

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE
MONTERREY**

CAMPUS MONTERREY

**DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
PROGRAMAS DE GRADUADOS EN INGENIERIA**



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY®**

**BENEFICIOS ECONÓMICOS DE REDUCIR LA CONTAMINACIÓN POR PM₁₀
EN EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
ACADEMICO DE:**

**MAESTRA EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS AMBIENTALES**

POR:

FABIOLA VANESSA VILLA MAR

MONTERREY, N.L.

MAYO DE 2007.

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE
MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA

Los miembros del comité de tesis recomendamos que el presente proyecto de tesis
presentado por la Ing. Fabiola Vanessa Villa Mar sea aceptado como requisito parcial
para obtener el grado académico de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN SISTEMAS AMBIENTALES
ESPECIALIDAD INGENIERIA AMBIENTAL

Comité de Tesis:

Dr. Gerardo M. Mejía Velázquez
Asesor

Dr. Guillermo Gándara Fierro
Sinodal

Dra. Ruth E. Reyna Caamaño
Sinodal

Aprobado:

Dr. Francisco Ángel Bello
Director del Programa de Graduados en Ingeniería
Mayo 2007

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor el Dr. Gerardo Mejía por todo su interés, apoyo y entusiasmo que mostró en mi proyecto a lo largo de su realización.

A mis sinodales Dr. Guillermo Gándara y la Dra. Ruth Reyna por su disponibilidad de tiempo, su ayuda y sus valiosos consejos que contribuyeron para hacer de éste un mejor trabajo.

Al Ing. Alberto Diosdado, Director General y al C.P. Jorge Vázquez, Gerente de Planeación de la empresa donde trabajo, Univex, S.A. por las facilidades prestadas al inicio de mi maestría, así como el apoyo otorgado para poder culminar con éxito mis estudios.

Al Dr. Fabián Lozano por facilitarme información incluida en esta investigación.

A las autoridades de la Secretaría de Salud del Estado de Nuevo León por facilitarme la información requerida para el cálculo de los beneficios en salud de este trabajo.

Al Dr. René González por su disposición y su invaluable asesoría para la realización de este proyecto.

Al Dr. Jesús Santos por la ayuda brindada para recabar los costos de salud en el Área Metropolitana de Monterrey.

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de alcanzar esta meta.

A mis papás, Aristeo Villa y Rosa Hilda Mar por ser el pilar más grande en mi formación, quienes impulsaron el inicio de esta etapa de mi vida y me han apoyado en todo momento en las decisiones que he tomado.

A mi hermana, Karelía Villa por brindarme siempre su apoyo incondicional, ser gran influencia en mi vida. Tu ejemplo ha sido incentivo para luchar por alcanzar mis metas y buscar ser un mejor ser humano.

A mi abuelito, “Chico” Mar quien en las situaciones más difíciles nos dejó una enseñanza de fortaleza y valentía hasta el fin.

A mis amigos, José Rodríguez, Ana Santillán, Rodrigo González, Silvia Hernández y David de la Mora por todos esos momentos que hemos compartido desde que nos conocimos.

RESUMEN

En la búsqueda por mejorar la calidad del aire, los gobiernos de las ciudades que presentan este problema se han tenido que enfrentar a diversos cuestionamientos. Es en este punto cuando cuantificar los impactos de la contaminación del aire puede ayudar de manera determinante a saber cuáles son las políticas públicas y privadas más adecuadas para controlar el problema. La importancia de cuantificar los impactos de las concentraciones de los contaminantes en el medio ambiente radica en que se brinda la oportunidad de poner en perspectiva los posibles beneficios de controlar la contaminación. El presente estudio tuvo como base el Área Metropolitana de Monterrey (AMM) y sus 5 estaciones de monitoreo con estadísticas registradas para el contaminante PM₁₀. Desde 1998 los niveles de concentración promedio anual en el área excedieron la norma y no han vuelto a recuperar el nivel permisible. En el año 2005 se excedió la norma anual en 239 días, este valor figura como el más alto dentro de los últimos 5 años. La Norma Oficial Mexicana (NOM-025-SSA1-1993) bajo la cual se rige el PM₁₀ establece un límite anual de 50 µgr/m³, en el 2005 la población de Santa Catarina estuvo expuesta a niveles hasta de 117 µgr/m³.

El objetivo general de este trabajo de investigación fue cuantificar los beneficios económicos bajo la perspectiva social en el área de salud y señalar los beneficios potenciales de reducir la contaminación en el AMM y en otras áreas como el medio ambiente y daños a materiales mediante el ensuciamiento de autos.

Para el caso de beneficios en salud se identificaron las formas de afectación del contaminante en el área obteniendo datos de mortalidad y morbilidad en la zona. Fue necesario recurrir a la literatura internacional para obtener valores económicos que nos permitieran realizar esta evaluación. Se establecieron diferentes escenarios de reducción de contaminación en 10%, 20%, 30% y finalmente el escenario para llegar a la norma anual. Mediante un procedimiento de interpolación/extrapolación utilizando como herramienta el Sistema de Información Geográfica se obtuvo que la concentración promedio anual a la que se encuentra expuesta la población del AMM es de 79.81

$\mu\text{gr}/\text{m}^3$. A partir de este valor se calculó el cambio en la reducción de contaminante y tomando en cuenta los valores de las funciones dosis-respuesta, población afectada y las tasas basales, se pudo realizar la obtención de los casos evitados.

Para la valoración económica se utilizaron procedimientos como los costos de enfermedad (costos médicos y pérdida de productividad), así como datos de disponibilidad al pago. Estos últimos basados de estudios internacionales. Los resultados mostraron que una reducción en 10% de contaminación por PM_{10} podría generar un beneficio de 1,346 millones de dólares anuales tomando en cuenta costo de enfermedad y disponibilidad al pago en morbilidad. También se calcularon los beneficios para llegar a la Norma Oficial Mexicana, los cuales estuvieron en un rango de de 3,345 a 5,029 millones de dólares. Este procedimiento inicial permitió dar lugar a la obtención de beneficios económicos diferenciales.

La evaluación de beneficios económicos de reducir la contaminación por PM_{10} en el AMM se hizo en base a estudios de beneficios en salud realizados en otros países. También se presentó un procedimiento para realizar esta misma evaluación mediante costos diferenciales para obtener los beneficios económicos por municipio. Para cada una de las 2,279 celdas generadas en el procedimiento anterior, se calcularon sus beneficios sumando un total de 1,256 millones de dólares anuales por una reducción del 10% en contaminación. Para cada celda se contempló la morbilidad tomando en cuenta las variables de costos médicos y disponibilidad al pago. En el caso de la mortalidad se incluyó la disponibilidad al pago. Las celdas presentaron diferentes rangos de beneficios llegando a representar un beneficio individual de hasta 10,600 millones de dólares anuales.

Para el cálculo de los beneficios potenciales del medio ambiente se consultó el estudio realizado para el AMM “Ecosistemas Prioritarios. Análisis Estratégico del Área Metropolitana de Monterrey”. Con base en el estudio realizado por Costanza en 1997, se valoraron los servicios ambientales que proporcionan áreas contiguas al AMM. El estudio mostró un capital natural valorado en 88 millones de dólares para 1997. Para

estimar el valor actual de estos servicios se estableció una relación con el incremento de poblacional que se dio desde 1997 a 2004. El cambio fue de 18%, que aplicado al monto de 1997 se obtiene un valor potencial de capital natural para la zona de 73 millones de dólares.

En el caso de los beneficios obtenidos por daños a materiales mediante el ensuciamiento de autos se analizaron dos escenarios. En el primero se contempló que el vehículo se lavaba 1 vez por semana y en el segundo la frecuencia se planteó en 1 vez al mes. Se obtuvieron beneficios en un rango de 8 a 22 millones de dólares anuales.

El presente estudio pretende sentar un precedente en la identificación y valoración económica de los beneficios de reducir el nivel de contaminante de PM_{10} , bajo la utilización de diferentes escenarios.

INDICE

Págs.

CAPITULO 1. PROBLEMÁTICA DEL AIRE EN EL AMM

1.1 Características Generales del Área Metropolitana de Monterrey	1
1.1.1 Dinámica Demográfica	3
1.2 Problemática en el Área Metropolitana de Monterrey	9
1.3 Políticas Públicas y Medio Ambiente	14
1.4 Objetivo General	18
1.5 Objetivos Específicos	18
1.6 Alcance	18

CAPITULO 2. LA ATMÓSFERA Y SUS CONTAMINANTES

2.1 Historia de la contaminación	20
2.2 Generalidades sobre la atmósfera y sus contaminantes	21
2.3 Principales contaminantes en la atmósfera y sus efectos	22
2.4 Unidad de Medición IMECA	28

CAPITULO 3. METODOLOGIA PARA EVALUAR IMPACTOS DE LA CONTAMINACIÓN

3.1 Metodología para el cálculo de beneficios en Salud	31
3.1.1 Funciones Dosis-Respuesta	32
3.1.2 Poblaciones Susceptibles	35
3.1.3 Cambio Proyectado entre el Actual y el “Objetivo” en la Concentración del Aire	36
3.2 Metodología para el cálculo de beneficios Económicos	36
3.2.1 Costos de Morbilidad	37
3.2.2 Costos de Mortalidad	38
3.3 Calidad de datos	40
3.4 Escenarios Económicos	40

CAPITULO 4. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS IMPACTOS EN SALUD

4.1 Concentración Promedio Ponderada	42
4.2 Funciones Dosis-Respuesta	47
4.3 Efectos a la salud	48
4.3.1 Índices de Mortalidad	48
4.3.2 Índices de Morbilidad	51
4.4 Valoración Económica	54
4.4.1 Mortalidad	54
4.4.2 Morbilidad	55
4.4.2.1 Costos de Enfermedad	56
4.4.2.2 Pérdida de Productividad	60
4.4.2.3 Disponibilidad al Pago	62
4.5 Beneficios Económicos Diferenciales en el AMM	67

CAPITULO 5. INTEGRACIÓN DE BENEFICIOS

5.1 Beneficios por cuidado del Medio Ambiente	72
5.2 Otros Beneficios Potenciales	78
5.3 Obtención de los Beneficios en Salud, Medio Ambiente y Materiales .	79

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 83

REFERENCIAS 86

APÉNDICES 94

INDICE DE FIGURAS

	Págs.
Figura 1.1. Municipios del AMM	2
Figura 1.2. Población del AMM para el Período 1940 – 2030	4
Figura 1.3. Tasa de Crecimiento Poblacional por Décadas	4
Figura 1.4. Tasa de Natalidad durante el período 1940 – 2000	6
Figura 1.5. Tasa de Mortalidad durante el período 1940 – 2000	7
Figura 1.6. Inflación Anual Histórica	8
Figura 1.7. Inventario de Emisiones en el AMM	10
Figura 1.8. Estaciones de Monitoreo del SIMA en el AMM	11
Figura 1.9. Número de días fuera de norma por altos niveles de PM ₁₀ en el AMM ..	12
Figura 1.10. Concentración Histórica Anual de PM ₁₀	13
Figura 1.11. Concentración de PM ₁₀ por Estación de Monitoreo	14
Figura 2.1. Comparativo del tamaño de partículas PM ₁₀ y PM _{2.5}	24
Figura 3.1. Funciones Exposición – Respuesta	34
Figura 4.1. Estaciones de Monitoreo y Sitios Supuestos con Concentraciones de Fondo	44
Figura 4.2. Concentraciones Promedio de PM ₁₀ en el AMM en el año 2005	45
Figura 4.3. Resumen de Escenarios de Evaluación Económica en Impactos en Salud para el AMM	66
Figura 4.4. Beneficios Económicos por Área Determinada (Miles Dls)	69
Figura 4.5. Beneficios Económicos por Municipio (Miles Dls)	70
Figura 5.1. Componentes del Valor Económico de un Área Natural	73
Figura 5.2. PIB y PINE Histórico en México	77

INDICE DE TABLAS

		Págs.
Tabla 1.1.	Distribución de la Población por Rango de Edad	5
Tabla 2.1.	Resumen de las concentraciones máximas permisibles de contaminantes	29
Tabla 2.2.	Interpretación del IMECA	29
Tabla 2.3.	Ecuaciones de Transformación de Unidades de Concentración de Contaminante a Puntos IMECA	30
Tabla 4.1	Concentración de PM ₁₀ en el año 2005 por estación de monitoreo	43
Tabla 4.2.	Escenarios de reducción de contaminación para el AMM en µgr/m ³	47
Tabla 4.3.	Comparativo Tasa de Mortalidad: D.F y AMM	50
Tabla 4.4.	Tasa de Mortalidad por Causa en el AMM	51
Tabla 4.5.	Mortalidad por Grupo de Edad	51
Tabla 4.6.	Coefficientes Dosis-Respuesta para Estimar los Efectos por cambio de µgr/m ³ en el promedio anual de PM ₁₀	53
Tabla 4.7.	Casos evitados por un cambio de 1 µgr/m ³ en la concentración anual de PM ₁₀	53
Tabla 4.8.	Beneficio Económico por casos evitados en Mortalidad	55
Tabla 4.9.	Comparativo de costos de estudios en Hospitales del AMM	57
Tabla 4.10.	Comparativo de costos de tratamiento en el AMM	58
Tabla 4.11.	Costo por Pérdida de Productividad	62
Tabla 4.12.	Valores Unitarios obtenidos para Morbilidad	63
Tabla 4.13.	Costos Totales de Morbilidad bajo diferentes escenarios.....	65
Tabla 4.14.	Beneficios Económicos por Municipio (Mill. Dls)	71
Tabla 5.1.	Valoración de Servicios Ambientales Prestados por el AMM, 1993	75
Tabla 5.2.	Valoración de Servicios Ambientales Prestados por el AMM, 1997	75

INDICE DE ECUACIONES

		Págs.
Ecuación 3.1.	Impacto estimado en casos evitados	34
Ecuación 3.2.	Ajuste del VSL para México	39
Ecuación 3.3.	Escenario 1: Límite inferior	41
Ecuación 3.4.	Escenario 2: Límite superior	41
Ecuación 5.1.	Determinación del PINE para México	76

NOMENCLATURA

AMM	Área Metropolitana de Monterrey
CDE	Costo de Enfermedad
CONAMA	Comisión Nacional del Medio Ambiente
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CO ₂	Bióxido de Carbono
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
DAP	Disponibilidad al Pago
EPA	Environmental Protection Agency
GNI	Ingreso Neto Bruto per capita (Gross National Income por sus siglas en inglés)
IMECA	Índice Metropolitano de la Calidad del Aire
IMSS	Instituto Mexicano del Seguro Social
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional Estadística Geográfica e Información
MVC	Método de Valoración Contingente
NO ₂	Bióxido de Nitrógeno
O ₃	Ozono
OMS	Organización Mundial de la Salud
PEA	Población Económicamente Activa
PM ₁₀	Material Particulado menor a 10 micras (Particulate Matter por sus siglas en inglés)
PO	Población Ocupada
PP	Pérdida de Productividad

PROFECO	Procuraduría Federal del Consumidor
SAT	Sistema de Administración Tributaria
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SINIA	Sistema Nacional de Información Ambiental
SIMA	Sistema Integral de Monitoreo Ambiental
SINAIS	Sistema Nacional de Salud
SITME	Sistema Integrado del Transporte Metropolitano
SMA	Sistema del Medio Ambiente
SMNYCT	Sociedad Mexicana de Neumología y Cirugía de Tórax, A.C.
SO ₂	Bióxido de Azufre
SSA	Sector Salud
VSL	Valor Estadístico de la Vida
µgr/m ³	Microgramo por metro cúbico

CAPITULO 1. PROBLEMÁTICA DEL AIRE EN EL AMM

En los últimos años los niveles de contaminación promedio anual de PM_{10} en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM) han sobrepasado el límite establecido por la Norma Oficial Mexicana. En este capítulo se presentan las características del AMM en cuanto a su situación socio-económica, así como estadísticas sobre los niveles de contaminación de PM_{10} que han prevalecido en el AMM. Se exponen antecedentes de la relación entre las políticas públicas y el cuidado del medio ambiente. Finalmente se puntualizan los objetivos y el alcance del presente trabajo de investigación.

1.1 Características Generales del Área Metropolitana de Monterrey

El AMM representa el tercer núcleo demográfico, económico, social y político-administrativo más importante de México. Su territorio abarca una extensión de 3,293 km² de superficie, lo cual es equivalente al 5.1 % de la superficie total del estado de Nuevo León (INEGI, 2002).

El AMM comprende los municipios de Monterrey, Apodaca, García, General Escobedo, Guadalupe, Juárez, San Nicolás de los Garza, San Pedro Garza García, Santa Catarina y aunque el municipio de Cadereyta no forma parte del AMM es un importante contribuyente de contaminante por la localización de la empresa petroquímica PEMEX. En esta investigación se incluyeron sólo los municipios oficiales del AMM, excluyendo a Cadereyta. El AMM se localiza en la parte centro-oeste de la entidad y colinda con el estado de Coahuila; las demás colindancias son: al norte, con los municipios de Mina, Hidalgo, Abasolo, Carmen, Salinas Victoria y General Zuazua; al sur, con Santiago; y al este, con Pesquería (INEGI, 2002). La Figura 1.1 muestra mediante una foto satelital los municipios que conforman el AMM.

El extremo norte del AMM está ubicado en la latitud norte de 25° 58' que corresponde a la máxima latitud del municipio de García. El extremo sur del AMM está a 25°24' latitud norte, que corresponde a la mínima latitud del municipio de Santa Catarina.

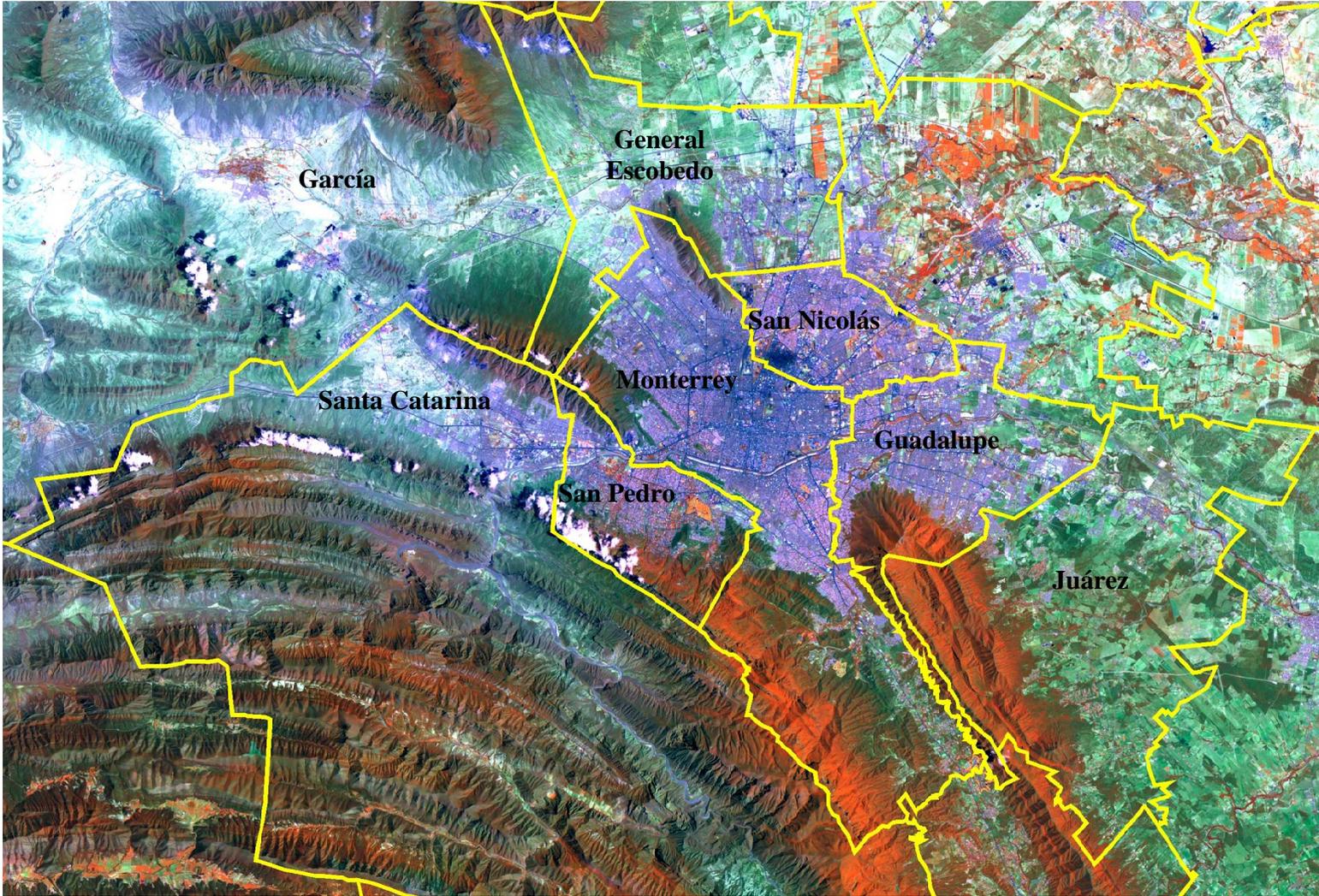


Figura 1.1. Municipios del AMM.

En la longitud oeste de 99°59' se tiene el límite oriente del AMM, que corresponde a la menor longitud del municipio de Juárez y en el límite oeste a 100°51' longitud oeste, la máxima longitud del municipio de García (INEGI, 2002). Durante la década de 1940 – 1950, Monterrey se incorpora al proceso metropolizador. Para 1960, el municipio de Monterrey, Guadalupe, San Nicolás de los Garza y San Pedro Garza García, constituían el AMM. Para 1970 se anexaron Santa Catarina, Apodaca y General Escobedo y finalmente en 1980 y 1990 se anexaron Juárez y García, respectivamente (INEGI, 2002).

En las siguientes secciones se presenta información que refleja el proceso metropolizador que se llevó a cabo en la zona y que es uno de los factores que influyó para los cambios que se han dado en el AMM. El panorama general que vive actualmente el AMM se expone mediante un análisis de la dinámica poblacional, una descripción de la problemática en el AMM en materia de contaminación del aire y las medidas que se han tomado en políticas públicas para tratar de controlar el problema.

1.1.1 Dinámica Demográfica

Estructura por Edad

La magnitud y composición de la población en el AMM viene a ser el resultado de la transición demográfica iniciada en México en la década de los años cuarenta. Esta década está fuertemente vinculada a la modernización de las condiciones económicas y sociales que existían en la época. Este proceso está ligado con diferentes factores que se han visto modificados en las últimas décadas como lo son la migración y el índice de natalidad y mortalidad. En el año 2000, el AMM tenía una población de 3.2 millones de habitantes concentrando el 84.6% de la población total del estado de Nuevo León (INEGI, 2002; CONAPO, 2000). La Figura 1.2 muestra el crecimiento poblacional y se pronostica que durante el año 2000 y 2030, éste aumentará en un 47%.

En cuanto a la población por municipio desde el 2000 hasta el pronóstico del año 2005, Monterrey se mantiene como el municipio más poblado del AMM con 32%, seguido de Guadalupe con el 20% y en tercer lugar se encuentra el municipio de San Nicolás de los

Garza con 15%. Los siguientes municipios son Apodaca y General Escobedo con un 10% y 8%, respectivamente de la población del AMM.

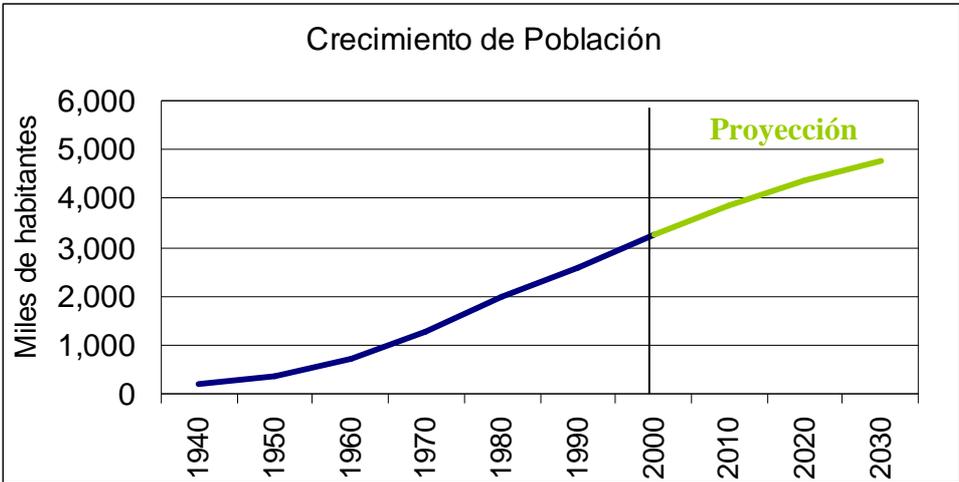


Figura 1.2 Población del AMM para el Período 1940 – 2030.

La tasa de crecimiento poblacional sufre un descenso considerable durante los años de 1980 y 1990, al pasar a 2.6% en comparación con el 4.3% de la década anterior debido entre otras causas, al proceso de metropolización del área. La Figura 1.3 muestra la tasa de crecimiento para el período 1940 a 2000. La tasa de crecimiento poblacional para el período de 1990 al 2000 fue del 2.3% (INEGI, 2002).

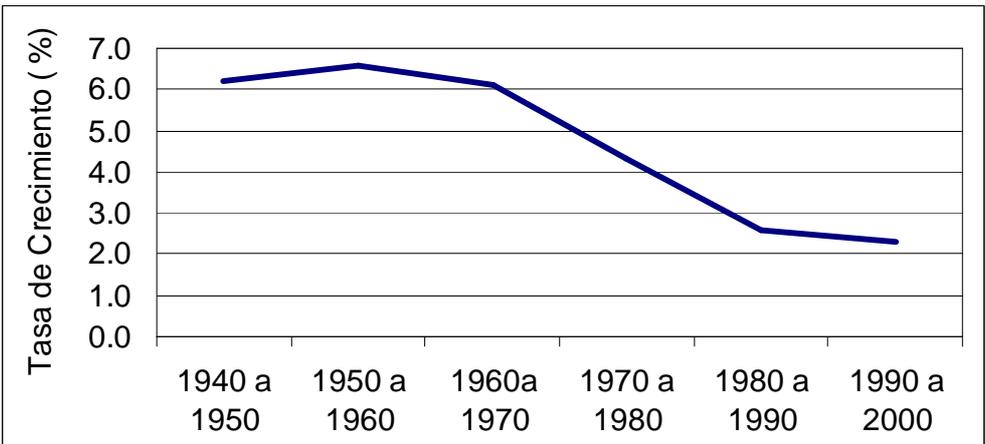


Figura 1.3 Tasa de Crecimiento Poblacional por Décadas.

Pirámide Poblacional

En la Tabla 1.1 se presentan los datos de la pirámide poblacional de nuestra zona de estudio por rango de edad. Como se puede observar el mayor grupo de población del AMM se concentra entre las edades de 25 a 44 años (INEGI, 2000). A este le sigue la población escolar de 15 a 24 años con 20% de la población total del área.

Tabla 1.1 Distribución de la Población por Rango de Edad

Rango	AMM	
Menor a 5	336,237	10%
entre 5 -14	620,931	19%
entre 15 - 24	655,727	20%
entre 25 - 44	1,027,385	32%
entre 45 - 64	429,578	13%
Mayor a 65	141,635	4%
NE	31,973	1%
Total	3,243,466	100%

Entre 1990 y el año 2000, se tuvo una reducción en el porcentaje de la población infantil (0 a 14 años) al pasar de 33.6 % al 30%. Por otro lado los porcentajes en la edad productiva y edad madura aumentaron en el mismo período (INEGI, 2000). Es importante destacar que niños y adultos mayores de 65 años, que representan casi el 34% de la población total, son los grupos de poblaciones más sensibles al contaminante de PM₁₀. Al realizar el análisis de los datos por municipio, se puede ver que Monterrey concentra la mayor población de menores de 14 años seguido por el municipio de Guadalupe, presentándose la misma situación para los adultos mayores.

Natalidad

Entre los años de 1940-1970, la tasa de natalidad del AMM se mantuvo elevada, llegando a tener 46 nacimientos por cada 1,000 habitantes (INEGI, 2002). La Figura 1.4 muestra como a partir de 1980, la tasa comienza a reducirse y para el año 2000 se tenían 24.5 nacimientos por cada 1,000 habitantes (INEGI, 2002).

Tanto en la curva de la Figura 1.3 como en la Figura 1.4 se muestra una tendencia decreciente a partir de 1970. Al ser modificada la tasa de natalidad por causas como el proceso metropolizador, cambios en el patrón socio-cultural ó de fecundidad entre otros, impacta directamente en el crecimiento poblacional.

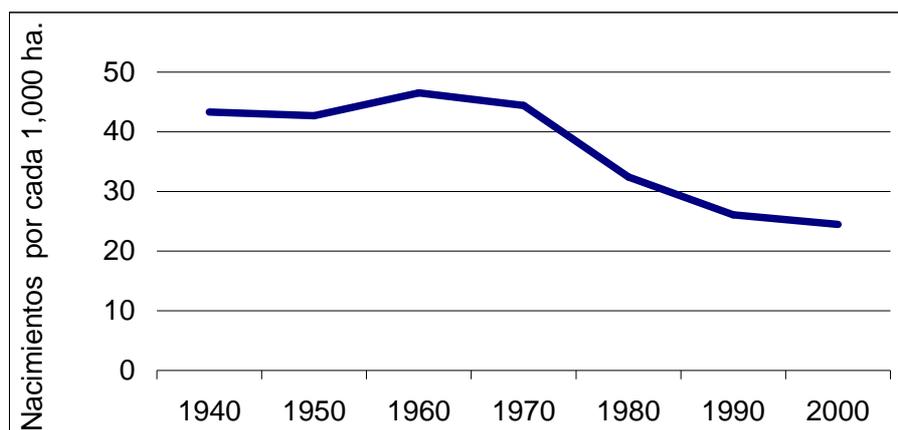


Figura 1.4 Tasa de Natalidad durante el período 1940 a 2000.

Mortalidad

El índice de mortalidad a nivel nacional para el 2000 fue de 4.3 defunciones por cada 1,000 habitantes, siendo el primer lugar el Distrito Federal con 5.2 seguido por Nuevo León con 4.1 defunciones (SINAIS, 2000). Para esta investigación se consultó al Sector Salud (SSA) de la zona para obtener la tasa cruda de mortalidad en el AMM. En el año 2004 se registraron en total 14,500 defunciones mientras que en el año 2000 fueron 13,156. La tasa cruda de mortalidad para el 2004 fue de 4.25 muertes por cada mil habitantes.

La Figura 1.5 muestra específicamente para el AMM como se presenta un punto de inflexión en la década de los 60's donde a partir de entonces se muestra una disminución paulatina de la tasa de mortalidad hasta llegar a 4.1 muertes por cada 1,000 habitantes siendo, en este caso, igual a la del estado en su totalidad (SINAIS, 2000).

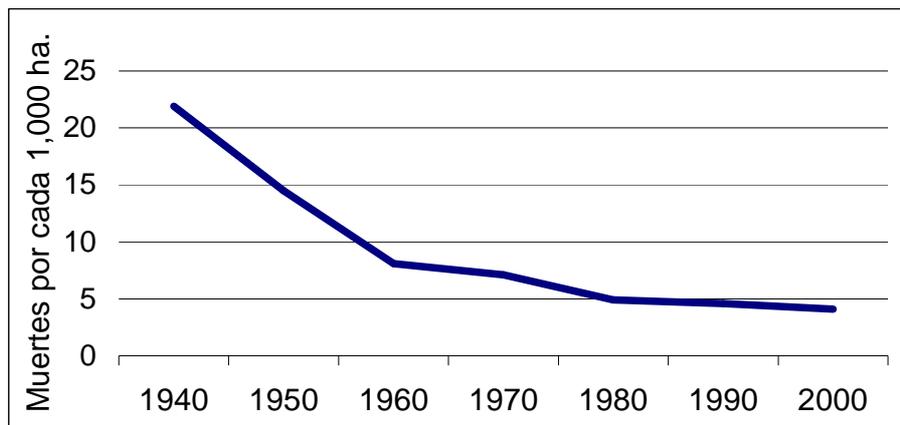


Figura 1.5 Tasa de Mortalidad durante el período 1940-2000.

Características Socio-Económicas

A nivel nacional en cuanto a la contribución del Producto Interno Bruto (PIB), Nuevo León ocupa el tercer lugar con 7.1% después del Distrito Federal (22.8%) y el Estado de México (10.2%). En conjunto las tres entidades aportan 40.1% (INEGI, 2002). En el 2004 dentro de las actividades económicas del estado, la industria manufacturera registró un crecimiento de 5.89%, bajando en el 2005 a un 2%. En el 2004, se presentó un cambio del 9% con respecto al año anterior en la rama de manufactura de maquinaria y equipo, así como también se mostró una variación anual de 7% en la rama de manufactura de químicos. La mayor concentración de la actividad industrial y comercial se presenta en los municipios de Monterrey, San Nicolás de los Garza y Guadalupe ya que reúne 72% de la mano de obra ocupada (INEGI, 2002). El giro que prevalece en el AMM es el comercial, pero en cuanto a personal ocupado predominan las compañías manufactureras localizadas en Apodaca, García, Escobedo, Guadalupe, Juárez y Santa Catarina.

Los empleos generados en el 2004 en el estado fueron 25,008 teniendo un crecimiento para el 2005 en aproximadamente el 100% (DataNL, 2007). Según datos del Censo de Población y Vivienda 2000, la población económicamente activa (PEA) del AMM fue de 1,291,866 personas. De la PEA la población ocupada (PO) representó el 98%, mientras que en términos globales la PO representó 40% de la población total. De la población ocupada las mujeres tuvieron una participación del 33%. El municipio de Monterrey abarcó un 35%

del personal ocupado seguido del municipio de Guadalupe que participó con el 21%. De las ramas que participan en esta categoría las industrias manufactureras y el comercio abarcaron el 30% y el 17%, respectivamente del personal ocupado (INEGI, 2002).

En cuanto al nivel educativo, la población alfabeta de 15 años ó más en el AMM era de 2,189,320 personas en el año 2000, representando el 97% de la población total de este rubro. Vuelven a destacar los municipios de Monterrey, Guadalupe y San Nicolás de los Garza con la mayor población alfabeta. De los datos censales de 1990 y 2000 se obtiene que la población analfabeta (de 15 años y más) en el AMM disminuye de 3.9% en el primer año a 2.9% en el segundo (INEGI, 2002).

Variaciones por inflación

En México la tendencia de la inflación ha sido decreciente desde el año 2000. La Figura 1.6 muestra el comportamiento en promedio anual de la inflación (Banco de México, 2007). A partir del año 2001 se ha mantenido entre el 3% y 6% promedio anual. Esta información se cita para ser tomada como referencia en la futura utilización de los beneficios económicos calculados en este trabajo.

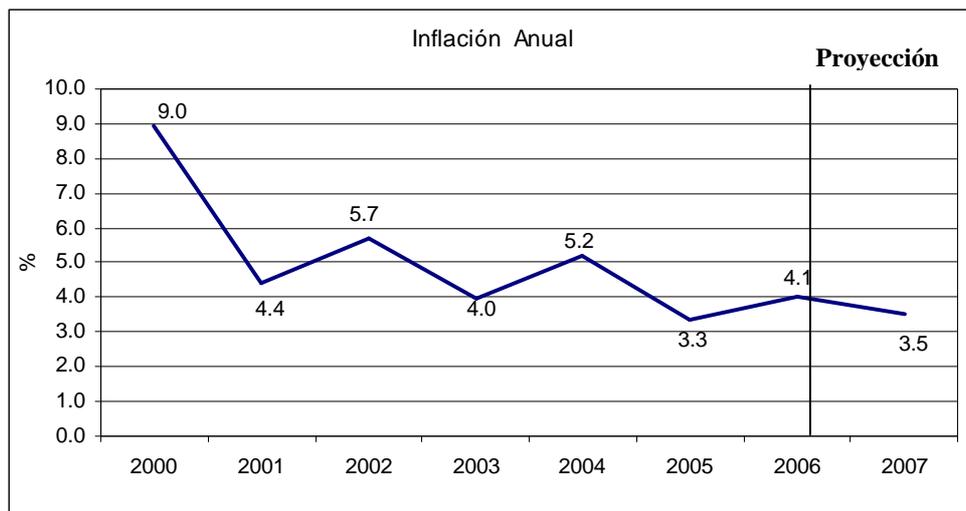


Figura 1.6 Inflación Anual Histórica

1.2 Problemática de la Calidad del Aire en el AMM

El rápido cambio hacia la urbanización y la industrialización ha provocado serias transformaciones en los ecosistemas y en el medio ambiente, lo cual ha afectado la calidad de vida de la población del AMM. Fue durante la década de los años 40 cuando el estado de Nuevo León se vio influenciado por el crecimiento industrial. Éste crecimiento tuvo su mayor impacto en los años sesenta debido a diversos factores como precios bajos de energéticos así como de bienes y servicios básicos como agua, transporte y manejo de basura (INEGI, 2002). La calidad del aire se encuentra ligada con aspectos como la dinámica poblacional, el tamaño y el estado del parque vehicular, las características que guardan los procesos industriales de la zona, y con el desarrollo urbano y uso de suelo. Entre los sectores que más influyen en la degradación del ambiente se encuentran el transporte público, automóviles privados, el sector industrial y de servicios (INE, 1995).

El primer inventario de emisiones del AMM fue reportado por el Instituto Nacional de Ecología. Con la información que fue recabada en 1995, en 1996 se realizó dicho inventario en donde se obtuvo por resultado que el AMM emite anualmente a la atmósfera alrededor de 1,932,622 toneladas de contaminantes (INE, 1995). De estos contaminantes fueron emitidas 101,351 ton/año por la industria, 37,142 ton/año por los servicios, 1,030,404 ton/año por el transporte, y 763,725 ton/año fueron por suelos y vegetación.

Estas estadísticas se pueden ver reflejadas en el aumento de visitas a hospitales por afecciones respiratorias, así como también se presenta un impacto en los ecosistemas y en incrementos de costos por mantenimiento de vías públicas y monumentos dentro del AMM. La Figura 1.7 muestra el inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos por tipo de fuente para el AMM. La mayor contribución a la contaminación es por parte de las fuentes móviles como el transporte. Dentro de este sector, el monóxido de carbono aportó el 88% del total de la contaminación. En general, se destacan por su masa total la cantidad de bióxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y de óxidos de nitrógeno (NO_x). Teniendo especial importancia los HC y los NO_x por ser considerados precursores del ozono (INE, 1995).

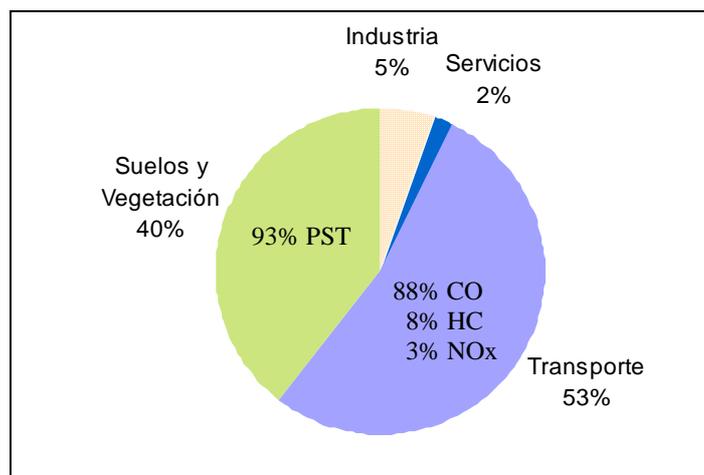


Figura 1.7 Inventario de Emisiones en el AMM.

Fuente: INE, 1995.

En el rubro de suelos y vegetación, la segunda fuente más importante en el inventario de 1995, consideró sólo la emisión de partículas por erosión del suelo por viento. Lo anterior sin calcular la cantidad de hidrocarburos originados por la actividad metabólica de la vegetación y los óxidos de nitrógeno de los procesos bioquímicos, por no contarse con la información necesaria para su cálculo. En el sector industria los giros de mayor contribución son los minerales no metálicos, la generación de energía eléctrica y la industria química.

En el año de 1992 inicio operaciones el Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA) con el objetivo de brindar información sobre los niveles de contaminación en el AMM. Se instalaron 5 estaciones de monitoreo:

- 1) Estación Sureste (La Pastora) ubicada en Guadalupe, N.L. (SE)
- 2) Estación Noreste (San Nicolás) ubicada en San Nicolás de los Garza, N.L. (NE)
- 3) Estación Centro (Obispado) ubicada en Monterrey, N.L. (CE)
- 4) Estación Noroeste (San Bernabé) ubicada en Monterrey, N.L. (NO)
- 5) Estación Suroeste (Santa Catarina) ubicada en Santa Catarina, N.L. (SO)

La Figura 1.8 muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo dentro de los municipios del AMM.

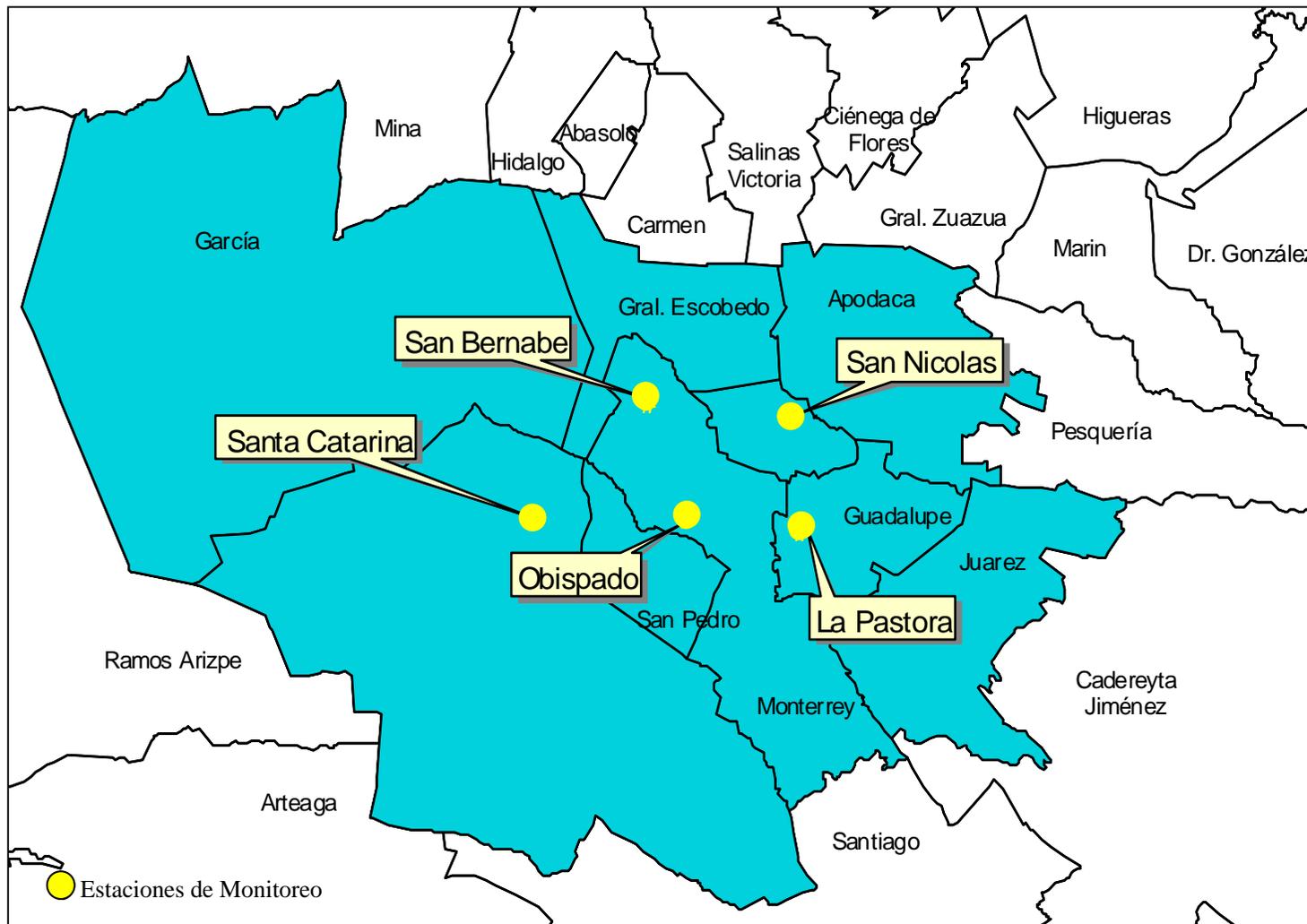


Figura 1.8. Estaciones de Monitoreo del SIMA en el AMM.

Las estaciones miden las concentraciones de contaminantes como las partículas menores a 10 micras (PM₁₀), Ozono (O₃), Monóxido de Carbono (CO), Bióxido de Azufre (SO₂) y Bióxido de Nitrógeno (NO₂). Analizando los datos del AMM, sobresalen los contaminantes PM₁₀ y O₃ en base al número de días que se encuentran fuera de norma en los últimos años. Dentro de las estadísticas generadas por el SIMA para el monitoreo de los contaminantes, se puede apreciar que de las 5 estaciones de monitoreo, la estación suroeste presenta una mayor cantidad de días fuera de norma. Lo anterior es debido principalmente a que la dirección predominante del viento es de este a oeste, provocando el transporte de los contaminantes de la mayoría de las fuentes industriales de Monterrey, San Pedro Garza García y de la misma área de Santa Catarina (SIMA, 2005).

La Figura 1.9 presenta los días fuera de norma a partir del año 2000 en el AMM para PM₁₀, se muestra un cambio muy brusco al pasar de 31 días en el 2000 a 152 días en el 2001, algunas de las razones para este aumento podrían ser cambios de usos de combustibles y suelo, el aumento en el parque vehicular y aumento de la actividad industrial. El año 2005 ha sido el que ha tenido un mayor excedente en días dentro de los últimos 5 años sobrepasando el límite permitido durante 239 días (SIMA, 2005).

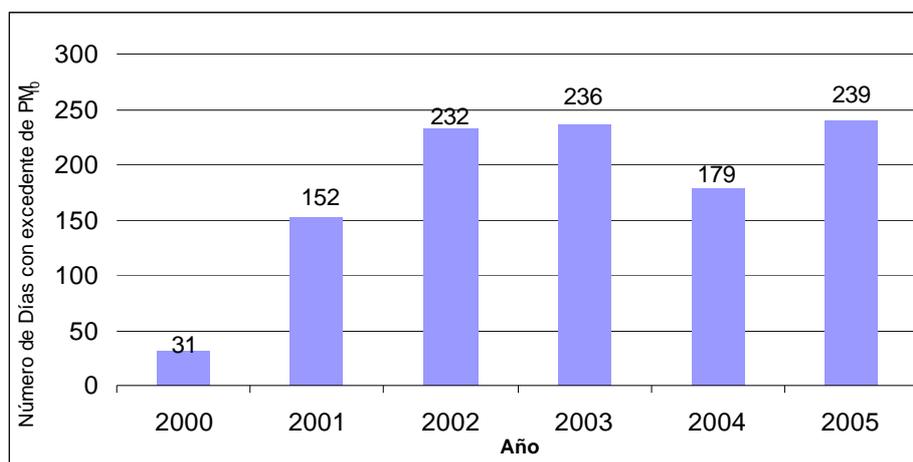


Figura. 1.9 Número de días fuera de norma por altos niveles de PM₁₀ en el AMM.

Fuente: SIMA

Durante el año 2005 la zona suroeste tuvo 114 días, aportando casi el 50% del período total fuera de norma. Sin embargo, estos datos son tan solo una secuencia de años anteriores en los que se tuvieron valores de 236 y 179 días fuera de la norma diaria para los años 2003 y 2004, respectivamente en el AMM. Específicamente en comparación con el año 2004, se tuvo un incremento de casi 35% en el 2005. Las zonas más afectadas fueron la suroeste al pasar de 94 a 114 días y el centro al pasar de 19 a 36 días.

La concentración promedio anual global del AMM más alta ha sido $87 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, y se presentó en los años 2002, 2003 y 2005. La Figura 1.10 presenta una comparación histórica entre concentraciones de PM_{10} contra el nivel que marca la norma anual de $50 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, desde el año 1993 hasta el 2005. Es a partir de 1998 cuando los niveles de concentración excedieron la norma y no han vuelto a recuperar el nivel permisible.

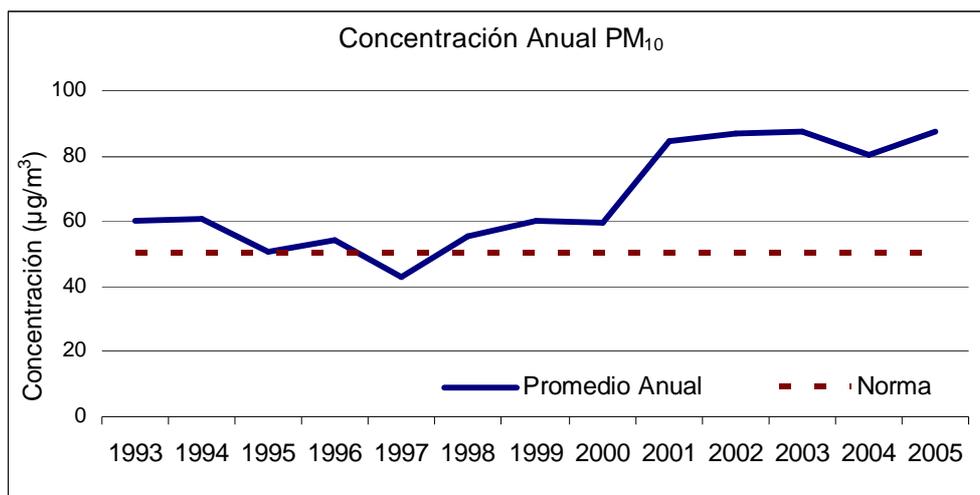


Figura 1.10 Concentración Histórica Anual de PM_{10} .

Fuente: SIMA.

Realizando un análisis más a detalle del nivel de contaminación la Figura 1.11 presenta una gráfica histórica del promedio anual de concentración de PM_{10} por estación de monitoreo durante el período 1993 – 2005.

En general, a partir del año 2000 se nota un incremento en los niveles del contaminante referente al que habían mantenido en años anteriores las estaciones. En el caso de la zona

Noreste para el año 2000 no existen datos disponibles sobre concentración de PM₁₀. Las concentraciones de este contaminante en el 2005 fluctuaron entre los valores de 56 y 117 µgr/m³ mientras que en 1995 se encontraban en 35 y 70 µgr/m³ (SIMA, 2005).

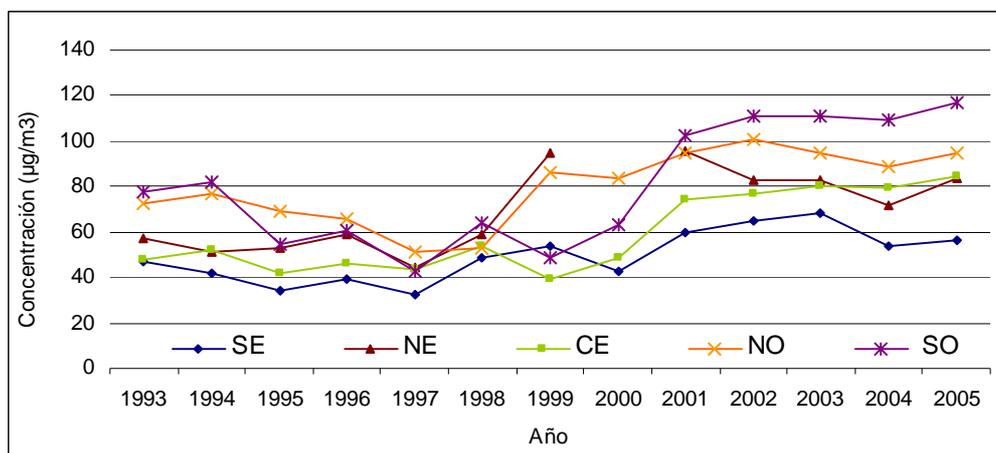


Figura 1.11 Concentración de PM₁₀ por Estación de Monitoreo.

Fuente: SIMA.

1.3 Políticas Públicas y Medio Ambiente

La contaminación del aire es un fenómeno con múltiples causas de origen social, económico y político. Los impactos que pueden llegar a causar una mala calidad del aire son tan variados como sus causas. El principal impacto se produce en la salud humana. Estudios epidemiológicos realizados por Estados Unidos desarrollados durante las últimas décadas han detectado una asociación entre PM₁₀ y diversas consecuencias perjudiciales para la salud. Los padecimientos incluyen desde ingresos a hospitales, visitas a salas de urgencias, ataques de asma, síntomas respiratorios hasta disminución de la función pulmonar y mortalidad prematura (Ostro, 1998).

La salud es un aspecto fundamental cuando se piensa en control de la contaminación. Al hacer un análisis de las variables que podrían influir en forma más importante en los beneficios por reducción de la contaminación en áreas urbanas, la salud es el aspecto más importante que se toma en cuenta. Sin embargo, éste cálculo representaría una subestimación ya que existen otro tipo de beneficios. En un estudio realizado en 1997 se

identificaron algunas categorías que tienen un beneficio potencial cuando se presenta un cambio positivo en el medio ambiente (OMS, 2000). Estas categorías son:

- 1) Beneficios a individuos, incluyendo reducción en morbilidad y mortalidad.
- 2) Beneficios en producción y consumo, tales como en cultivos, pesquerías e industria.
- 3) Beneficios en bienes económicos, tales como corrosión en materiales, suciedad en autos.
- 4) Beneficios en valores ambientales, tal como buena visibilidad y posibilidad de realizar actividades recreacionales.

De esta forma podemos identificar que los beneficios por reducir la contaminación del aire incluyen impactos relacionados directamente con salud y abarca otros aspectos fuera de este contexto.

En la búsqueda por mejorar la calidad del aire, los gobiernos de las ciudades que presentan este problema han tenido que resolver diversos cuestionamientos como: ¿Hasta que punto es factible una mejora?, ¿Cuáles contaminantes deben ser enfocados?, ¿Cuáles son las estrategias más adecuadas que el gobierno debería de implementar? (Molina, 2002). Es en este punto cuando cuantificar los impactos de la contaminación del aire puede ayudar de manera determinante a saber cuáles son las políticas públicas y privadas más adecuadas para controlar el problema.

La importancia de cuantificar los impactos de las concentraciones de los contaminantes en el medio ambiente radica en que se brinda la oportunidad de poner en perspectiva los posibles beneficios de controlar la contaminación. De esta manera, se puede priorizar las políticas públicas respecto del control de la contaminación versus otras inversiones en salud pública (Ostro, 1998). Para realizar un análisis de alternativas políticas en materia medio ambiental, no es necesario conocer los niveles actuales de contaminantes sino responder a la pregunta cuánto cambiaría el índice de cierta enfermedad si se introdujeran nuevas políticas (Molina, 2002).

Lo anterior indica que los estudios de valoración económica son una herramienta mediante la cual se pueden estimar beneficios para enfrentar el problema de la contaminación del aire desde un punto de vista preventivo. De manera que los recursos económicos destinados a tratamientos de enfermedad, sustitución de material por corrosión, resolver problemáticas por afectación de ecosistemas, etc. se puedan destinar para ser invertidos en otras áreas.

Se han desarrollado investigaciones en donde se ha llegado a estimaciones de los beneficios económicos de reducir la contaminación atmosférica. Dentro de los estudios realizados en Estados Unidos se encuentran el estudio realizado por Ostro y Chestnut en 1997 para evaluar los nuevos estándares de $PM_{2.5}$ establecidos en este país durante el período 1994-1996. El estudio tuvo por resultado beneficios de entre \$14 y 55 billones de dólares anuales. También se realizó un análisis Costo-Beneficio para evaluar el “Acta de Aire Limpio, 1990 a 2010”. Se estimó que los beneficios totales anuales en salud humana ascendían de \$68 billones en el 2000 a \$10 billones en el 2010 (EPA, 1997). Levy, et al., 2001 plantearon un caso de estudio hipotético ubicado en la ciudad de Houston, Texas donde valoró los beneficios en salud pública de reducir las concentraciones de ozono. Esta investigación estimó que existe un beneficio anual de \$10 dólares por persona por $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ (promedio 24-hr) reducido.

En México se han implementado programas a favor de reducir la contaminación ambiental, y se han realizado evaluaciones económicas de abatir ciertos contaminantes. Para citar el caso de Cd. de México, el gobierno ha implementado programas como el “Hoy no Circula”, “Contingencia Ambiental” y la “Verificación Vehicular Obligatoria” (SMA, 2004). Todos estos programas han tenido por objeto la reducción de emisiones contaminantes. Sin embargo varios aspectos entre ellos el aumento del parque vehicular han ayudado a contrarrestar el objetivo inicial. A partir de esta preocupación por los niveles de contaminación, se realizaron varios estudios donde se encontró una relación positiva entre los niveles de contaminantes y los efectos dañinos a la salud (Borja-Aburto, 1997 y 1998; Loomis, 1999; Castillejos, 2000; Téllez-Rojo, 2000). En el año 2002 se publicaron los resultados de un estudio realizado por un equipo de investigación liderado por el Dr. Mario Molina. En este estudio los beneficios en salud se traducen en beneficios económicos. Los

resultados muestran que una reducción de 10% en los niveles de PM_{10} traería un beneficio social de 2,000 millones de dólares al año. En el caso del Ozono una reducción en los niveles del 10% tendría un beneficio social de 200 millones de dólares al año. El control de la contaminación presenta un carácter multidisciplinario, actores del ámbito científico, económico, político y social, contribuirán a construir estrategias de éxito y los programas definirán medidas con una perspectiva integral promoviendo la creación de políticas costo-efectivas.

En el caso del AMM también se han instrumentado acciones en materia medio ambiental. En el 2005 se autorizó un presupuesto de 3.5 millones de pesos para el desarrollo de diversos programas. Algunos de ellos son para prevención y control de la contaminación de recursos, ambientes y ecosistemas naturales. Otros involucran la regulación del aprovechamiento sustentable de los recursos, ambientes y ecosistemas naturales, así como también el desarrollo y ordenamiento ambiental por cuencas y ecosistemas, entre otros (SEMARNAT, 2005). Actualmente, para fuentes móviles se analizan los programas “Sistema Integrado del Transporte Metropolitano” (SITME) con una inversión inicial en su primera fase de 167 millones de pesos y se está estudiando reimplantar el programa de verificación vehicular, el cual se había suspendido en 1998 (Gobierno del Estado de NL, 2006). Este programa se lanza como un piloto presentando una nueva tecnología, será limitado a 40 mil unidades del transporte de pasajeros y carga y se hará bajo un esquema gratuito con una duración de 1 año. Para este programa se destinarán 4 millones de pesos en el financiamiento de gastos operativos. La introducción de estas estrategias ha generado diversos puntos de vista a favor y en contra a nivel político, ambiental y social.

En la toma de decisiones para la aprobación de proyectos, ya sea de carácter ambiental ó de otro tipo, los involucrados deben de tener conocimiento sobre costos y beneficios. Al tener conocimiento de lo que representará la puesta en marcha de tal acción, se puede justificar su implementación. La valoración económica de los impactos de la contaminación del aire es un insumo clave para un buen análisis costo beneficio y para una mejor toma de decisiones para gestionar sustentablemente la calidad ambiental (Cifuentes, 2004).

Debido a los resultados de contaminación de PM_{10} en el AMM, el presente estudio pretende sentar un precedente en la identificación y valoración económica de los beneficios de reducir el nivel de contaminante de PM_{10} .

1.4 Objetivo General

El objetivo general de este trabajo de investigación es cuantificar los beneficios económicos bajo la perspectiva social enfocada a beneficios en salud y señalar los beneficios potenciales de reducir la contaminación en el Área Metropolitana de Monterrey en otras áreas como el medio ambiente y daños a materiales mediante el ensuciamiento de autos.

1.5 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos de esta tesis son:

- Identificar formas de afectación del contaminante PM_{10} en el AMM.
- Estimar los costos de afectación a la salud y daños a materiales mediante el ensuciamiento de autos de la literatura y fuentes de información local.
- Identificar el beneficio potencial de reducir la contaminación en el medio ambiente de la literatura.
- Integrar la información para valorar los impactos y beneficios de reducir la contaminación en el AMM.

1.6 Alcance

Dar a conocer los beneficios de reducir la contaminación en el AMM. En el área de salud se abarcan los temas de mortalidad y morbilidad. Debido a la carencia de estudios en cuanto a mortalidad, la información se obtiene de estudios disponibles realizados en Estados Unidos. Respecto a morbilidad se utiliza el costo de enfermedad, consiguiendo los datos por medio del sector salud de la localidad. En el área ambiental se expone una evaluación para las áreas verdes contiguas al AMM que pudieran estar siendo afectadas por el transporte de los contaminantes.

Después de haber hecho un análisis en el Capítulo 1 para documentar la situación que prevalece en el AMM, este documento presenta en el Capítulo 2 una descripción de los diferentes contaminantes y sus efectos, haciendo énfasis en el contaminante de interés el PM_{10} . En el Capítulo 3 se describe la Metodología que se siguió para desarrollar la investigación. El Capítulo 4 presenta los resultados obtenidos de la metodología aplicada al cálculo de los beneficios económicos del AMM en materia de salud. El Capítulo 5 presenta los resultados de la investigación en materia de impacto ambiental y daños al medio ambiente mediante el ensuciamiento de autos y propone otros beneficios que pudieran ser calculados posteriormente. Finalmente en este mismo capítulo, se presenta una discusión de resultados, así como también las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO 2. LA ATMÓSFERA Y SUS CONTAMINANTES

Los episodios de contaminación que se han presentado a lo largo de la historia han servido como casos de estudio que corroboran la peligrosidad que los contaminantes representan para la salud humana, de los ecosistemas y conservación de materiales. En este capítulo se hace una breve reseña de la Historia de la Contaminación, así como también se provee una descripción de los principales contaminantes y sus impactos.

2.1 Historia de la Contaminación

Aun cuando las acciones de control de la contaminación del aire se remontan por lo menos a fechas tan lejanas como el siglo XIII, la mayor parte del esfuerzo principal en el mundo ha tenido lugar desde 1945. Antes de este año otros asuntos tenían más prioridad dentro de la agenda de la sociedad (Rojas, 2002).

En 1930 se tiene registro de un incidente en una región altamente industrializada llamada Valle del Meuse, en Bélgica, donde más de 60 personas murieron y otros cientos resultaron afectados por la contaminación industrial a consecuencia de una espesa niebla que cubrió por 3 días la zona (Wark, 1998).

En 1952 sucedió una de las tragedias ambientales más graves de la historia en Londres donde más de 4,000 mil personas murieron a causa de la contaminación atmosférica. Fallecieron especialmente aquellas personas que tenían antecedentes de bronquitis, enfisema ó trastornos cardíacos, siendo estas últimas las personas más vulnerables. Esto fue el resultado de una intensa niebla compuesta principalmente por partículas y bióxido de azufre. Esta “Niebla Negra”, como se le conoció, repercutió también en otras personas afectando su salud severamente (Wark, 1998). Fue este el antecedente para correlacionar que el aire de los grandes centros industriales y urbanos constituía un serio peligro para la población y los recursos.

En las últimas décadas, se despertó el interés a nivel internacional sobre los efectos que la contaminación del aire estaba causando sobre el medio ambiente. Se han realizado varios estudios bajo diferentes perspectivas, tratando de establecer correlaciones entre los niveles de contaminación y los daños causados. Finalmente, estos estudios han constituido las bases para traducir los impactos de los contaminantes a términos económicos.

2.2 Generalidades sobre la atmósfera y sus contaminantes

La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve la tierra y la acompaña en todos sus movimientos. Esta capa se extiende más allá de los 1,000 km de altura y está formada por una mezcla de gases: 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de otros gases, como argón, xeón, neón y dióxido de carbono. La atmósfera también contiene vapor de agua, elemento esencial para el desarrollo de la vida, visible en forma de nubes. La densidad de la atmósfera disminuye con la altura a medida que la presión atmosférica va siendo menor, de manera que en los primeros 5 km se encuentra contenida la mitad de su masa total (Seoáñez, 2002).

El aire limpio se compone de elementos químicos que se han producido naturalmente por miles de años. Lo que se llama “aire limpio”, contiene cantidades variables de vapor de agua y trazas de gases como helio y dióxido de carbono pero en niveles químicos y físicos que no llegan a ser una amenaza para el bienestar del ser humano (PUC, 2001). Los principales contaminantes de la atmósfera se dividen en material particulado (aerosoles) y material químico. La categoría de material particulado se encuentra subdividida en sólidos, como polvo, hollín y cenizas, y líquidos como gotas de agua. Por su origen se clasifican como contaminantes primarios, CO, CO₂, SO_x, NO_x, COV, y contaminantes secundarios como el O₃ (PUC, 2001).

Las concentraciones de algunos gases que conforman la atmósfera, como el ozono, se están viendo alteradas por el ser humano. Esta alteración es consecuencia del uso desmedido que se ha hecho de fuentes de energía no renovables como lo son el carbón, petróleo y el gas, así como también actividades como la tala inmoderada, ganadería y algunas prácticas

agrícolas. El aumento de las concentraciones de estos gases ha dado lugar a estudios que se han llevado para identificar sus posibles consecuencias.

2.3 Principales Contaminantes en la Atmósfera y sus Efectos

El origen de la contaminación atmosférica actual se debe a las actividades productivas que emiten contaminantes a una tasa mayor a la que la atmósfera puede naturalmente removerlos (Cifuentes, 2004). Debido a esta situación, la Ley General de Salud contempló el establecimiento de medidas de control directo que ayudarían a mejorar la calidad del medio ambiente y a proteger la salud humana ante los riesgos del inminente deterioro ambiental (NOM-020-SSA1-1993). Las normas de la calidad del aire se fijaron tomando como referencia los niveles de concentración y tiempo de exposición de los contaminantes donde el ciudadano promedio puede desenvolverse sin ver afectada su salud (INE, 1997).

En estudios desarrollados en Estados Unidos y Europa se ha asociado al material particulado con daños a la salud en cuanto a morbilidad y mortalidad. Mientras menor sea el diámetro de estas partículas, mayor será el potencial daño a la salud. En especial el PM₁₀ representa gran preocupación en el ramo de salud ya que por su tamaño pueden llegar a ingresar al sistema respiratorio del ser humano (SINIA, 2007). Debido a lo anterior, y a las estadísticas proporcionadas por el SIMA donde se perfila como el principal contaminante atmosférico de la zona, esta investigación se basa principalmente en el PM₁₀.

Partículas suspendidas totales

Dentro de la clasificación de contaminantes se encuentran las partículas suspendidas totales (PST). Este contaminante tiene las características de ser partículas sólidas y líquidas dispersas en la atmósfera (diámetro de 0.3 a 100 micras) como polvo, cenizas, hollín, humo, partículas metálicas, cemento, polen y líquidos. Este contaminante se origina en procesos de combustión en vehículos, principalmente aquellos que usan diesel, industrias de fundición, pinturas, cerámica, plantas productoras de energía, erosión eólica, y erupciones volcánicas. La erosión, las tolvaneras y los incendios forestales constituyen

también una fuente natural de partículas en el aire (INE, 1997). Las actividades mineras generan material fino por trituración y abrasión de piedras y roca, lo exponen a la atmósfera y a la acción del viento que puede transportarlo como material suspendido. La composición química de las partículas emitidas representará la composición química de los minerales presentes en la roca ó yacimientos desde donde fueron extraídas (CONAMA, 1999).

La toxicidad de las partículas está determinada por sus características físicas y químicas, las cuales serán muy importantes con relación a los daños específicos causados en salud (NOM-025-SSA-1993). El tamaño, que se mide en términos de diámetro aerodinámico, es un parámetro importante para caracterizar su comportamiento. De este depende la capacidad de penetración y retención en diversas regiones de las vías aéreas respiratorias; también determina su tiempo de residencia en la atmósfera y por ende la concentración a la que puede estar expuesta la población (DOF, 2005). El material particulado se puede clasificar en dos grupos:

- 1) El que no ingresa al aparato respiratorio. Las partículas quedan atrapadas en las fosas nasales al presentar un diámetro mayor a 10 micras.
- 2) Material particulado respirable. Partículas capaces de llegar al sistema respiratorio. Estas partículas se dividen en menores a 10 micrómetros de diámetro (PM_{10}), partículas menores a 2.5 micrómetros de diámetro ($PM_{2.5}$) y partículas menores a 1 micrómetro ($PM_{1.0}$) (Préndez, et al. 2007).

Partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$

En específico el PM_{10} es liberado al ambiente por diferentes fuentes fijas y móviles, principalmente por el sector transporte y la quema de combustibles. El PM_{10} también se produce a través de reacciones fotoquímicas en las cuales participan gases tales como los óxidos de azufre ó los óxidos de nitrógeno generados por la combustión de energéticos. Estudios epidemiológicos realizados en los Estados Unidos han detectado una asociación entre PM_{10} y diversas consecuencias adversas para la salud (Ostro, 1998). En especial se considera a las partículas $PM_{2.5}$ de alta peligrosidad debido que al ser de menor tamaño

pueden llegar a depositarse en zonas más vulnerables dentro del organismo. La Figura 2.1 muestra en perspectiva el tamaño que representa el material particulado en comparación con el diámetro de un cabello humano.



Figura 2.1 Comparativo del tamaño de partículas PM₁₀ y PM_{2.5}

Fuente: EPA, 2006.

Los efectos principales del PM₁₀ en la salud son irritación en las vías respiratorias, su acumulación en los pulmones origina enfermedades como la silicosis y la asbestosis; agravan enfermedades como el asma y las cardiovasculares (SIMA, 2006). Sin embargo dentro de la población existen grupos más susceptibles que otros. Los niños expuestos a niveles altos de material particulado y dióxido de nitrógeno presentan un nivel significativamente más bajo de capacidad pulmonar. Éstos tienen pulmones que se desarrollaron y crecieron lentamente, son menos capaces de filtrar aire a través de ellos y aquellos que padecen asma son más propensos a desarrollar bronquitis (Molina, 2005).

El PM₁₀ deteriora los materiales de construcción y otras superficies. En la vegetación interfieren con la fotosíntesis. Otros efectos son que disminuyen la visibilidad y provocan la formación de nubes.

El material particulado se encuentra regulado por la NOM-025-SSA1-1993. Esta norma indica que los niveles de concentración máxima son:

Partículas Suspendidas Totales (PST)

- 210 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ promedio de 24 hrs.

Partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10})

- 150 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ promedio de 24 hrs.**
- 50 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ promedio anual.

Partículas menores a 2.5 micrómetros ($\text{PM}_{2.5}$)

- 65 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ promedio de 24 hrs.
- 15 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ promedio anual.

** En Junio del 2005 la NOM-025 se modifica y el promedio de 24 hrs. cambia a 120 $\mu\text{gr}/\text{m}^3$.

A continuación se comentan las características más importantes de otros contaminantes, así como sus efectos dañinos y su límite de exposición:

Ozono (O_3)

El ozono es un gas oxidante con tres átomos de oxígeno en su molécula. Es muy poco soluble en agua. Los oxidantes fotoquímicos son compuestos gaseosos incoloros producidos en presencia de la luz solar. Oxida materiales no inmediatamente oxidables por el oxígeno gaseoso (SIMA, 2006). La presencia de ozono en el ambiente es atribuible a varias fuentes. Una de ellas es la intrusión de ozono estratosférico, especialmente en primavera. Otras fuentes provienen de una compleja secuencia de reacciones fotoquímicas requiriendo vapores orgánicos, óxidos de nitrógeno bajo la influencia de la luz solar. Los vapores orgánicos tales como los hidrocarburos, formaldehídos y m-xilenos son ampliamente generados por actividades antropogénicas (Lippmann, 1989). Las fuentes principales de emisión son las reacciones atmosféricas de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno bajo la influencia de la luz solar. Sus principales efectos en salud son irritación de los ojos y el tracto respiratorio, agrava las enfermedades cardiovasculares.

Varios estudios han confirmado el hecho de que la exposición al ozono decreta la función pulmonar (Levy, et al. 2001). Se han realizado estudios donde se mostró que en los días con altas concentraciones de ozono, se incrementaron las ausencias a las escuelas por enfermedades respiratorias (Molina, 2005). En los materiales deteriora el hule, los textiles y las pinturas. En los vegetales lesiona las hojas y limitan el crecimiento, además que se disminuye la visibilidad.

El ozono se encuentra regulado bajo la NOM-020-SSA1-1993 la cual indica que el criterio para evaluar la calidad del aire con respecto al ozono es un promedio horario de $216 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.11 ppm.

Bióxido de Azufre

El criterio para evaluar la calidad del aire es un promedio diario de $340 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.13 ppm en 24 hrs (NOM-022-SSA1-1993). El bióxido de azufre es un gas incoloro con olor picante que al oxidarse y combinarse con agua forma ácido sulfúrico, principal componente de la lluvia ácida. Sus fuentes principales son la combustión de carbón, diesel, combustóleo y gasolina que contiene azufre: fundición de vetas metálicas en azufre; procesos industriales; erupciones volcánicas. Sus efectos sobre la salud son irritación de los ojos y el tracto respiratorio, reduce las funciones pulmonares y agrava las enfermedades respiratorias como el asma, la bronquitis crónica y el enfisema. En los materiales corroe los metales; deteriora controles eléctricos, papel, textiles, pinturas, materiales de construcción y monumentos históricos. En la vegetación produce lesiones en las hojas y reducción de la fotosíntesis (SIMA, 2006).

Monóxido de Carbono (CO)

El criterio para evaluar la calidad del aire con monóxido de carbono es un promedio de $395 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 11 ppm en 8 horas máximo (NOM-021-SSA1-1993). El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro que se combina con la hemoglobina para formar la carboxihemoglobina y puede llegar a concentraciones letales. Sus principales fuentes de

emisión son la combustión incompleta de combustibles y otras sustancias que contienen carbono y los incendios. En la salud la carboxihemoglobina afecta al sistema nervioso central y provoca cambios funcionales cardíacos y pulmonares, dolores de cabeza, fatiga, somnolencia, fallos respiratorios y hasta la muerte (SIMA, 2006).

Bióxido de Nitrógeno (NO_2)

El criterio para evaluar la calidad del aire es un promedio horario máximo de $395 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ó 0.21 ppm en una hora (NOM-023-SSA1-1993). El bióxido de nitrógeno es un gas café rojizo de olor picante. Sus fuentes principales de emisión son la combustión a alta temperatura en industrias y vehículos; tormentas eléctricas. Los óxidos de nitrógeno (NO_x y NO_2) se forman cuando el oxígeno y el nitrógeno atmosférico, así como el nitrógeno contenido en los combustibles, reaccionan a altas temperaturas. Los principales efectos en la salud son irritación de los pulmones; agrava las enfermedades respiratorias y cardiovasculares. En los materiales destiñe las pinturas. La vegetación presenta caída prematura de las hojas e inhibición del crecimiento. Además disminuye la visibilidad (SIMA, 2006).

Plomo (Pb)

El criterio de calidad del aire recomendable para evaluar la concentración de plomo es de $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 3 meses (NOM-026-SSA1-1993). El plomo es un metal pesado no ferroso en forma de vapor, aerosol o polvo. Otras sustancias tóxicas, asbesto, cadmio, arsénico, manganeso, níquel, zinc, benceno, aldehídos, etc. Sus principales fuentes de emisión son la combustión de gasolina con plomo; aditivos, minería, fundición y otros procesos de baterías e industriales. En la salud sus efectos principales son su acumulación en los órganos del cuerpo; causa anemia, lesiones en los riñones y el sistema nervioso central (saturnismo). Los niños, y en particular los fetos, son los más vulnerables, experimentando bajo peso al nacer, deterioro de su desarrollo mental y neurosensorial y problemas de aprendizaje (SIMA, 2006).

Hidrocarburos (HC)

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos que contienen carbono e hidrógeno en estado gaseoso. Se combinan en presencia de la luz solar, con óxidos de nitrógeno y forman el smog fotoquímico. Sus principales fuentes de emisión son combustión incompleta de combustibles y otras sustancias que contienen carbono; procesamiento, distribución y uso de compuestos del petróleo como la gasolina y los solventes orgánicos, incendios, reacciones químicas en la atmósfera, descomposición bacteriana de la materia orgánica en ausencia del oxígeno. Sus principales efectos son en la salud en trastornos del sistema respiratorio; algunos hidrocarburos provocan cáncer (SIMA, 2006).

2.4 Unidad de Medición IMECA

La unidad en que se reporta la calidad del aire se denomina Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA). Este índice se encuentra definido en relación a las Normas Oficiales Mexicanas de calidad del aire. De esta forma, el IMECA traduce a una medida común el nivel de contaminación del aire, uniformando las unidades de los distintos contaminantes (INEGI, 2002).

Actualmente este índice se genera para los contaminantes como O₃, NO₂, SO₂, CO y PM₁₀. Para convertir las unidades de concentración de contaminante a unidades del Índice de Calidad del Aire se toma como base para los 100 puntos IMECA la concentración del contaminante señalada por la norma (SIMAT, 2005). La Tabla 2.1 presenta en resumen los límites de concentración máximos de los contaminantes.

De esta manera, cuando se rebasan los 100 puntos IMECA se empiezan a presentar molestias en la salud y a medida que aumente pueden presentarse síntomas más agudos. La Tabla 2.2 muestra de una forma más detallada la interpretación que se le da al IMECA.

Tabla 2.1 Resumen de las concentraciones máximas permisibles de contaminantes

Contaminante	Valores límite		
	Exposición aguda		Exposición crónica
	Concentración y Tiempo Promedio	Frecuencia máxima aceptable	(Para protección de la salud de la población susceptible)
Ozono (O ₃)	0.11 ppm (1 hora)	1 vez cada 3 años	-
Bióxido de azufre (SO ₂)	0.13 ppm (24 horas)	1 vez al año	0.03 ppm (*)
Bióxido de nitrógeno (NO ₂)	0.21 ppm (1 hora)	1 vez al año	-
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 horas)	1 vez al año	-
Partículas suspendidas totales (PST)	260 µg/m ³ (24 horas)	1 vez al año	75 µg/m ³ (*)
Partículas fracción respirable (PM ₁₀)	150 µg/m ³ (24 horas)	1 vez al año	50 µg/m ³ (*)
Plomo (Pb)	-	-	1.5 µg/m ³ (**)

Fuente: Instituto Nacional de Ecología.

Tabla 2.2 Interpretación del IMECA

Interpretación del IMECA		
IMECA	Condición	Efectos a la Salud
0 - 100	Condición dentro de la norma	Ninguno
101 - 200	Condición no satisfactoria	Molestias en ojos, nariz y garganta en personas sensibles
201 - 300	Condición mala	Evitar actividades al aire libre. Posibles problemas respiratorios
301 - 500	Condición muy mala	Se agudizan los síntomas anteriores en personas sensibles y quienes fuman ó padecen enfermedades crónicas

Fuente: Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Cd. de México.

Para realizar la transformación de unidades de concentración del contaminante a puntos IMECA se desarrollaron ciertos algoritmos. La Tabla 2.3 muestra las ecuaciones utilizadas para la transformación, así como también se hace notar que los valores que aparecen en el primer intervalo se refieren al límite que señala la Norma Oficial Mexicana (NOM) de cada contaminante (SIMAT, 2005).

Tabla 2.3 Ecuaciones de Transformación de Unidades de Concentración de Contaminante a Puntos IMECA

Contaminante	Intervalo	Ecuación
O ₃	0.00 - 0.11 ppm	$I_{O_3}=909.0909 * C_{O_3}$
	0.11 - 0.60 ppm	$I_{O_3}=816.3265 * C_{O_3} + 10.204$
NO ₂	0.00 - 0.21 ppm	$I_{NO_2}=476.190 * C_{NO_2}$
	0.21 - 2.00 ppm	$I_{NO_2}=223.463 * C_{NO_2} + 53.072$
SO ₂	0.00 - 0.13 ppm	$I_{SO_2}=769.23 * C_{SO_2}$
	0.13 - 1.00 ppm	$I_{SO_2}=459.771 * C_{SO_2} + 40.229$
CO	0.00 - 11.0 ppm	$I_{CO}=9.0909 * C_{CO}$
	11.0 - 50.0 ppm	$I_{CO}=10.25641 * C_{CO} - 12.820$
PST	0 - 260 µg/m ³	$I_{PST}=0.384615 * C_{PST}$
	260 - 1000 µg/m ³	$I_{PST}=0.540540 * C_{PST} - 40.5405$
PM ₁₀	0 - 50 µg/m ³	$I_{PM_{10}}=C_{PM_{10}}$
	51 - 350 µg/m ³	$I_{PM_{10}}= 0.5 * C_{PM_{10}} + 25$
	351 - 420 µg/m ³	$I_{PM_{10}}= 1.4286 * C_{PM_{10}} - 300$
	421 - 500 µg/m ³	$I_{PM_{10}}= 1.25 * C_{PM_{10}} - 225$
	501 - 600 µg/m ³	$I_{PM_{10}}=C_{PM_{10}} - 100$

Fuente: SIMAT, 2005.

De lo anterior podemos ver que es una tarea compleja tratar a cada contaminante por separado, ya que se ha mencionado que existe una interacción entre ellos. Para el AMM se identificó el PM₁₀ como el principal contaminante atmosférico, según estadísticas generadas por el SIMA para el año de estudio 2005. Como se mencionó en el Capítulo 1, este contaminante excedió la norma en 239 días, un valor muy superior a los demás contaminantes monitoreados (CO, SO₂, O₃ y NO₂). Por lo anterior, el alcance de esta investigación estará basado sólo en el PM₁₀ suponiendo que los casos de morbilidad y mortalidad se deberán sólo a este contaminante.

CAPITULO 3. METODOLOGIA PARA EVALUAR IMPACTOS DE LA CONTAMINACIÓN

Para realizar esta investigación, se definieron áreas en que la contaminación del aire podría causar afectación. El cálculo de los beneficios en el área de salud, como daños a ecosistemas y materiales cuentan con sus propias metodologías, aspectos a considerar y grados de incertidumbre. La importancia del diseño de un modelo integrado radica en mostrar que los beneficios de cada área de interés son sólo una parte del total de beneficios que traería una mejora en la calidad del aire.

3.1 Metodología para el Cálculo de Beneficios en Salud

La valoración de los beneficios económicos por el mejoramiento en cuestiones de salud dependen de muchos factores económicos y culturales (Molina, 2002). Se han realizado diversos estudios para analizar los beneficios en salud de la reducción de la contaminación. La estimación de los beneficios en materia de salud es un ejercicio de enorme complejidad por la incertidumbre que hay en cada una de las etapas (Ostro, 1998). Se ha mencionado anteriormente que los beneficios de reducción de contaminación se verán expresados en la salud de las personas, de los ecosistemas y la menor degradación en los materiales, entre otros. Sin embargo al ubicarse el caso de estudio en un área urbana es de esperar que los mayores beneficios correspondan al sector salud.

Realizando una recopilación de las metodologías seguidas en los artículos consultados para esta investigación, la estimación de los impactos en salud asociados a la contaminación del aire se pueden resumir en el desarrollo de los siguientes puntos:

1. Relación cuantitativa entre concentraciones ambientales y la respuesta de salud ó las funciones de dosis-respuesta.
2. Identificación de poblaciones susceptibles y su tamaño.
3. Evaluar el cambio proyectado entre el actual y el “objetivo” en las concentraciones del aire.

3.1.1 Funciones Dosis - Respuesta

Las funciones Dosis-Respuesta, permiten la estimación del cambio en el número de casos de cada padecimiento en salud. Este cambio es el que debería presentarse ante un cambio en las concentraciones ambientales PM_{10} ó cualquier otro contaminante (Ostro, 1998), lo que da por resultado la proporción de sujetos afectados en la población.

Las funciones Dosis-Respuesta se determinan mediante la selección de estudios clínicos o epidemiológicos que provean las mejores estimaciones de un efecto (Cifuentes et al., 1993). Se determina un efecto marginal (o pendiente), el cual proporciona una estimación del cambio en la probabilidad de un efecto específico en la salud asociado al cambio de PM_{10} , manteniéndose otros factores constantes (Ostro, 1998). Son numerosos los factores de exposición y susceptibilidad hacen que diversos estudios muestren diferentes funciones, por lo que estas no deben ser propuestas basándose en un único estudio (Molina, 2003). Estas funciones son un factor clave en el diseño de la metodología para estimar los costos, pues a partir de su selección se puede trabajar en la determinación del costo de cada uno de los efectos (Meneses et al., 2004).

Los estudios clasificados como epidemiológicos típicamente son casos de estudio controlados (Cifuentes et al., 1993). Este tipo de estudios estima una relación estadística entre la frecuencia de un efecto específico observado en salud en una muestra amplia de personas en su ambiente normal y las concentraciones de contaminantes medias en los sitios fijos dentro del área de estudio (Ostro, 1996). Uno de estos estudios para evaluar la asociación entre indicadores de morbilidad y mortalidad y la contaminación atmosférica son los estudios de series de tiempo (Rojas et al., 2004).

Los estudios de series de tiempo correlacionan el cambio en las tasas de mortalidad y morbilidad en un área determinada con las fluctuaciones de los niveles de contaminación del aire diarios (Ostro, 1996, 1998). Los indicadores de morbi-mortalidad que son más utilizados en este tipo de estudios son: a) la mortalidad diaria (total y por causas cardíacas, cardiovasculares, respiratorias y pulmonares), b) admisiones hospitalarias (totales o por

complicaciones de enfermedades respiratorias ó cardiovasculares), episodios de tos en asmáticos, etc. (Rojas et al., 2004).

Otro tipo de estudios son los de Cohorte, en los cuales los investigadores siguen a individuos seleccionados por varios años para evaluar si la exposición a largo plazo está relacionada a las tasas de mortalidad (Molina, 2002). Algunos estudios realizados por expertos permiten establecer que no existe un valor de un umbral de exposición bajo el cual no se presenten impactos a la salud (Rojas et al., 2004; Ostro, 1996). Los estudios de Series de Tiempo se enfocan a evaluar la exposición aguda a las partículas, mientras los estudios de Cohorte consisten en evaluar la exposición crónica a las partículas (Rojas et al., 2004). En teoría se deben usar estudios que cumplan con criterios adecuados de diseño estadístico y metodología. Esto incluye controles adecuados de posibles variables confundentes (temperatura, tiempo de exposición al aire libre, servicios médicos, hábitos alimenticios, fumadores); uso de datos sobre contaminación y salud representativos y de alta calidad. (Ostro, 1998).

En la Figura 3.1 se indican las diferentes posibilidades para cuando la respuesta tiene que ser medida a bajas concentraciones. De los casos que se muestran uno es representado por una relación lineal. Este modelo indica que la respuesta ó el efecto aumentan en la misma medida en que lo haga la dosis. Este caso es el utilizado para estudiar efectos producto de exposición a químicos ó radiaciones (INE, 2005). La relación no lineal ocurre cuando los efectos podrían ser mayores a niveles de concentración menores. Otro caso se presenta en la función lineal con “umbral” donde se supone que ocurre cuando un organismo tiene un mecanismo de recuperación natural que puede prevenir un daño a un cierto límite. Otra función se puede dar con efecto “fertilizador”, como por ejemplo en las funciones para calcular el impacto de NO_x y SO_2 en los cultivos, un nivel bajo de estos contaminantes puede incrementar sus rendimientos. En este caso se puede decir que hay un efecto positivo más que negativo. Este efecto generalmente se da con contaminantes que proveen trazas de elementos necesarios por un organismo (Rabl, 2005).

De acuerdo a los estudios epidemiológicos realizados, las funciones dosis - respuesta para la salud humana se consideran lineales, con la concentración como parámetro independiente, sin umbral. Esto supone que no existe ningún valor límite de concentración por debajo del cual el impacto en la salud a nivel de la población desaparece (Turtós, 2004; Ostro, 1996).

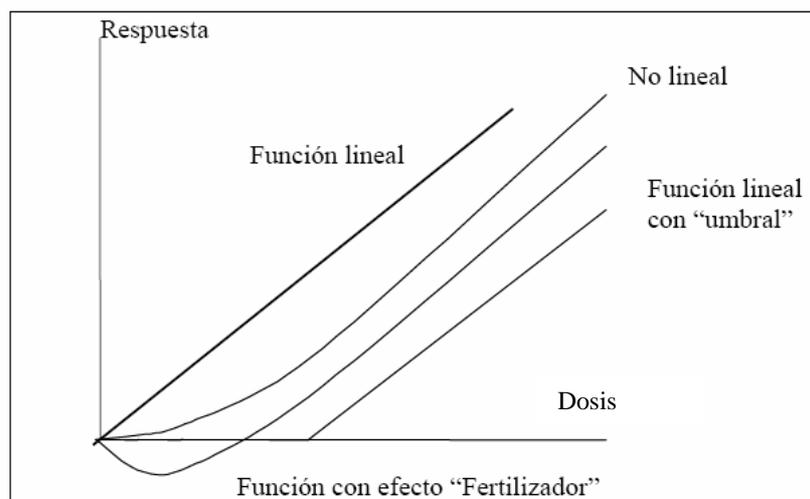


Figura 3.1 Funciones Dosis – Respuesta.

El impacto estimado en el efecto en salud que se desea analizar se encuentra dado por la Ecuación 3.1 (Cesar et al., 2002):

$$I = \Delta Y_{D-R} * Y_b * \Delta C_{Pob}P * P_{ob} \quad \text{Ec. 3.1}$$

donde:

- I = Impacto
- ΔY_{D-R} = Coeficiente de la función D-R
- Y_b = Tasa basal de impacto en salud
- $\Delta C_{Pob}P$ = Cambio poblacional ponderado en la exposición
- P_{ob} = Población en riesgo de ser afectada

La Ecuación 3.1 estima las reducciones tanto en casos de morbilidad como en mortalidad siendo el resultado de una disminución en la concentración del contaminante en el ambiente

(Molina, 2002), lo anterior representado por la variable I (Impacto). El coeficiente de la función dosis-respuesta (ΔY_{D-R}), se basa en estudios internacionales y variando de acuerdo a los diferentes casos ya sea de mortalidad ó morbilidad. La tasa basal Y_b está basada en estadísticas de la AMM. La variable $\Delta C_{Pob}P$ corresponde a la concentración de PM_{10} por persona y finalmente se toma en cuenta la Población afectada representada por la variable Pob.

Se han desarrollado varios estudios para diferentes contaminantes y sus efectos en Estados Unidos y Europa (Molina, 2002; Ostro, 1996 y 1998; Cesar et al., 2002; Ostro y Chesnut, 1997; ExternE, 1995; Apheis, 1999). Para el caso del AMM se realizó un estudio con el objetivo de crear un precedente entre la exposición de partículas y la salud llamado “Evaluación de la exposición a partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el Área Metropolitana de Monterrey en el año 2005”. En este estudio se obtuvo un p-valor que indicaba una relación positiva entre la presencia de material particulado y afectación en la salud (Rojas, 2006). El estudio presenta sus propios grados de incertidumbre, específicamente en la selección del tamaño de muestra. Debido a que la información para el AMM en cuestión de exposición - respuesta es todavía limitada, los datos utilizados son una combinación entre la literatura internacional y las fuentes disponibles en México y específicamente en el AMM como el Sector Salud y el INEGI.

3.1.2 Poblaciones Susceptibles

Los planificadores de estrategias para el control de la calidad del aire tienen que llevar a cabo la identificación de los grupos poblacionales que son más sensibles ó vulnerables a la exposición de los contaminantes atmosféricos (Rojas et al., 2004). En algunos padecimientos se puede definir a la población en su totalidad como la población expuesta. Sin embargo, para otros efectos pueden existir subgrupos especialmente sensibles, tales como niños, personas asmáticas ó ancianos. En esta sección se hace uso de los datos locales para tener un mejor aproximado de los grupos afectados.

3.1.3 Cambio Projectado entre el Actual y el “Objetivo” en la Concentración del Aire

En este punto se debe representar la concentración actual y, a la vez, una concentración “meta” apropiada, tal sería el caso de la Norma Oficial Mexicana. Para la obtención de la concentración actual, se tomaron en cuenta las 5 estaciones de monitoreo del AMM. Se creó una malla en la cual los 5 datos de las estaciones de monitoreo fueron interpolados, dando como resultado una serie de concentraciones estimadas para el AMM. A estas concentraciones se les superpuso una malla de densidad poblacional, de esta manera se obtuvo para un determinado lugar la concentración a la cual está expuesta un cierto sector de la población. Finalmente, haciendo uso de todos los cálculos anteriores se logró obtener un promedio ponderado producto de la concentración anual promedio de las 5 estaciones de monitoreo fijas.

3.2 Metodología para la Estimación de Costos.

La presencia de un efecto negativo sobre la salud humana genera, necesariamente, un impacto económico en la sociedad. Dentro de los impactos que pueden contabilizarse desde un punto de vista económico se encuentran la pérdida de productividad e ingresos personales, incrementos en costos de atención médica y en los gastos de pacientes y familiares que con frecuencia deben asumir el pago de medicamentos, consultas, transporte, y alimentación, entre otros (Meneses et al., 2004). Además de que existen otros tipos de costos que reflejan la disponibilidad al pago de las personas por evitar la muerte prematura ó alguna afectación ocasionada por la contaminación.

De lo anterior, se puede definir que existen los costos directos, los costos indirectos y los intangibles. Los costos directos son los recursos gastados en actividades de atención médica, como lo son: el costo de una consulta. Los costos indirectos son aquellos que han sido consecuencia de un trastorno en la salud y están relacionados con la pérdida de productividad debido a la incapacidad laboral y a la mortalidad prematura. Finalmente, los costos intangibles son aquellos costos que involucran el dolor, sufrimiento, ansiedad, entre otros (OPS, 2002).

Las metodologías simplificadas proponen que cuando no se dispongan de valores de costos propios para los efectos seleccionados, se transfieran de estudios realizados en otros países (Meneses et al., 2004). Este es el caso de los costos intangibles donde en el AMM no se han realizado estudios que se pudieran tomar como referencia. Para realizar la valoración de los beneficios económicos que conlleva evitar enfermedades, disminuir pérdida de productividad y disminuir los casos de muerte prematura se exponen los siguientes métodos agrupados en episodios de morbilidad y mortalidad. Los resultados obtenidos pueden variar de acuerdo a la metodología ó metodologías utilizadas para la realización de la valoración.

3.2.1 Costos de Morbilidad

Para llevar a cabo la valoración económica de un episodio de morbilidad, se recurre a mecanismos de evaluación como el Costo de Enfermedad (CDE) y la Disponibilidad al Pago (DAP) de las personas por algo que mejora su bienestar individual (Meneses et al., 2004; ExternE, 2003; Banco Mundial, 2003).

Costos de Enfermedad (CDE)

El Costo de Enfermedad considera los siguientes puntos:

A) Valor de los gastos médicos por tratar la enfermedad (Costos Médicos).

Las consideraciones tomadas en este punto involucran gastos por medicamentos, consultas con especialistas, hospitalización y análisis de laboratorios (Meneses et al., 2004). A este cálculo se le conoce también como Costo Directo de Enfermedad (Banco Mundial, 2003). En este estudio se incluyeron costos tanto de instituciones públicas como privadas en cuanto a análisis de laboratorios y otros estudios. En el caso de los medicamentos también se consultaron diversas farmacias para poder tener un mejor estimado de la zona.

B) Valor del tiempo de trabajo perdido (Pérdida de productividad).

Este cálculo se basa en el tiempo que una persona pierde al ausentarse de su trabajo por cuestiones de salud con la consecuente pérdida de productividad (PP). Para realizar esta valoración se requieren los datos del salario del trabajador, así como los días perdidos. A este cálculo se le conoce también como Costo Indirecto de Enfermedad (Banco Mundial, 2003).

Disponibilidad al Pago (DAP)

Método de Valoración Contingente (MVC).

Este método representa una herramienta que se basa en un sistema de encuestas en las cuales se les pregunta a las personas que establezcan sus preferencias en un mercado hipotético ó contingente (Kuchler et al., 1999). Se determinó usar valores obtenidos por la aplicación de encuestas, ya que el valor obtenido involucra directamente las preferencias por evitar dolor y sufrimiento de algún padecimiento ocasionado por la contaminación del aire, pudiéndose obtener un valor más completo.

En lo que respecta a la valoración de morbilidad, el mecanismo de valoración “Costo de Enfermedad” basa sus cálculos en precios que actualmente forman parte del mercado, como sería el costo de una consulta, el costo de medicamentos, así como también el salario actual de un trabajador. Sin embargo, estos costos no toman en cuenta el sufrimiento y dolor del paciente, por lo que se podría decir que se está hablando de costos subestimados y es por esto que a los Costos de Enfermedad se les toma como el límite inferior. Cuando a estos cálculos se les agrega el DAP se presenta una estimación más real pues se está dando un valor a los efectos intangibles.

3.2.2 Costos de Mortalidad

El valor de reducir las muertes prematuras, también puede ser calculado por la Disponibilidad a Pagar (DAP), mediante el MVC. Esta disponibilidad al pago estima la

pérdida de satisfacción (consumo, ocio, tiempo, interacción con los amigos y la familia) cuando la vida se reduce (Cesar et al., 2002). Finalmente, cuando se tiene el valor de DAP se puede utilizar la técnica del Valor Estadístico de la Vida (VSL, por sus siglas en inglés). Esta última se refiere a la cantidad de dinero que en promedio los habitantes de una determinada localidad estarían dispuestos a pagar para salvar una vida estadística en el próximo año (Ibarrarán y Hammitt, 2002). Dividiendo la disposición a pagar total entre el número de vidas salvadas nos permite obtener el valor estadístico de la vida.

En México no existen estudios que se hayan realizado utilizando la valoración de la DAP para reducir el riesgo de muerte y evitar enfermedades (Cesar et al., 2002). Para poder utilizar la DAP en México mediante el valor estadístico de la vida obtenido de estudios en el extranjero, se aplicó la Ecuación 3.2 para realizar el ajuste necesario en el VSL (Molina, 2002):

$$VSL_{Mx} = VSL_A [GNI_{Mx} / GNI_A]^\epsilon \quad \text{Ec. 3.2}$$

Donde:

VSL_{Mx} = Valor estadístico de la vida en México

VSL_A = Valor estadístico de la vida en el país A.

GNI_{Mx} = Ingreso Neto Bruto per cápita en México

GNI_A = Ingreso Neto Bruto per cápita del país A.

ϵ = Elasticidad del Ingreso del Valor estadístico de la vida.

La teoría económica estándar implica que la disponibilidad a pagar para reducir el riesgo de mortalidad (VSL) incrementa con el ingreso (Molina, 2002). De manera que el ajuste se basa en el GNI (Gross National Income) per cápita a manera de representar el ingreso promedio de los ciudadanos de un país. Así como también, la elasticidad del ingreso está definida como el cambio proporcional en el Valor Estadístico de Vida asociado a un cambio proporcional en el ingreso. Las estimaciones de la elasticidad del ingreso son limitadas por lo que este dato tuvo que adaptarse de estudios en el extranjero.

3.3 Calidad de Datos

Para el cálculo de los beneficios económicos se trabajó con los datos más actualizados que fuera posible obtener al momento de realizar esta investigación. En el cálculo de la concentración actual de PM_{10} para ser tomada como línea base se utilizaron datos de población obtenidos del INEGI por AGEB para el año 2000. Aunque la Figura 1.2 presenta una proyección realizada por la CONAPO hasta el año 2030, los datos no pudieron ser actualizados ya que no fueron publicados a nivel de AGEBS. También se utilizaron datos de las concentraciones promedio de las estaciones de monitoreo tomadas para el año 2005. Para la obtención de los datos en salud, las estadísticas proporcionadas por la fuente local estuvieron basadas en el año 2004. Se esperaba que en futuros trabajos de investigación se considerara la obtención de datos bajo un mismo período de tiempo que permitiera generar resultados para un año en específico. Sin embargo, puede llegar a ser una limitante la periodicidad con la que INEGI actualiza sus bases de población a nivel de AGEBS, necesarias para el cálculo de la concentración promedio ponderada.

3.4 Escenarios Económicos

La recopilación de las funciones dosis-respuesta, y el cálculo de la concentración promedio anual a la que está expuesta la población permitió establecer diferentes escenarios para la presentación de los casos evitados. Las funciones dosis-respuesta se encontraron en la mayoría de los estudios consultados en rangos de valores, tomando en cuenta un nivel bajo, medio y alto. En cuanto al cambio proyectado se establecieron diferentes escenarios de reducción tomando en cuenta un 10%, 20%, 30% y el cuarto escenario representa llegar a cumplir con la norma anual.

En cuanto a la valoración económica los resultados obtenidos por ciertos métodos son tomados como límite inferior por los factores que toman en cuenta, mientras que otros engloban un costo que podría ser considerado como el límite superior. La elección de los métodos de valoración nos permite establecer los siguientes escenarios económicos, los cuales son analizados en esta investigación mediante las Ecuaciones 3.3 y 3.4:

Escenario 1.

$$\text{Límite Inferior} = \text{Morbilidad (CDE + PP)} + \text{Mortalidad (VSL)} \quad \text{Ec. 3.3}$$

Escenario 2.

$$\text{Límite Superior} = \text{Morbilidad (CDE + PP + DAP)} + \text{Mortalidad (VSL)} \quad \text{Ec. 3.4}$$

La Ecuación 3.3 se expresa como el límite inferior ya que los mecanismos de evaluación no tienen en cuenta el valor del bienestar ó utilidad perdidos por dolor y sufrimientos (Meneses et al., 2004). La Morbilidad incluye el Costo de Enfermedad más la pérdida de productividad, sin incluir la afectación emocional sufrida por el paciente y los familiares. En el caso de la mortalidad se incluye el valor estadístico de la vida. En la Ecuación 3.4, el caso de Morbilidad toma en cuenta los costos de mercado pero también la disponibilidad a pagar (DAP) de los pacientes por no padecer la enfermedad. En la mortalidad se respeto el mismo método anterior, es decir, la disponibilidad al pago (DAP).

CAPITULO 4. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LOS IMPACTOS EN SALUD

Los beneficios en salud dependen de la disminución de los efectos adversos que los contaminantes producen en las personas, de la magnitud del cambio en el efecto en salud producto de un cambio en contaminación, del tamaño de la población expuesta a las concentraciones de contaminantes y de la valoración monetaria de los efectos físicos (Ostro, 1998). La medición de los daños a la salud humana ante la contaminación ambiental se ha convertido en una tarea crítica para los economistas ambientales (Field, 1999). La aplicación de la metodología para el caso específico del AMM involucró la recopilación de información de la zona respecto a datos de contaminación del aire por PM_{10} , mortalidad y morbilidad, así como también de estudios internacionales.

4.1 Concentración Promedio Ponderada

De acuerdo a la Ecuación 3.1 propuesta en la metodología para el cálculo de los efectos en salud, uno de los factores sobre los cuales se tiene que tener información es acerca del nivel de contaminación a la que se encuentra expuesta la población. El cálculo de este valor se vuelve fundamental al evaluar los distintos escenarios incluidos en este trabajo de investigación, ya que estarán basados en porcentajes de cambio del nivel de exposición de la población.

Para la determinación del nivel de contaminación del AMM, se tomó como base los datos registrados por el SIMA para el año 2005. Las 5 estaciones de monitoreo registraron los siguientes valores promedio para el año: la estación Sureste (La Pastora) registró $56.08 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, la estación Noreste (San Nicolás) registró $83.83 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, la estación Centro (Obispado) registró $84.28 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, la estación Noroeste (San Bernabé) registró $94.79 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, y la estación Suroeste (Santa Catarina) registró $117.15 \mu\text{gr}/\text{m}^3$.

La Tabla 4.1 muestra las concentraciones en cada una de las 5 estaciones de monitoreo promedio, así como los máximos y mínimos que se registraron en el año 2005.

Tabla 4.1 Concentración de PM₁₀ en el año 2005 por estación de monitoreo.

	SE	NE	CE	NO	SO
Bajo	44.32	69.47	69.26	76.26	98.55
Promedio	56.08	83.83	84.28	94.79	117.15
Alto	74.12	110.91	105.5	107.7	158.33

Fuente: SIMA, 2005.

Los datos de la Tabla 4.1 se utilizaron para generar un mapa promedio de concentración de PM₁₀ en el AMM. De esta forma se calculó la concentración promedio ponderada para determinar el nivel a la que se encuentra expuesto cada habitante del AMM. Se creó una malla de 1 x 1 km para llevar a cabo la interpolación ó extrapolación de los datos, según el caso. Para este procedimiento se usaron las opciones ofrecidas por el programa de interpolación en ArcView mediante trazadores y el método de interpolación ponderada por el inverso de la distancia (Splines y IDW por sus siglas en inglés). Se decidió utilizar la última opción después de realizar diversas pruebas y evaluar los resultados.

Es importante mencionar que al contar con sólo 5 datos para realizar la interpolación se incluyeron también concentraciones de fondo (background concentrations) para generar el mapa de concentraciones de PM₁₀. En México no se reporta un valor para las concentraciones de fondo, por lo que éstas fueron obtenidas de estudios internacionales. Los valores encontrados estuvieron dentro de los límites de 8 µgr/m³ (APCD, 2000) y 25 µgr/m³ (EPA, 2001). El modelo se corrió 3 veces y la concentración promedio ponderada fue el resultado de estas tres interpolaciones.

En la Figura 4.1 se muestran los municipios pertenecientes al AMM, con la correspondiente mancha urbana, así como también se señalan las 5 estaciones de monitoreo y las concentraciones de fondo alineadas en los extremos, abarcando sólo la mancha urbana. Lo anterior se señala mediante un recuadro que es finalmente el área que abarcó la malla para la interpolación/extrapolación de los datos. En la Figura 4.2 se presenta la interpolación y extrapolación de los datos de las estaciones de monitoreo, así como la mancha urbana. Se puede ver como la población del municipio de Santa Catarina es la más afectada pues en el año 2005 estuvo expuesta a concentraciones ubicadas en un rango de 90 a 117 µgr/m³.

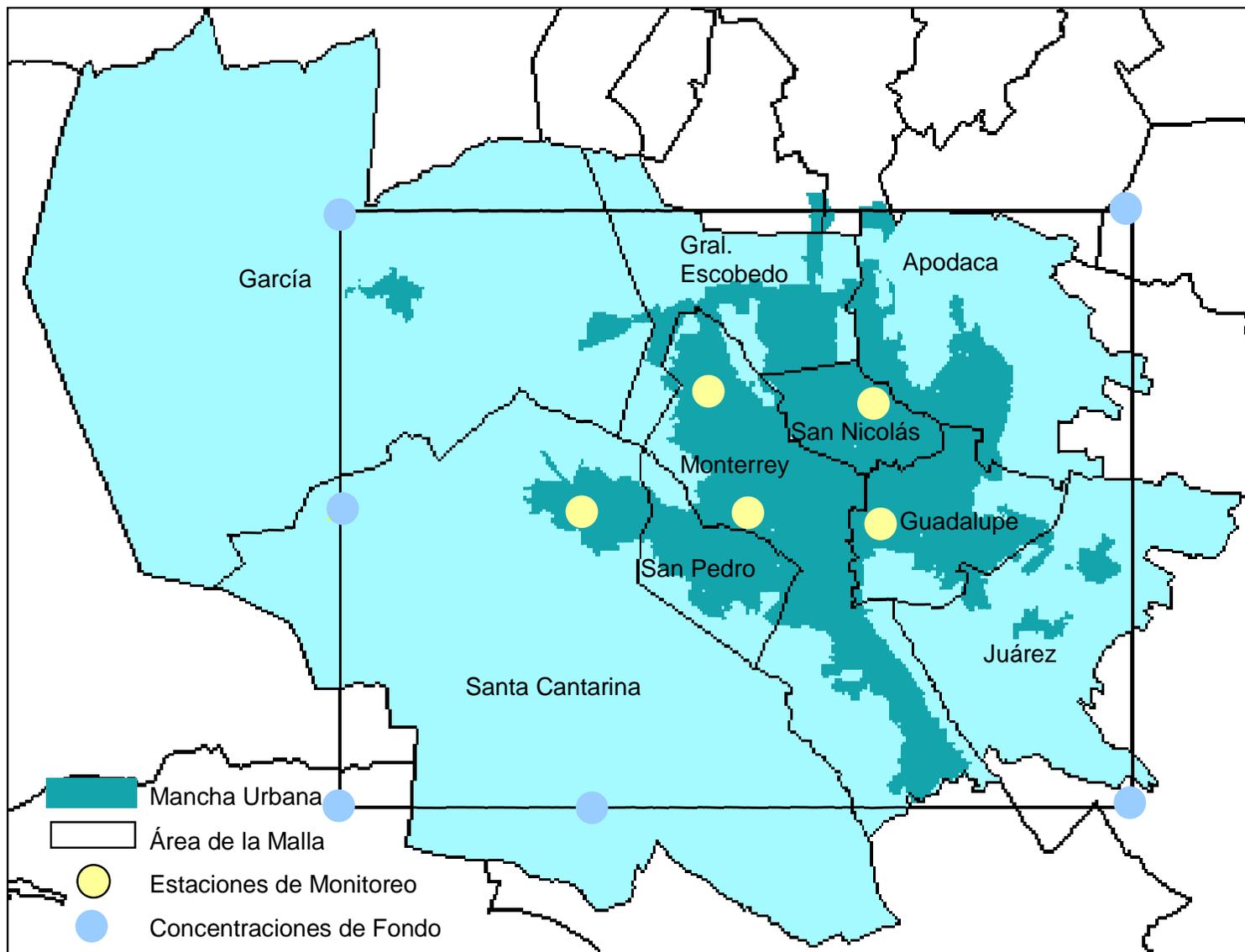


Figura 4.1 Estaciones de Monitoreo y Sitios Supuestos con Concentración de Fondo.

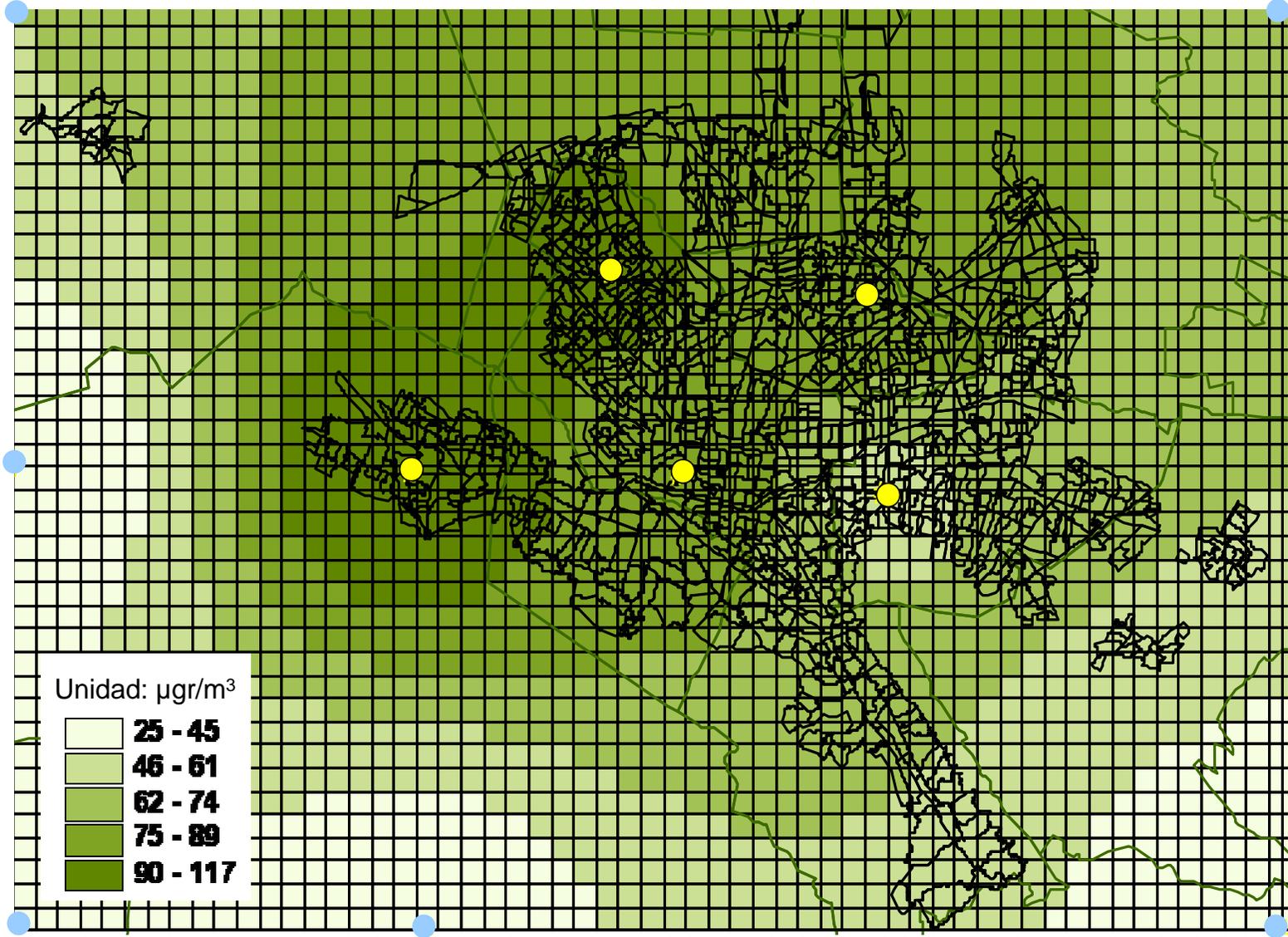


Figura 4.2 Concentraciones Promedio de PM_{10} en el AMM en el año 2005.

No obstante la norma oficial mexicana señala una concentración máxima de $50 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ promedio anual. Si comparamos estos valores con los de otras ciudades como Singapur que mantuvo un máximo de $32 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, Escocia que mantuvo un valor de $30 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ ó París que tuvo un promedio de $40 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, para el mismo período (UK NAQA, 2005; Statistics Singapore, 2005). Se puede sugerir que la población, en especial, de Santa Catarina está expuesta a altos niveles de contaminación que pudieran en un futuro causarles algún daño a su salud. Del análisis anterior se obtuvo que la concentración promedio ponderada para el AMM en el 2005 fue de $79.81 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, este resultado fue tomado como la línea base de este estudio. Ésta concentración ponderada resulto menor que si sólo se hubiera tomado el promedio aritmético de las 5 estaciones fijas de monitoreo ($87.23 \mu\text{gr}/\text{m}^3$). A partir de este valor se propuso evaluar los beneficios de cuatro escenarios de reducir la contaminación en un 10%, 20%, 30%, además de un último escenario permitiría llegar al valor de la norma ($50 \mu\text{gr}/\text{m}^3$).

En los cuatro escenarios se considera que la población no se mueve durante el día entre el lugar que residen y su lugar de trabajo ó estudio y está sujeta a la contaminación de su zona de residencia (Ostro, 1998). Este procedimiento de interpolación espacial ha sido utilizado en diferentes estudios (Molina, 2002; Ostro, 1998; Cesar et al., 2000) para la obtención de concentración promedio ponderada utilizada como línea base. En el año 2000, se desarrolló un trabajo de tesis titulado “Análisis de Riesgo por Contaminación Atmosférica en el AMM”, donde fue evaluado el riesgo social para los grupos poblacionales del AMM (Zavala, 2000). Dentro de este análisis se estudio la movilidad de la población en la zona y se concluyó que no existía una variación significativa en la estimación del riesgo por exposición a partículas al considerar la movilidad de la población.

En la Tabla 4.2 se plantean los diferentes escenarios para la valoración económica de esta investigación. Bajar el nivel de contaminación en 10% representa una reducción de $8 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, en 20% la reducción es de $16 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, en 30% la reducción es $24 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, y finalmente el último escenario sería el extremo al cumplir con la norma anual de $50 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, que significaría una reducción de $30 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, respecto al valor promedio ponderado de $79.8 \mu\text{gr}/\text{m}^3$.

Tabla 4.2 Escenarios de reducción de contaminación para el AMM en $\mu\text{gr}/\text{m}^3$.

Escenario	Concentración PM ₁₀
Base	79.8
10%	8
20%	16
30%	24
Norma	30

4.2 Funciones Dosis-Respuesta

Para usar la ecuación del modelo propuesto en la metodología (Ec. 3.1) fue necesaria la utilización de las funciones Dosis-Respuesta. En la literatura existen varios estudios epidemiológicos que han establecido una relación entre distintos contaminantes y daños a la salud. En México los estudios para calcular las funciones dosis-respuesta son limitados, por lo que estas funciones tuvieron que ser tomadas de estudios realizados en el extranjero que a su vez hicieron un meta-análisis de las funciones ya existentes. Para esta investigación se realizó una búsqueda de estudios que aplicaran una metodología similar a esta investigación (Ostro, 1996 y 1998; Molina, 2002; Cesar et al., 2002; Ostro y Chesnut, 1997; ExternE, 1995) además de que se estuviera analizando el mismo contaminante, es decir que las funciones dosis respuesta fueron traducidas a niveles de PM₁₀ en el caso de que el estudio estuviera analizando otro contaminante.

Los diferentes estudios mencionados en el párrafo anterior establecieron sus propios criterios para la elección de las funciones dosis respuesta. Estos criterios estuvieron basados, entre otros, en que los estudios deberían contar con una metodología adecuada (monitoreo continuo), debían minimizar los efectos de las variables confundentes (temperatura, tiempo de exposición al aire libre, servicios médicos, hábitos alimenticios, fumadores). Así mismo deberían de considerar, directamente al contaminante PM₁₀, de no ser así proveer alguna equivalencia mediante la cual se pudiera realizar la conversión del contaminante analizado a PM₁₀, además de que dieron preferencia a estudios que se basaran en grupos representativos de la población para proveer un resultado más certero.

Por el hecho de que las funciones fueron obtenidas de estudios realizados en el extranjero se debe tener en cuenta que se utilizan las funciones D-R bajo algunas suposiciones. Éstas son descritas en el estudio realizado por Ostro en 1998 para la Ciudad de Santiago de Chile, haciendo notar que tienen que ser tomadas en cuenta a la hora de concluir sobre el resultado. En primer lugar se aclara que al usar las funciones dosis-respuesta se está asumiendo que las condiciones base en la zona del estudio, como lo serían el estado general de salud de la población, acceso a la salud, hábitos alimenticios de la población, el tiempo que pasa al aire libre, y la composición química de los contaminantes son similares a los existentes en los lugares donde se realizaron los estudios. En segundo lugar la función se puede aplicar en forma lineal a cualquier nivel de concentración que se esté evaluando. Además como se mencionó anteriormente en este trabajo, no existe un valor de umbral, es decir, a cualquier nivel de PM_{10} puede presentarse un efecto adverso a la salud.

La valoración económica que se realizó en esta investigación está sujeta a las suposiciones anteriormente mencionadas. Por lo anterior se optó por presentar los resultados en un rango de valores creando tres estimaciones: mínimo, central y máximo.

4.3 Efectos en la Salud de la Población

Los beneficios económicos se estiman a partir de los efectos que un cambio (reducción) en las concentraciones de contaminantes tienen sobre la salud de las personas. Específicamente, en esta sección se obtendrán los casos evitados en mortalidad y morbilidad que se presentarían ante los distintos escenarios de reducción de contaminante PM_{10} .

4.3.1 Índices de Mortalidad

En diversos estudios (Molina, 2002; Cesar et al., 2002; Ostro y Chesnut, 1997; ExternE, 1995) se han identificado causas de mortalidad relacionadas con la contaminación del aire. Asimismo, varios estudios han evaluado la relación entre el nivel de contaminación y la mortalidad aguda y crónica (Cesar et al., 2002; ExternE, 1995). Para esta investigación se

decidió tomar los estudios de mortalidad crónica como el límite superior y la mortalidad aguda como el límite inferior. En el caso de la mortalidad aguda se tomaron datos de los estudios realizados por Ostro, 1996; Molina, 2002; Yang et al., 2004. Las funciones dosis-respuesta presentadas en estos estudios, estuvieron a su vez basadas en otras investigaciones. Dentro de estos estudios se encuentra el realizado para México (Borja-Aburto, 1997 y 1998; Castillejos, 2000) donde los resultados obtenidos se encontraron dentro del rango de las investigaciones internacionales. Otro estudio fue el realizado por Schwartz (1993) donde se consideraba una asociación entre la mortalidad diaria durante 1985-1988 por PM_{10} en Birmingham, Alabama. El estudio de Pope et al., 1992 fue realizado para la ciudad de Utah durante los años de 1985 a 1989. En este estudio se hizo una regresión con los datos de mortalidad diaria controlando la variabilidad del clima.

En el caso de la mortalidad crónica dentro de los estudios tomados en cuenta están el de Dockery et al., 1993. Éste se realizó con una población de 8,000 adultos blancos en seis ciudades en el este de EE.UU. durante aproximadamente 15 a 17 años y el de Pope et al., 1995, realizado por la American Cancer Society abarcando 151 áreas metropolitanas en 50 estados de EE.UU. Este estudio es citado en varias investigaciones y consistió en una población en su mayoría blanca mayor a 30 años de edad (Molina, 2002; Ostro, 1996).

Al contar con las funciones dosis-respuesta, la metodología propuesta exige el cálculo de la tasa basal de mortalidad. La información fue obtenida del Sector Salud para los 9 municipios que conforman el AMM (Ver Figura 1.1). Estos datos abarcan tanto al sector público y privado, algunos de los hospitales incluidos son: Hospital Militar, Hospital Universitario, IMSS, ISSSTE, San José, Christus Muguerza, Santa Engracia, Clínica Nova, Clínica Oca, Clínica Vidriera AC y Clínica Cuauhtémoc y Famosa.

El estudio publicado por Molina en el 2002, presenta una tasa de mortalidad elaborada para México, D.F., con datos de 1998. Para esta investigación se crearon dos tablas. La Tabla 4.3 muestra un comparativo entre la tasa de mortalidad del D.F, el AMM y en especial con el municipio de Monterrey. Esta tabla se obtuvo con datos de 1998 por medio del Sector Salud. Dentro del desglose de las causas de muerte y por medio de asesoría con

especialistas se pudieron identificar las enfermedades del corazón, influenza y neumonía, enfermedades pulmonares obstructivas y bronquitis crónica, como las que pudieran tener una relación con la contaminación atmosférica.

Tabla 4.3 Comparativo Tasa de Mortalidad: D.F y AMM.

	DF	Monterrey	AMM
Tasa Cruda de Mortalidad	5.4/1000	5.38/1000	3.93/1000
Por causa			
Enfermedades del corazón	1.0/1000 18%	1.09/1000 20%	0.77/1000 20%
Influenza y Neumonía	0.3/1000 4.8%	0.13/1000 2.4%	0.1/1000 2.5%
Enfermedades pulmonares Obstructivas Crónicas	0.1/1000 2%	0.16/1000 3%	0.12/1000 3%
Bronquitis Crónica/Efisema	0.1/1000	0.04/1000	0.02/1000
Asma	1.6%	0.83%	0.6%

Fuente: SSA, 1998.

Se puede ver como la tasa cruda de mortalidad en el DF es muy similar a la del municipio de Monterrey. Éste municipio tiene gran importancia dentro del AMM, pues concentra la mayor cantidad de habitantes. La tasa cruda de mortalidad para el AMM fue de 3.93 muertes por cada 1,000 habitantes, representando las enfermedades del corazón el 20% del total.

En la Tabla 4.4 se muestran los datos para el año 2004. El AMM tiene una tasa cruda de mortalidad de 4.25 muertes por cada 1,000 habitantes. Este valor es menor al obtenido por sí solo para el municipio de Monterrey que tiene una tasa cruda de mortalidad de 5.3 muertes por cada 1,000 habitantes.

De las causas de mortalidad se puede apreciar que las enfermedades del corazón son las que ocupan el primer lugar abarcando el 21% del total del total de muertes. De los otros padecimientos tomados en cuenta, las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas tuvieron una tasa de 0.12 muertes por cada 1,000 habitantes, influenza y neumonía tuvo para el AMM una tasa de 0.1 muertes y finalmente la bronquitis crónica tiene una tasa de 0.02 muertes por cada 1,000 habitantes.

Tabla 4.4 Tasa de Mortalidad por Causa en el AMM.

	Monterrey	AMM
Tasa Cruda de Mortalidad	5.30/1000	4.25/1000
Por causa		
Enfermedades del corazón	1.16/1000 22%	0.90/1000 21%
Influenza y Neumonía	0.1/1000 2.7%	0.1/1000 2.4%
Enfermedades pulmonares Obstructivas Crónicas	0.14/1000 2.6%	0.12/1000 2.9%
Bronquitis Crónica/Emfisema Asma	0.03/1000 0.06%	0.02/1000 0.4%

Fuente: SSA, 2004.

Como parte integral de la información de mortalidad además de las causas, se obtuvieron los datos por grupo de edad para identificar dentro de que rango ocurrió el mayor número de muertes en el AMM para el año 2004. En el año 2004 se registraron 14,500 muertes dentro del AMM representando el 0.5% de la población total estimada para este año. En la Tabla 4.5 se presentan los datos especificando el grupo de edad y su nombre como son identificados en el Sector Salud. Del total muertes en el año, el 56% correspondió a población mayor a 64 años, seguido de la edad productiva que representó el 37% lo que equivale a 5,344 muertes.

Tabla 4.5 Mortalidad por Grupo de Edad

Grupo	Edad	TOTAL	%
Infantil	Menos a 1	757	5%
Preescolar	1-4	114	0.8%
Escolar	5-14	152	1.0%
Productiva	15-64	5,344	37%
Posproductiva	Mayor a 64	8,065	56%
NE		68	0.5%
Total Muertes		14,500	100%

Fuente: SSA, 2004.

4.3.2 Índices de Morbilidad

La morbilidad se refiere a la incidencia de las enfermedades, de tal manera que se pueden expresar en diversas formas (Field, 1999). Las tasas de morbilidad tomadas en cuenta para

esta investigación estuvieron basadas en la disponibilidad de la información de casos en el AMM, así como también en el cálculo previo de las funciones dosis-respuesta que pudieran corresponderle. Los padecimientos que fueron elegidos para este caso fueron Asma y Ataques Asmáticos, Síntomas Respiratorios y Bronquitis Crónica.

Para morbilidad se consideraron los siguientes estudios para la obtención de las funciones dosis-respuesta. En el caso del Asma, Ostro et al., 1991 consideró los efectos de las concentraciones diarias de partículas incluyendo sulfatos, nitratos y $PM_{2.5}$ en adultos asmáticos en Denver. En este estudio se consideraron 207 sujetos donde predominantemente eran mujeres blancas, empleadas y con un nivel educativo similar. Los datos fueron registrados durante el invierno de 1987 a 1988 (ExternE, 1995). En el caso de los síntomas respiratorios, se consideró el estudio realizado por Krupnick et al. (1990), citado por los estudios consultados para determinar los efectos del material particulado en síntomas agudos (Ostro, 1996). Este estudio toma como base a 290 familias (572 adultos, 756 niños) en California durante Septiembre de 1978 y Marzo de 1979). El 70% de los adultos se encontraba dentro del rango de 30 a 45 años. Los contaminantes considerados fueron el ozono (max. diario 1-hr), coeficiente de riesgo para partículas (promedio diario), dióxido de azufre (promedio diario) y dióxido de nitrógeno (promedio de un período pico) (ExternE, 1995). Para el caso de la bronquitis crónica las funciones dosis respuesta estuvieron basadas en el estudio de Schwartz, 1993. Este estudio fue una comparación entre la prevalencia de bronquitis crónica y los niveles anuales de partículas suspendidas totales (TSP) en 53 áreas urbanas de EE.UU.

Al igual que en el área de mortalidad, se consultó el Sector Salud para obtener las tasas base de morbilidad para los distintos padecimientos pero ahora consultando el Área de Vigilancia Epidemiológica. Es importante mencionar que en el caso de la Bronquitis Crónica se contaba con la función dosis-respuesta, pero no fue posible conseguir información de la Secretaría de Salud al respecto de este padecimiento. Para ser incluida en el presente estudio, la tasa basal fue estimada a partir de los datos proporcionados por el estudio de Molina, 2002 y Ostro, 1996 y 1998. En estos estudios se establece que la tasa basal para la bronquitis crónica en México, DF es de 14% para la zona metropolitana del Valle de México (ZMVM), mientras que en EE.UU. es del 5% (Molina, 2002) y para el

Proyecto ExternE se calculó una tasa del 6%. En la Tabla 4.6 se muestran los coeficientes que fueron utilizados para la valoración económica resultado del promedio de los estudios anteriormente mencionados.

Tabla 4.6 Coeficientes Dosis-Respuesta para Estimar los Efectos por cambio de $1 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ en el promedio anual de PM_{10} .

	Coeficiente Estimado		
	Mínimo	Central	Máximo
Mortalidad (% de incremento por $1 \mu\text{gr}/\text{m}^3$)	0.122	0.185	0.331
Morbilidad			
Ataques de Asma (casos por $1 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ por asmático)	0.033	0.059	0.197
Síntomas Respiratorios (casos por $1 \mu\text{gr}/\text{m}^3$)	0.091	0.180	0.273
Bronquitis Crónica (% de incremento por $1 \mu\text{gr}/\text{m}^3$)	0.805	1.230	1.655

En la Tabla 4.7 se plantean los casos evitados de mortalidad y morbilidad bajo los diferentes escenarios de reducción de contaminación. Se tomaron en cuenta los casos evitados en base a un cambio de $1 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ en la concentración anual de PM_{10} .

Tabla 4.7 Casos evitados por un cambio de $1 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ en la concentración anual de PM_{10} .

Mortalidad			
	Mínimo	Central	Máximo
10%	142	312	486
20%	284	624	971
30%	427	937	1,457
Norma Anual	531	1,166	1,815

Morbilidad											
Asma (Miles)				Síntomas Respiratorios (Miles)				Bronquitis Crónica			
	Mínimo	Central	Máximo		Mínimo	Central	Máximo		Mínimo	Central	Máximo
10%	47	83	277	10%	2,570	5,083	7,709	10%	505	772	1,038
20%	93	167	553	20%	5,140	10,166	15,419	20%	1,010	1,543	2,077
30%	140	250	830	30%	7,709	15,249	23,128	30%	1,515	2,315	3,115
Norma Anual	174	311	1,034	Norma Anual	9,600	18,990	28,801	Norma Anual	1,887	2,883	3,879

4.4 Valoración Económica

Ante la obtención de los casos evitados ya sea por mortalidad ó por episodios de morbilidad, se hace riguroso designar un valor económico para cada una de las situaciones anteriores. Los episodios presentados, ya sea muerte prematura, ataques de asma, bronquitis ó episodios de síntomas respiratorios son traducidos a la unidad monetaria que tendrá por resultado el costo social en materia de salud de la contaminación ambiental.

4.4.1 Mortalidad

De acuerdo a la metodología explicada anteriormente, el costo de una muerte prematura fue obtenido a través del valor estadístico de la vida. Como se ha mencionado la mejor manera de valorar la mortalidad prematura es por medio de la DAP de un individuo por evitarla, a través del MVC, ya que refleja el valor del consumo, el ocio y la pérdida del contacto con seres queridos (Cesar et al., 2002). Existen ciertas incertidumbres en este procedimiento ya que el conocimiento de cómo difiere la relación entre el valor de la salud y los factores económicos y culturales entre los países es limitado (Molina, 2002).

Para aplicar la Ecuación 3.2 fue necesario basarse en valores obtenidos del estudio “The Benefits and Costs of the Clean Air Act, 1990 to 2010” (EPA, 1997). El Apéndice H, titulado “Valuation of Human Health and Welfare Effects of Criteria Pollutants”, muestra mediante el análisis de 26 estudios que el valor estadístico de la vida es de 4.8 millones de dólares en promedio. Este será el dato necesario para la obtención del valor para México.

En el caso de la Ecuación 3.2 un punto importante es la elección del ϵ (Elasticidad del Ingreso del valor estadístico de la vida). Las estimaciones de la elasticidad del Ingreso del valor estadístico de la vida, son limitadas. Existe cierto grado de incertidumbre sobre el uso del dato apropiado de elasticidad extrapolado de EE.UU. ó cualquier otro país hacia México (Molina, 2002). Para el caso de México y EE.UU. y en especial para esta investigación se utilizó un valor tomando en cuenta el estudio realizado por Molina en el 2002 donde se asumió que un valor de 1.0 sería el adecuado para establecer esta relación.

Para la realización del ajuste se utilizó el Ingreso Nacional Bruto (GNI, por sus siglas en inglés) como medida del salario de los trabajadores. El GNI era antes conocido como GNP por su terminología del Sistema de Cuentas de Naciones Unidas de 1968. Para el caso de México el GNI per cápita en el 2004 fue de 6,790 dólares y para EE.UU. fue de 41,440 dólares (Banco Mundial, 2006).

Finalmente en el caso de la mortalidad el valor estadístico de la vida en México al aplicar la Ecuación 3.2 con los datos propuestos anteriormente fue de 786,486 Dólares. En la Tabla 4.8 se muestran los resultados de mortalidad bajo los diferentes escenarios propuestos para el AMM. Como se mencionó en el Capítulo 3, se tuvo un nivel mínimo, central y máximo bajo diferentes escenarios de reducción de contaminación. Se muestra como los beneficios siguen aumentando a medida que aumenta el porcentaje de disminución, sin embargo como primer paso no siempre será posible alcanzar un nivel tan alto como el llegar a la norma anual, por lo que tomando en cuenta un 10% en disminución de la contaminación se muestra un rango de 112 a 382 millones de dólares al año.

Tabla 4.8 Beneficio Económico por casos evitados en Mortalidad

Mortalidad (Mill.Dis/año)			
	Mínimo	Central	Máximo
10%	112	246	382
20%	224	491	764
30%	336	737	1,146
Norma Anual	418	917	1,427

4.4.2 Morbilidad

En el caso de la morbilidad se tomaron en cuenta dos metodologías para la investigación: Costo de Enfermedad y la Disponibilidad al Pago. Estas metodologías fueron evaluadas dentro de la zona de estudio para los padecimientos elegidos:

- Asma
- Bronquitis Crónica
- Síntomas Respiratorios

4.4.2.1 Costos de Enfermedad

Para el caso de los Costos de Enfermedad se tomaron en cuenta dos variantes: los costos médicos y la pérdida de productividad. Para el cálculo de los costos médicos se obtuvieron costos del AMM sobre consultas con especialistas, estudios de laboratorio, tratamiento, medicinas recetadas y estancia en sala de urgencias en caso de ser necesario. Éste último costo necesario para el cálculo de pérdida de productividad. Para obtener los costos base de los diferentes padecimientos abordados en morbilidad, se establecieron casos estándar para cada enfermedad. Después de haber establecido los parámetros típicos de cada caso se realizó una comparación en precios dentro de centros de atención públicos y privados. Lo anterior se realizó con el objetivo de tener un panorama más completo de los costos médicos en la región. Sin embargo, para el establecimiento de los escenarios se ocupó el promedio de estos. En el caso de los medicamentos se siguió el mismo método, comparando costos de medicinas en farmacias de hospitales privados a su vez comparándolos con aquellos de venta en otras farmacias.

Asma

El asma es un problema de salud de gran importancia a nivel mundial. Desgraciadamente el diagnóstico y manejo de este problema son heterogéneos, y en muchos casos inadecuados, con la consiguiente disminución de la calidad de vida y aumento en el costo económico y el sufrimiento. En México el asma es una de las 10 primeras causas de utilización de los servicios de salud, especialmente los de urgencias y de consulta externa (SMNYCT, 2005).

El asma es una enfermedad de las vías respiratorias, caracterizada por tos, dificultad para respirar y sibilancias. Existe aumento de la sensibilidad en los bronquios lo que da por resultado la dificultad para respirar, acompañada de tos, angustia, disminución de la capacidad física (dependiendo de la gravedad) y el sonido sibilante característico. En una crisis asmática se agudizan estas características provocando un cuadro aparatoso de salud (León, 1998).

Para el cálculo de la consulta se recabaron los costos de un subespecialista ó neumólogo. Estos costos se fijaron en un rango de 55 a 73 dólares. Es importante mencionar que algunos doctores cobran solamente en la primera cita mientras que otros manejan un cobro por cita. En el caso de esta investigación se tomó la primera opción. En el caso de los estudios requeridos se tomó en cuenta dos tipos de radiografías para señalar los escenarios económicos inferior y superior. Rayos-X en una posición ó rayos-X en dos posiciones tuvieron un rango de 15 a 97 dólares. En cuanto a estudios de laboratorio para el asma generalmente se solicitan una biometría hemática completa (BGH) con rango de 5 a 13 dólares, una espirometría en un rango de 77 a 85 dólares y el estudio denominado Inmuno Globulina Tipo E (IGE) con costo en un rango de 25 a 50 dólares.

En la Tabla 4.9 se mencionan los diferentes costos de estudios incluidos en esta investigación. Se realizó una comparación entre los principales hospitales del AMM, mediante visitas a instituciones públicas y privadas para tomar en cuenta diferentes costos, y de esta manera se determinaron los máximos y los mínimos para la obtención del promedio utilizado en los escenarios.

Tabla 4.9 Comparativo de costos de estudios en Hospitales del AMM.

ESTUDIOS	Hospital Universitario	Hospital Muguerza	San José	Cruz Verde	Cruz Roja	MIN	MAX
Radiografía simple tórax ** 1 posición	22	65	61	15	16	15	65
***** 2 posiciones	40	97	80	18	20	18	97
Espirometría	77	N.D.	85	-	-	77	85
BHC (Biometría Hemática Completa)	12	11	13	5	5	5	13
CT (Tomografía Computarizada)	360		471			360	471
IGE (Inmuno Globulina Tipo E)	43	38	49	24	-	24	49

Unidad: Dólares

En el caso del tratamiento que corresponde a la parte de los medicamentos se contabilizaron los broncodilatadores, Ventolín® Spray y Combivent®, medicamentos con un rango de 13 a 25 dólares. Existe una nueva tendencia en esta enfermedad la cual es tratarla con medicamento a manera de prevenir alguna crisis. Estos medicamentos conocidos como esteroides estuvieron en un rango de 3 a 28 dólares. El paciente frecuentemente recurre al

uso de nebulizadores por lo que se contabilizó el costo del aparato en un rango de 155 a 245 y el medicamento de 18 a 24 dólares. Finalmente, la hospitalización generalmente no es requerida, sin embargo se puede presentar la necesidad de acudir a las salas de urgencia que se situaron en un rango de 20 a 76 dólares aproximadamente. Para obtener el resultado de forma anual se asumió que los episodios se presentaron 2 veces al año (Santos-Burgoa, 1996). El resultado obtenido por tratar un padecimiento de asma en el AMM fue de 898 dólares al año (± 288).

En la Tabla 4.10 se presenta el comparativo entre costos de tratamiento para los medicamentos mencionados en esta investigación. Al igual que en el caso anterior se contemplaron costos públicos y privados para ser tomados como referencia al asignar los costos mínimos y máximos de cada rubro.

Tabla 4.10 Comparativo de costos de tratamiento en el AMM

Tratamiento	Min	Max
Ventolín Spray/Combivent	13	25
Tratamiento Preventivo (Esteroides)	3	28
Nebulizador ultrasónico	18	24
Nebulizador (Aparato)	155	245
Jarabe para tos	5	23
Antibióticos	4	36
Analgésicos	1	14

Unidad: Dólares

Bronquitis Crónica

La bronquitis crónica es una inflamación o irritación a largo plazo de las vías aéreas dentro de los pulmones. Las vías aéreas son tubos dentro de sus pulmones a través de los cuales pasa aire, también conocidos como tubos bronquiales. Cuando las vías aéreas están irritadas se forma moco grueso dentro de los tubos y dificulta la entrada de aire dentro de sus pulmones. La enfermedad se caracteriza por una tos crónica (de larga duración), con flema, dificultad para respirar al realizar algún tipo de esfuerzo ó ejercicio y episodios gripales frecuentes, seguidos de infecciones. Cuando se sufre de esta enfermedad, se produce más moco de lo normal y las células son insuficientes para remover tal cantidad.

Éste se contamina fácilmente con gérmenes y bacterias, dando paso a infección, inflamación y estrechez del canal bronquial, dificultando así, el paso del aire (AAFP, 2005).

Para el caso de los costos médicos de la bronquitis crónica se respetaron algunos costos del padecimiento anterior. Tal es el caso de los costos de la consulta médica y los estudios realizados. En este caso es importante mencionar que dentro de la literatura se encontraron artículos (UV, 2007) donde se incluía la tomografía computarizada ultrarrápida (CT) como un examen de funcionamiento pulmonar para el diagnóstico de la bronquitis crónica. El costo de este tipo de estudio asciende a más de 470 dólares. Sin embargo al consultar con especialistas, se determinó incluir los estudios comúnmente utilizados como son los Rayos-X y la espirometría. En el caso del tratamiento dentro de los medicamentos incluidos estuvieron los jarabes para la tos, antibióticos, analgésicos, y nebulizadores (Ver tabla 4.10). Para el caso de estancia en sala de urgencias se respeto el mismo costo del caso anterior, así como también se consideró la frecuencia del episodio cada 6 meses. El resultado obtenido por caso de bronquitis crónica fue de 912 dólares (± 312).

Síntomas Respiratorios

Los síntomas respiratorios son una medida adicional de los efectos agudos de PM₁₀. Dentro de los síntomas respiratorios se encuentra la presencia de tos, dificultad para respirar, jadeos ó sofocos, malestar en el pecho, resfriado (Ostro, 1996). Una representación de estos síntomas se encuentra en enfermedades como gripa ó rinitis.

En el cálculo de los costos médicos en el área de consultas se incluyó la visita al médico general con un máximo de 40 dólares. En este punto es importante considerar que existen en el mercado las Farmacias Similares cuyas consultas se encuentran al público en 1.4 dólares y abarcan un sector de la población a considerar. Estos padecimientos generalmente no requieren estudios más especializados como en los padecimientos anteriores por lo que no se incluyeron dentro de su costo total. En el tratamiento se contemplaron costos de jarabes para la tos, así como también analgésicos (Ver Tabla 4.10). En esta categoría no se contemplaron los costos de asistencia a sala de urgencias ya que el malestar de estos

padecimientos no hace necesario tomar en cuenta esta aplicación. Al ser un costo tan general y con un rango de costos tan amplio se tuvo por resultado 80 dólares por episodios considerando \pm 69 dólares.

4.4.2.2 Pérdida de Productividad

La Pérdida de Productividad corresponde a los costos indirectos ó de oportunidad, es decir, aquellos costos que son derivados de la desviación de la utilización del tiempo productivo del paciente por la atención a la enfermedad (Santos-Burgoa, 1996).

En el caso del asma se estableció la ausencia al trabajo de 1 a 3 días por episodio, mientras que en el caso de la bronquitis crónica fue de 1 a 6 días. En síntomas respiratorios se consideró de 1 a 2 días de ausencia. Es importante hacer notar que en esta investigación se busca obtener un estimado haciendo uso del promedio de días de ausencia en el trabajo. Sin embargo la asistencia al trabajo queda a criterio del propio paciente y aunque la capacidad laboral no sea la misma puede ser que no tome ningún día ó el caso contrario que ocupe el máximo de días aquí planteados. Se consideró una jornada de trabajo de 8 horas diarias y se contabilizó el tiempo promedio requerido para asistir a una consulta médica que fue de 2.5 a 3 horas.

Para completar el cálculo se tomó en cuenta la población ocupada estimada para el AMM en 1.4 millones de personas. Para el caso del Asma y los Síntomas Respiratorios no se obtuvo la información desglosada por rangos de edad para conocer que porcentaje generaba realmente una pérdida de productividad. Debido a lo anterior, se decidió aplicar el porcentaje conocido de población ocupada para la población total aplicado a los casos evitados de ambos padecimientos. En el caso de la bronquitis crónica la población tomada en cuenta son personas mayores de 30 años. Lo anterior debido a que la prevalencia de enfermedades crónicas se da entre grupos de edad adulta, por arriba de los 30 años (OMS, 2007; EMC, 2000). En el caso de la bronquitis se asume que el porcentaje de personal ocupado se incrementa por el tipo de muestra ya que son adultos mayores de 30 años, población en edad productiva. Para este último caso tampoco se cuenta con la información de población ocupada dentro del padecimiento, por lo que tuvo que ser estimado. Se

obtuvo un porcentaje de cuanto representaba la población ocupada obtenida del total, de la población adulta es decir excluyendo a los niños (0-14 años). El porcentaje resultante se tomó para ser aplicado a los casos de bronquitis crónicas. En este caso fue del 60%.

La metodología implica la multiplicación de los días de ausencia al trabajo por el salario diario del trabajador para obtener el resultado final. Para la obtención del salario mínimo de la zona, el AMM se encuentra dentro de la categoría “B” establecida por la Comisión Nacional de Salarios Mínimos. Para el 2004 el promedio por profesión de salario mínimo para esta categoría fue de 5.52 dólares (62.41 Pesos) (SAT, 2005). Es relevante mencionar que en esta investigación se están considerando hospitales privados lo cual llevaría a cuestionar aplicar el salario mínimo como medida de ingreso del total de la población. Existen profesiones ó empleos que producen un ingreso de hasta más de 8 veces el salario mínimo, aunque no precisamente corresponde a la media de la población. Por esta razón, si este cálculo estuviera basado solamente en un salario mínimo se estaría subestimando el costo total de pérdida de productividad. En México el INEGI realiza la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares que pudo haber sido utilizada para realizar este cálculo. Sin embargo, no sé contó con estos datos por AGEB al momento de realizar este trabajo.

Por lo anterior, se decidió tomar como referencia un salario de 17 dólares aproximadamente el cotizado para los trabajadores del IMSS (INEGI, 2005). Este es un escenario conservador que abre la posibilidad de realizar pruebas ya sea con el salario mínimo ó probar el modelo con salarios mayores que permitieran estudiar el caso desde otra perspectiva. Se podrían crear un escenario con la clase trabajadora obrera ganando el salario mínimo, otro escenario estaría conformado por la clase media, como por ejemplo los trabajadores del IMSS cuyos salarios están cotizados en aproximadamente 17 dólares diarios (INEGI, 2005) y finalmente la clase cuyo salario les permite atenderse en clínicas privadas. Al igual como se asumió en los costos médicos se contempló el episodio dos veces por año.

La Tabla 4.11 resume el salario mínimo tomado en cuenta para el cálculo de la pérdida de productividad, el salario por hora (considerando 8 horas diarias de jornada laboral), los

días laborales perdidos estimados para los diferentes padecimientos (contabilizados dos veces al año), así como también las horas dedicadas a consulta y finalmente muestra el promedio que fue tomado en cuenta para el cálculo final.

Tabla 4.11 Costo por Pérdida de Productividad

	Salario (Dls)	Salario por hora	Días Perdidos		Horas de Consulta	Total		
			Min	Max		Min	Max	Promedio
Asma	17	2.125	2	6	6	47	115	81
Bronquitis Crónica	17	2.125	2	12	6	47	217	132
Síntomas Respiratorios	17	2.125	2	6	6	47	115	81

4.4.2.3 Disponibilidad al Pago

Para el caso de bronquitis crónica en la DAP esta investigación se basó en los resultados de dos investigaciones. En primer lugar se tiene la realizada por Molina, 2002 donde se extrapolan datos obtenidos de un estudio realizado por la EPA donde el valor de un caso estadístico de bronquitis crónica es 260,000 dólares que ajustado al caso de México se tiene por resultado 42,600 dólares al 2004. En segundo lugar se tiene el caso de Ibararán, 2002 donde se obtuvo por resultado un valor de 30,000 dólares para el caso de México. Tomando en cuenta los dos estudios en esta investigación se tomó el valor de 36,300 dólares.

Para el caso del asma la investigación se basó, al igual que el padecimiento de bronquitis, en la información publicada por la EPA en su Apéndice H. El valor estadístico de un caso por incidencia de asma es de 25,000 dólares que ajustado al caso de México se tiene por resultado 4,096 dólares.

En el caso de los síntomas respiratorios se consultaron se tomó la combinación de 4 síntomas que fueron tos, congestión nasal, congestión de garganta y ojos llorosos. En este caso se tuvieron dos estudios ya que la EPA publica un valor de 19 dólares para cada síntoma mientras un estudio realizado por Tolley et al. 1986 (Nevrub, 2001) reporta un total

de 117 dólares en total. Debido a lo anterior se tomó una media de 96 dólares, que ajustado a México fueron 16 dólares por los 4 padecimientos.

La DAP para la bronquitis crónica y los síntomas respiratorios engloba valores máximos y mínimos. Para el propósito de esta investigación, se utilizaron ambos valores para obtener el promedio y de esta manera obtener un valor representativo de forma similar a los anteriormente obtenidos como los costos médicos y la pérdida de productividad.

En la Tabla 4.12 se muestra un resumen de los valores unitarios obtenidos por la metodología de costos de enfermedad y disponibilidad al pago para cada padecimiento escogido. Este es el costo en el que se incurriría si una persona enfermara de alguno de los tres padecimientos involucrados. Se muestra como la bronquitis crónica representa un gran porcentaje dentro de este análisis. En los tres rubros calculados para el área de morbilidad, la bronquitis crónica tiene los mayores costos.

Se muestra una clara diferencia entre los padecimientos más complejos como el asma y la bronquitis contra lo que las personas estarían dispuestas a pagar por evitar algún episodio de los síntomas respiratorios. Esto pudiera deberse a la transferencia de los datos y al ajuste que se hace de ellos con respecto a lo que estaría dispuesta a pagar la población con diferentes salarios en el AMM.

Tabla 4.12 Valores Unitarios obtenidos para Morbilidad

Padecimiento	Valor Unitario (Dls/caso)		
	CDE		DAP
	CM	PP	
Asma	898	81	4,096
Bronquitis Crónica	912	132	36,300
Síntomas Respiratorios	80	81	16

Al haber obtenido los costos por episodio y tener los casos evitados se tienen los datos para completos para realizar la valoración bajo el límite inferior ó superior, planteados en el capítulo 3.

Para el cálculo de los costos médicos se hace notar que se obtuvo considerando un costo de consulta, asumiendo que todos los casos requirieron una consulta médica. En la realidad no todas las personas que sienten algún malestar asisten al médico, sino que sólo pueden limitarse a comprar el medicamento. Lo anterior se conoce como Costos Ocultos.

Para la contabilización de los costos ocultos se trató de conseguir los rubros de ventas en un año de medicamentos como Ventolín ó Combivent de la compañía Fármacos Nacionales, que es la empresa proveedora de comercios como Farmacias Benavides, Farmacias del Ahorro, Hospital San José, Hospital Clínica Nova, Clínica Vitro, Hospital Muguerza, entre otras en el AMM. Sin embargo, la información no estaba disponible para su uso público por lo que los resultados totales de esta investigación no están considerando la automedicación.

En la Tabla 4.13 se muestra un resumen de los resultados producto de los diferentes procedimientos descritos a lo largo del capítulo 3. Se presentan los casos evitados para los distintos escenarios de reducción de contaminación en su condición de valores mínimos, centrales y máximos, así como también considerando una disminución en el porcentaje de contaminación. Se muestran los costos unitarios involucrados sobre los cuales están basados los costos totales. Se diferencian los resultados para la obtención de los costos totales al presentar primero los costos de enfermedad y por separado los costos obtenidos por disponibilidad al pago. Los costos de enfermedad están incluyendo los costos médicos y de pérdida de productividad. Finalmente, se muestran los costos totales por morbilidad para los diferentes escenarios planteados al inicio de la investigación.

La Tabla 4.13 muestra como aplicando un escenario de reducción del 10% se tienen beneficios centrales para el asma de aproximadamente 421 millones de dólares, para los síntomas respiratorios 651 millones de dólares y para la bronquitis crónica 29 millones de dólares. El valor de los síntomas respiratorios se explica debido a que en este padecimiento se consideró a toda la población.

Tabla 4.13 Costos Totales de Morbilidad bajo diferentes Escenarios

Casos Evitados				Costos de Enfermedad				Disponibilidad al Pago				TOTAL			
Morbilidad				Morbilidad				Morbilidad				Morbilidad			
Asma (Miles)				Asma (Mill.Dls/año)				Asma (Mill.Dls/año)				Asma (Mill.Dls/año)			
	Mínimo	Central	Máximo		Mínimo	Central	Máximo		Mínimo	Central	Máximo		Mínimo	Central	Máximo
10%	46,595	83,306	276,746	10%	44	80	264	10%	191	341	1,134	10%	235	421	1,398
20%	93,190	166,612	553,492	20%	89	159	528	20%	382	682	2,267	20%	471	842	2,796
30%	139,785	249,919	830,238	30%	133	239	793	30%	573	1,024	3,401	30%	706	1,262	4,193
Norma Anual	174,075	311,224	1,033,897	Norma Anual	166	297	987	Norma Anual	713	1,275	4,235	Norma Anual	879	1,572	5,222
Síntomas Respiratorios (Miles)				Síntomas Respiratorios (Mill.Dls/año)				Síntomas Respiratorios (Mill.Dls/año)				Síntomas Respiratorios (Mill.Dls/año)			
	Mínimo	Central	Máximo		Mínimo	Central	Máximo		Mínimo	Central	Máximo		Mínimo	Central	Máximo
10%	2,569,785	5,083,092	7,709,356	10%	288	570	864	10%	41	81	123	10%	329	651	987
20%	5,139,570	10,166,183	15,418,711	20%	576	1,139	1,728	20%	82	163	247	20%	658	1,302	1,974
30%	7,709,356	15,249,275	23,128,067	30%	864	1,709	2,592	30%	123	244	370	30%	987	1,953	2,962
Norma Anual	9,600,475	18,989,952	28,801,426	Norma Anual	1,076	2,128	3,227	Norma Anual	154	304	461	Norma Anual	1,229	2,432	3,688
Bronquitis Crónica				Bronquitis Crónica (Mill.Dls/año)				Bronquitis Crónica (Mill.Dls/año)				Bronquitis Crónica (Mill.Dls/año)			
	Mínimo	Central	Máximo		Mínimo	Central	Máximo		Mínimo	Central	Máximo		Mínimo	Central	Máximo
10%	505	772	1,038	10%	0.50	0.76	1.03	10%	18	28	38	10%	19	29	39
20%	1,010	1,543	2,077	20%	1.00	1.53	2.06	20%	37	56	75	20%	38	58	77
30%	1,515	2,315	3,115	30%	1.50	2.29	3.09	30%	55	84	113	30%	57	86	116
Norma Anual	1,887	2,883	3,879	Norma Anual	1.87	2.86	3.84	Norma Anual	68	105	141	Norma Anual	70	108	145

Padecimiento	Valor Unitario (Dls/caso)		
	CDE		DAP
	CM	PP	
Asma	898	81	4,096
Bronquitis Crónica	912	132	36,300
Síntomas Respiratorios	80	81	16

CM: Costos Médicos

PP: Pérdida de Productividad

DAP: Disponibilidad al Pago

Finalmente, con los resultados obtenidos anteriormente se tienen los datos completos para volver a las Ecuaciones 3.3 y 3.4 y obtener los límites inferior y superior. Utilizando los datos de morbilidad (costos de enfermedad, pérdida de productividad y disponibilidad al pago), y mortalidad (VSL) se calcularon los límites propuestos. La Figura 4.3 es un resumen de estos límites donde las ecuaciones 3.3 y 3.4 describen los conceptos que están incluidos en los valores de cada tabla. De esta manera se puede decir que si consideramos el escenario de reducir la contaminación por PM₁₀ en un 10% el beneficio económico total por salud se ubicaría en promedio entre los 247 y 275 Millones de dólares al año.

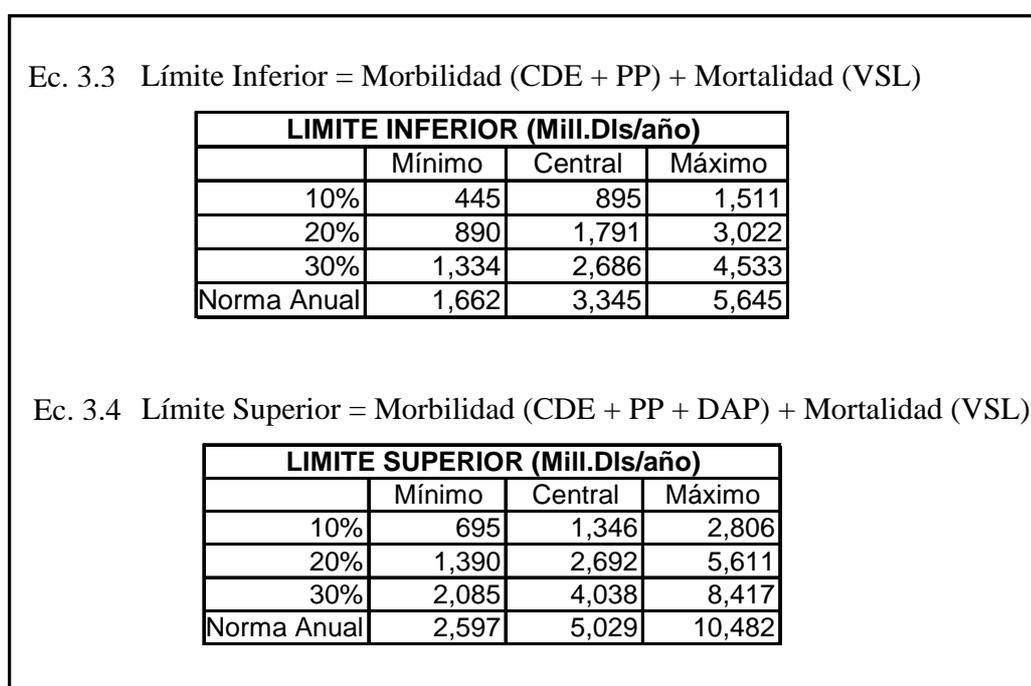


Figura 4.3. Resumen de Escenarios de Evaluación Económica en Impactos en Salud para el AMM.

Los resultados anteriores son una estimación de los beneficios que traería una reducción en contaminantes en distintos niveles para el AMM. Sin embargo, antes de dejarse guiar por los beneficios que podrían traer los límites máximos se tendría que hacer un estudio más profundo de la estrategia a implementar para conocer realmente su factibilidad.

4.5 Beneficios Económicos Diferenciales en el AMM

En las secciones anteriores se ha analizado el caso de beneficios económicos considerando un promedio ponderado de contaminación por PM_{10} al que se encuentra expuesta toda la población del AMM. Sin embargo, de acuerdo a la Figura 4.2, el AMM presenta zonas con diferentes niveles de concentración de PM_{10} , se observan áreas con población expuesta a un nivel promedio anual de $117 \mu\text{gr}/\text{m}^3$ mientras que otras se encontraron a un nivel de $45 \mu\text{gr}/\text{m}^3$. Lo anterior indica que los beneficios económicos obtenidos por reducción de contaminación no serán los mismos en cualquier parte del AMM, es decir, los beneficios variarán de acuerdo al nivel de contaminación y las características de la población por zona.

Para evaluar los beneficios por zonas, se aplicó la metodología descrita en el Capítulo 3 a cada celda del dominio mostrado en la Figura 4.2. De esta forma se obtienen los beneficios al reducir en 10% la contaminación en cada celda. El total de celdas en la malla es de 2,279. En el caso de la mortalidad, la tasa basal utilizada fue diferente para cada municipio ya que se contaba con esta información. Se respetaron las funciones dosis-respuesta y se tomó en cuenta la concentración de PM_{10} y la población de cada celda. En el caso de la morbilidad se determinó cuales serían los beneficios producto del costo de enfermedad y disponibilidad al pago. Para la obtención de casos evitados se respetaron las funciones dosis respuesta utilizadas en el procedimiento general. Al tener el valor económico que representaba cada celda, se realizó una sumatoria con la cual se obtuvo el valor total de 1,256 millones de dólares bajo un escenario de reducción del 10%.

Para realizar la valoración económica se respetaron los costos médicos, en cuanto a la pérdida de productividad se realizaron algunos ajustes al tomar en cuenta la población ocupada en cada celda al igual como se contempló en el procedimiento anterior del promedio ponderado. En el caso del asma y los síntomas respiratorios se aplicó un 40% sobre los casos evitados, representando la proporción de población ocupada. En el caso de la bronquitis crónica el porcentaje aplicado fue de 60%. Es mayor ya que la población tomada en cuenta en este padecimiento inicia a partir de los 30 años, es decir, la población en edad productiva. Es importante aclarar que con la información adecuada este porcentaje podría ajustarse de acuerdo a las características de cada celda.

La Figura 4.4 presenta los resultados de los beneficios económicos calculados para cada celda. Este mapa está basado en el escenario de reducción de 10% de contaminación por PM_{10} y para los cálculos se aplicó la Ecuación 3.4, es decir, se evaluó el caso del límite superior. Lo anterior indica que cada celda está considerando la mortalidad por la DAP, y la morbilidad incluyendo el costo de enfermedad (costos médicos y costos por pérdida de productividad) más la DAP para los padecimientos elegidos, asma, síntomas respiratorios y bronquitis crónica. Esta figura muestra como los valores van desde menos de 601 mil dólares hasta 10.6 millones de dólares por celda para el año 2005. En el caso de que se hubiera citado el límite inferior, el máximo valor por celda corresponde a 7.2 millones de dólares. Lo anterior indica que una misma celda tendría un rango de 7.2 a 10.6 millones de dólares en beneficios. Los valores máximos anteriores se presentaron en las zonas donde se mostraba una contaminación en relación a la Figura 4.2. Los valores de beneficio total para el AMM del cálculo promedio de la contaminación y del análisis por celda son diferentes. Basándose en el escenario del límite superior, para el primer caso los beneficios económicos resultaron en 1,346 millones de dólares mientras que para el segundo caso los beneficios fueron de 1,256 millones de dólares. De este último análisis los beneficios por morbilidad abarcaron el 80% mientras que por mortalidad fue el 20%.

A partir de los valores en las celdas se obtuvieron los resultados por municipio. Habiendo creado la base de datos donde el resultado final son los beneficios económicos para una de las celdas, se identificó a que municipio pertenecía cada una de éstas. Debido a que algunas celdas abarcan área de más de un municipio, se decidió asignar esa celda al municipio en que se concentrara la mayor área. Con esta nueva segmentación se pudieron calcular los beneficios económicos para cada municipio. La Figura 4.5 presenta los beneficios económicos en la malla sobrepuesta en la división política de los municipios del AMM. Se puede ver que como las celdas más oscuras se concentran en los municipios de Monterrey, Santa Catarina, y San Nicolás. Sin embargo, en su totalidad es el municipio de Monterrey, Guadalupe y San Nicolás, los que presentan los mayores beneficios económicos. Si se revisa la distribución de población por municipio, se puede ver que éstos últimos presentan un orden similar al presentado en términos económicos.

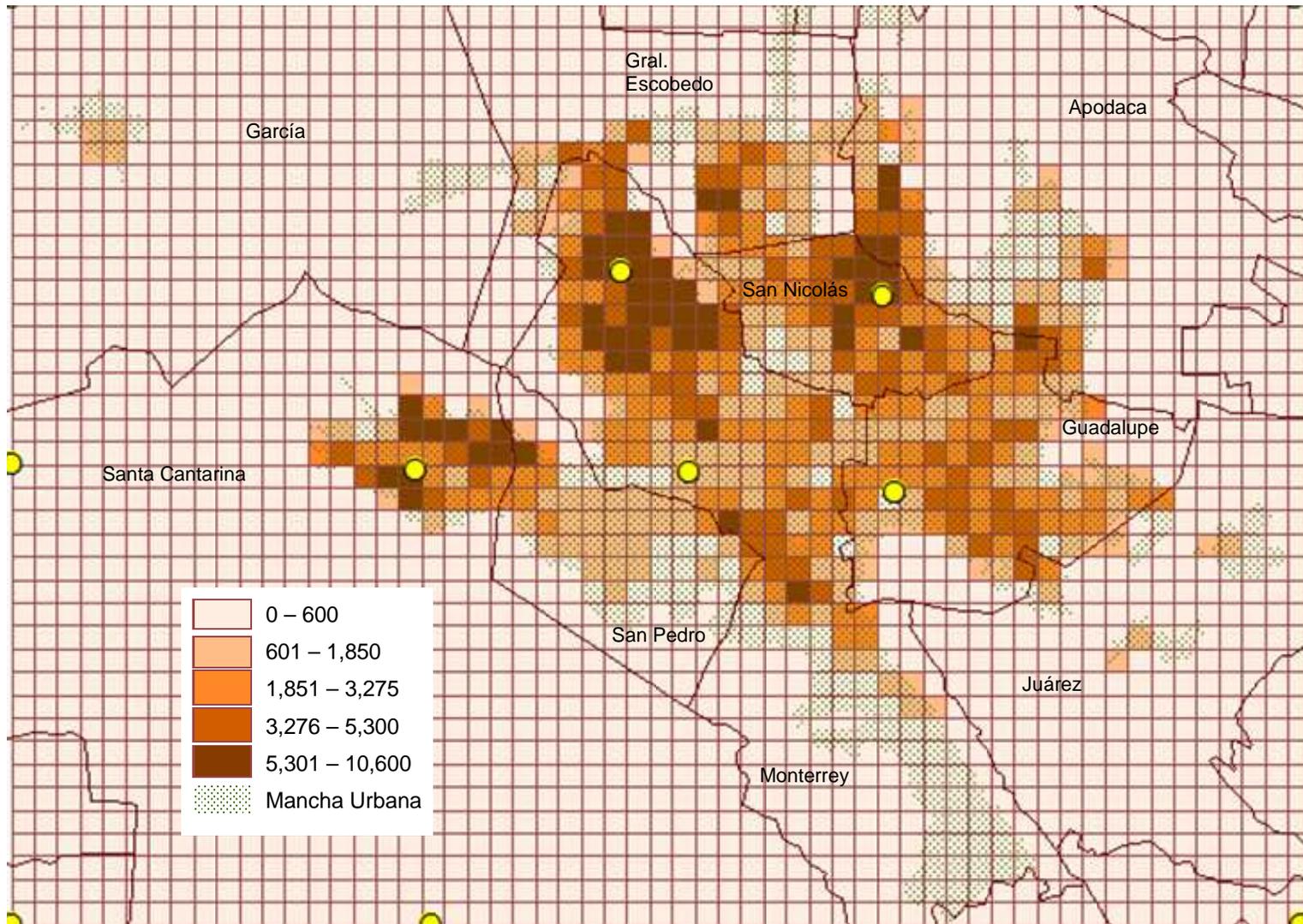


Figura 4.4 Beneficios Económicos por Área Determinada (Miles DIs)

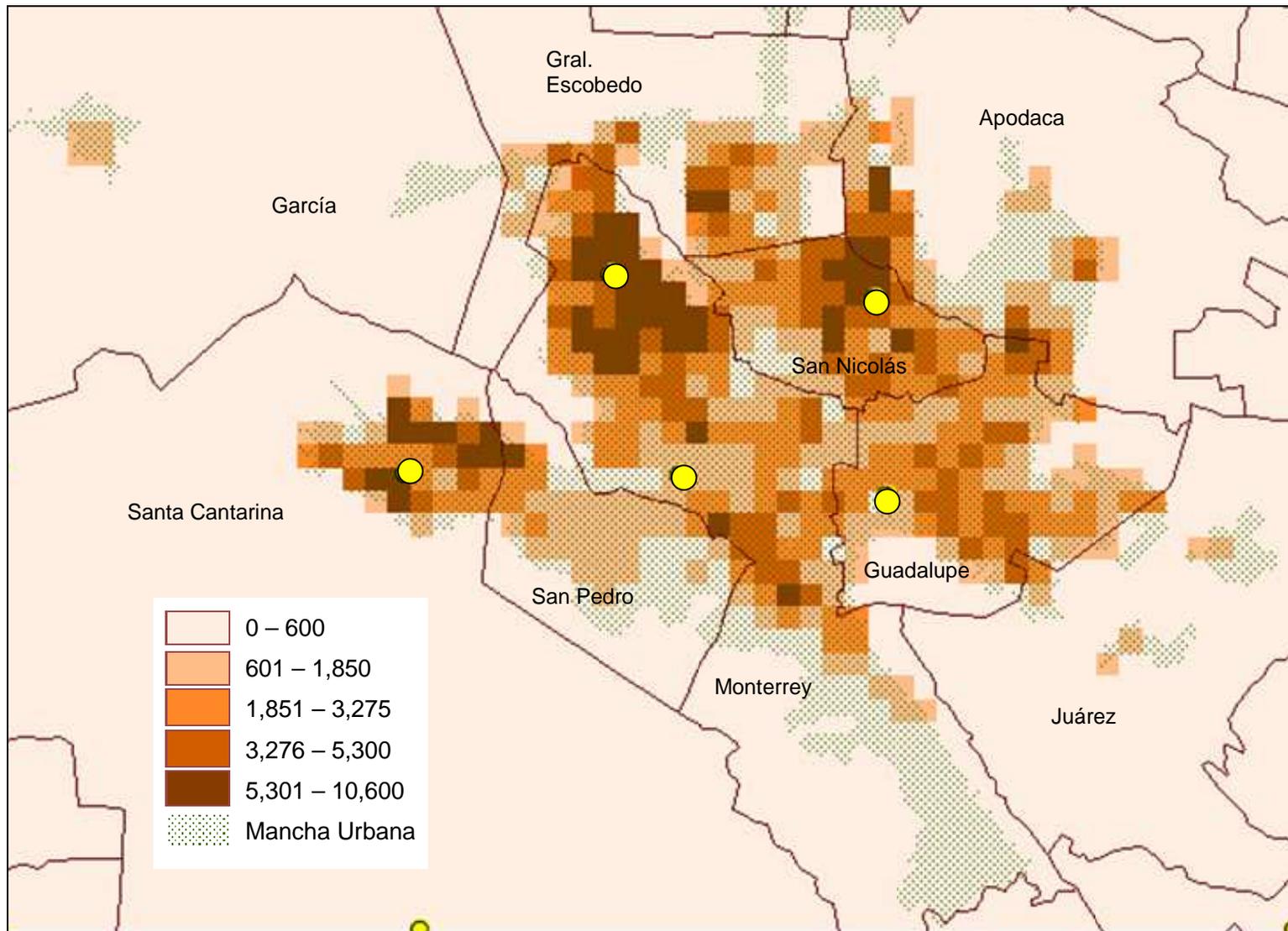


Figura 4.5 Beneficios Económicos por Municipio (Miles Dls)

La Tabla 4.14 presenta los beneficios en rangos de forma decreciente que se obtienen de sumar las celdas por municipio, tomando en cuenta tanto el límite inferior como el límite superior. Del valor total de 1,256 Millones de dólares el 38% corresponde al municipio de Monterrey. El segundo lugar lo ocupa el municipio de Guadalupe, seguido por San Nicolás y Santa Catarina en cuarto lugar. Como es de esperar, la distribución de la población es un factor fundamental que influye en estos resultados, pues a mayor población ubicada en ciertas celdas mayor será el beneficio.

Tabla 4.14 Beneficios Económicos por Municipio (Mill. Dls)

Municipio	Mill. Dls		%
	LI	LS	
Monterrey	319.48	474.70	38%
Guadalupe	126.15	193.32	15%
San Nicolás de los Garza	115.79	178.60	14%
Santa Catarina	93.57	134.95	11%
Apodaca	69.31	108.66	9%
Escobedo	55.38	86.34	7%
San Pedro	34.99	53.98	4%
Juarez	14.22	17.18	1%
Villa de Garcia	5.40	8.08	1%
TOTAL	834	1,256	100%

Los resultados expresados por municipio son un precedente el cual muestra posibles beneficios para tomar decisiones sobre estrategias costo-efectivas en control de contaminación del aire y lo que podría representar su implementación para cada municipio.

CAPITULO 5. INTEGRACION DE BENEFICIOS

Como se mencionó en el Capítulo 1, además de los beneficios en salud, se tienen otros beneficios al reducir la contaminación. Otros beneficios que se reflejarán en el medio ambiente, incluyen visibilidad, limpieza en materiales, protección a ecosistemas, etc. Por la limitación en el alcance de este trabajo, solo se hace un bosquejo de los que pudieran ser estudiados a profundidad en futuros trabajos de investigación.

5.1 Beneficios por cuidado del Medio Ambiente

La necesidad de valorar los recursos naturales se debe principalmente, a las externalidades positivas que surgen cuando tienen condición de bien público ó de bienes de acceso común y a las externalidades negativas que afectan a muchos recursos naturales (Cancino, 2001). Evaluar el daño que se ha causado a los ecosistemas es una tarea compleja pero, al igual que en el caso de salud, existen diferentes formas en que el valor de un ecosistema puede ser representado. Esto último es debido principalmente a que son diversas las funciones positivas que el medio ambiente cumple en la sociedad. Algunas de ellas son formar parte de la función de producción de gran cantidad de bienes y servicios económicos, proporcionar bienes naturales cuyos servicios son demandados por la sociedad, actuar como receptor de residuos y desechos de diversos tipos y constituir un sistema integrado que proporciona los medios para sostener toda clase de vida (Cancino, 2001). Por lo anterior, cuando se pretende valorar los beneficios del medio ambiente la atención se fija en los bienes y servicios generados por éstos.

En la Figura 5.1 se presentan los diversos componentes de valor económico que pueden ser aplicables a un área natural siendo su clasificación final los servicios que brindan cada una de éstas (Cancino, 2001). El valor de uso directo es reconocido por este nombre ya que se aprovecha inmediatamente el recurso a través de materias primas, alimentos, madera ecoturismo, etc. El valor de uso indirecto se basa en los servicios ambientales que prestan los ecosistemas como purificación del aire, control de la erosión, producción de alimento, entre otros. El valor de opción es el valor de saber que se podrá contar con los recursos en

un futuro. Finalmente el valor de no-uso representado como valor de existencia indica el valor intrínseco que conlleva el simple hecho de existir (Cancino, 2001).

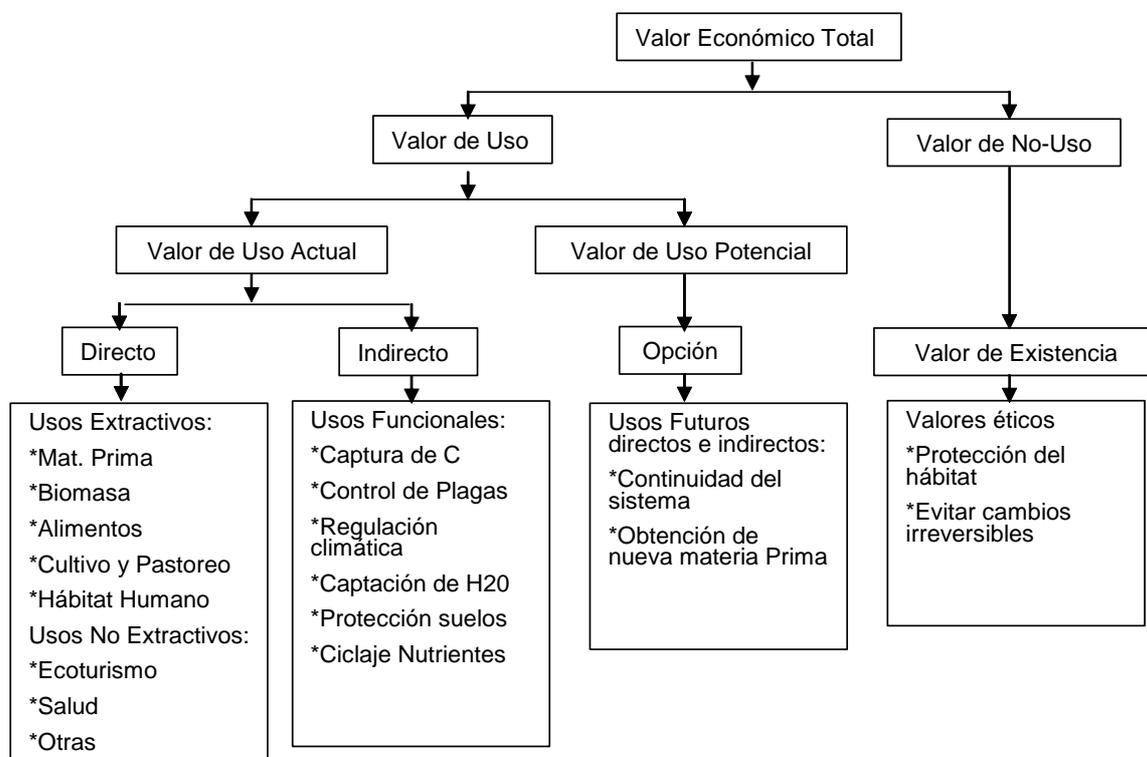


Figura 5.1 Componentes del Valor Económico de un Área Natural

En el AMM existen 8 Áreas Naturales Protegidas (ANP) que tocan algún municipio dentro de la misma. Estas áreas son: Sierra Corral de Bandidos (García), Cerro La Mota (García y Santa Catarina), Sierra Las Mitrás (García, General Escobedo, Monterrey, San Pedro Garza García, y Santa Catarina), Cerro El Topo (General Escobedo, Monterrey y San Nicolás de los Garza), Sierra El Fraile y San Miguel (García y General Escobedo), Sierra Cerro de la Silla (Juárez y Monterrey), así como también el monumento natural Cerro de la Silla (Monterrey y Guadalupe) y el Parque Nacional Cumbres de Monterrey (Montemorelos, Rayones, Santiago, Santa Catarina, Monterrey, García y San Pedro Garza García). Estas áreas protegidas representan importantes beneficios para las comunidades que se encuentran dentro de su zona de influencia siendo reserva de flora y fauna en zonas clave, sirven de recarga de mantos acuíferos, representan áreas importantes para el desarrollo de la investigación científica aplicada, actúan como filtro de aire de la ciudad y

moderador del clima, así como también son fuente importante de ingresos económicos producto del turismo. (INEGI, 2002; Gobierno del Estado, 2005).

En 1997, se publicó un trabajo de investigación encabezado por Robert Costanza donde se estimó cual era la contribución económica de 17 servicios ambientales prestados por diferentes ecosistemas (Constanza, 1997). El estudio calculó que el valor de los servicios prestados en la biosfera completa estaría estimado en un rango de 16 – 54 Trillones de Dls por año, con un promedio de 33 Trillones de Dls cuando el PIB mundial alcanzó los 18 Trillones por año (Costanza, 1997). La investigación presenta su grado de incertidumbre, sin embargo es uno de los intentos más citados en el campo de la valoración económica ambiental.

La base metodológica del estudio anterior, la valoración económica de los servicios ambientales, fue tomada para un estudio realizado específicamente para el AMM. En el año 2002 dentro del estudio Análisis Estratégico del Área Metropolitana de Monterrey, se desarrolló un subtema denominado Ecosistemas Prioritarios. En él se trató de demostrar que el acelerado deterioro de los ecosistemas locales significa una pérdida para la sociedad, no sólo en términos estéticos, sino también económicos (Noriega, 2002).

La valoración de los servicios ambientales del entorno inmediato del AMM, se llevó a cabo con una sección extraída del SIG siendo una superficie de 375,748 ha (Noriega, 2002). Del estudio de Costanza se seleccionaron los servicios de los ecosistemas que aplicarían al área de estudio. Las principales subclases tomadas en cuenta para este estudio fueron el bosque templado, matorral y pastizal, zona agrícola, vegetación urbana y vegetación galería, entre otros. El mismo análisis se realizó tanto para datos basados en 1993 como para 1997. En las Tablas 5.1 y 5.2 se presentan los datos de servicios ambientales recopilados para el AMM (Noriega, 2002). El valor económico por hectárea estuvo basado en el estudio previo realizado por Costanza. De acuerdo a su extensión y a su valor por hectárea se obtiene la valoración de los servicios ambientales. Es el Matorral y Pastizal quien tiene el más alto valor anual siendo 69 millones de dólares. Los datos presentados para el AMM son en base a los disponibles en 1993 y 1997, respectivamente.

Tabla 5.1 Valoración de Servicios Ambientales Prestados por el AMM, 1993.

Subclases (según valor ambiental)	Extensión		Valora Anual (dólares)	
	(Ha)	%	por Ha	Total
Bosque Templado	16,585	7.1	302	8,028,706
Matorral y Pastizal	287,919	76.6	241	69,388,359
Zona agrícola	4,874	1.3	92	448,380
Vegetación Urbana	2,251	0.6	92	207,110
Vegetación Galería	1,027	0.3	17,329	17,788,219
Otros				
Suelos Desnudos	20,754	5.5		
Construcciones urbanas	32,340	8.6		
Total	375,749	100		95,860,774

Fuente: Noriega, 2002.

Tabla 5.2 Valoración de Servicios Ambientales Prestados por el AMM, 1997.

Subclases (según valor ambiental)	Extensión		Valora Anual (dólares)	
	(Ha)	%	por Ha	Total
Bosque Templado	25,549	6.8	317	8,106,283
Matorral y Pastizal	263,689	70.2	253	66,766,312
Zona agrícola	3,968	1.1	97	383,584
Vegetación Urbana	121	0.0	97	11,716
Vegetación Galería	729	0.2	18,206	13,272,725
Otros				
Suelos Desnudos	20,754	5.5		
Construcciones urbanas	60,938	16.2		
Total	375,749	100		88,540,619

Dólares ajustados a 1997.

Fuente: Noriega, 2002.

De las Tablas 5.1 y 5.2 se puede ver como en cuatro años se tuvo una reducción en el valor anual de los servicios ambientales de 7.3 millones de dólares, equivalente al 7.6% con respecto a 1993. Los mayores cambios en el uso de suelo se presentaron en el Matorral y Pastizal, los cuales pasaron del 76% a 70%, y las construcciones urbanas, las cuales se incrementaron de 8.6% a 16%.

Para la presente investigación se estableció una relación entre el crecimiento poblacional y la disminución de capital natural del estudio anterior. De esta manera, se obtuvo un aproximado de los servicios ambientales actuales para los fines de este estudio. Para llevar a cabo la estimación se estableció una correlación entre el año 1997 y el 2004. Para esto se consideró una población de 2.9 y 3.5 millones de habitantes, respectivamente. Este cambio representa un decremento de 18%, que aplicado al monto de 1997 se obtiene un valor de capital natural para la zona de 73 millones de dólares. El estudio de Noriega realiza una estimación sobre el valor potencial del capital natural que se está degradando año con año por diversas causas entre éstas un porcentaje en especial correspondería a la contaminación ambiental.

En los últimos años algunos países han comenzado a mostrar que se encuentran en la búsqueda de nuevos indicadores de sostenibilidad ambiental. Los métodos de valoración más empleados son el método de valoración contingente, el coste de viaje y precios hedónicos (Sarmiento, 2004). Se ha desarrollado un nuevo método basado en la variación del Producto Interno Bruto (PIB). Algunos de ellos se manifiestan en el valor del PIB al que le realizan ciertos ajustes numéricos que luego conforman las cuentas ambientales (Sarmiento, 2004).

En México el desarrollo del Sistema de Cuentas Nacionales ha sido un factor fundamental para la actualización del estudio de la contabilidad del medio ambiente (INEGI, 2004). De esta forma se ha establecido una metodología para la obtención del Producto Interno Neto Ecológico (PINE). El PINE se determina como:

$$\text{PINE} = \text{PIN} - (\text{Cag} + \text{Cdg}) \quad \text{Ec. 5.1}$$

Donde:

PIN = Producto Interno Neto (PIB – Consumo de Capital Fijo).

Cag = Costos por Agotamiento de los Recursos Naturales.

Cdg = Costos por Degradación del Medio Ambiente.

Los costos por agotamiento expresan el desgaste ó pérdida de los recursos naturales (equivalentes a una depreciación), como consecuencia de su utilización en procesos productivos. Los costos por degradación son las estimaciones monetarias necesarias para restaurar el deterioro del ambiente ocasionado por las actividades económicas (INEGI, 2004).

La Ecuación 5.1 incluye para el caso de costos por agotamiento a temas como el petróleo, recursos forestales (maderables), cambios en el uso del suelo, recursos hídricos como el agua subterránea, ya que en todos ellos es posible conocer su disponibilidad y los cambios cuantitativos que registran. Para los costos por degradación se incluyen temas como erosión del suelo y la contaminación del agua, aire y suelo. Una importante consideración para su incorporación, es el impacto que la actividad productiva tiene sobre ellos (INEGI, 2004). En el caso de la erosión del suelo y la contaminación del agua y el aire se toma en cuenta la alteración en su calidad, es por eso que su problemática se relaciona con degradación. Son activos ambientales para los que su cuantificación es muy compleja, por lo que incurren a estimar los costos generados por evitar y/o restablecer el deterioro ocasionado (INEGI, 2000b).

La Figura 5.2 presenta las tendencias que han seguido el PIB y el PINE en México. El PIB muestra un crecimiento a lo largo del período 95-04 de 17% y el PINE creció en 18%.

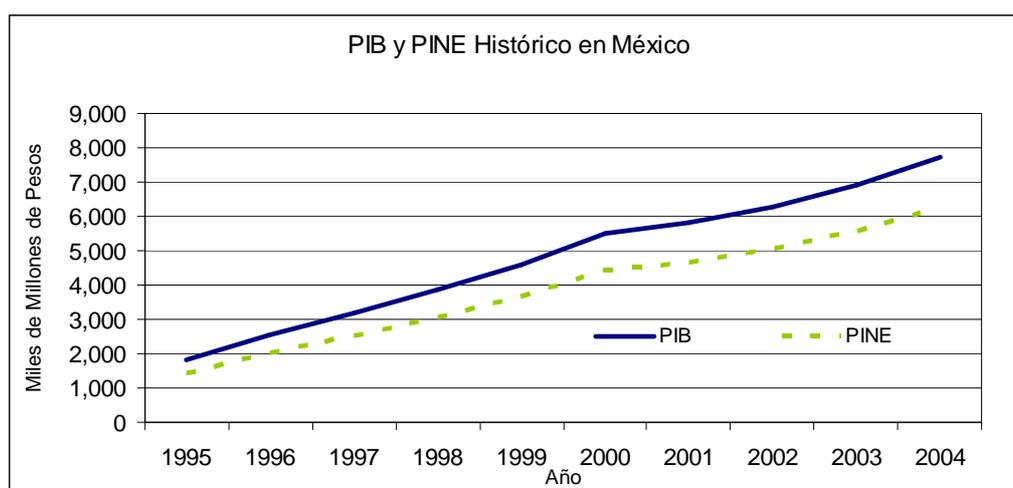


Figura 5.2 PIB y PINE Histórico en México

La diferencia entre ambos costos se ha incrementado en un 15% anual a lo largo de los 9 años que muestra la gráfica. Aunque se ha realizado un esfuerzo por estimar los daños al medio ambiente a través de esta cuantificación, se debe considerar esto como un trabajo en curso abierto a mejoras que deberán surgir como resultado del proceso continuo de su análisis e implementación (INEGI, 2006).

La desventaja de este procedimiento es que no se ha llevado a cabo de forma estatal, aunque podría formar parte en un futuro de los resultados económicos de Nuevo León. De esta manera se podría obtener un estimado del valor de degradación ocasionado por la contaminación del aire en el AMM.

5.2 Otros Beneficios Potenciales

Otro de los impactos por contaminación de PM_{10} que puede ser estimado es el gasto que se tiene en materiales por ejemplo, el lavado de los automóviles, mantenimiento a instalaciones, pintura, etc. Para el caso de lavado de vehículos por ejemplo, existen diversas variables que influyen en el ensuciamiento de los automóviles como su frecuencia de uso, los lugares que transitan, el clima, etc., sin embargo se puede decir que una causa presente es la depositación de partículas.

Realizando una investigación de campo se obtuvo cual era el promedio en que una muestra de 25 personas lavaba ó mandaba lavar su carro por mes. Los resultados fueron variados de acuerdo a la frecuencia de lavado, de esta forma son presentados dentro de un rango. Para fines de este ejemplo se tomó en cuenta el escenario en que las personas lavaban su vehículo una vez por semana, lo cual representa 52 veces al año y un segundo escenario más conservador en el cual el lavado del vehículo se hace 1 al mes, lo cual representa 12 veces al año. El costo básico que se maneja en este servicio va desde los 2.7 a 6.4 dólares en general basados en el año 2005. El parque vehicular para el AMM, en este mismo año, se calcula en 1.4 millones de vehículos. Sin embargo, anteriormente se mencionó que la depositación de partículas no es la única causa de ensuciamiento de un vehículo. Por lo anterior, para efectos de evaluación, se asumió un valor de 10% a la depositación de PM_{10} para ser tomado como referencia, como el número de vehículos que lavan sus autos por esta

causa. El valor por ensuciamiento de PM_{10} se estima entonces en un rango de 8 a 22 millones de dólares. Para el límite inferior, se tomó en cuenta un lavado de 12 veces al año por un promedio de 4.5 dólares, siendo 8 millones de dólares. En el segundo caso, se tomó en cuenta que una vez al mes había sido lavado por 4.5 dólares y el resto se asumió un lavado en casa por 2.7 dólares, dando por resultado un gasto de 22 millones de dólares. El porcentaje se incrementa si se considera partículas totales, pero por el alcance de este estudio solo consideramos el PM_{10} . Para este ejemplo se aplicó un porcentaje del 10% a la depositación de partículas, pero existe la posibilidad de que este porcentaje sea mayor. Lo anterior indica que si el porcentaje por ensuciamiento aumentara de un 10% a un 20%, entonces los costos se duplicarían.

Existen otros factores que por limitación en el alcance de esta investigación no serán incluidos pero es importante mencionarlos. Tal es el caso del costo por daño a materiales por corrosión, restauración de monumentos, limpieza de fuentes, mantenimiento de la pintura utilizada para señalamientos en la vía pública y en general mantener la limpieza en las calles y avenidas. Todos estos casos deben ser estudiados con mayor profundidad para poder hacer una evaluación confiable, de acuerdo con los datos del AMM.

5.3 Obtención de los Beneficios En Salud, Medio Ambiente y Materiales

Los beneficios económicos se plantearon desde distintos escenarios de disminución de contaminación. Se contempló disminuir los niveles de PM_{10} en 10%, 20%, 30% y el valor hasta llegar a la norma anual de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este cálculo fue en base a los niveles registrados por las 5 estaciones de monitoreo en el AMM para el año 2005. Se presenta la problemática de contaminación del AMM dado que durante este año los niveles de PM_{10} estuvieron fuera de norma durante 239 días. La Figura 1.8 presenta un histórico de esta estadística siendo el año 2002, 2003 y 2005 los que presentan una mayor frecuencia de días fuera de norma. La investigación muestra también al inicio las condiciones generales de la zona como la pirámide poblacional, índices de natalidad y mortalidad, la proyección del crecimiento poblacional, información económica, así como también algunas estrategias que se han implementado en el área con el fin de disminuir los niveles de contaminantes.

Como se planteó dentro de los objetivos en el Capítulo 1, se estimaron los beneficios generados por casos evitados en materia de salud dentro de mortalidad y morbilidad. En esta última se tomaron en cuenta episodios evitados de bronquitis crónica, asma y síntomas respiratorios. Las variables requeridas por la metodología consistieron en el cálculo de la concentración promedio ponderada a la que se encontraba expuesto cada habitante en la zona, las funciones dosis-respuesta, las tasas basales para mortalidad y morbilidad, así como también especificar la población que se tomaba en cuenta en cada padecimiento. La concentración promedio ponderada para el AMM fue de $79.81 \mu\text{gr}/\text{m}^3$, y fue obtenida interpolando los valores promedio para el año 2005 de las 5 estaciones de monitoreo del AMM. Las funciones dosis respuesta fueron consultadas y tomadas de estudios realizados en el extranjero, ya que para México no se han realizado estudios de morbilidad que pudieran indicar una relación entre la población afectada ante un cambio en el nivel de contaminante. Para las tasas basales se obtuvo información de los servicios en salud a partir de la información disponible en el AMM.

En la valoración económica para mortalidad los resultados que se obtienen son muy sensibles a los datos utilizados, lo que significa que aún hay mucha incertidumbre sobre los vínculos exactos en entre la contaminación del aire y las tasas de mortalidad humana (Molina, 2002). Al tomar en cuenta la DAP los datos tuvieron que ser transferidos de EE.UU. y ajustados a México por medio del ingreso bruto neto per cápita. Lo anterior, debido a que en México no han sido realizados estudios de este tipo.

Para el caso de morbilidad tomó en cuenta los costos de enfermedad, los cuales incluyen costos médicos y pérdidas de productividad, así como también la disponibilidad al pago. Los costos médicos estuvieron basados en datos proporcionados por servicios de salud públicos y privados. Dentro de los costos de enfermedad se obtuvieron datos de consultas, costos de medicamentos, estudios de laboratorio, se consultaron instituciones públicas y privadas. Los costos de enfermedad variaron de acuerdo a los padecimientos.

En los cálculos anteriores se tomaron en cuenta ciertas consideraciones. La Figura 4.2 está suponiendo que las personas no se mueven de su lugar durante el día para ir a su trabajo ó lugar de estudio. Sin embargo, la obtención del promedio ponderado por medio de la

interpolación de los datos de las 5 estaciones de monitoreo, representa una ventaja al obtener un resultado más aproximado que si sólo se hubiera tomado el valor en base a un promedio aritmético simple (Ostro, 1998). Las funciones utilizadas fueron estimadas para lugares diferentes al AMM, por lo que se está suponiendo cierta similitud entre las poblaciones que fueron estudiadas en las investigaciones con la población del AMM. Los estudios encontrados en la literatura internacional, mencionados a lo largo de este trabajo, suponen una disminución lineal en la concentración de PM_{10} en la zona.

Habiendo obtenido los datos para una población uniforme se aplicó la misma metodología pero ahora para cada una de las 2,279 celdas que conforman la malla sobre la cual se trabajó en la Figura 4.2. El resultado total obtenido por la Ecuación 3.4 fue de 1,256 millones de dólares para el límite superior. La Figura 4.4 representó el análisis por celda realizado para obtener el monto anterior. El resultado fue menor en 90 millones al que se obtuvo en el primer procedimiento por medio de la aplicación de la concentración promedio ponderada al AMM.

La diferencia en beneficios presentada entre los mapas de las Figuras 4.2 y 4.4 radica principalmente en que la segunda figura toma en cuenta detalles más específicos de la zona como su densidad poblacional, nivel de contaminación por PM_{10} , tasa cruda de mortalidad y población ocupada. El resultado variará de acuerdo a las condiciones de la celda en particular, en específico es de gran importancia la densidad poblacional. Debido a que es sobre ésta que están basados los casos evitados que finalmente son traducidos a un valor monetario. En cambio en el procedimiento general se analiza la situación como un todo, asumiendo mismas condiciones para los 9 municipios. El procedimiento general es más sencillo comparado con el cálculo por celda, pero este último provee mayor información. Es lógico asegurar que mientras más datos se tengan en específico de cada lugar, se podrá llegar a una estimación más apegada a las condiciones reales que están presentes en cada municipio. Como se muestra en la Tabla 4.14 no representa lo mismo bajar en 10% la contaminación para Santa Catarina que para el municipio de García ó Juárez. El impacto que este procedimiento diferenciado puede tener a un nivel político de toma de decisiones, no es comparable al procedimiento global, ya que este último tiende a agudizar ó relajar los problemas municipales. El procedimiento en que se utilizó el promedio ponderado de

contaminación se presenta como un primer paso que permitió expresar en términos monetarios los beneficios sociales en materia de salud de la población.

En el trabajo actual se utilizó para el cálculo de beneficios económicos mostrados en la Figura 4.2 una población base del año 2000 y la interpolación de los niveles de concentración promedio de PM_{10} del año 2005. Con base en los datos de concentraciones históricas proporcionados por las Figuras 1.8, 1.9 y 1.10, se puede ver como el nivel de contaminación por partículas PM_{10} en el año 2000 fue mucho menor al año 2005. Además tomando en cuenta que la población del AMM aumentó en un 9% (CONAPO, 2000) para este mismo período, puede suponerse que los beneficios económicos son aún mayores a los aquí presentados para el año 2005.

En cuanto al impacto causado en el medio ambiente se citó una investigación en donde se valoraba el capital natural de la zona de estudio en 88 millones de dólares en 1997. Se realizó una estimación donde al calcular el valor del capital natural para el 2004 fue de 73 millones de dólares. Este valor se cita bajo reserva, ya que la relación se basó únicamente en el cambio en población. Si quisiera obtenerse un resultado más certero tendría que ser estudiado cada servicio ambiental por separado y refinar su valor por hectárea. En México se está haciendo un esfuerzo por contabilizar el daño medioambiental mediante el Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas, sin embargo los cálculos no se han podido realizar a nivel estatal por lo que no pudieron obtenerse datos de esta estadística elaborada por el INEGI y sólo se presentaron datos en general para el país.

Los daños a materiales mediante la suciedad en automóviles fue un sencillo ejemplo que deja ver la cantidad de beneficios que la reducción en contaminación por PM_{10} puede traer a la zona. Se hace notar que este resultado es mayor ya que no se tomaron en cuenta los costos por limpieza vial y corrosión en equipos de industria. Factores que pueden ser agregados en futuras investigaciones.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante la realización de este estudio surgieron varias conclusiones y recomendaciones para futuras aplicaciones de la metodología aquí utilizada.

Conclusiones

De este estudio se concluye que los beneficios totales para el escenario de un 10% en reducción calculado para el procedimiento utilizando la concentración promedio ponderada del año 2005 son de 1,346 millones de dólares al año. Estos resultados se presentan en la Figura 4.3 donde también se muestra que los beneficios para llegar a la Norma Oficial Mexicana se encuentran en un rango de 3,345 a 5,029 millones de dólares. Para el procedimiento desarrollado en forma diferencial por celda el beneficio se encontró en un rango de 834 a 1,256 millones de dólares anuales. Tomando como referencia la reducción en un 10% se puede obtener un valor de beneficios per cápita de 380 dólares anuales. Este recurso económico producto de disminuir el PM_{10} podría ser aprovechado e invertido en otras necesidades sociales.

Se identificaron las formas de afectación del contaminante PM_{10} mediante los casos evitados de mortalidad y morbilidad. A través de una búsqueda principalmente de estudios internacionales se obtuvo la metodología, funciones dosis-respuesta y valores económicos que permitieron llegar a los siguientes resultados. Para el caso de la mortalidad se estima que el valor estadístico de una vida en México fue de 786,400 dólares. De este resultado se obtuvo que una disminución en 10% en los niveles de PM_{10} pudiera generar en promedio un beneficio de 246 millones de dólares anuales. Es importante mencionar que el resultado aumenta drásticamente si se tiene como meta disminuir la contaminación en un 30% ó incluso llegar a la norma, lo cual representa un beneficio de 917 millones de dólares. De acuerdo al escenario de reducción del 10% para morbilidad, el asma representaría un beneficio en promedio de 80 millones de dólares, en síntomas respiratorios de 570 millones y en asma de 0.7 millones de dólares en el AMM. Es clara la diferencia de acuerdo al número de población tomado en cuenta para realizar tal estimación. Los resultados de este trabajo muestran que los beneficios económicos no son iguales para toda el AMM. Estos

beneficios dependerán de las propias condiciones prevalecientes en cada municipio como habitantes, nivel de contaminación, casos de mortalidad y distribución de población en el AMM.

En el caso del impacto al medio ambiente, se consultó la literatura y se presentó el capital natural que potencialmente podría ser dañado, valorado en 88 millones de dólares en 1997. En la estimación de daños a materiales por ensuciamiento de autos el resultado se obtuvo en un rango de entre 8 a 22 millones de dólares, y aunque es una porción pequeña en comparación a los beneficios obtenidos por el sector salud es un gasto que podría ser invertido en otro tipo de bienes que beneficiaran a la población.

Recomendaciones

En esta investigación no fue incluido el municipio de Cadereyta, ya que sólo se incluyeron en el AMM los municipios oficiales que conforman el AMM. Este municipio es importante por la cercanía al AMM y la localización de la empresa petroquímica PEMEX. Sería interesante incluirlo en un futuro y analizar la magnitud del impacto que tendría sobre los resultados del AMM aquí obtenidos.

En el caso de que se quisiera agregar el municipio de Cadereyta al estudio, sería conveniente el contemplar alguna nueva estación de monitoreo. Lo anterior permitiría tener suficientes valores que respalden de una mejor manera la interpolación para la obtención de la línea base de concentración.

En cuanto a la calidad de datos se trató de utilizar los datos más recientes existentes para la zona de estudio. La información sobre población tuvo que ser utilizada del año 2000 ya que en el momento de elaboración de esta tesis no se habían realizado actualizaciones. Mientras que para la interpolación de concentraciones en la Figura 4.2 se tomaron en cuenta las concentraciones promedio del 2005. Se recomienda que en futuros trabajos de investigación se buscara refinar los resultados aquí presentados siendo obtenidos para un mismo año, aunque una gran limitante serán los datos del INEGI por la frecuencia con que actualiza su base de datos de población a ese nivel de detalle.

En cuanto a la información recaba por municipio se pudieran obtener datos aún más específicos haciendo uso de otro tipo de fuentes como la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares, proporcionada a nivel de AGEBS. Así como también al estimar la población ocupada por celda se podría eliminar el porcentaje fijo que aquí se estimo y dejarlo variable a las condiciones que prevalezcan en cada celda de acuerdo a grupos de edad. De esta manera se podría hacer una comparación en forma más efectiva entre el procedimiento general y el desglosado por municipio.

Para realizar la interpolación de los datos de concentración anual se hizo bajo el supuesto de que la población no se movía a lo largo del día. Aunque en este estudio se decidió ocupar la población en su totalidad, en futuros estudios se podría sugerir excluir los grupos móviles de la muestra como otra variante a probar en este caso.

En cuestión de valoración económica de la mortalidad este estudio no incluyó el costo social de que representa que una persona muera antes de tiempo. Con base en los años de vida promedio se puede estimar el costo de una muerte prematura. Es un cálculo que podría complementarse a formar parte en futuras actualizaciones de este estudio.

Finalmente, el enfoque principal de esta investigación fue evaluar los beneficios por salud. Este cálculo al ser obtenido tanto a través de un promedio ponderado de concentraciones como de un análisis por celda para el AMM, provee dos perspectivas desde las que se puede analizar la implementación de una estrategia de control de contaminación. La obtención de los beneficios económicos se convirtió en una herramienta que permitió asignar un valor monetario a los diferentes niveles de disminución de contaminantes. Lo anterior, conocido como beneficios sociales, apoya el desarrollo de políticas ambientales que promuevan la búsqueda del mejoramiento continuo de la calidad del aire.

REFERENCIAS

- Air Pollution and Health: a European Information System. Apehis Project. 2001.
<http://www.apheis.net/>, sitio web revisado en mayo de 2007.
- Air Pollution Control Division (APCD). PM₁₀ Redesignation Request and Maintenance Plan for the Pagosa Springs Area. Colorado Department of Public Health and Environment. Marzo, 2000.
<http://www.cdph.state.co.us/ap/down/SIPpagosaPM.PDF>, sitio web revisado en junio de 2006.
- American Academy of Family Physicians (AAFP). Bronquitis Crónica.
<http://familydoctor.org/e280.xml>, sitio web revisado en septiembre de 2006.
- Banco de México. Inflación.
www.banxico.org.mx, sitio web revisado en abril de 2007.
- Banco Mundial. *Glossary*. 2001.
www.worldbank.org/depweb, sitio web revisado en octubre de 2006.
- Banco Mundial. South Asia Urban Air Quality Management Briefing Note No. 11. Health Impacts of Outdoor Air Pollution. Febrero, 2003.
www.worldbank.org/sarurbanair, sitio web revisado junio de 2005.
- Banco Mundial. South Asia Urban Air Quality Management Briefing Note No. 12. “Economic Valuation of the Health Benefits of Reduction in Air Pollution”. Febrero, 2003.
www.worldbank.org/sarurbanair, sitio web revisado en junio de 2005.
- Banco Mundial. 2006 World Development Indicators.
<http://siteresources.worldbank.org/DATASTATISTICS/Resources/table1-1.pdf>, sitio web revisado en enero, 2007.
- Cancino, José. “Valoración Económica de Recursos Naturales y su Aplicación a las Áreas Silvestres Protegidas”. *Agronomía y Forestal UC. Revista 12*. Págs. 4-8. Chile, 2001.
http://www.puc.cl/agronomia/c_extension/Revista/Ediciones/12/informe1.pdf, sitio web revisado en septiembre de 2006.
- Cesar, Herman; Borja-Aburto, Víctor H.; Cicero-Fernández, Pablo; Dorland, Kees; Muñoz Cruz, Roberto; Brander, Luke; Cropper, Maureen; González Martínez, Ana Citlali;

- Olaiz-Fernandez, Gustavo; Martínez Bolívar, Ana Patricia; Olsthoorn, Xander; Rosales-Castillo, Alberto; Soto Montes de Oca, Gloria; Torrez-Meza, Víctor; Uribe Ceron, Ricardo; Van Beukering, Pieter; Vega López, Eduardo; Niño Zarazua, Max Magin; Niño Zarazua, Miguel Angel; Vergara, Walter. Improving Air Quality in Metropolitan Mexico City an Economic Valuation. Banco Mundial. Febrero, 2002. www.worldbank.org, sitio web revisado en junio de 2005.
- Cifuentes, Luis A. Valoración económica del manejo sustentable de la calidad del aire y de la contaminación: Ejemplos de experiencias, implicaciones políticas y aplicabilidad en el contexto de la región. III Reunión de la Red de Medio Ambiente. Washington, D.C. Marzo, 2004. www.iadb.org, sitio web revisado en mayo de 2006.
- Cifuentes, Luis A.; Lave, Lester B. Economic Valuation of Air Pollution Abatement: Benefits from Health Effects. Annual Review of Energy and the Environment. Vol. 18: 319-342. Noviembre, 1993.
- Cifuentes, Luis A.; Rizzi, Luis; Jorquera, Héctor; Vergara, Javier. Valoración económica y ambiental aplicada a casos de manejo de la Calidad del Aire y Control de la Contaminación. Febrero, 2004. <http://www.medellin.gov.co/PortalAmbiental/consultas%20en%20linea.jsp?numero=16>, sitio web revisado en mayo 2006.
- CONAMA. Emisiones de Material Particulado. Santiago, Chile. Junio, 1999. http://conama.cl/rm/568/articles-2572_capitulo3.pdf, sitio web revisado en mayo de 2007.
- CONAPO. Proyecciones de la población por municipios y por localidad 2000-2030. <http://www.conapo.gob.mx/micros/proymunloc/index.html>, sitio web revisado en junio de 2005.
- Costanza, Robert; D'Arge, R; Farber, S.; Grasso, Monica; Hannon, Bruce; Limburg, Karin; Naeem Shahid; O'Neill, Robert; Paruelo, Jose; Raskin, Robert; Sutton Paul. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Mayo, 1997. http://www.uvm.edu/giee/research/publications/Nature_Paper.pdf, sitio web revisado en septiembre de 2006.
- Cropper, Maureen. Urban Air Pollution. Briefing Note No.12. Banco Mundial. www.worldbank.org, sitio web revisado en octubre, 2006.

- Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Salud. NOM-025-SSA1-1993. Septiembre 26, 2005.
- Educación Médica Continua. Bronquitis Crónica y Enfisema Pulmonar. 2000. http://www.drscope.com/pac/mg/a4/mga4_p17.htm, sitio web revisado en mayo de 2007.
- EPA. The Benefits and Costs of the Clean Air Act, 1970 to 1990. October, 1997. www.epa.gov, sitio web revisado en septiembre de 2005.
- EPA. Clean Air Act Finding of Attainment and Alternative Finding of Nonattainment and Reclassification to Serious; California-Imperial Valley Planning Area; PM₁₀. Agosto, 2001. www.epa.gov, sitio web revisado en septiembre de 2006.
- EPA. Particulate Matter. 2006. www.epa.gov/oar/particulatepollution, sitio web revisado en mayo de 2006.
- ExternE. Methodology. Vol.2. 1995. www.externe.info, sitio web revisado en agosto de 2006.
- ExternE. Externalities of Energy. A Research Project of the European Commission. 2003. www.externe.info, sitio web revisado en agosto de 2006.
- Field, Barry. Economía Ambiental: Una Introducción. McGraw-Hill. Bogotá, 1999.
- Gobierno del Estado de Nuevo León. Dirección de Recursos Naturales y Patrimonio Ecológico. 2005. www.nl.gob.mx, sitio web revisado en septiembre de 2006.
- Gobierno del Estado de Nuevo León. Sistema Estatal de Estadística y Geografía (DataNL). www.nl.gob.mx, sitio web revisado en mayo de 2007.
- Ibarrarán, Eugenia; Hammitt, James. Estimación del valor económico de reducir los riesgos para la salud mediante el mejoramiento de la calidad del aire de la Ciudad de México. MIT. 2002. http://mce2.org/newsletter/nwsltr_2/espaniol/econvalue.htm sitio web revisado en octubre de 2006.
- INE. Programa de la Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 1997 – 2000. Primera Edición. México, 1997.
- INE. Análisis de Riesgo. Dirección de Investigación sobre Sustancias Químicas y Riesgos Ecotoxicológicos. México. Diciembre, 2005.

- www.ine.gov.mx, sitio web revisado en octubre de 2006.
- INEGI. XII Censo de Población y Vivienda 2000.
- www.inegi.gob.mx, sitio web revisado en agosto de 2005.
- INEGI. Estadísticas del Medio Ambiente de la Zona Metropolitana de Monterrey. México, 2002.
- INEGI. Cifras del Producto Interno Bruto Estatal 2000. Abril, 2002.
- www.inegi.gob.mx, sitio web revisado en agosto de 2006.
- INEGI. Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México: Metodología. 2000b.
- www.inegi.gob.mx, sitio web revisado en septiembre de 2006.
- INEGI. Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México 1997-2002. 2004.
- www.inegi.gob.mx, sitio web revisado en septiembre de 2006.
- INEGI. Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México 1999-2004. 2006.
- www.inegi.gob.mx, sitio web revisado en mayo de 2007.
- INEGI. Banco de Información Económica. Promedio Diario del Salario Base al IMSS. 2005. www.inegi.gob.mx, sitio web revisado en enero de 2006.
- Kuchler, Fred; Golan, Elise. Assigning Values to Life: Comparing Methods for Valuing Health Risks. USDA Economic Research Service. Agricultural Economics Report No. (AER784). Diciembre, 1999.
- <http://www.ers.usda.gov/publications/Aer784/>, sitio web revisado en agosto de 2006.
- León, Héctor. Asma Bronquial. ¿Se puede hacer algo?. Guía del paciente. Asociación Mexicana de Inhaloterapia y Fisiología Respiratoria, A.C. México, 1998.
- Levy, Jonathan; Carrothers, Timothy; Tuomisto, Jouni; Hammitt, James; Evans, John. Assessing the Public Health Benefits of Reduced Ozone Concentrations. Environmental Health Perspectives. Vol. 109. Núm. 12. Diciembre, 2001.
- Lippmann, Morton. Health Effects of Ozone. A Critical Review. Air & Waste Management Association. Vol. 39. Num. 5. Mayo, 1989.
- McKinley, Galen; Zuk, Miriam; Höjer, Morten; Avalos, Montserrat; González, Isabel; Iniestra, Rodolfo; Laguna, Israel; Martínez, Miguel; Osnaya, Patricia; Reynales, Luz; Valdés, Raydel; Martínez, Julia. Quantification of Local and Global Benefits from Air Pollution Control in Mexico City. Environmental Science and Technology. Vol. 39, Pags. 1954-1961. 2005.

- Meneses, Elieza; Álvarez, Manuel; Morales, Martha; Turtós, Leonor; Díaz, Norberto. Estimación de los Costos en Salud para la Evaluación de Externalidades. Habana, Cuba. 2004.
- www.energia.inf.cu, sitio web revisado en agosto de 2006.
- Molina, Enrique; Meneses, Elieza. Evaluación epidemiológica del impacto de los contaminantes del aire. Propuesta metodológica. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología [online]. Vol.41, No.2-3. May-Dec. 2003.
- <http://scielo.sld.cu/scielo.php>, sitio web revisado en octubre de 2006.
- Molina, Mario; Molina, Luisa. Air Quality in the Mexico Megacity. An Integrated Assessment. Boston, MA : Kluwer Academic Publishers, 2002.
- Molina, Mario. Proyecto para el Diseño de una Estrategia Integral de Gestión de la Calidad del Aire en el Valle de México 2001-2010. Núm 57. Pág 28-57. <http://eaps.mit.edu/megacities/>, sitio web revisado en agosto de 2006.
- Molina, Mario. La Importancia de los Combustibles de Ultra Bajo Azufre para México. Noviembre, 2005.
- www.cemda.org.mx, sitio web consultado en junio de 2006.
- Nevrud, Stale. Valuing Health Impacts from Air Pollution in Europe. Environmental and Resource Economics 20: 305-329. Noruega, Abril 2001.
- Noriega, Pilar. Ecosistemas Prioritarios. Análisis Estratégico del Área Metropolitana de Monterrey. ITESM. Monterrey, N.L. 2002.
- Organización Mundial de la Salud. Cost-effectiveness of environmental health interventions. 2000.
- http://www.who.int/water_sanitation_health/economic/costeffcechi/en/index.html, sitio web consultado junio de 2006.
- Organización Mundial de la Salud. Chronic non specific lung diseases. www.who.int, sitio web revisado en mayo de 2007.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). Método para comparar y combinar los estudios los estudios sobre los efectos de las enfermedades. Rev. Panamericana de Salud Pública. Vol. 12. No.3. Washington, DC. 2002.
- Ostro, Bart. Cómo estimar los efectos de la contaminación atmosférica en la salud. 1998. www.cepchile.cl/dms/archivo_1630_326/rev69_ostro.pdf, sitio web revisado en junio de 2006.

- Ostro, Bart. A Methodology for Estimating Air Pollution Health Effects. World Health Organization. Genova, 1996.
www.who.int, sitio web revisado en agosto de 2006.
- Ostro, Bart; Chestnut, Lauraine. Assessing the Health Benefits of Reducing Particulate Matter Air Pollution in the United States. Environmental Research, Section 76, 94-106. Marzo, 1997.
- Ostro, Bart; Sánchez, José Miguel; Valdés, Sebastián. Los efectos en salud de la contaminación atmosférica por PM₁₀ en Santiago. Centro de Estudios Públicos de Chile. 1998.
http://www.cepchile.cl/dms/lang_1/doc_1632.html, sitio web revisado en agosto de 2006.
- PUC. Universidad Pontificia Católica de Chile. Contaminación atmosférica. 2001.
http://www.puc.cl/sw_educ/contam/, sitio web revisado en agosto de 2006.
- Préndez, Margarita; Corvalán, Roberto; Cisternas, Michael. Estudio Preliminar del Material Particulado de Fuentes Estacionarias: Aplicación al sistema de compensación de emisiones en la Región Metropolitana de Chile. Información Tecnológica. Vol. (18), 93-103. 2007
<http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v18n2/art15.pdf>, sitio web revisado en mayo de 2007.
- PROFECO. Canasta Inteligente.
www.profeco.gob.mx, sitio web consultado en septiembre de 2006.
- Rabl, Ari. How much to spend for the protection of health and environment: A framework for the evaluation of choices. Institut Veolia Environnement. Report No.4. Octubre, 2005.
www.institutveoliaenvironnement.org, sitio web revisado en julio de 2006.
- Rojas, Aida. Evaluación de la exposición a partículas PM₁₀ y PM_{2.5} en el Área Metropolitana de Monterrey en el año 2005. ITESM Campus Monterrey. Monterrey, N.L. 2006.
- Rojas, Leonora; Garibay, Verónica. Partículas suspendidas, aeropartículas ó aerosoles. INE. 2004.
<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/422/particulas.html>, sitio web revisado en agosto de 2006.

Rojas Rubio, Hugo A. Control de la Polución Atmosférica por Acción de Humos de Chimeneas. Perú, 2002.

http://www.uns.edu.pe/civil/bv/descarga/revista_hugo_rojas.pdf, sitio web consultado en agosto de 2006.

Santos-Burgoa; Avila-Burgos, L; Gutiérrez Zuñiga, C; Hernández Peña, P. El costo social de la bronquitis crónica en la Ciudad de México: Una Experiencia Piloto. Salud Pública Mex. Vol.38 No.2: 128-138. 1996.

www.insp.mx/salud/38/382-6s.html, sitio web revisado en octubre de 2006.

Sarmiento, Miguel Angel; Prieto, Antonio; Barroso, Ana. Un Nuevo Método de Valoración Medioambiental Basado en la Variación del Producto Interno Bruto. Barcelona, España. 2004.

http://www.gruponahise.com/simposio/papers%20pdf/7%20Antonio%20Prieto_Rodriguez.pdf, sitio web revisado en octubre de 2006.

Secretaria de Salud (SSA). Mortalidad y Morbilidad. Base de Datos: 1998 y 2004.

SEMARNAT. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Presupuesto de la Delegación Autorizado para el 2005. Febrero, 2005.

www.semarnat.gob.mx/nl/deleg/presupuesto.shtml, sitio web revisado en julio de 2006.

SIMA. Gobierno del Estado de Nuevo León.

www.sima.com.mx, sitio web revisado en mayo de 2006.

SIMAT. Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México.

www.sma.df.gob.mx/simat/pimeca.htm, sitio web revisado en septiembre de 2005.

SINAIS. Sistema Nacional de Salud.

www.sinais.gob.mx, sitio web revisado en agosto de 2006.

SINIA. Sistema Nacional de Información Ambiental. Santiago, Chile. Mayo, 2007.

<http://www.sinia.cl/1292/article-34229.html>, sitio web revisado en septiembre de 2006.

SMA. Secretaria del Medio Ambiente. Gobierno del Distrito Federal. 2004.

www.sma.df.gob.mx, sitio web revisado en septiembre de 2005.

Servicio de Administración Tributaria (SAT). Salarios Mínimos. Dic, 2005.

http://www.sat.gob.mx/sitio_internet/asistencia_contribuyente/informacion_frecuente/salarios_minimos/, sitio web consultado en noviembre de 2006.

- Sociedad Mexicana de Neumología y Cirugía de Tórax, AC. Consenso Mexicano del Asma. SMNYCT. Vol.64. Suplemento 1. 2005.
<http://medigraphic.com/pdfs/neumo/nt-2005/nts051c.pdf>, sitio web revisado en octubre de 2006.
- Tollay,G, L. Babcock. Valuation of Reductions in Human Health Symptoms and Risks. US EPA. Washington, D.C. 1986.
www.epa.gov, sitio web revisado en octubre de 2006.
- Turtós, Leonor. Proyecto Programa Nacional de Desarrollo Energético Sostenible. Externalidades Atmosféricas de la Generación Eléctrica. La Habana, 2004.
http://www.cubaenergia.cu/WWWExternalidades/00613055_2003_1.pdf, sitio web revisado en septiembre de 2006.
- Universidad de Virginia. Health System. Los trastornos respiratorios: La bronquitis crónica. Enero, 2007.
<http://www.healthsystem.virginia.edu>, sitio web revisado en febrero de 2006.
- Wark, Kenneth. Contaminación del Aire. Origen y Control. Limusa Editores. México, 1998.
- Yang, Trent; Matus, Kira; Paltsev,Sergey; Reilly, John. Economic Benefits of Air Pollution Regulation in the USA: An Integrated Approach. MIT. Julio, 2004.
http://web.mit.edu/globalchange/www/MITJPSPGC_Rpt113.pdf, sitio web revisado en agosto de 2005.
- Zavala Pérez, Miguel A. Análisis de Riesgo por Contaminación Atmosférica en el AMM. ITESM Campus Monterrey. Monterrey, N.L. 2000.

APÉNDICE A

En este Apéndice se muestra enlistan los estudios que se consultaron para la obtención de las funciones dosis-respuesta. Se trataron de definir los padecimientos que coincidían en cada estudio y de esta manera identificar las funciones dosis-respuesta. Varios estudios coincidieron en sus fuentes y en su mayoría presentaron rangos de mínimo, central y máximo.

Mortalidad	Ostro Promedio anual				Molina y Molina			Cesar, et.al (World Bank 2hojas) Promedio diario por mg/m3			Ostro and Chestnut Eva. PM2.5 en EE.UU			
	Low	Central	High	Comments	Central	Comments		Central	Comments		Low	Central	High	Comments
Mortality Increase per 1 mg/m3	0.123	0.27	0.42	(0.42) Pope, 1996 (0.123) Prom de: Schwartz (93) Dockery (92) Pope (92) Ostro (95)	Cohort LT 0.3	US PM2.5	Mexico 10-38mg/m3 30-90	Cohorte 0.384	3 Estudios en US	Dockery, 93; Abbey, 93 y Pope, 95	0.1	0.35	0.6	Ratio PM2.5/PM10 = 0.6 Pope 95 (Chronic) Pope, 95; Dockery,94 1% - 10 mg/m (Acute)
Respiratory Mortality % increase per 1 mg/m3	0.074	0.34	0.625											
Cardiovascular Mortality % increase per 1 mg/m3	0.06	0.14	0.26											
Respiratory Hospital Admissions cases per 1 mg/m3 Pneumonia Hospital admissions Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) Cardiac Hospital Admissions cases per 1mg/m3	6.57E-06	1.20E-05	1.56E-05					0.139	Boletín de info estadística. Daños a la salud		4.70E-06	8.40E-06	1.20E-05	
Emergency Room Visits cases per 1 mg/m3 ERV for COPD ERV for Asthma ERV for croup in pre-school children	1.28E-03	2.36E-03	3.43E-03					0.06	Cardiocerebrovascular		2.40E-06	3.00E-06	3.50E-06	
Emergency Room Visits cases per 1 mg/m3 ERV for COPD ERV for Asthma ERV for croup in pre-school children	1.28E-03	2.36E-03	3.43E-03					0.311	Respiratory		1.20E-04	2.40E-04	3.50E-04	
RAD cases per 1 mg/m3 per adult above age 16 Nota: 19 RAD/yr basado en US Coal Fuel Cycle Report	0.04	0.057	0.09	0.0048*19*0.625 C*PM*Pop18				0.774	Estudio Ostro&Rothschild		0.029	0.058	0.091	
Acute Bronchitis cases per 1 mg/m3 per child below age 16	8.00E-04	1.60E-03	2.40E-03					1.1	Dockery and others 1996		8.00E-04	1.60E-03	2.40E-03	
Asthma Attacks cases per 1 mg/m3 per asthmatic	0.033	0.059	0.196					0.774			0.033	0.058	0.197	
Respiratory Symptoms cases per 1 mg/m3	0.091	0.18	0.273	Krupnick Cof*PM10*Pob				0.562			0.08000	0.16800	0.25600	Basado en Krupnick Cof*PM10*Pob
Chronic Bronchitis cases per 1 mg/m3 per adult above age 16/yr Children Chronic Bronchitis	3.06E-05	6.12E-05	9.18E-05		México US	Estudios no contundentes; difíciles de comparar con EE.UU 1 Población arriba de 30 años Tasa basal de México 14%		0.36	Abbey and others		3.00E-05	6.10E-05	9.30E-05	Population 25 years and over
	MIT estudio Para US (Yang, 2004).				ESTUDIO EN CHINA META-ANALISIS			ExternE						
Mortalidad					Low	Central	High	Low	Central	High	Low	Central	High	
Mortality Increase per 1 mg/m3	Acute Chronic	0.04 0.25	Spix & Whitmann 1996 Pope 2002	Acute	0.02	0.03	0.04	Acute (ST) Chronic	0.0638 0.349	0.1044 0.386	0.145 0.423	Anualizado por 100,000 personas		Schwartz,1993 Pope 1995
Respiratory Mortality % increase per 1 mg/m3					0.08	0.10	0.12							
Cardiovascular Mortality % increase per 1 mg/m3					0.04	0.06	0.08							
Respiratory Hospital Admissions cases per 1 mg/m3 Pneumonia Hospital admissions Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) Cardiac Hospital Admissions cases per 1mg/m3		2.07E-06	Dab et al 1996		0.1	0.12	0.14		0.076 0.143	0.115 0.202	0.154 0.261	0.124 0.161	0.187 0.227	0.251 0.293 Schwartz, 1994
Emergency Room Visits cases per 1 mg/m3 ERV for COPD ERV for Asthma ERV for croup in pre-school children										0.241	0.367	0.494	0.58 0.84 2.18	0.72 1.29 2.91 Schwartz, 1993 con datos diarios de Bates, 1990 3.82 Schwartz, 1991. Sacado para TSP Conversión PM10 = 0.55 (Dockery, Pope) Basado en 5 ciudades alemanas
RAD cases per 1 mg/m3 per adult above age 16 Nota: 19 RAD/yr basado en US Coal Fuel Cycle Report Acute Bronchitis cases per 1 mg/m3 per child below age 16		2.50E-02	Ostro, 1987						0.167	0.263	0.412	0.00438*0.	31.8	49.9 78.3 USA Interview Survey (HIS) por cada 1000 19*0.00263*1000
Asthma Attacks cases per 1 mg/m3 per asthmatic													0.07	0.14 0.21 Basado en Ostro 1991 coef*PM10
Respiratory Symptoms cases per 1 mg/m3													221.9	465 686.9 Basado en Krupnick coef*PM10
Chronic Bronchitis cases per 1 mg/m3 per adult above age 16/yr Children Chronic Bronchitis		1.85E-05	Abbey, 1995		0.3	0.31	0.32	Chronic Resp. Symptoms	8.05E-03	0.0123	0.01655	45	70	94 Schwartz, 1993 coef*PM10

APÉNDICE B

En este Apéndice se muestra el cálculo que se realizó para llevar a cabo la valoración económica de cada celda dentro del procedimiento de costos diferenciales. Al igual que en el procedimiento general se seleccionaron las variables para calcular los casos evitados y después proceder a la valoración económica. En el ejemplo sólo se incluyen 5 celdas de las 2,279 correspondiendo al municipio de Apodaca, mostrando su población y concentración de PM_{10} sobre la cuál se aplicará el 10% de reducción.

DATOS SIG								
		ID	PM10	Municipio	PM10	Personas T	Personas > 20	PM10 10%
1	0.0028	38	78.213	Apodaca	78.213	675	470	7.82
2	0.0028	39	77.828	Apodaca	77.828	860	600	7.78
3	0.0028	40	77.435	Apodaca	77.435	425	296	7.74
4	0.0028	41	77.031	Apodaca				7.70
5	0.0028	42	76.611	Apodaca				7.66

CASOS EVITADOS

	Mortalidad			Morbilidad								
	BAJO	MEDIO	ALTO	Asma			Bronquitis			Síntomas		
				BAJO	MEDIO	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO
1	0.018	0.040	0.062	8.711	15.574	51.738	0.17755	0.27129	0.36503	480.423	950.288	1441.270
2	0.023	0.050	0.078	11.044	19.745	65.593	0.22555	0.34462	0.46370	609.082	1204.777	1827.246
3	0.011	0.025	0.039	5.430	9.708	32.252	0.11071	0.16916	0.22760	299.480	592.378	898.440
4	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0

VALORACIÓN ECONÓMICA

	Mortalidad			CDE			DAP		
	BAJO	MEDIO	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO	BAJO	MEDIO	ALTO
1	14,233	31,244	48,601	62,113	121,240	209,996	49,723	88,709	248,047
2	18,045	39,611	61,617	78,747	153,710	266,234	63,055	112,489	314,507
3	8,873	19,476	30,296	38,719	75,577	130,904	30,997	55,299	154,626
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

BENEFICIOS TOTALES

BAJO	MEDIO	ALTO
126,069	241,193	506,644
159,848	305,810	642,358
78,588	150,353	315,827
0	0	0
0	0	0