75,179,812	114,539,358	153,898,790	193,258,222

Elaboración Propia con datos del Banco Mundial, S.M.A.

INCREMENTO DE VIDA UTIL DEL CATALIZADOR AUTOMATICO

Con la introducción de la tecnología Tier 2 se garantiza un recorrido de 80 000 km (SMA, 2003), lo que correspondería a un incremento de vida útil del catalizador automático.



BENEFICIOS POR REDUCCION DE MORBILIDAD Y MORTALIDAD

Las políticas ambientales implementadas en la ZMCM tienen como objetivo principal la mejora de la calidad del medio ambiente, con el propósito de mejorar el bienestar de la población de la zona, es decir, evitar enfermedades e incluso la muerte. Con la aplicación de la medida de "Reducción de Azufre en la Gasolina para la ZMCM" se obtienen beneficios a la salud de la población como resultado de la disminución de contaminantes como el ozono y PM10. (ver anexo B)

BENEFICIOS POR REDUCCION DE OZONO

Tabla 4.34

BENEFICIOS SALUD M.N.	
2004	128,334,696
2005	256,669,391
2006	399,391,503
2007	532,522,004
2008	665,652,506
2009	798,783,007
2010	931,913,508

Fuente: IMP con datos de la Secretaría de Salud.

BENEFICIOS POR REDUCCION PM10

4.35

BENEFICIOS ECONOMICOS	
2006	0
2007	147888122.5
2008	286510049
2009	416710210
2010	674041821

Fuente: Elaboración propia con datos de la SMA.

Cabe mencionar que la población más afectada son los adultos mayores de 65 años y los niños menores de 5 años, y aquellas personas que padecen enfermedades respiratorias. Con base en el análisis se pudo determinar que la introducción de la gasolina reformulada podría evitar cerca de 4200 muertes infantiles al año 2010 a causa de la contaminación por este tipo de partículas, no se refleja en los beneficios económicos debido a que el valor por año de vida de los adultos se calculó en base a lo que un hombre gana en promedio cada año, y en el caso de los infantes no se puede calcular.



REDUCCION DE AZUFRE EN LA GASOLINA PARA LA ZMCM



BENEFICIOS TOTALES

Se obtienen a través de la suma de los beneficios públicos y beneficios privados.

BENEFICIOS ANUALES M.N.								
DATOS	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
HC	-	4,259,620	4,548,618	9,853,870	16,048,088	22,606,402	29,512,537	36,749,549
CO	-	36,869,270	40,014,935	62,298,318	94,917,597	136,057,957	185,339,570	242,366,559
NOX	-	4,770,590	5,145,961	9,092,476	13,828,944	18,963,398	24,477,974	30,354,076
S	-	10,166,364	10,538,453	30,344,891	31,553,831	32,810,912	34,118,050	35,477,237
PM10	-	-	-	-	1,094,608	2,189,216	3,283,824	5,473,040
beneficios por costo de mantenimiento	-	-	-	35,820,265	75,179,812	114,539,358	153,898,790	193,258,222
Beneficios a la salud por reducción de ozono.	-	128,334,696	256,669,391	399,391,503	532,522,004	665,652,506	798,783,007	931,913,508
Beneficios a la salud por reducción	-	-	-	-	147,888,123	286,510,049	416,710,210	674,041,821



REDUCCION DE AZUFRE EN LA GASOLINA PARA LA ZMCM



de PM10								
TOTAL	-	184,400,540	316,917,359	546,801,324	913,033,006	1,279,329,798	1,646,123,961	2,149,634,012
ingresos por ventas (diferencial)	-	-	-	34,849,346	75,336,301	117,898,100	163,611,081	211,618,052



RELACION BENEFICIO-COSTO

La relación beneficio-costo es uno de los criterios utilizados en la evaluación de proyectos, el cual establece que una alternativa es aceptable, si su relación beneficios/costo es igual o mayor que 1.

El fin perseguido al implementar esta medida, es conseguir el mayor bienestar a la población habitante de la ZMCM, talvez no se aprecia en los primeros años, ya que la relación beneficio-costo resulta negativa. Esto debido principalmente a las inversiones iniciales tan elevadas, se puede apreciar que éstas se dividen en varios periodos, pero las más significativas sin duda son las hechas para los periodos que van del año 2003 al año 2005, que son principalmente para la reconfiguración de la refinería que abastece a la ZMCM (tula) y para la adquisición del equipo necesario para el proceso de reformulación de la gasolina.

Los beneficios cuantificados en el presente trabajo, comienzan a percibirse a partir del año 2004, debido a la reducción de emisiones contaminantes, resultado de la reformulación de la gasolina, es decir, pasa de contener un volumen de 450 ppm de azufre a 300 ppm en el año 2004 y posteriormente al año 2006 contendrá solamente 50 ppm en volumen de azufre de azufre. Sin embargo los costos para los primeros años siguen siendo mayores, hasta el año 2008 cuando se observa una relación beneficio costo positiva; ya que se dejan de emitir un mayor volumen de contaminantes a medida que la flota vehicular de bajas emisiones contaminantes va aumentando.

Los beneficios más significativos son debido a la reducción de ozono, seguidos de la reducción de PM10, ya que estos afectan directamente la salud de los habitantes de la ZMCM y al dejar de emitirlos se percibe un bienestar para la población por costos evitados en morbilidad y mortalidad.

La relación beneficios-costos comienza a ser positiva a partir del año 2008 en adelante, como se puede observar al año 2010 por cada peso que se invierte se recuperan 1.7. Aun cuando algunas medidas en el corto plazo no sean suficientemente redituables es necesario llevarlas a cabo (como en el presente caso), por el bien propio y el de las generaciones futuras.



Tabla 4.34

RESULTADOS DEL ANALISIS COSTO-BENEFICIO DE LA REDUCCION DE AZUFRE EN LA GASOLINA A 50 PPM EN LA ZMCM

ESTIMACIÓN DE COSTOS	GRUPOS INVOLUCRADOS	INVERSION POR PERIODO							
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
inversion publica plantas PEMEX	PEMEX	966,779,010	1,935,692,190	1,935,692,190	-	-	-	-	-
costos fijos incrementales de las plantas (anual)	PEMEX	-	-	-	175,270,000	175,270,000	175,270,000	175,270,000	175,270,000
costo incremental por importaciones (anual)	PEMEX	-	-	-	453,640,000	453,640,000	453,640,000	453,640,000	453,640,000
costo por financiamiento	PEMEX	145,016,852	290,353,829	290,353,829	-	-	-	-	-
inversion privada sector automotriz	SECTOR PRIVADO	-	-	-	591,472,874	662,991,262	688,801,728	715,691,404	743,711,231
TOTAL		1,111,795,862	2,226,046,019	2,226,046,019	1,220,382,874	1,291,901,262	1,317,711,728	1,344,601,404	1,372,621,231
REDUCCION EMISIONES	POBLACION ZMCM	-	56,065,845	60,247,967	111,589,555	157,443,067	212,627,886	276,731,955	350,420,461
MANTENIMIENTO	AUTOMOVILISTAS	-	-	-	35,820,265	75,179,812	114,539,358	153,898,790	193,258,222
INGRESOS POR VENTAS PEMEX	PEMEX	-	-	-	34,849,346	75,336,301	117,898,100	163,611,081	211,618,052
BENEFICIOS POR REDUCCION OZONO	POBLACION ZMCM	-	128,334,696	256,669,391	399,391,503	532,522,004	665,652,506	798,783,007	931,913,508
BENEFICIOS									



REDUCCION DE AZUFRE EN LA GASOLINA PARA LA ZMCM



POR REDUCCION PM10									
TOTAL	-	184,400,540	316,917,359	581,650,670	988,369,307	1,397,227,899	1,809,735,042	2,361,252,064	
RELACION B/C	0	0.08	0.14	0.48	0.77	1.06	1.35	1.72	

VPN B-C	-4454101385
VPN B/C	0.54188631

LA RELACION COSTO-BENEFICIO QUEDA DE LA SIGUIENTE FORMA: GRAFICA 4.2





CONCLUSIONES

- ❖ El fenómeno de la contaminación atmosférica en la Ciudad de México ha alcanzado niveles que son peligrosos para la salud y disminuyen la calidad de vida de las personas que en ella habitan; también puede provocar daño a la vegetación, al patrimonio histórico y a los materiales de uso diario. Por ello resulta de vital importancia implementar los proyectos de mejora a la calidad del aire
- ❖ El factor más importante de contaminación del aire son las fuentes móviles de éstas son los autos particulares, los cuales contribuyen con casi todas las emisiones de CO, más del 75 % de los NOx, 35 % de los COV, 24 % del SO2, y 41 % de las partículas PM10, por esto se deben de prestar especial atención a la reducción de azufre en la gasolina cuyo propósito es disminuir las emisiones de los mismos, al incrementar la eficiencia del catalizador automático.
- ❖ La tasa de crecimiento anual de la flota vehicular particular de de cerca del 6%, ello significa un mayor número de vehículos en circulación, es decir, una proporción más alta de vehículos por habitante y la posibilidad de que los viajes y las distancias recorridas se incrementen aún más como resultado de la intensificación de las actividades económicas y de convivencia social. Se necesitan establecer límites de emisión cada vez más estrictos para los vehículos nuevos.
- ❖ Mejorar la calidad de los combustibles, en este caso la reducción de azufre en la gasolina, es una medida muy importante para el buen funcionamiento de los dispositivos anticontaminantes, por ello es de vital importancia invertir en este tipo de proyectos, aún cuando el tiempo de recuperación de la inversión no sea inmediato.
- ❖ La sociedad debe reconocer que los beneficios ambientales que recibe de la naturaleza no son gratuitos y que debe pagar para conservarlos. Los costos de preservación, mantenimiento y restauración de los ecosistemas deben de transferirse al contaminador y/o a quienes reciben estos beneficios.
- ❖ el problema de contaminación del aire de la ZMVM requiere un gran esfuerzo que debe mantenerse en el largo plazo. El desarrollo y aplicación efectiva de soluciones no es un lujo, sino una necesidad para garantizar la salud de los habitantes de la ZMVM y el bienestar de la sociedad. Para ello es indispensable la colaboración activa e informada de la población en general.



CONCLUSIONES

- ❖ Es de vital importancia adoptar las normas internacionales de emisión en este caso Tier 2. Dado que México debe de estar a la par de los países desarrollados no solamente por obligación (debido al TLC), sino por el bienestar de la población en general.
- ❖ El Establecimiento de las nuevas especificaciones con límites más estrictos de contenido de azufre en la gasolina y diesel, hacen posible la introducción de las futuras tecnologías automotrices de menores emisiones contaminantes.
- ❖ El éxito y sustentabilidad de las políticas ambientales depende en gran medida de un alto nivel de conciencia ciudadana y de una participación social activa e informada. Para lograr este objetivo, es necesario desarrollar una cultura ambiental y elevar la educación en todos los niveles y con esto lograr un cambio permanente de actitudes y conductas. Asimismo, es indispensable el mejoramiento continuo de la capacidad de los recursos humanos responsables del diagnóstico de la problemática ambiental, así como a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de las políticas y programas dirigidos a la reducción de la contaminación atmosférica, tanto a nivel gubernamental como privado, incluyendo al sector académico y a las organizaciones no gubernamentales.
- ❖ Por otro lado, debido a razones sociales y económicas, hay programas donde en forma temporal (como en este caso) o definitiva, no es posible lograr una recuperación total de la inversión requerida para instrumentar un programa ambiental. Sin embargo es necesario llevar a cabo estas medidas si se piensa en la salud de la población y en el largo plazo.
- ❖ Sin embargo, también La cuestión fundamental, por consiguiente, es cómo reducir los impactos ambientales del transporte sin sacrificar los beneficios económicos y sociales que otorga la movilidad.
- ❖ Es importante destacar que, para el mejoramiento sostenido de la calidad del aire en la ZMVM se requiere tanto de un compromiso político permanente del más alto nivel como del apoyo de la sociedad.
- ❖ Es prioritario que los esfuerzos emprendidos tengan una visión de largo plazo y que incluyan un proceso de actualización permanente y de renovación de los compromisos.
- ❖ Algunas de las medidas necesarias podrán parecer costosas y molestas. No obstante, cualquier retraso en abordar y atacar la contaminación del aire puede orillar a la necesidad de aplicar acciones más drásticas en el futuro, o a poner en un mayor riesgo la salud y la economía de los habitantes de la Ciudad de México.



- ❖ Por una parte, se requiere reducir los niveles de contaminación del aire que prevalecen en la actualidad hasta alcanzar niveles que aseguren la protección a la salud y por otra evitar, que la población (especialmente los grupos más vulnerables) se exponga a niveles de contaminación riesgosos.

RECOMENDACIONES

1.1 Normatividad futura para vehículos y combustibles

- ❖ Aspectos institucionales y de política

Además de los aspectos de tipo técnico con relación al transporte público y privado y a las especificaciones de los combustibles, existen otros que tienen que ver con las instituciones encargadas de la gestión de la calidad del aire y de cómo interactúan estas con otros sectores gubernamentales y de la sociedad en general, que resultan fundamentales para avanzar hacia una mejor calidad del aire en nuestras ciudades.

- ❖ Coordinación intergubernamental y participación de la sociedad

Quizás uno de los mayores obstáculos que impiden un desarrollo más sustentable de las grandes ciudades es la falta de integración de las políticas ambientales con las de desarrollo urbano, vivienda, transporte, energía y fiscales. Con mucha frecuencia, el avance en la aplicación de medidas para combatir la contaminación concluye en el momento en que termina la responsabilidad de la autoridad ambiental y comienza la de otra autoridad. Por tanto, los planes de gobierno de los sectores mencionados deben incluir un programa ambiental integral, que garantice la consideración de las variables ambientales en dichos planes y que establezca una clara corresponsabilidad de esos otros sectores por la protección del medio ambiente

De igual forma, para atender los problemas de contaminación del aire es indispensable que exista una estrecha coordinación entre los tres niveles de gobierno y la participación activa en la elaboración y seguimiento a programas de control por parte de representantes de los sectores académico, no gubernamental y empresarial. Sólo con una amplia presencia de estos sectores se logrará la legitimidad de los programas de control, se facilitará el seguimiento de avances y la rendición de cuentas por parte de las autoridades responsables, así como la



CONCLUSIONES

continuidad de las políticas exitosas en el mediano y largo plazos, independientemente de los cambios de administraciones gubernamentales.

❖ Financiamiento de los programas ambientales

La ejecución de muchas de las acciones más importantes para avanzar de manera significativa en el control de la contaminación, requiere inversiones multimillonarias que rebasan con mucho los presupuestos con los que cuentan actualmente las autoridades de las principales ciudades del país. Por ello, es necesario crear a la brevedad fondos ambientales que generen los recursos necesarios para emprender algunas de estas acciones.

Las medidas que se apliquen llevarán consigo costos económicos significativos que hay que prever. Sin duda, será necesario que la sociedad esté de acuerdo con ello por lo que será sumamente importante que conozca, por otra parte, el costo actual y futuro que la contaminación del aire está representando en términos de atención de enfermedades y quizás de muertes prematuras de individuos muy sensibles que habitan en esta Ciudad. Ello permitirá también a las autoridades de los sectores involucrados, no solamente a las del sector ambiental, y dar prioridad y la importancia que merece a este problema dentro de las agendas de gobierno y de la asignación de recursos.



GLOSARIO

Activo ambiental: Parte del balance de situación de una empresa que refleja los bienes o derechos de los que es titular en lo relativo al medio ambiente.

Análisis Costo-Beneficio: Técnica que intenta destacar y avalar los costos y beneficios sociales de proyectos de inversión para auxiliar a decidir si deben o no ser realizados.

Atmósfera: La porción gaseosa del ambiente físico que rodea el planeta.

Catalizador: Sustancia que se añade a una reacción química con el fin de facilitarla o llevarla a cabo. Al completarse la reacción el catalizador permanece inalterado.

Contaminantes Primarios: Contaminantes primarios: aquellos procedentes directamente de las fuentes de emisión.

Contaminación Ambiental: Presencia en el medio ambiente de uno o más contaminantes o cualquiera de sus combinaciones que perjudican o resultan nocivas a la salud y el bienestar humano, la flora y la fauna o que degradan la calidad del aire, agua, suelo o recursos naturales en general.

Contaminación: La presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones y permanencia superiores o inferiores según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente.

Contaminantes Secundarios: Aquellos originados por interacción química entre los contaminantes primarios y los componentes normales de la atmósfera.

Desarrollo Sustentable: Una de las definiciones más usadas de desarrollo sustentable es la que provino del informe de la Comisión Brundtland "Nuestro Futuro Común" publicado en 1987, que señala que desarrollo sustentable es aquel desarrollo que permite satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades.

Efecto Invernadero: Calentamiento de la atmósfera producido por la alteración del balance de la temperatura, debido al aumento de la concentración de gases en la atmósfera.

Externalidades: Situaciones en la que las personas que contaminan o destruyen el medio ambiente solo pagan parte o nada del costo social que provocan, para el caso



de externalidades negativas, y para el caso de externalidades positivas, las personas que reciben el beneficio social que producen otros agentes, no pagan todo o parte de los mismos beneficios, en economía se les define como "Free Riders".

Gasolina Reformulada: Gasolina a la cual se le han alterado su composición o características para reducir la emisión de contaminantes en los vehículos.

Gasolina: La gasolina es una mezcla de varios cientos de compuestos llamados hidrocarburos que se obtienen del petróleo. Sirve para hacer funcionar a los motores de los vehículos de combustión interna, como son automóviles, motocicletas, taxis, minibuses y algunos camiones de carga ligeros. También se utiliza en otros motores pequeños como los de las podadoras y en lámparas y estufas de campamento o como disolvente en las reparaciones mecánicas.

Hidrotratamiento: Proceso mediante el cual una corriente de hidrógeno remueve compuestos de azufre, metales pesados como el níquel y vanadio y otro tipo de contaminantes existentes en destilados ligeros.

Impacto Ambiental: Alteración del medio ambiente debida a la intervención humana. En la actualidad determinadas actuaciones requieren la elaboración previa de un estudio de impacto ambiental.

Lluvia Ácida: Fenómeno contaminante que se produce al combinarse el vapor de agua atmosférico con óxidos de azufre y de nitrógeno, formando ácido sulfúrico y ácido nítrico.

Medio Ambiente: Conjunto de los elementos bióticos (flora y fauna) y abióticos (energía solar, agua, aire y tierra mineral) que integran un determinado espacio, afectan la vida, al desarrollo y a la supervivencia de un organismo y que permiten el desarrollo de ecosistemas.

Morbilidad: Grado de virulencia de una enfermedad. Pérdida del estado del bienestar físico o mental resultado de una enfermedad.

Octanaje: Término con el que se describe la habilidad de una gasolina para resistir las detonaciones de la máquina generadas por la combustión.

Óxidos de Nitrógeno: (NOx): Gases contaminantes a base de nitrógeno y oxígeno; colectivamente se les denomina NOx en donde x representa cualquier proporción de oxígeno o nitrógeno.

Ozono: El ozono (O₃) es un contaminante común del aire de las ciudades; sin embargo, casi nunca es producido directamente por alguna fuente de contaminación



sino por una reacción fotoquímica: una combinación de hidrocarburos con óxidos de nitrógeno, efectuada en presencia de luz solar intensa.

Smog Fotoquímico: Es la contaminación debida a la abundancia de oxidantes fotoquímicos en la atmósfera, que se manifiesta en forma de neblina sobre las ciudades. Procede de la concentración en el aire de NO₂ y de contaminantes expulsados por los motores de expulsión, que por acción de los rayos solares reaccionan fotoquímicamente con los componentes propios del aire, produciendo un conjunto de contaminantes de naturaleza oxidante, como el ozono, el ácido fórmico o el agua oxigenada. Los efectos sobre el hombre son: irritación de las mucosas oculares, nasales, sensación de desecación, perturbaciones en la vista, dolor de cabeza, sinusitis, bronquitis y alergias.

Smog: Voz inglesa que se emplea para denominar la contaminación del aire, particularmente por oxidantes.

Toxicidad: Capacidad de una sustancia química de producir daño a un organismo animal.



BIBLIOGRAFIA

- ❖ Azqueta Oyarzun Diego. "Valoración Económica de la Calidad del aire", Ed. Mc Graw Hill, Madrid 1994.
- ❖ Cohen E., Franco R. "Evaluación de Proyectos Sociales, 1996, Siglo veintiuno, México.
- ❖ Fontaine E. (1984), "Evaluación Social de Proyectos", Chile, 1984.
- ❖ GDF, "Ecosistema Urbano y Salud de los habitantes de la ZMCM", México 2001.
- ❖ GDF, SMA. "Inventario de Emisiones para la ZMCM 1998", México, 1999.
- ❖ GDF, SMA. "Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 2002-2010", México.
- ❖ IMP, "Perspectiva de la Investigación y Desarrollo del Sector Petrolero al año 2025", México, 2001.
- ❖ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, "Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México 2000-2002". México.
- ❖ Layard Richard. "Análisis Costo – Beneficio", Ed. FCE, México, 1978.
- ❖ Martínez Alier. "Introducción a la Economía Ecológica Valoración de Proyectos", 1994.
- ❖ Melgar Margarita, et al. "Valoración Contingente sobre la Calidad del Aire de la Ciudad de México", I.M.P., México, 2002.
- ❖ Minera Barric Misquichilca S.A, "Estudio de Impacto Ambiental" Santiago de Chile, 1997.
- ❖ NAFIN (2000), Guía para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión, México



BIBLIOGRAFIA

- ❖ Rosales, Patricia. "Valuación Económica de la Contaminación del Agua en la Cuenca baja del Río Coatzacoalcos", (Tesis Profesional para obtener el Título de Maestro en finanzas), UNAM. México, 1998.
- ❖ Santibáñez, Norma. "Método para la creación de poblaciones sintéticas de la flota vehicular de la ZMCM, 2000".
- ❖ Strauss, W. "Contaminación del Aire causas, efectos y Soluciones, México 1997". Tercera reimpresión.

MEDIOS ELECTRONICOS

www.arvinmeritor-eu.com, 23 de junio 2003

www.conapo.gob.mx, 12 de sep. 2002

www.epa.gob. 23-marzo-03

www.ine.gob.mx, 1999. 02-dic-2002

www.inegi.gob.mx, 3 de nov. 2002

www.omega.ilce.edu.mx. 22-octubre-2002

www.pemex.gob.mx, 2003

www.sma.df.gob.mx. 1 de oct. 2002

www.ssa.gob.mx, 2003



ESTIMACIONES 2010

FLOTA VEHICULAR PARTICULAR

Para el presente trabajo se tomaron en cuenta los datos de la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal reportadas en el "Inventario de Emisiones del Distrito Federal", en este trabajo se hacen las proyecciones de la flota vehicular de acuerdo con una tasa de crecimiento de 5.9 % anual, reportada por la Secretaría del Medio Ambiente y una tasa de supervivencia de la flota vehicular de 3.9 % anual.

La tasa anual promedio de crecimiento compuesto del periodo 1989-1999, se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{TACCV} = [(\text{VU} / \text{VP}) (1/\text{NP}) - 1] 100$$

Donde:

TACCV: Tasa anual de crecimiento compuesto de ventas de autos (%)

VU (1999): ventas de último año (220,133)

VP(1989): ventas del primer año (124,169)

NP: numero de periodos (10 años)

Sustituyendo:

$$\text{TACCV} = ((220, 133 / 124,169) (1/10) - 1) 100 = 5.893\%$$

La tasa de crecimiento compuesto de las ventas de autos obtenidas como resultado de la aplicación de la ecuación anterior, en el periodo 1989-1999, se toma constante para las proyecciones de ventas al año 2010.

El cálculo de la flota vehicular particular por año-modelo que circula en la ZMCM, se obtiene a partir de un análisis de los datos de las tasas de supervivencia, se construye una curva con los datos de supervivencia de los 5 años modelo más viejos (vehículos que tienen de 20 a 24 años de circulación), esta curva se ajustó a una función exponencial e igualmente por regresión se obtuvo la siguiente ecuación:

$$Y = (3.9928e-0.1135x) 100$$



Donde:

Y: tasa de supervivencia.

X: años de circulación (24 años o más).

INFORMACIÓN REQUERIDA:

La tasa de supervivencia: Refleja el número de autos vendidos por año y el número de los mismos que circulan en el año de estudio.(Tabla 1)

Ventas de autos Ajustadas: Refleja un histórico de las ventas de autos particulares.(Tabla 2)



Tabla 1

TASA DE SUPERVIVENCIA AJUSTADA	
AÑOS EN CIRCULACIÓN	TASA DE SUPERVIVENCIA %
37	5.9900
36	6.7103
35	7.5170
34	8.4200
33	9.4330
32	10.5670
31	11.8360
30	13.2590
29	14.8520
28	16.6375
27	18.6370
26	20.8770
25	23.3860
24	26.1980
23	29.6400
22	33.4000
21	37.0800
20	40.6800
19	44.2000
18	47.6400
17	51.0000
16	54.2800
15	57.4800
14	60.6000
13	63.6400
12	66.6005
11	69.4800
10	72.2803
9	75.0000
8	77.6400
7	80.2000
6	82.6800
5	85.0802
4	87.4000
3	89.6398
2	91.8000
1	93.8800
0	95.8800

Tabla 2

VENTAS DE AUTOS AJUSTADAS POR AÑO-MODELO	
AÑO	VENTAS AJUSTADAS
1974	613,246
1975	130,431
1976	114,806
1977	84,223
1978	95,309
1979	117,015
1980	144,703
1981	163,962
1982	147,463
1983	82,460
1984	92,780
1985	106,613
1986	99,818
1987	66,209
1988	88,643
1989	129,632
1990	166,565
1991	196,701
1992	221,223
1993	205,939
1994	191,935
1995	112,580
1996	74,826
1997	131,722
1998	206,804
1999	218,991
2000	231,896
2001	245,562
2002	260,033
2003	275,357
2004	291,583
2005	308,766
2006	326,962
2007	346,230
2008	366,633
2009	388,239
2010	411,118



ANEXO A

En base a los datos de la tabla 1 y 2 se calculo la flota vehicular para la ZMCM, la proyección se hizo hasta el año 2010, en el presente trabajo se tomaron los datos reportados según la S.M.A. del D.F. referente a los años 2000, 2006, 2010.

Los años intermedios se calcularon mediante una interpolación de los años mencionados.

La flota vehicular proyectada es de 4,266,402 automóviles particulares al año 2010 (tabla 3).

La flota vehicular particular emite a la atmósfera cerca del 70 % de las emisiones contaminantes: HC, CO, NOx y S.

Las emisiones generadas de contaminantes dependen de varios factores, entre ellos, los kilómetros recorridos, la tecnología automotriz, la calidad de las gasolinas.

Para calcular el kilometraje recorrido se toman en cuenta:

- ❖ Días de circulación: 33 para los modelos anteriores a 1991, 365 días para los modelos posteriores a 1991 (catalizador automático).
- ❖ promedio de kilómetros recorridos por día 33 Km.
- ❖

$$KM = \# \text{ autos por año-modelo} * \text{días de circulación} * \text{promedio de kilometros rrecorridos al día} / 1000000$$

Fuente:
SMA,
DF
1998.

Se observa que estos van incrementándose, por la tasa de crecimiento de la flota vehicular (tabla 4)



ANEXO A

Tabla 3

AUTOS PARTICULARES													
Año	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1974	160.655	144.075	127.497	117.197	106.896	96.596	86.296	75.995	65.696	59.690	53.684	47.675	41.676
1975	38.660	34.670	30.681	28.202	25.723	23.244	20.766	18.287	15.809	14.362	12.918	11.474	10.029
1976	38.345	34.387	30.431	27.973	25.514	23.055	20.597	18.138	15.680	14.246	12.812	11.380	9.947
1977	31.234	28.100	24.967	22.950	20.933	18.915	16.899	14.881	12.865	11.687	10.512	9.337	8.161
1978	38.772	35.302	31.833	29.261	26.690	24.117	21.546	18.974	16.403	14.904	13.404	11.905	10.405
1979	51.721	47.555	43.389	39.884	36.378	32.872	29.368	25.862	22.357	20.314	18.270	16.227	14.183
1980	68.936	63.901	58.865	54.109	49.354	44.598	39.842	35.087	30.331	27.559	24.786	22.014	19.241
1981	83.621	78.046	72.471	66.616	60.761	54.907	49.052	43.197	37.342	33.929	30.516	27.102	23.689
1982	80.043	75.147	70.251	64.599	58.946	53.294	47.642	41.989	36.337	33.016	29.694	26.373	23.051
1983	47.398	44.727	42.055	39.119	36.184	33.248	30.312	27.377	24.441	22.207	19.973	17.739	15.505
1984	56.225	53.293	50.361	47.132	43.904	40.675	37.446	34.218	30.989	28.157	25.324	22.492	19.659
1985	67.848	64.565	61.281	57.656	54.031	50.407	46.782	43.157	39.532	35.919	32.305	28.692	25.078
1986	66.479	63.485	60.490	57.176	53.862	50.548	47.234	43.920	40.606	36.894	33.183	29.471	25.759
1987	46.002	44.069	42.136	39.991	37.845	35.700	33.555	31.409	29.264	26.854	24.444	22.034	19.624
1988	64.071	61.554	59.036	56.235	53.434	50.633	47.832	45.031	42.230	39.074	35.919	32.763	29.607
1989	97.224	93.646	90.068	86.075	82.083	78.090	74.097	70.105	66.112	61.601	57.090	52.579	48.068
1990	129.321	124.857	120.393	115.396	110.399	105.403	100.406	95.409	90.412	84.749	79.086	73.422	67.759
1991	157.754	152.640	147.526	141.782	136.039	130.295	124.551	118.808	113.064	106.534	100.003	93.473	86.942
1992	182.907	177.332	171.757	165.474	159.192	152.909	146.626	140.344	134.061	126.894	119.726	112.559	105.391
1993	175.213	170.188	165.163	159.479	153.795	148.112	142.428	136.744	131.060	124.552	118.045	111.537	105.029
1994	167.751	163.221	158.691	153.547	148.403	143.260	138.116	132.972	127.828	121.917	116.005	110.094	104.182
1995	100.917	98.350	95.783	92.856	89.929	87.002	84.075	81.148	78.221	74.844	71.466	68.089	64.711
1996	68.691	67.045	65.398	63.513	61.627	59.742	57.856	55.971	54.085	51.900	49.715	47.530	45.345
1997	123.661	120.889	118.076	114.862	111.648	108.434	105.220	102.006	98.792	95.051	91.310	87.569	83.828
1998	198.284	194.065	189.846	184.966	180.085	175.205	170.324	165.444	160.563	154.855	149.148	143.440	137.732
1999		213.966	205.589	200.596	195.603	190.610	185.617	180.624	175.631	169.762	163.893	158.024	152.155
2000			222.342	217.240	212.139	207.037	201.935	196.834	191.732	185.703	179.674	173.644	167.615
2001				259.011	248.993	238.976	228.958	218.941	208.924	202.736	196.548	190.360	184.172
2002					269.028	258.588	248.148	237.709	227.269	220.924	214.580	208.235	201.890
2003							279.467	268.588	257.709	246.830	240.332	233.833	227.335
2004								290.345	279.009	267.674	261.026	254.378	247.729
2005									301.681	289.870	283.077	276.285	269.492
2006										313.491	306.560	299.628	292.697
2007											351.397	337.718	324.039
2008												365.077	350.823
2009													379.329
2010													394.180
TOTAL	2.341.733	2.449.055	2.556.376	2.702.897	2.849.418	2.995.839	3.142.459	3.288.980	3.435.501	3.643.226	3.850.952	4.058.677	4.266.402
# autos 2006-2010									313.491	657.967	1.002.423	1.346.888	1.691.353



ANEXO A

Tabla 4

		KM RECORRIDOS													
año	1996	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010		
1974	1.659.405.495	1.488.150.675	1.316.916.513	1.210.527.813	1.104.128.784	997.740.084	891.361.384	784.952.365	678.573.884	616.538.010	554.502.036	492.435.075	430.471.404		
1975	399.319.140	366.106.430	316.304.049	291.298.468	265.682.867	240.087.276	214.492.014	188.086.423	163.291.161	146.345.098	133.430.022	116.514.946	103.598.541		
1976	396.066.505	365.183.323	314.321.799	289.933.117	263.534.106	238.136.095	212.746.413	187.347.402	161.968.720	147.146.934	132.336.148	117.544.000	102.774.563		
1977	322.615.986	290.244.900	257.864.143	237.050.950	216.216.957	195.373.036	174.549.771	153.705.849	132.882.585	120.715.023	108.578.448	96.441.873	84.294.968		
1978	400.475.988	364.634.368	328.803.657	302.236.959	275.881.010	249.104.493	222.548.634	196.982.446	169.426.587	153.943.416	138.449.916	122.966.745	107.473.245		
1979	534.226.209	491.195.595	448.164.981	411.961.836	375.748.362	339.534.888	303.347.872	267.128.598	230.925.453	209.823.306	188.710.830	167.608.683	146.496.207		
1980	717.039.944	660.033.429	608.016.585	568.891.811	509.777.466	460.662.742	411.528.018	362.413.623	313.298.899	284.656.911	256.014.594	227.382.606	199.740.289		
1981	863.721.309	806.137.134	748.562.959	688.076.564	627.600.369	567.134.403	506.668.108	446.181.813	386.706.518	360.452.641	315.198.764	279.936.598	244.883.881		
1982	826.764.147	776.193.363	725.622.579	667.243.071	608.863.234	550.473.726	492.084.218	433.704.361	375.324.873	341.022.254	306.708.326	272.406.731	238.083.779		
1983	489.573.942	461.985.183	434.386.095	404.060.151	373.744.536	343.418.992	313.050.649	282.777.033	252.451.089	229.376.103	206.301.117	183.226.131	160.151.145		
1984	580.748.025	560.463.397	520.178.769	496.826.428	453.484.415	420.132.075	386.779.734	353.437.722	320.095.381	290.833.653	261.571.596	232.219.968	203.057.811		
1985	700.801.992	666.891.865	632.971.449	595.529.824	558.096.199	520.663.930	483.211.278	446.768.653	408.326.028	371.007.351	333.678.345	296.369.668	259.030.662		
1986	686.861.591	656.736.565	624.801.211	590.570.934	556.348.598	522.110.752	487.879.966	453.649.680	419.419.374	381.078.126	342.747.207	304.405.959	266.064.711		
1987	475.154.658	455.188.701	435.222.744	413.067.039	390.901.005	368.745.300	346.589.595	324.423.561	302.267.856	277.374.966	252.482.076	227.589.186	202.696.296		
1988	661.789.359	635.791.266	609.762.844	580.951.315	551.919.786	522.988.257	494.066.726	466.126.199	436.193.670	403.595.346	371.007.351	338.409.027	305.810.703		
1989	1.004.226.636	967.069.534	930.312.372	899.068.575	847.835.307	806.597.610	765.347.513	724.114.545	682.870.848	636.376.729	589.662.610	544.088.491	496.454.372		
1990	1.336.756.609	1.289.647.953	1.243.529.297	1.191.925.264	1.140.311.271	1.088.707.587	1.037.083.574	985.479.561	933.866.548	885.372.421	816.879.294	738.375.838	669.882.711		
1991	1.629.441.068	1.576.618.560	1.523.796.054	1.464.466.278	1.405.146.831	1.345.817.065	1.286.487.279	1.227.167.832	1.167.838.056	1.100.389.686	1.032.930.987	966.482.517	896.023.918		
1992	1.889.246.403	1.831.662.228	1.774.078.053	1.709.180.946	1.644.254.168	1.579.397.061	1.514.499.954	1.449.613.176	1.384.716.069	1.310.698.126	1.236.648.654	1.162.821.911	1.088.583.638		
1993	2.110.440.595	2.049.914.460	1.989.388.335	1.929.924.565	1.862.460.775	1.794.009.040	1.715.545.260	1.647.081.480	1.578.617.700	1.500.228.840	1.421.862.025	1.343.463.165	1.265.074.309		
1994	2.020.560.795	1.965.996.545	1.911.433.095	1.849.473.515	1.787.514.135	1.726.566.700	1.663.807.220	1.601.647.740	1.539.688.260	1.468.480.265	1.397.280.225	1.326.082.230	1.254.872.190		
1995	1.215.545.266	1.184.625.750	1.153.706.236	1.118.460.520	1.083.194.805	1.047.939.090	1.012.883.375	977.427.660	942.171.945	901.485.900	860.807.970	820.132.005	779.443.995		
1996	827.383.096	807.657.025	787.718.910	765.014.085	742.287.215	719.992.390	696.825.520	674.170.695	651.453.825	626.135.500	598.817.175	572.498.850	546.180.525		
1997	1.488.456.745	1.455.867.105	1.422.225.420	1.383.512.790	1.344.800.160	1.306.087.530	1.267.374.900	1.228.662.270	1.189.949.640	1.144.889.295	1.099.828.960	1.054.768.605	1.009.706.260		
1998	2.386.330.780	2.337.512.925	2.286.695.070	2.237.915.470	2.189.123.825	2.110.344.225	2.051.562.580	1.992.772.900	1.933.981.235	1.865.228.475	1.796.493.660	1.727.734.800	1.668.981.940		
1999	0	2.577.220.470	2.476.319.506	2.416.178.820	2.366.038.135	2.295.897.450	2.226.756.765	2.175.616.000	2.115.475.295	2.044.783.200	1.974.091.185	1.903.399.000	1.832.706.975		
2000	0	0	2.678.109.380	2.616.656.800	2.565.214.255	2.493.763.665	2.432.307.075	2.370.865.530	2.309.411.940	2.236.792.635	2.164.173.330	2.091.541.900	2.018.922.675		
2001	0	0	0	2.719.787.495	2.699.120.685	2.678.465.920	2.657.799.110	2.637.144.345	2.616.498.980	2.441.965.120	2.367.438.660	2.292.886.200	2.219.351.740		
2002	0	0	0	0	3.240.442.260	3.114.662.460	2.989.942.660	2.863.204.905	2.737.456.105	2.561.029.580	2.584.616.100	2.508.190.575	2.431.766.050		
2003	0	0	0	0	0	3.966.180.015	3.795.142.460	3.104.104.905	2.973.067.360	2.894.798.940	2.816.516.485	2.736.250.075	2.659.989.620		
2004	0	0	0	0	0	0	0	3.497.205.525	3.360.663.405	3.224.133.300	3.144.058.170	3.063.963.010	2.983.995.805		
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	3.633.747.645	3.491.484.150	3.409.662.465	3.326.631.140	3.164.205.465		
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	3.775.998.095	3.682.515.200	3.609.019.260	3.525.525.365	3.442.038.425		
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.232.576.865	4.067.813.310	3.903.049.745	3.738.286.260		
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.397.362.465	4.226.663.005	4.053.973.605	3.883.973.605		
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.569.017.805	4.390.145.555	4.217.886.100	4.047.886.100		
2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
total	25.619.791.329	27.859.828.159	28.495.851.512	30.399.679.233	32.298.983.522	34.199.332.959	36.099.141.771	37.998.969.452	39.898.790.349	42.512.276.730	45.125.775.156	47.738.256.389	50.262.775.986		



PROYECCION DE EMISIONES CONTAMINANTES 2010

Como ya se menciono anteriormente el proyecto de reducci3n de azufre en la gasolina para la ZMCM consta de tres etapas:

La primera etapa del plan ser3a para fabricar y comercializar gasolina con 300 ppm de azufre, la segunda y 3ltima etapa permitir3a producir gasolina de bajo azufre (30-50 ppm) hacia el 2010.

Para el c3lculo de las emisiones se va a seguir la misma metodolog3a, tanto para el escenario base (gasolina 450 ppm), como para los escenarios alternativo y meta (gasolina con 300 ppm, gasolina con 50 ppm) respectivamente.

Para calcular las toneladas de contaminantes emitidas por la flota particular se utiliza la siguiente formula:

$$E_{ijk} = (KRV_{ij}) (FE_{ijk}) / (1,000,000)$$

Donde:

E_{ijk} = emisi3n del tipo de veh3culo i del a3o/modelo j del contaminante k (ton/a3o)

KRV_{ij} = kil3metros recorridos por el tipo de veh3culo i del a3o/modelo j (km / a3o)

FE_{ijk} = factor de emisi3n del tipo de veh3culo i del a3o/ modelo del contaminante k (km/a3o)

factor de conversi3n de gramos a toneladas=1,000,000

Los factores de emisi3n que se obtuvieron en el IMP (IMP, 2003). Los cuales representan una relaci3n entre la cantidad del contaminante emitido a la atm3sfera y la distancia recorrida.

A continuaci3n se muestran las proyecciones de emisiones contaminantes para cada escenario:



ANEXO A

Tabla 8. ESCENARIO BASE: GASOLINA CON 450 PPM EN VOLUMEN DE AZUFRE

Emisiones de HC (Ton/año)													
10,380	9,465	8,514	7,953	7,370	6,765	6,137	5,487	4,814	4,439	4,051	3,649	3,235	
2,498	2,278	2,049	1,914	1,773	1,628	1,477	1,320	1,159	1,068	975	878	778	
2,477	2,259	2,032	1,898	1,759	1,615	1,465	1,310	1,149	1,059	967	871	772	
2,018	1,846	1,667	1,557	1,443	1,325	1,202	1,074	943	869	793	715	633	
2,505	2,319	2,126	1,986	1,840	1,689	1,532	1,370	1,202	1,108	1,011	911	808	
3,342	3,124	2,897	2,707	2,508	2,302	2,089	1,867	1,638	1,511	1,379	1,242	1,101	
4,454	4,198	3,931	3,672	3,403	3,123	2,833	2,533	2,223	2,050	1,870	1,685	1,494	
4,909	4,686	4,448	4,177	3,891	3,589	3,272	2,939	2,590	2,399	2,198	1,988	1,770	
4,699	4,512	4,312	4,051	3,775	3,484	3,178	2,857	2,521	2,334	2,139	1,935	1,722	
2,783	2,686	2,581	2,453	2,317	2,173	2,022	1,863	1,695	1,570	1,439	1,301	1,158	
3,301	3,200	3,091	2,956	2,812	2,659	2,498	2,328	2,150	1,991	1,824	1,650	1,469	
3,983	3,877	3,761	3,615	3,460	3,295	3,121	2,936	2,742	2,540	2,327	2,105	1,873	
3,121	3,065	3,001	2,913	2,816	2,710	2,595	2,471	2,339	2,174	2,000	1,815	1,621	
2,160	2,128	2,090	2,037	1,978	1,914	1,844	1,767	1,686	1,583	1,473	1,367	1,235	
3,008	2,972	2,929	2,865	2,793	2,714	2,628	2,534	2,433	2,303	2,165	2,018	1,863	
3,605	3,488	3,369	3,234	3,097	2,959	2,820	2,680	2,538	2,375	2,210	2,044	1,877	
4,795	4,650	4,504	4,336	4,166	3,994	3,821	3,647	3,471	3,267	3,062	2,854	2,645	
4,302	4,178	4,053	3,909	3,765	3,619	3,472	3,324	3,175	3,002	2,828	2,653	2,476	
4,988	4,854	4,718	4,562	4,405	4,247	4,087	3,926	3,764	3,576	3,386	3,195	3,002	
3,123	3,041	2,959	2,864	2,768	2,672	2,576	2,479	2,382	2,269	2,156	2,042	1,927	
2,788	2,720	2,652	2,572	2,493	2,412	2,332	2,251	2,169	2,074	1,979	1,883	1,786	
1,446	1,414	1,381	1,343	1,305	1,266	1,227	1,188	1,148	1,102	1,055	1,008	961	
745	730	715	697	679	661	642	624	605	583	560	538	515	
1,162	1,141	1,120	1,094	1,068	1,042	1,016	989	962	930	897	864	831	
716	710	702	692	682	671	660	648	636	620	604	587	569	
-	773	771	779	787	793	797	800	802	798	793	786	778	
-	-	803	815	824	833	840	845	849	848	845	840	834	
-	-	-	780	784	785	783	778	771	776	779	780	780	
-	-	-	-	810	814	815	813	808	816	821	825	828	
-	-	-	-	-	842	845	846	844	855	863	870	875	
-	-	-	-	-	-	874	878	879	893	904	915	923	
-	-	-	-	-	-	-	908	912	929	945	958	970	
-	-	-	-	-	-	-	-	944	965	984	1,001	1,016	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,058	1,063	1,064	1,061	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,099	1,104	1,105	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,142	1,147	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,187	
83,308	80,310	77,175	74,431	71,572	68,594	65,499	62,282	58,944	56,733	54,444	52,076	49,626	



ANEXO A

Tabla 9. ESCENARIO BASE: GASOLINA CON 450 PPM EN VOLUMEN DE AZUFRE

Emisiones de CO (Ton/año)													
	112,508	102,240	91,665	85,353	78,848	72,152	65,263	58,181	50,909	46,812	42,602	38,278	33,851
	27,074	24,603	22,058	20,539	18,974	17,362	15,705	14,000	12,251	11,263	10,251	9,213	8,146
	26,853	24,402	21,879	20,372	18,819	17,221	15,577	13,886	12,151	11,172	10,167	9,137	8,079
	21,873	19,941	17,950	16,714	15,440	14,128	12,780	11,393	9,969	9,166	8,342	7,497	6,629
	27,152	25,051	22,887	21,310	19,687	18,014	16,295	14,526	12,711	11,688	10,637	9,559	8,451
	36,221	33,747	31,195	29,047	26,833	24,553	22,210	19,800	17,325	15,931	14,499	13,029	11,520
	48,276	45,346	42,322	39,407	36,404	33,312	30,131	26,862	23,504	21,613	19,670	17,675	15,628
	48,023	45,874	43,575	40,953	38,173	35,236	32,140	28,887	25,475	23,604	21,642	19,586	17,439
	45,968	44,170	42,240	39,713	37,033	34,201	31,216	28,079	24,789	22,969	21,059	19,059	16,969
	27,220	26,290	25,286	24,049	22,733	21,337	19,861	18,308	16,674	15,449	14,165	12,820	11,414
	32,290	31,325	30,281	28,975	27,583	26,103	24,536	22,882	21,141	19,589	17,960	16,254	14,472
	38,965	37,950	36,847	35,445	33,945	32,348	30,653	28,860	26,969	24,989	22,910	20,735	18,462
	33,509	32,856	32,122	31,134	30,056	28,888	27,632	26,285	24,850	23,076	21,202	19,228	17,154
	22,190	21,852	21,462	20,909	20,297	19,628	18,902	18,116	17,274	16,214	15,088	13,898	12,643
	29,979	29,632	29,216	28,588	27,885	27,106	26,252	25,322	24,317	23,027	21,652	20,192	18,646
	31,533	30,654	29,753	28,692	27,608	26,500	25,367	24,211	23,031	21,644	20,231	18,790	17,322
	41,943	40,870	39,770	38,466	37,132	35,768	34,374	32,950	31,496	29,778	28,025	26,239	24,419
	39,595	38,554	37,497	36,262	35,009	33,738	32,448	31,140	29,814	28,262	26,688	25,094	23,478
	45,909	44,791	43,655	42,321	40,967	39,593	38,199	36,785	35,351	33,663	31,951	30,217	28,460
	22,793	22,284	21,767	21,153	20,530	19,898	19,256	18,604	17,942	17,157	16,361	15,554	14,736
	20,408	19,996	19,576	19,072	18,559	18,038	17,508	16,969	16,422	15,766	15,100	14,425	13,739
	10,818	10,627	10,431	10,191	9,947	9,697	9,442	9,183	8,918	8,597	8,270	7,937	7,598
	6,288	6,195	6,098	5,976	5,851	5,723	5,592	5,457	5,320	5,149	4,974	4,796	4,614
	8,043	7,965	7,881	7,764	7,642	7,515	7,381	7,243	7,099	6,911	6,717	6,516	6,309
	5,732	5,775	5,811	5,820	5,819	5,811	5,794	5,769	5,735	5,663	5,582	5,490	5,389
	-	6,185	6,510	6,905	7,273	7,613	7,926	8,211	8,468	8,654	8,806	8,927	9,015
	-	-	6,427	6,879	7,303	7,698	8,066	8,405	8,716	8,954	9,159	9,330	9,469
	-	-	-	6,240	6,685	7,075	7,410	7,690	7,914	8,239	8,530	8,786	9,009
	-	-	-	-	6,481	6,943	7,347	7,693	7,982	8,369	8,720	9,037	9,319
	-	-	-	-	-	6,732	7,211	7,630	7,989	8,441	8,858	9,239	9,584
	-	-	-	-	-	-	6,994	7,491	7,925	8,448	8,935	9,384	9,797
	-	-	-	-	-	-	-	7,267	7,783	8,381	8,942	9,465	9,951
	-	-	-	-	-	-	-	-	7,552	8,231	8,871	9,473	10,037
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,465	9,067	9,594	10,045
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,795	9,419	9,965
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,138	9,786
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,496
	811,162	779,174	746,161	718,251	689,518	659,933	629,469	598,088	565,766	545,334	524,428	503,011	481,040



ANEXO A



Tabla 10. ESCENARIO BASE: GASOLINA CON 450 PPM EN VOLUMEN DE AZUFRE

Emisiones de NOX (Ton/año)													
	3,485	3,138	2,788	2,574	2,357	2,139	1,918	1,696	1,472	1,343	1,213	1,081	949
	839	755	671	619	567	515	462	408	354	323	292	260	228
	832	749	666	614	563	510	458	405	351	321	289	258	226
	677	612	546	504	462	419	376	332	288	263	237	212	186
	841	769	696	643	589	534	479	423	368	335	303	270	237
	1,122	1,036	949	876	802	728	653	577	501	457	413	368	323
	1,495	1,392	1,287	1,188	1,088	987	886	783	680	620	560	499	438
	1,736	1,649	1,558	1,457	1,352	1,242	1,128	1,009	886	818	747	674	598
	1,720	1,642	1,562	1,460	1,354	1,244	1,130	1,011	889	820	748	674	598
	1,038	996	952	900	846	790	731	671	608	561	512	461	409
	1,231	1,187	1,140	1,085	1,027	966	904	838	771	711	649	585	518
	1,577	1,525	1,470	1,404	1,336	1,265	1,192	1,115	1,036	956	871	784	695
	1,511	1,466	1,420	1,363	1,304	1,243	1,179	1,112	1,044	962	877	790	700
	1,131	1,100	1,067	1,028	987	944	900	854	806	750	692	632	570
	1,635	1,575	1,514	1,446	1,378	1,309	1,240	1,170	1,100	1,021	941	860	780
	3,023	2,918	2,813	2,694	2,574	2,454	2,334	2,213	2,091	1,953	1,814	1,674	1,534
	3,780	3,658	3,536	3,397	3,257	3,117	2,976	2,834	2,692	2,529	2,366	2,201	2,036
	4,188	4,062	3,935	3,791	3,646	3,500	3,354	3,207	3,059	2,889	2,719	2,547	2,375
	4,723	4,591	4,457	4,305	4,152	3,997	3,843	3,687	3,530	3,350	3,168	2,986	2,802
	3,123	3,046	2,967	2,876	2,785	2,692	2,599	2,505	2,410	2,299	2,187	2,074	1,960
	2,788	2,724	2,660	2,584	2,508	2,431	2,354	2,275	2,196	2,103	2,009	1,915	1,819
	1,605	1,571	1,536	1,496	1,455	1,414	1,372	1,330	1,287	1,237	1,186	1,135	1,083
	794	780	765	748	730	712	693	675	656	633	610	586	562
	1,385	1,362	1,339	1,311	1,282	1,253	1,223	1,193	1,162	1,125	1,087	1,048	1,009
	1,791	1,767	1,742	1,710	1,677	1,644	1,610	1,575	1,540	1,496	1,452	1,406	1,360
	-	799	804	820	834	847	857	866	873	874	873	870	864
	-	-	830	850	867	883	897	909	920	924	925	925	923
	-	-	-	874	884	891	894	893	890	899	906	912	915
	-	-	-	-	907	918	925	928	927	941	952	960	967
	-	-	-	-	-	943	953	960	964	981	996	1,008	1,019
	-	-	-	-	-	-	979	990	998	1,019	1,038	1,055	1,069
	-	-	-	-	-	-	-	1,017	1,029	1,055	1,079	1,100	1,119
	-	-	-	-	-	-	-	-	1,057	1,088	1,117	1,143	1,166
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,185	1,199	1,208	1,212
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,231	1,245	1,254
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,279	1,294
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,329
	48,069	46,867	45,671	44,616	43,569	42,530	41,496	40,466	39,437	38,839	38,256	37,686	37,126



ANEXO A

Tabla 11. ESCENARIO ALTERNATIVO GASOLINA CON 300 PPM EN VOLUMEN DE AZUFRE

300 ppm													
Emisiones de HC (Ton/año)													
10,380	9,465	8,514	7,953	7,370	6,765	6,137	5,487	4,814	4,439	4,051	3,649	3,235	
2,498	2,278	2,049	1,914	1,773	1,628	1,477	1,320	1,159	1,068	975	878	778	
2,477	2,259	2,032	1,898	1,759	1,615	1,465	1,310	1,149	1,059	967	871	772	
2,018	1,846	1,667	1,557	1,443	1,325	1,202	1,074	943	869	793	715	633	
2,505	2,319	2,126	1,986	1,840	1,689	1,532	1,370	1,202	1,108	1,011	911	808	
3,342	3,124	2,897	2,707	2,508	2,302	2,089	1,867	1,638	1,511	1,379	1,242	1,101	
4,454	4,198	3,931	3,672	3,403	3,123	2,833	2,533	2,223	2,050	1,870	1,685	1,494	
4,909	4,686	4,448	4,177	3,891	3,589	3,272	2,939	2,590	2,399	2,198	1,988	1,770	
4,699	4,512	4,312	4,051	3,775	3,484	3,178	2,857	2,521	2,334	2,139	1,935	1,722	
2,783	2,686	2,581	2,453	2,317	2,173	2,022	1,863	1,695	1,570	1,439	1,301	1,168	
3,301	3,200	3,091	2,956	2,812	2,659	2,498	2,328	2,150	1,991	1,824	1,650	1,469	
3,983	3,877	3,761	3,615	3,460	3,295	3,121	2,936	2,742	2,540	2,327	2,105	1,873	
3,121	3,065	3,001	2,913	2,816	2,710	2,595	2,471	2,339	2,174	2,000	1,815	1,621	
2,160	2,128	2,090	2,037	1,978	1,914	1,844	1,767	1,686	1,583	1,473	1,357	1,235	
3,008	2,972	2,929	2,865	2,793	2,714	2,628	2,534	2,433	2,303	2,165	2,018	1,863	
3,605	3,488	3,369	3,234	3,097	2,959	2,820	2,680	2,538	2,375	2,210	2,044	1,877	
4,795	4,650	4,504	4,336	4,166	3,994	3,821	3,647	3,471	3,267	3,062	2,854	2,645	
4,302	4,178	4,053	3,909	3,765	3,619	3,472	3,324	3,175	3,002	2,828	2,653	2,476	
4,988	4,854	4,718	4,562	4,405	4,247	4,087	3,926	3,764	3,576	3,386	3,195	3,002	
3,123	3,041	2,959	2,864	2,768	2,672	2,493	2,399	2,305	2,196	2,086	1,975	1,865	
2,788	2,720	2,652	2,572	2,493	2,412	2,256	2,178	2,099	2,007	1,915	1,822	1,728	
1,446	1,414	1,381	1,343	1,305	1,266	1,187	1,149	1,111	1,066	1,021	976	930	
745	730	715	697	679	661	621	604	585	564	542	521	498	
1,162	1,141	1,120	1,094	1,068	1,042	983	957	931	900	868	837	804	
716	710	702	692	682	671	638	627	615	600	584	568	551	
-	773	771	779	787	793	759	762	764	760	755	749	741	
-	-	803	815	824	833	800	805	809	808	805	800	794	
-	-	-	780	784	785	746	742	735	739	742	744	743	
-	-	-	-	810	814	776	774	770	777	783	786	789	
-	-	-	-	-	842	805	806	804	814	822	829	834	
-	-	-	-	-	-	833	837	837	850	862	871	879	
-	-	-	-	-	-	-	865	869	885	900	913	924	
-	-	-	-	-	-	-	-	899	919	937	954	968	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,008	1,013	1,014	1,011	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,047	1,052	1,053	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,088	1,093	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,131	
83,308	80,310	77,175	74,431	71,572	68,594	64,991	61,740	58,366	56,112	53,779	51,365	48,868	



ANEXO A

Tabla 12. ESCENARIO ALTERNATIVO GASOLINA CON 300 PPM EN VOLUMEN DE AZUFRE

Emisiones de CO (Ton/año)													
112,508	102,240	91,665	85,353	78,848	72,152	65,263	58,181	50,909	46,812	42,602	38,278	33,851	
27,074	24,603	22,058	20,539	18,974	17,362	15,705	14,000	12,251	11,263	10,251	9,213	8,146	
26,853	24,402	21,879	20,372	18,819	17,221	15,577	13,886	12,151	11,172	10,167	9,137	8,079	
21,873	19,941	17,950	16,714	15,440	14,128	12,780	11,393	9,969	9,166	8,342	7,497	6,629	
27,152	25,051	22,887	21,310	19,687	18,014	16,295	14,526	12,711	11,688	10,637	9,559	8,451	
36,221	33,747	31,195	29,047	26,833	24,553	22,210	19,800	17,325	15,931	14,499	13,029	11,520	
48,276	45,346	42,322	39,407	36,404	33,312	30,131	26,862	23,504	21,613	19,670	17,675	15,628	
48,023	45,874	43,575	40,953	38,173	35,236	32,140	28,887	25,475	23,604	21,642	19,586	17,439	
45,968	44,170	42,240	39,713	37,033	34,201	31,216	28,079	24,789	22,969	21,059	19,059	16,969	
27,220	26,290	25,286	24,049	22,733	21,337	19,861	18,308	16,674	15,449	14,165	12,820	11,414	
32,290	31,325	30,281	28,975	27,583	26,103	24,536	22,882	21,141	19,589	17,960	16,254	14,472	
38,965	37,950	36,847	35,445	33,945	32,348	30,653	28,860	26,969	24,989	22,910	20,735	18,462	
33,509	32,856	32,122	31,134	30,056	28,888	27,632	26,285	24,850	23,076	21,202	19,228	17,154	
22,190	21,852	21,462	20,909	20,297	19,628	18,902	18,116	17,274	16,214	15,088	13,898	12,643	
29,979	29,632	29,216	28,588	27,885	27,106	26,252	25,322	24,317	23,027	21,652	20,192	18,646	
31,533	30,654	29,753	28,692	27,608	26,500	25,367	24,211	23,031	21,644	20,231	18,790	17,322	
41,943	40,870	39,770	38,466	37,132	35,768	34,374	32,950	31,496	29,778	28,025	26,239	24,419	
39,595	38,554	37,497	36,262	35,009	33,738	32,448	31,140	29,814	28,262	26,688	25,094	23,478	
45,909	44,791	43,655	42,321	40,967	39,593	38,199	36,785	35,351	33,863	31,951	30,217	28,460	
22,793	22,284	21,767	21,153	20,530	19,898	18,661	18,029	17,388	16,627	15,856	15,074	14,281	
20,408	19,996	19,576	19,072	18,559	18,038	16,967	16,445	15,914	15,279	14,634	13,979	13,314	
10,818	10,627	10,431	10,191	9,947	9,697	9,151	8,899	8,643	8,331	8,014	7,692	7,364	
6,288	6,195	6,098	5,976	5,851	5,723	5,419	5,289	5,155	4,990	4,821	4,648	4,472	
8,043	7,965	7,881	7,764	7,642	7,515	7,153	7,019	6,879	6,697	6,509	6,315	6,114	
5,732	5,775	5,811	5,820	5,819	5,811	5,615	5,591	5,558	5,488	5,409	5,321	5,223	
-	6,185	6,510	6,905	7,273	7,613	7,607	7,880	8,127	8,305	8,452	8,568	8,652	
-	-	6,427	6,879	7,303	7,698	7,741	8,066	8,365	8,594	8,790	8,955	9,088	
-	-	-	6,240	6,685	7,075	7,112	7,380	7,596	7,908	8,187	8,433	8,646	
-	-	-	-	6,481	6,943	7,051	7,384	7,661	8,032	8,370	8,673	8,944	
-	-	-	-	-	6,732	6,921	7,323	7,667	8,102	8,501	8,867	9,198	
-	-	-	-	-	-	6,713	7,189	7,606	8,108	8,575	9,007	9,403	
-	-	-	-	-	-	-	6,975	7,469	8,044	8,582	9,085	9,551	
-	-	-	-	-	-	-	-	7,248	7,899	8,514	9,092	9,633	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,124	8,702	9,208	9,641	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,441	9,040	9,564	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,770	9,392	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,114	
811,162	779,174	746,161	718,251	689,518	659,933	625,653	593,947	561,280	540,438	519,099	497,224	474,775	



ANEXO A

Tabla 13. ESCENARIO ALTERNATIVO GASOLINA CON 300 PPM EN VOLUMEN DE AZUFRE

Emisiones de NOX (Ton/año)													
	3,485	3,138	2,788	2,574	2,357	2,139	1,918	1,696	1,472	1,343	1,213	1,081	949
	839	755	671	619	567	515	462	408	354	323	292	260	228
	832	749	666	614	563	510	458	405	351	321	289	258	226
	677	612	546	504	462	419	376	332	288	263	237	212	186
	841	769	696	643	589	534	479	423	368	335	303	270	237
	1,122	1,036	949	876	802	728	653	577	501	457	413	368	323
	1,495	1,392	1,287	1,188	1,088	987	886	783	680	620	560	499	438
	1,736	1,649	1,558	1,457	1,352	1,242	1,128	1,009	886	818	747	674	598
	1,720	1,642	1,562	1,460	1,354	1,244	1,130	1,011	889	820	748	674	598
	1,038	996	952	900	846	790	731	671	608	561	512	461	409
	1,231	1,187	1,140	1,095	1,027	966	904	838	771	711	649	585	518
	1,577	1,525	1,470	1,404	1,336	1,265	1,192	1,115	1,036	955	871	784	695
	1,511	1,466	1,420	1,363	1,304	1,243	1,179	1,112	1,044	962	877	790	700
	1,131	1,100	1,067	1,028	987	944	900	854	806	750	692	632	570
	1,635	1,575	1,514	1,446	1,378	1,309	1,240	1,170	1,100	1,021	941	860	780
	3,023	2,918	2,813	2,694	2,574	2,454	2,334	2,213	2,091	1,953	1,814	1,674	1,534
	3,780	3,658	3,536	3,397	3,257	3,117	2,976	2,834	2,692	2,529	2,366	2,201	2,036
	4,188	4,062	3,935	3,791	3,646	3,500	3,354	3,207	3,059	2,889	2,719	2,547	2,375
	4,723	4,591	4,457	4,305	4,152	3,997	3,843	3,687	3,530	3,368	3,188	2,986	2,802
	3,123	3,046	2,967	2,876	2,785	2,692	2,508	2,417	2,325	2,218	2,110	2,001	1,892
	2,788	2,724	2,660	2,584	2,508	2,431	2,271	2,196	2,119	2,030	1,939	1,848	1,755
	1,605	1,571	1,536	1,496	1,455	1,414	1,324	1,283	1,242	1,194	1,145	1,095	1,045
	794	780	765	748	730	712	669	651	633	611	588	566	543
	1,385	1,362	1,339	1,311	1,282	1,253	1,180	1,151	1,121	1,085	1,049	1,012	974
	1,791	1,767	1,742	1,710	1,677	1,644	1,554	1,520	1,486	1,444	1,401	1,357	1,312
	-	799	804	820	834	847	806	814	821	822	801	818	813
	-	-	830	850	867	883	843	855	865	868	870	870	867
	-	-	-	874	884	891	840	840	836	845	852	857	860
	-	-	-	-	907	918	869	872	872	884	895	903	909
	-	-	-	-	-	943	896	903	906	922	936	948	957
	-	-	-	-	-	-	921	931	938	958	976	992	1,005
	-	-	-	-	-	-	-	956	967	992	1,014	1,034	1,052
	-	-	-	-	-	-	-	-	994	1,023	1,050	1,074	1,096
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,114	1,127	1,135	1,139
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,157	1,171	1,179
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,203	1,216
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,250
	48,069	46,867	45,671	44,616	43,569	42,530	40,822	39,738	38,654	37,990	37,339	36,699	36,066



Tabla 17. ESCENARIO ALTERNATIVO GASOLINA 50 PPM EN VOLUMEN DE AZUFRE

Emisiones de HC (Ton/año)													
10,380	9,465	8,514	7,953	7,370	6,765	6,137	5,487	4,814	4,439	4,051	3,649	3,235	
2,498	2,278	2,049	1,914	1,773	1,628	1,477	1,320	1,159	1,068	975	878	778	
2,477	2,259	2,032	1,898	1,759	1,615	1,465	1,310	1,149	1,059	967	871	772	
2,018	1,846	1,667	1,557	1,443	1,325	1,202	1,074	943	869	793	715	633	
2,505	2,319	2,126	1,986	1,840	1,689	1,532	1,370	1,202	1,108	1,011	911	808	
3,342	3,124	2,897	2,707	2,508	2,302	2,089	1,867	1,638	1,511	1,379	1,242	1,101	
4,454	4,198	3,931	3,672	3,403	3,123	2,833	2,533	2,223	2,050	1,870	1,685	1,494	
4,909	4,686	4,448	4,177	3,891	3,589	3,272	2,939	2,590	2,399	2,198	1,988	1,770	
4,699	4,512	4,312	4,051	3,775	3,484	3,178	2,857	2,521	2,334	2,139	1,935	1,722	
2,783	2,686	2,581	2,453	2,317	2,173	2,022	1,863	1,695	1,570	1,439	1,301	1,158	
3,301	3,200	3,091	2,956	2,812	2,659	2,498	2,328	2,150	1,991	1,824	1,650	1,469	
3,983	3,877	3,761	3,615	3,460	3,295	3,121	2,936	2,742	2,540	2,327	2,105	1,873	
3,121	3,065	3,001	2,913	2,816	2,710	2,595	2,471	2,339	2,174	2,000	1,815	1,621	
2,160	2,128	2,090	2,037	1,978	1,914	1,844	1,767	1,686	1,583	1,473	1,357	1,235	
3,008	2,972	2,929	2,865	2,793	2,714	2,628	2,534	2,433	2,303	2,165	2,018	1,863	
3,605	3,488	3,369	3,234	3,097	2,959	2,820	2,680	2,538	2,375	2,210	2,044	1,877	
4,795	4,650	4,504	4,336	4,166	3,994	3,821	3,647	3,471	3,267	3,062	2,854	2,645	
4,302	4,178	4,053	3,909	3,765	3,619	3,472	3,324	3,175	3,002	2,828	2,653	2,476	
4,988	4,854	4,718	4,562	4,405	4,247	4,087	3,926	3,764	3,576	3,386	3,195	3,002	
3,123	3,041	2,959	2,864	2,768	2,672	2,493	2,399	2,305	2,196	2,086	1,975	1,865	
2,788	2,720	2,652	2,572	2,493	2,412	2,256	2,178	2,099	2,007	1,915	1,822	1,728	
1,446	1,414	1,381	1,343	1,305	1,266	1,187	1,149	1,111	1,066	1,021	976	930	
745	730	715	697	679	661	621	604	585	564	542	521	498	
1,162	1,141	1,120	1,094	1,068	1,042	983	957	931	900	868	837	804	
716	710	702	692	682	671	638	627	615	600	584	568	551	
-	773	771	779	787	793	759	752	764	760	755	749	741	
-	-	803	815	824	833	800	805	809	808	805	800	794	
-	-	-	780	784	785	746	742	735	739	742	744	743	
-	-	-	-	810	814	776	774	770	777	783	786	789	
-	-	-	-	-	842	805	806	804	814	822	829	834	
-	-	-	-	-	-	833	837	837	850	862	871	879	
-	-	-	-	-	-	-	865	869	885	900	913	924	
-	-	-	-	-	-	-	-	302	295	289	282	275	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	339	325	312	299	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	352	338	324	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	366	351	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	380	
83,308	80,310	77,175	74,431	71,572	68,594	64,991	61,740	57,769	54,819	51,748	48,556	45,243	



Tabla 18. ESCENARIO ALTERNATIVO GASOLINA 50 PPM EN VOLUMEN DE AZUFRE

Emisiones de CO (Ton/año)													
	112,508	102,240	91,665	85,353	78,848	72,152	65,263	58,181	50,909	46,812	42,602	38,278	33,851
	27,074	24,603	22,058	20,539	18,974	17,362	15,705	14,000	12,251	11,263	10,251	9,213	8,146
	26,853	24,402	21,879	20,372	18,819	17,221	15,577	13,886	12,151	11,172	10,167	9,137	8,079
	21,873	19,941	17,950	16,714	15,440	14,128	12,780	11,393	9,969	9,166	8,342	7,497	6,629
	27,152	25,051	22,887	21,310	19,687	18,014	16,295	14,526	12,711	11,688	10,637	9,559	8,451
	36,221	33,747	31,195	29,047	26,833	24,553	22,210	19,800	17,325	15,931	14,499	13,029	11,520
	48,276	45,346	42,322	39,407	36,404	33,312	30,131	26,862	23,504	21,613	19,670	17,675	15,628
	48,023	45,874	43,575	40,953	38,173	35,236	32,140	28,887	25,475	23,604	21,642	19,586	17,439
	45,968	44,170	42,240	39,713	37,033	34,201	31,216	28,079	24,789	22,969	21,059	19,059	16,969
	27,220	26,290	25,286	24,049	22,733	21,337	19,861	18,308	16,674	15,449	14,165	12,820	11,414
	32,290	31,325	30,281	28,975	27,583	26,103	24,536	22,882	21,141	19,589	17,960	16,254	14,472
	38,965	37,950	36,847	35,445	33,945	32,348	30,653	28,860	26,969	24,989	22,910	20,735	18,462
	33,509	32,856	32,122	31,134	30,056	28,888	27,632	26,285	24,850	23,076	21,202	19,228	17,154
	22,190	21,852	21,462	20,909	20,297	19,628	18,902	18,116	17,274	16,214	15,088	13,898	12,643
	29,979	29,632	29,216	28,588	27,885	27,106	26,252	25,322	24,317	23,027	21,652	20,192	18,646
	31,533	30,654	29,753	28,692	27,608	26,500	25,367	24,211	23,031	21,644	20,231	18,790	17,322
	41,943	40,870	39,770	38,466	37,132	35,768	34,374	32,950	31,496	29,778	28,025	26,239	24,419
	39,595	38,554	37,497	36,262	35,009	33,738	32,448	31,140	29,814	28,262	26,688	25,094	23,478
	45,909	44,791	43,655	42,321	40,967	39,593	38,199	36,785	35,351	33,663	31,951	30,217	28,460
	22,793	22,284	21,767	21,153	20,530	19,898	18,661	18,029	17,388	16,627	15,856	15,074	14,281
	20,408	19,996	19,576	19,072	18,559	18,038	16,967	16,445	15,914	15,279	14,634	13,979	13,314
	10,818	10,627	10,431	10,191	9,947	9,697	9,151	8,899	8,643	8,331	8,014	7,692	7,364
	6,288	6,195	6,098	5,976	5,851	5,723	5,419	5,289	5,155	4,990	4,821	4,648	4,472
	8,043	7,965	7,881	7,764	7,642	7,515	7,153	7,019	6,879	6,697	6,509	6,315	6,114
	5,732	5,775	5,811	5,820	5,819	5,811	5,615	5,591	5,568	5,488	5,409	5,321	5,223
	-	6,185	6,510	6,905	7,273	7,613	7,607	7,880	8,127	8,305	8,452	8,568	8,652
	-	-	6,427	6,879	7,303	7,698	7,741	8,066	8,365	8,594	8,790	8,955	9,088
	-	-	-	6,240	6,685	7,075	7,112	7,380	7,596	7,908	8,187	8,433	8,646
	-	-	-	-	6,481	6,943	7,051	7,384	7,661	8,032	8,370	8,673	8,944
	-	-	-	-	-	6,732	6,921	7,323	7,667	8,102	8,501	8,867	9,198
	-	-	-	-	-	-	6,713	7,189	7,606	8,108	8,575	9,007	9,403
	-	-	-	-	-	-	-	6,975	7,469	8,044	8,582	9,085	9,551
	-	-	-	-	-	-	-	-	5,286	5,170	5,053	4,936	4,819
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,926	5,695	5,464	5,234
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,156	5,916	5,676
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,397	6,146
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,647
	811,162	779,174	746,161	718,251	689,518	659,933	625,653	593,947	559,318	535,510	510,345	483,827	455,953



ANEXO A

Tabla. 19. ESCENARIO ALTERNATIVO GASOLINA 50 PPM EN VOLUMEN DE AZUFRE

Emisiones de NOX (Ton/año)													
	3,485	3,138	2,788	2,574	2,357	2,139	1,918	1,696	1,472	1,343	1,213	1,081	949
	839	755	671	619	567	515	462	408	354	323	292	260	228
	832	749	666	614	563	510	458	405	351	321	289	258	226
	677	612	546	504	462	419	376	332	288	263	237	212	186
	841	769	696	643	589	534	479	423	368	335	303	270	237
	1,122	1,036	949	876	802	728	653	577	501	457	413	368	323
	1,495	1,392	1,287	1,188	1,088	987	886	783	680	620	560	499	438
	1,736	1,649	1,558	1,457	1,352	1,242	1,128	1,009	886	818	747	674	598
	1,720	1,642	1,562	1,460	1,354	1,244	1,130	1,011	889	820	748	674	598
	1,038	996	952	900	846	790	731	671	608	561	512	461	409
	1,231	1,187	1,140	1,085	1,027	966	904	838	771	711	649	585	518
	1,577	1,525	1,470	1,404	1,336	1,265	1,192	1,115	1,036	955	871	784	695
	1,511	1,466	1,420	1,363	1,304	1,243	1,179	1,112	1,044	962	877	790	700
	1,131	1,100	1,067	1,028	987	944	900	854	806	750	692	632	570
	1,635	1,575	1,514	1,446	1,378	1,309	1,240	1,170	1,100	1,021	941	860	780
	3,023	2,918	2,813	2,694	2,574	2,454	2,334	2,213	2,091	1,953	1,814	1,674	1,534
	3,780	3,658	3,536	3,397	3,257	3,117	2,976	2,834	2,692	2,529	2,366	2,201	2,036
	4,188	4,062	3,935	3,791	3,646	3,500	3,354	3,207	3,059	2,889	2,719	2,547	2,375
	4,723	4,591	4,457	4,305	4,152	3,997	3,843	3,687	3,530	3,350	3,168	2,986	2,802
	3,123	3,046	2,967	2,876	2,785	2,692	2,508	2,417	2,325	2,218	2,110	2,001	1,892
	2,788	2,724	2,660	2,584	2,508	2,431	2,271	2,196	2,119	2,030	1,939	1,848	1,755
	1,605	1,571	1,536	1,496	1,455	1,414	1,324	1,283	1,242	1,194	1,145	1,095	1,045
	794	780	765	748	730	712	669	651	633	611	588	566	543
	1,385	1,362	1,339	1,311	1,282	1,253	1,180	1,151	1,121	1,085	1,049	1,012	974
	1,791	1,767	1,742	1,710	1,677	1,644	1,554	1,520	1,486	1,444	1,401	1,357	1,312
	-	799	804	820	834	847	806	814	821	822	821	818	813
	-	-	830	850	867	883	843	855	865	868	870	870	867
	-	-	-	874	884	891	840	840	836	845	852	857	860
	-	-	-	-	907	918	869	872	872	884	895	903	909
	-	-	-	-	-	943	896	903	906	922	936	948	957
	-	-	-	-	-	-	921	931	938	958	976	992	1,005
	-	-	-	-	-	-	-	956	967	992	1,014	1,034	1,052
	-	-	-	-	-	-	-	-	491	480	469	458	447
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	550	529	507	486
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	572	549	527
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	594	571
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	617
	48,069	46,867	45,671	44,616	43,569	42,530	40,822	39,738	38,151	36,884	35,575	34,225	32,834

**azufre**

Para estimar la reducción en emisiones de azufre, se consideró que estas se reducirían en forma lineal con respecto a la reducción en el contenido de azufre en las gasolinas. Al año 2004, se reducirían en 1.5 las emisiones ya que el azufre se reduciría a 300 ppm en la gasolina. A partir del año 2006 se consideró que la gasolina que consumirían los autos nuevos tendría un contenido de 50 ppm de azufre, lo que implicaría una reducción a 1/9 en las emisiones al pasar de 450 a 50 ppm de S en gasolina

EMISIONES DE AZUFRE (ton/año) ALTERNATIVO 50												
1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
2000	2028	2056	2131.2496	2209.25334	2290.11201	1582.62007	1640.54397	188.954208	195.869932	203.038772	210.469991	218.173193

EMISIONES DE AZUFRE (ton/año) ALTERNATIVO 300												
1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
2000	2028	2056	2131.2496	2209.25334	2290.11201	1582.62007	1640.54397	1700.58788	1762.62939	1827.34895	1894.22992	1963.56873

EMISIONES DE AZUFRE (ton/año) BASE 450												
1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
2000	2028	2056	2131.2496	2209.25334	2290.11201	2373.93011	2460.81595	2550.88181	2651.89673	2756.91184	2866.06555	2979.58254



VALORACION ECONOMICA DE LA MEJORA EN LA CALIDAD AMBIENTAL.

Algunos estudios sugieren que el mejoramiento de la calidad del aire en la ciudad de México traería beneficios económicos. En el presente anexo se describe el modelo de exposición de la población a la contaminación, este se modeló combinando mapas de la calidad del aire con información de distribución de la población.

Las relaciones de exposición-respuesta reflejan varios factores de la cadena causa-efecto entre calidad del aire y efectos en la salud, Las funciones de exposición respuesta incorporan el comportamiento de la población en un área particular de estudio, en este caso para la ZMCM.

Para la exposición de PM10 se empleó como indicador el promedio anual de los promedios de 24 horas $64.06 \mu/m^3$ por persona y para la exposición a ozono el promedio anual de las concentraciones máximas diarias 0.114 ppm por persona (GDF, 1999).

FUNCIONES DE EXPOSICIÓN-RESPUESTA

La mayoría de los estudios expresan los efectos en la salud (Y), como una función del grado de cambio en la salud y en los niveles de contaminación del aire (ΔC). El cálculo de un cambio en la salud (Δy), depende de las funciones de exposición-respuesta (ER) de los estudios epidemiológicos.

METODOLOGIA DE LA ESTIMACIÓN

Para el cálculo de los beneficios a la salud por la reducción del azufre en la gasolina se tomaron como base los estudios elaborados por el GDF, con la colaboración del B.M., en "Ecosistema Urbano y Salud de los Habitantes de la ZMCM".

Cabe mencionar que la reducción de azufre en la gasolina traería como consecuencia una reducción de ozono de cerca de 3%.

En el presenta trabajo se evalúan las estimaciones por los casos evitados por mortalidad, morbilidad y días de actividad restringida por disminución de ozono.

EFFECTOS SOBRE LA SALUD

El evitar la morbilidad debido a una disminución en la exposición a ozono se calculó de la siguiente manera:

$$I = \Delta Y * Y_b * \Delta C_{pob} * P_{pob} \quad (\text{ec. 1})$$



Donde:

I = impacto

ΔY = coeficiente de la función ER (% de cambio en la salud por unidad de contaminante)

Y_b = tasa basal de impacto en la salud (impacto/100,000 personas)

ΔC_{pobP} = cambio proporcional ponderado en la exposición (concentración por persona)

Pob = Población expuesta (personas)

Para el presente análisis se toma en cuenta la población existente en la ZMCM por delegación y municipio.

El cálculo de números de casos de admisiones hospitalarias que se evitarían por problemas respiratorios, cuando se reduce en 10 % el promedio anual de las concentraciones mínimas diarias de ozono, se realizó de la siguiente forma:

- ❖ Una mejora en el 10 % de la calidad del aire reduce la exposición ponderada de la población de 0.0113 ppm por persona (con relación al promedio anual de la concentración máxima diaria de ozono).
- ❖ La tasa basal para este tipo de admisiones hospitalarias es de 411 por 100,000 personas al año.
- ❖ La relación de exposición-respuesta es de 3.76 % por cada 10 ppb de cambio en la concentración de ozono.

El ejemplo anterior sirvió de base para calcular los beneficios por costos evitados en morbilidad y mortalidad para la población de la ZMCM (tomando en cuenta que la introducción de la gasolina de bajo azufre disminuye el ozono cerca de 3%)

Para poder hacer la valoración económica la ZMCM se tuvo que estudiar a la población por delegación y municipio, para ello se elaboró una malla, la cual contempla un radio de 4.5*4.5 km de la ZMCM.



Cuya población es de:

Tabla 1

Población por cada caída (radio de 4.5*4.5 KM)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
20										2.112	1.810	9.351	1.723						
19										6.341	8.478	9.670	9.572	6.543	4.451				
18			16	1.840	2.185	2.439	5.623	24.310	52.368	14.236	20.340	9.244	15.156	20.973	1.047				
17			527	6.898	5.130	6.130	6.130	9.646	47.973	33.636	26.279	7.113	13.341	21.603	5.514				
16			599	22.365	14.764	6.136	26.267	61.434	56.868	40.374	30.754	8.572	23.214	23.267	7.175				
15			10.488	23.700	23.773	16.305	73.491	85.239	84.331	94.134	86.442	43.743	77.221	51.489	14.679	10.403	3.493		
14	1.509	12.141	23.111	23.773	23.773	24.636	71.319	92.789	130.456	156.107	161.490	176.192	183.592	56.667	8.073	11.901	1.797		
13	5.252	12.635	13.239	9.589	3.470	90.441	110.302	150.572	222.430	246.876	289.406	207.453	189.586	39.048	5.510	7.493	1.538	932	
12				0	0	62.043	111.775	226.507	276.804	391.249	537.749	207.453	97.888	9.648	9.272	8.529	9.096	6.569	
11				0	36.873	108.414	110.344	170.656	299.757	295.015	292.189	296.421	111.860	9.331	31.610	9.096	9.096	9.096	
10				30.556	100.740	104.720	104.089	129.505	208.200	297.542	289.887	319.244	198.501	118.404	80.233	10.745	9.096	9.724	
9				28.080	32.829	27.543	50.955	48.722	230.318	289.286	287.224	324.886	324.672	221.704	105.844	34.415	22.067	19.975	
8				21.967	27.454	39.070	103.292	133.514	208.980	278.595	330.039	334.484	336.391	171.841	93.370	27.800	22.083	22.083	
7				9.245	38.202	80.683	102.698	107.487	226.591	240.342	298.730	275.911	197.470	127.126	22.363	22.076	21.619	21.922	
6				34.258	123.448	75.232	35.516	39.201	51.597	86.939	73.403	57.323	45.031	18.377	18.521	17.570	18.495		
5				64	76.111	56.934	34.921	34.921	53.665	62.254	62.252	55.256	54.913	18.767	13.316	14.041	15.814		
4				18.625	35.673	34.921	34.921	43.313	42.625	14.360	7.106	26.431	18.846	3.367	101	1.909			
3					2.739	32.446	34.921	34.921	32.597	12.612	6.952	6.952	7.107	6.260	0	0	0		
2						14.247	33.506	34.921	15.543	6.952	6.952	6.952	6.652	0					
1							6.800	11.576	6.857	5.301	6.395	3.336	2.533						

Las datos contemplados son las siguientes:

Tabla 2

DATOS	Cambio por cada 10 ppb de eocentración	Tasa basal (casos por 100000 hab)	Costo por caso (USD 1999)	Costo por caso (USD 2003)
Respiratoria	3.76	411	1870	2105
Cardio-cerebrovascular	0.98	403	5611	6315
Visitas a salas de emergencia	3.17	3168	91	102
Días de actividad restringida menor	2.2	780000	49	55
Ataques de asma	2.45	12740	337	379
Algunos síntomas respiratorios (niños)	0.66	21200	49	55
Síntomas respiratorios menores	0.23	8810	15	17
Mortalidad por exposición aguda	0.59	577.9	180000	202592



Tabla 9

Mortalidad por exposición																			
aguada																			
Reducción/aumento de admisiones hospitalarias cardio cerebro vasculares																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1																			
2																			
3			0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0		
4			0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0		
5			0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0		
6			0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0		
7			0	0	0	0	0	0	-1	-2	-3	0	0	0	0	0	0		
8			0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	1	0	0	0		
9			0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0		
10			0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	
11			0	0	-1	-2	0	-1	-2	0	-1	0	-3	-9	6	-5	-1		
12			0	0	-2	0	-1	-1	-3	-2	-1	-12	-18	-19	-11	-4	-2		
13			0	0	-1	-1	-1	-1	-2	-4	-7	-8	-8	-6	0	0	0		
14			0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0		
15			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
16			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
17			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
18			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
19																			
20																			

Cabe mencionar que el costo anual aproximado por habitante, debido a morbilidad y mortalidad se muestra en la tabla 2

Los beneficios económicos obtenidos por costos evitados por morbilidad y mortalidad, debido a la entrada de la gasolina de bajo azufre son los siguientes:

Tabla 10

BENEFICIOS SALUD MDD	
2006	18,000,000
2007	36,000,000
2008	54,000,000
2009	72,000,000
2010	90,000,000



En Moneda Nacional (tipo de cambio a Dic 2002):

Tabla 11

BENEFICIOS SALUD MDP	
2006	185,760,000
2007	371,520,000
2008	557,280,000
2009	743,040,000
2010	928,800,000

Con respecto a las PM10 se toma como escenario base a los datos reportados por la SMA (Inventario de Emisiones 1998), para los años 1998, 2000, 2006, 2010 los años intermedios se calcularon mediante una interpolación. El escenario alternativo se calculó a partir de la reducción de 426 ton de PM10 en el año 2010 (World Bank, 2003). la reducción sería en forma lineal a partir de la introducción de los autos Tier 2. (tabla 1)

Tabla 12

EMISIONES PM10 FLOTA PARTICULAR												
AÑO	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
ESCENARIO BASE 450 ppm	701	734	767	811	854	898	942	985	1,029	1,091	1,153	1,215
REDUCCION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85.2	170.4	255.6
ESCENARIO ALTERNATIVO 50 ppm	701	734	767	811	854	898	942	985	1,029	1,006	983	959

Para el cálculo de los beneficios por reducción de emisiones de PM10 se sigue la misma metodología aplicada al ozono.

Cabe mencionar que la población más afectada son los adultos mayores de 65 años y los niños menores de 5 años, y aquellas personas que padecen enfermedades respiratorias. Con base en el análisis se pudo determinar que la introducción de la gasolina reformulada podría evitar cerca de 4200 muertes infantiles al año 2010 a causa de la contaminación por este tipo de partículas, no se refleja en los beneficios económicos debido a que el valor por año de vida de los adultos se calculó en base a lo que un hombre gana en promedio, y en el caso de los infantes no se puede calcular.



ANEXO B

Los datos utilizados fueron los siguientes:

DATOS	Cambio por cada 10 ppb de concentración horaria de pm10 (%)		Tasa basal (casos por 100000 hab)		Costo por caso (USD 1999)	Costo por caso (USD 2003)
Respiratoria	1.39	0.0139	411	0.00411	1870	2105
Cardio-cerebrovascular	0.6	0.006	403	0.00403	5611	6315
Visitas a salas de emergencia	3.11	0.0311	3168	0.03168	91	102
Días de actividad restringida menor	4.92	0.0492	780000	7.8	49	55
Ataques de asma	7.74	0.0774	12740	0.1274	337	379
Algunos síndomas respiratorios (años)	10.22	0.1022	21200	0.212	49	55
Síntomas respiratorios menores	0	0	8810	0.0881	15	17
Mortalidad por exposición aguda	1.01	0.0101	577.9	0.005779	180000	202592

Con base en la siguiente ecuación se calcularon los beneficios económicos:

$$I = \Delta Y * Y_b * \Delta C_{pob} * P * P_{ob} \quad (Ec 1)$$

BENEFICIOS ECONOMICOS	
2006	0
2007	147888122.5
2008	286510049
2009	416710210
2010	674041821