



**Universitat Autònoma de Barcelona**

**Departament d'Economia Aplicada**

**TESIS DOCTORAL**

**Externalidades Ambientales Asociadas  
a la Contaminación del Aire**

*Director:*

*Joan Pasqual i Rocabert*

*Codirectoras:*

*Virginia Morales Sánchez*

*Elizabeth Mar Juárez*

**Presenta**

**Silvia Martínez Vásquez**

**Bellaterra, Barcelona, Octubre 2008.**

*A Dios  
Por permitirme vivir esta experiencia,  
la cual me ayudo a crecer personal y profesionalmente.*

*A mis Padres Abel y Rosa  
A mis hermanos Pedro, Elvia, Ramona, Gloria, Verónica y Eleazar  
A mis amigas Virginia, Leticia, Socorro y Kasia  
Por su constante apoyo, cariño, confianza y estímulo.*



# AGRADECIMIENTOS

---

Durante mi etapa de estudios de doctorado, en el camino se presentaron muchas personas e instituciones que me ayudaron a lograr cumplir con el objetivo, es por ello que quiero agradecer:

Al Instituto Mexicano del Petróleo, por su apoyo y financiamiento para la realización de mis estudios de doctorado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), quien me otorgó una beca de 11 meses para concluir la tesis.

Al Dr. Francisco Barnés, al Dr. Francisco Guzmán, a la Dra. Ma. Esther Ruiz Santoyo, por todo su apoyo y confianza.

Al M. en A. Daniel Ayala, a la Ing. Carmen Valdez Elías, al M en A. Efrén Camacho, al Lic. José Flores, a Beatriz Luna, y la Sra. Susana Salas, becaria del Instituto Mexicano del Petróleo.

A mis directores de tesis: Joan Pasqual i Rocabert, por su paciencia, orientación, apoyo y por las horas de tutorías. A Virginia Morales Sánchez por todas las horas de asesorías que me dedicó en el desarrollo de la tesis y sobre todo su ayuda en la logística y aplicación del estudio de valoración contingente. A Elizabeth Mar por su apoyo y orientación en la realización de este proyecto

Al profesor Emilio Padilla, por sus comentarios en el inicio del capítulo de evaluación de política ambiental, los cuales me ayudaron y ampliaron mi visión del tema.

A la Maestra Leticia Morales, por su apoyo en la logística y aplicación del estudio de valoración contingente.

A todos los profesores del Programa, especialmente a Miguel Ángel García López, por sus enseñanzas y apoyo; al profesor José Luis Raymond por su paciencia, dedicación y por las tutorías, que me ayudaron a comprender los modelos econométricos.

Al profesor Cooper y a la profesora Cameron por proporcionarme información que me fue de utilidad en la aplicación de los modelos.

A la Maestra Gloria Yañez, por la información y orientación en el tema de contaminación del aire y a la Maestra Lina Tavera, por la información en especial la base de datos de viajes, que fueron de utilidad en este trabajo.

A profesor José Luís Pinto y al profesor Jorge Eduardo Martínez, por darme información relacionada con el tema del Valor Estadístico de la Vida, que fue de ayuda en la comprensión del tema.

Al Licenciado Juan Manuel Gómez, por la información, por los datos y orientación en el tema del sistema de transporte metrobús.

A todo el personal de la Facultad de Ciencias Económicas.

A todos mis compañeros del programa de doctorado, en especial a Chary, Cesar Vargas y a Carlos Crespo, por su ayuda y por compartir muchos momentos fuera de la Universidad.

Durante el desarrollo de la tesis tuve la oportunidad de presentar mis avances en congresos y encuentros, agradezco la opinión de compañeros y profesores, lo cual me permitió mejorar el contenido.

A todos los ciudadanos de la ZMCM y los dueños de los microbuses que participaron en las encuestas.

A todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron en esta etapa de estudios de doctorado.

# ÍNDICE.

---

ÍNDICE	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE GRÁFICAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE MAPAS	9
ÍNDICE DE SIGLAS	10
<b>Introducción.</b>	12
<b>CAPÍTULO I.</b> Externalidades.	
I.1. Introducción.	15
I.2. Metodología.	16
I.3. Emisiones.	20
I.4. Dispersión.	20
I.5. Impactos a la Salud.	21
I.6. Cuantificación de los Impactos en Unidades Físicas.	24
I.7. Valoración Económica.	27
I.8. Aplicaciones de la Metodología de Externalidades.	35
<b>CAPÍTULO II.</b> Estimaciones de Externalidades en la ZMCM.	
II.1. Introducción.	38
II.2. Descripción de la ZMCM.	38
II.3. Emisiones.	39
II.4. Concentraciones.	42
II.5. Estimación de los impactos en la salud.	47
<b>CAPÍTULO III.</b> Valoración Económica.	
III.1. Introducción.	57
III.2. Valor Estadístico de la Vida.	57
III.3. Formato Binario en Valoración Contingente.	60
III.4. Enfoque de diferencias en la función de utilidad indirecta.	61
III.5. El enfoque de la Función de Variación.	63
III.6. Modelo de Doble Bondad.	64
III.7. Aplicación de la Metodología.	66
III.8. Estimación No Paramétrica .	76
III.9. Modelo Payment Card.	81
III.10. Aplicación en la ZMCM.	82

III.11.	Estimación de Costos Externos.	92
III.12.	Precios Implícitos.	96
<b>CAPÍTULO IV.</b>	<b>Evaluación de Políticas Ambientales.</b>	
IV.1.	Introducción.	98
IV.2.	El Transporte en la ZMCM.	99
IV.3.	Análisis de la Política para fuentes móviles.	107
IV.4.	Estimación de Beneficios.	113
IV.5.	Estimación de los Impactos en Salud y los Costos Evitados.	115
IV.6.	Precios Implícitos.	117
IV.7.	Análisis Costo – Beneficio.	118
<b>CONCLUSIONES.</b>		120
<b>REFERENCIAS.</b>		124
<b>Anexos</b>		
<b>ANEXO I.</b>	Zona Metropolitana de la Ciudad de México.	134
<b>ANEXO II.</b>	Emisiones de los principales Contaminantes en la ZMCM.	140
<b>ANEXO III.</b>	Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA).	146
<b>ANEXO IV.</b>	Criterios para calcular las concentraciones de Ozono y $PM_{10}$ .	148
<b>ANEXO V.</b>	Funciones Dosis – Respuesta.	152
<b>ANEXO VI.</b>	Tamaño de la muestra.	160
<b>ANEXO VII.</b>	Modelo DWEABS.	162
<b>ANEXO VIII.</b>	Cuestionario.	166
<b>ANEXO IX.</b>	Cuestionario.	174
<b>ANEXO X.</b>	Densidad de Viajes en la ZMCM.	181
<b>ANEXO XI.</b>	Características de los Autobuses Articulados, Autobuses y Microbuses.	188
<b>ANEXO XII.</b>	Proceso de Fabricación de los Autobuses.	191
<b>ANEXO XIII.</b>	Cuestionario.	193
<b>ANEXO XIV.</b>	Valores Actuales Desagregados.	195

## Índice de tablas

---

<b>TABLA 1.</b>	Inventario de Emisiones Anuales de la ZMCM, 1998.	40
<b>TABLA 2.</b>	Proyección del inventario de emisiones de la ZMVM al año 2010.	41
<b>TABLA 3.</b>	Disminución de emisiones en la ZMCM al año 2010 con programa.	42
<b>TABLA 4.</b>	Porcentajes de días con concentraciones de Ozono menores e iguales a los límites establecidos en Norma Oficial Mexicana en la ZMCM del período 1990-2006.	44
<b>TABLA 5.</b>	Concentración máxima anual de Ozono del período de 1990-2006.	44
<b>TABLA 6.</b>	Promedio aritmético anual de $PM_{10}$ en la ZMCM de 1990-2006.	46
<b>TABLA 7.</b>	Funciones exposición respuesta utilizadas para la estimación en los cambios en la mortalidad y morbilidad por la disminución en la contaminación por Ozono.	52
<b>TABLA 8.</b>	Funciones exposición respuesta utilizadas para la para la estimación en los cambios en la mortalidad y morbilidad por la disminución en la contaminación por partículas.	53
<b>TABLA 9.</b>	Impactos a la Salud por Ozono.	54
<b>TABLA 10.</b>	Impactos a la Salud por $PM_{10}$ .	56
<b>TABLA 11.</b>	Formas Funcionales para la Función Indirecta de Utilidad.	62
<b>TABLA 12.</b>	Media y Mediana de las Formas Funcionales Tradicionales.	63
<b>TABLA 13.</b>	Tamaño Óptimo de la muestra para cada rango de pago.	68
<b>TABLA 14.</b>	Características socioeconómicas de la muestra.	69
<b>TABLA 15.</b>	Descripción Variables Utilizadas.	70
<b>TABLA 16.</b>	Estimación con todas las variables formato dicotómico doble.	71
<b>TABLA 17.</b>	Estimación con variables significativas, formato dicotómico doble.	72
<b>TABLA 18.</b>	Estimación con todas las variables, formato binario.	74
<b>TABLA 19.</b>	Estimación con variables significativas formato binario.	75
<b>TABLA 20.</b>	Estimación no paramétrica.	78
<b>TABLA 21.</b>	Medidas de Bienestar Paramétrico y No Paramétrico.	79
<b>TABLA 22.</b>	Estimación Valor Estadístico de la Vida.	80
<b>TABLA 23.</b>	Características socioeconómicas de la muestra.	83
<b>TABLA 24.</b>	Descripción Variables Utilizadas.	84
<b>TABLA 25.</b>	Tabla de Frecuencia.	85
<b>TABLA 26.</b>	Estimación con todas las variables.	87
<b>TABLA 27.</b>	Estimación con variables significativas.	88
<b>TABLA 28.</b>	Estimación No paramétrica.	90
<b>TABLA 29.</b>	Medidas de Bienestar Paramétrico y No Paramétrico.	91
<b>TABLA 30.</b>	Valor Estadístico de la Vida.	91
<b>TABLA 31.</b>	Costos Evitados para $PM_{10}$ .	93
<b>TABLA 32.</b>	Costos Evitados para Ozono.	95

<b>TABLA 33.</b>	Estimación de PID.	97
<b>TABLA 34.</b>	Emisiones de las Fuentes Móviles en ZMCM, 2006.	99
<b>TABLA 35.</b>	Contribución Porcentual de las Fuentes Móviles en la ZMCM, 2006.	100
<b>TABLA 36.</b>	Distribución de la Flota Vehicular Circulante de la ZMCM (1994 -2006).	100
<b>TABLA 37.</b>	Distribución de la Flota Vehicular por Tipo de Combustible, 2006.	101
<b>TABLA 38.</b>	Distribución de la Flota Vehicular por Año-modelo y Tipo de Combustible, 2006.	101
<b>TABLA 39.</b>	Motivos de los Viajes Efectuado en la ZMCM.	104
<b>TABLA 40.</b>	Tramos de Viaje y su Porcentaje por Modo de Transporte.	105
<b>TABLA 41.</b>	Inversión en el Corredor de Indios Verdes a Dr. Galvez.	111
<b>TABLA 42.</b>	Inversión en el Corredor de Insurgentes Sur del Dr. Galvez al el Caminero.	112
<b>TABLA 43.</b>	Costos de los microbuses.	112
<b>TABLA 44.</b>	Modelos de Vehículos por Año de la Ruta 2.	113
<b>TABLA 45.</b>	Emisiones en el Corredor de Indios Verdes a Dr. Galvez.	114
<b>TABLA 46.</b>	Emisiones en el Corredor de Insurgentes Sur del Dr. Galvez al el Caminero.	115
<b>TABLA 47.</b>	Emisiones Totales en los dos Corredores.	115
<b>TABLA 48.</b>	Costos evitados asociados a la $PM_{10}$ .	116
<b>TABLA 49.</b>	Costos evitados asociados al $O_3$ .	117
<b>TABLA 50.</b>	Estimación de PID	117
<b>TABLA 51.</b>	Valor Actual Neto	118
<b>TABLA 52.</b>	Población de la ZMCM por delegación y municipio, según periodo de conurbación, 1950-2005.	136
<b>TABLA 53.</b>	Emisiones de $PM_{10}$ .	140
<b>TABLA 54.</b>	Emisiones de $SO_2$ .	141
<b>TABLA 55.</b>	Emisiones de CO.	141
<b>TABLA 56.</b>	Emisiones de $NO_x$ .	142
<b>TABLA 57.</b>	Emisiones de COT y COV.	143
<b>TABLA 58.</b>	Emisiones de $PM_{2.5}$ , $NH_3$ y $CH_4$ .	143
<b>TABLA 59.</b>	Emisiones Anuales 1998-2010.	144
<b>TABLA 60.</b>	Evolución de las Emisiones del 1990 al 2006.	145
<b>TABLA 61.</b>	Principio de operación de los equipos.	147
<b>TABLA 62.</b>	Nombres y claves de las estaciones de la RAMA.	147
<b>TABLA 63.</b>	Criterio de Calidad de los Datos de Monitoreo.	150
<b>TABLA 64.</b>	Funciones exposición respuesta utilizadas para la estimación en los cambios en la mortalidad por la disminución en la contaminación por Ozono.	152
<b>TABLA 65.</b>	Funciones exposición respuesta utilizadas para la para la estimación en los cambios en la mortalidad por la disminución en la contaminación por partículas.	153
<b>TABLA 66.</b>	Funciones exposición respuesta utilizadas para la estimación en los cambios en la morbilidad por la disminución en la contaminación por Ozono.	154
<b>TABLA 67.</b>	Funciones exposición respuesta utilizadas para la estimación en los cambios en la morbilidad aguda por la disminución en la contaminación por $PM_{10}$ .	156
<b>TABLA 68.</b>	Funciones exposición respuesta utilizadas para la estimación en los cambios en la morbilidad Crónica por la disminución en la contaminación por $PM_{10}$ .	159
<b>TABLA 69.</b>	Estimación del tamaño de la muestra.	161
<b>TABLA 70.</b>	Estimación del tamaño de la muestra.	161
<b>TABLA 71.</b>	Media de la DAP.	163
<b>TABLA 72.</b>	Estimación de los valores óptimos con N=100.	164

<b>TABLA 73.</b>	Relación entre Error Cuadrático Medio (ECM), el número de rangos de pago (m) y el tamaño de la muestra (N).	165
<b>TABLA 74.</b>	Diseño Óptimo para b y n.	165
<b>TABLA 75.</b>	Viajes Efectuado por Horarios y Motivos, en la ZMCM 1994.	183
<b>TABLA 76.</b>	Modalidad de Transporte en la ZMCM 1994.	184
<b>TABLA 77.</b>	Densidad de Viajes Atraídos en la ZMCM.	185
<b>TABLA 78.</b>	Características Técnicas de los Autobuses Articulados, Autobuses y Microbuses.	190
<b>TABLA 79.</b>	Proceso de Pintado.	192
<b>TABLA 80.</b>	Valores Actuales Desagregados Escenario 1, con tasa de actualización 5%.	195
<b>TABLA 81.</b>	Valores Actuales Desagregados Escenario 2, con tasa de actualización 5%.	197
<b>TABLA 82.</b>	Valores Actuales Desagregados Escenario 1, con tasa de actualización 7%.	199
<b>TABLA 83.</b>	Valores Actuales Desagregados Escenario 2, con tasa de actualización 7%	201
<b>TABLA 84.</b>	Valores Actuales Desagregados Escenario 1, con tasa de actualización 12%.	203
<b>TABLA 85.</b>	Valores Actuales Desagregados Escenario 2, con tasa de actualización 12%.	205

## Índice de gráficas

---

<b>GRÁFICA 1.</b>	Concentraciones de Ozono 1986-2006.	43
<b>GRÁFICA 2.</b>	Concentración máxima anual de Ozono del período de 1990-2006.	45
<b>GRÁFICA 3.</b>	Promedio anual de $PM_{10}$ en la ZMCM de 1990-2006.	47
<b>GRAFICA 4.</b>	Función de Supervivencia de la DAP.	77
<b>GRAFICA 5.</b>	Función de Supervivencia de la DAP.	89
<b>GRÁFICA 6.</b>	Distribución de Viajes para las 24 Horas del Día en la ZMCM.	104
<b>GRÁFICA 7.</b>	Distribución de Viajes para las 24 horas del Día en la ZMCM.	182

## Índice de figuras

---

<b>FIGURA 1.</b>	Preferencias entre riqueza y riesgo de mortalidad.	58
<b>FIGURA 2.</b>	Preferencias entre costos evitados y disminución de la concentración.	96
<b>FIGURA 3.</b>	Bus Articulado.	188
<b>FIGURA 4.</b>	Autobús.	189
<b>FIGURA 5.</b>	Microbús.	189

## Índice de mapas

---

<b>MAPA 1.</b>	Movilidad en la ZMCM, 2007 y 1994.	106
<b>MAPA 2.</b>	Zona Metropolitana de la Ciudad de México.	134
<b>MAPA 3.</b>	Evolución de la distribución de la población por delegación y municipio 1950-1980.	138
<b>MAPA 4.</b>	Ubicación de las estaciones de la RAMA en la ZMCM.	146
<b>MAPA 5.</b>	Movilidad en la ZMCM, 1994.	187

## Lista de siglas

---

<b>ACB.</b>	Análisis Costo – Beneficio.
<b>CEPAL.</b>	Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
<b>CONAPO.</b>	Consejo Nacional de Población.
<b>COPD .</b>	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica.
<b>CO.</b>	Monóxido de carbono.
<b>DAA.</b>	Disposición a aceptar.
<b>DAP.</b>	Disposición a pagar.
<b>DWEABS.</b>	Bid Distribution With Equal Area Bid Selection.
<b>EOD.</b>	Encuesta de Origen y Destino.
<b>ECM.</b>	Error cuadrado medio.
<b>ESIQUE.</b>	Escuela Superior de Química e Industrias Extractivas.
<b>EPA.</b>	Agencia de Protección Ambiental.
<b>ERV's.</b>	Visitas a salas emergencia
<b>ECV.</b>	Evaluación de Ciclo de Vida.
<b>F C-R.</b>	Función Concentración – Respuesta.
<b>GN.</b>	Gas natural.
<b>GLP .</b>	Gas licuado de petróleo.
<b>GDF.</b>	Gobierno del Distrito Federal.
<b>H<sub>2</sub> S .</b>	Ácido sulfhídrico.
<b>HC.</b>	Hidrocarburos.
<b>IMECA.</b>	Índice Metropolitano de la Calidad del Aire.
<b>IMP.</b>	Instituto Mexicano del Petróleo.
<b>IMSS.</b>	Instituto Mexicano del Seguro Social.
<b>INEGI.</b>	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
<b>IOEA.</b>	Organismo Internacional de Energía Atómica.
<b>KRV.</b>	Kilómetros recorridos por el tipo de vehículo.
<b>MCO.</b>	Mínimos Cuadrados.
<b>MV.</b>	Máxima Verosimilitud.
<b>NOx.</b>	Óxidos de nitrógeno.
<b>NOM.</b>	Norma Oficial Mexicana.
<b>NOAA.</b>	Administración Nacional Atmosférica y Oceanográfica.
<b>O<sub>3</sub>.</b>	Ozono.
<b>PM<sub>2,5</sub>.</b>	Partículas menores de 2,5 micrómetros.
<b>PM<sub>10</sub>.</b>	Partículas menores a diez micrómetros.

<b>PST .</b>	Partículas suspendidas totales.
<b>PPM.</b>	Partes por millón.
<b>PID.</b>	Precio Implícito por Descontaminar.
<b>PIDI.</b>	Precio implícito individual.
<b>PICCA.</b>	Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica.
<b>PROAIRE.</b>	Programa para Mejorar la Calidad del Aire.
<b>RADs .</b>	Días de actividad restringida.
<b>RAMA.</b>	Red Automática de Monitoreo Atmosférico
<b>REDMA.</b>	Red Manual de Monitoreo Atmosférico.
<b>REDDA.</b>	Red de Depósito Atmosférico.
<b>REDMET.</b>	Red Meteorológica.
<b>RTP.</b>	Red de Transporte de Pasajeros.
<b>SO<sub>2</sub>.</b>	Dióxido de azufre.
<b>SEDESOL.</b>	Secretaría de Desarrollo Social.
<b>SEMARNAT.</b>	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
<b>SIMAT.</b>	Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México.
<b>UPIICSA.</b>	Unidad Profesional de Ingeniería, Ciencias Sociales y Administrativas.
<b>VAN.</b>	Valor Actual Neto.
<b>VC.</b>	Valoración Contingente.
<b>VEV.</b>	Valor Estadístico de la Vida.
<b>ZMCM.</b>	Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

# INTRODUCCIÓN.

---

Las externalidades o costos externos son todos aquellos que se producen cuando un grupo de personas generan un costo derivado de sus actividades a otro grupo de personas. Las externalidades pueden ser positivas o negativas, pueden ser recíprocas o unilaterales, transferibles o no transferibles, agotables o inagotables; según la característica del bien, ya sea privado o colectivo.

En las últimas décadas se ha presentado un avance en la estimación de externalidades, la Agencia de Protección Ambiental y la Comunidad Europea han desarrollado y aplicado la metodología para evaluar las externalidades ambientales derivadas de los ciclos de combustibles.

En México, se han realizado algunos estudios con la finalidad de estimar las externalidades derivadas de los ciclos de combustibles fósiles, también se han estimado los beneficios económicos por mejorar la calidad del aire en la Ciudad de México. Los impactos evaluados fueron en la salud humana, el valor estadístico de la vida lo obtuvieron a través del método de transferencia de beneficios.

En la metodología para estimar externalidades ambientales se utiliza la ruta de impacto que abarca diferentes etapas, desde la emisión de los contaminantes, dispersión y concentración, el cálculo de los impactos en unidades físicas y la valoración económica.

En la etapa de valoración económica, se estima el valor estadístico de la vida, a través de tres métodos, el método de preferencias reveladas, el método de preferencias declaradas y transferencia de beneficios. En el método de preferencias reveladas los valores se extraen desde la observación de decisiones de mercados reales, mientras que el método de preferencias declaradas consiste en recrear un mercado hipotético, donde los individuos declaran la valoración que le dan a un cambio en el nivel de riesgo de mortalidad. Con el método de transferencia de beneficios, se transfieren los valores de estudios ya existentes y realizados en algún otro lugar. La utilidad de cada uno de los métodos dependerá del tipo de riesgo bajo análisis, así como de la finalidad asociada al estudio en cuestión.

Entre las dificultades que se presentan en la estimación de externalidades ambientales se encuentra el cálculo de los impactos a la salud, debido a la sinergia que existe entre contaminantes. Con respecto a la valoración económica, la principal dificultad que enfrenta el método de preferencias reveladas se encuentra en las estimaciones econométricas por las dificultades de aislar las características de riesgo de otros aspectos, mientras que con los métodos de preferencias declaradas, la principal dificultad se encuentra en la comunicación a los individuos del cambio en el riesgo de mortalidad. Por otra parte, la elección de la alternativa de transferencia de beneficios lleva a valores que pueden llegar a estar muy lejanos de la realidad local.

La importancia de estimar las externalidades radica en incorporarlas en el análisis económico de evaluación de políticas, así como de internalizarlas, es decir determinar un precio apropiado por las externalidades producidas.

El objetivo de este trabajo de investigación es estimar las externalidades ambientales derivadas de la contaminación del aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, específicamente derivados de los impactos en la salud de la población asociados a la contaminación del aire por Ozono y partículas  $PM_{10}$ .

El principal aporte que se tiene con esta investigación, es la estimación del Valor Estadístico de la Vida para dos contaminantes criterios, las partículas menores a diez micrómetros  $PM_{10}$  y el Ozono, utilizando la metodología de preferencias declaradas con dos modelos, diferencias en la función de utilidad indirecta y la función de variación. Por otro parte, se estiman los costos externos por impactos a la salud y se calcula un precio implícito por descontaminación. Adicionalmente se realiza un análisis costo – beneficio de una política ambiental, incorporando en el análisis los costos externos por impactos en la salud.

Con la finalidad de observar la sensibilidad de las medidas de bienestar y por lo tanto el Valor Estadístico de la Vida, se realiza una comparación a través de estimaciones paramétricas y no paramétricas. En la estimación de los modelos se utilizó el método de máxima verosimilitud, asumiendo una distribución normal y logística. La comparación de las medidas de bienestar se realizó a través de los intervalos de confianza.

Se concluye que si se compara los resultados del método no paramétrico con el modelo lineal paramétrico, para el caso del modelo con formato dicotómico, no se presenta diferencias significativas y por lo tanto no se alteran sustancialmente el valor las medidas de bienestar, sin embargo existen diferencias significativas cuando se comparan con el modelo logarítmico paramétrico.

Con los resultados obtenidos en la estimación de los costos externos, a través de los costos evitados por impactos a la salud, se concluye que por disminuir los niveles de contaminación de ozono y de las partículas, se genera beneficios económicos significativos.

Por otra parte, se realizó una simulación del efecto que tiene un cambio en la concentración de los contaminantes sobre los costos evitados por enfermedad, con la finalidad de estimar un precio implícito. Se concluye que entre menor es la concentración de los contaminantes se origina un aumento en los precios.

Los resultados obtenidos en el análisis costo-beneficio de una política ambiental demuestran que la decisión de inversión en una política podría cambiar al considerar las externalidades, que si solo se considera los costos- beneficios privados.

Este documento se encuentra estructurado de la siguiente manera. En el primer capítulo se describe la metodología para estimar externalidades ambientales, las diferentes etapas de que consta la ruta de impacto para estimar los costos externos desde las emisiones de los contaminantes, la dispersión, los impactos en la salud y la valoración económica. Se presenta una descripción de la aplicación de la metodología en algunos países y en México.

En el segundo capítulo se expone como caso de estudio que es la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, se describe el crecimiento de la ciudad, la contaminación del aire, así como los efectos en salud. Se presenta un análisis de las emisiones y de las concentraciones de los principales contaminantes (Ozono y  $PM_{10}$ ), y la estimación de los impactos en la salud.

En el capítulo tres, se describe el modelo del Valor Estadístico de la Vida, su estimación en el contexto de reducción de riesgo de mortalidad asociado a la contaminación del aire, utilizando la metodología de preferencias declaradas - valoración contingente-, se describe como se llevó a cabo el estudio de valoración, desde el diseño de los cuestionarios aplicados a los habitantes de la Ciudad de México hasta la obtención de las medidas de bienestar. Se exponen los principales resultados del ejercicio de valoración económica, después de aplicar dos modelos diferentes. Adicionalmente se muestra los resultados de un análisis de sensibilidad realizado a las medidas de bienestar al comparar estimaciones paramétricas y no paramétricas de los modelos aplicados.

En el capítulo, también se presenta los resultados obtenidos de la estimación de los costos externos, a través de los costos evitados por impactos a la salud, que se obtienen de disminuir los niveles de contaminación de Ozono y de las partículas. También se presenta, una estimación de los precios implícitos por descontaminar.

Finalmente en el capítulo cuatro, se muestra los resultados del análisis costo – beneficio de una medida de política ambiental aplicada en la ZMCM, al aplicar la metodología de externalidades, considerando las diferentes etapas, emisiones de los contaminantes, los impactos a la salud y la valoración económica.

# CAPÍTULO I.

## Externalidades

### I.1. Introducción

---

Los problemas ambientales, como es el caso de la contaminación, surgen cuando se han rebasado la capacidad que tiene el medio para asimilar los residuos derivados de las actividades humanas; causando daños e imponiendo riesgos sobre la humanidad, los ecosistemas y materiales. Tales es el caso del ciclo de combustibles que emiten contaminantes que son transportados a la atmósfera y cuando son inhalados crean riesgos a la salud o disturbios al ecosistema. Los daños ocurridos son efectos externos, que no son contabilizados por las personas o instituciones causantes del efecto.

Un costo externo surge cuando una actividad social o económica de un grupo de personas tienen un impacto en otro grupo y cuando esos impactos no son totalmente contabilizados o compensados por el primer grupo. Una de las formas de comparar estos efectos externos con los costos es transformándolos en unidades comunes como son las monetarias.

Las externalidades pueden ser transferidas, esto sucede cuando el primer receptor de la externalidad deja de soportar sus efectos transfiriéndola a otros, como es el caso del transporte de residuos lejos de la zona que los generó. Las externalidades también pueden ser inagotables, cuando la cantidad de externalidad es la misma para todos los receptores y coinciden con el total producido, un ejemplo es la disminución de la capa de ozono como consecuencia de las actividades de producción y consumo produce una externalidad en cada receptor que no depende de la cantidad de receptores, aunque todos sufran de la misma cantidad de ese impacto. (Pasqual, 1999).

El concepto de externalidades se estableció más de medio siglo en el área económica, sin embargo en las dos últimas décadas varios estudios comenzaron a considerar la evaluación de las externalidades asociadas con el medio ambiente. La estimación de los costos externos por parte de las empresas privadas como de las instituciones gubernamentales tiene los siguientes propósitos:

- **Decisiones de Inversión.** La necesidad de tomar buenas decisiones de inversión radica en el conocimiento de las consecuencias que se tendrán de llevar a cabo una acción o proyecto, como es el caso de la localización de una planta de producción, de refinación de petróleo, una planta generadora de electricidad, una procesadora de gas, etc. Este tipo de proyectos generan impactos ambientales y de salud para la sociedad, es importante conocer los efectos externos derivados de la producción, operación, y distribución de un producto e incluirlos dentro de la información para la toma de decisiones. Para tomar la decisión de invertir en el proyecto, se debe estimar el costo social, es decir considerar la suma de los costos internos y externos ocasionados durante toda la fase y si la decisión de inversión es considerada en el presente, pero las consecuencias de la decisión recaen en las siguientes décadas, estos costos también deben ser estimados. (ExternE, 1995).

- Otra de las razones para estimar los costos externos es la ayuda que proporciona en la valoración global de la utilidad de la tecnología, encontrando las fortalezas y debilidades, localizando los puntos donde se requiera de mejoras; también se podría justificar y soportar futuras investigaciones en la búsqueda de mejoras tecnológicas.
- El consumo de bienes y servicios también causan costos externos, este consumo puede influir considerablemente en el tamaño de la externalidad. Una opción que se propone para internalizar los costos, es a través de la imposición de impuestos que sean igual a los costos externos, con el fin de que los precios reflejen los verdaderos costos y también la verdad ecológica. Sin embargo, algunas veces no es factible fijar un impuesto diferente para cada caso individual de bienes; entonces se considera como alternativa que el costo externo promedio por clases de bienes, sitios o actividades debería considerarse para determinar el impuesto.
- Otro campo de aplicación es la ejecución del análisis costo beneficio en las políticas y medidas que reduzcan los impactos ambientales y de salud. Generalmente la ejecución de políticas implica costos para la industria y el consumo. Los beneficios pueden expresarse como costos externos evitados. Para calcular los costos evitados externos, es necesario crear dos escenarios: un escenario base en el cual se describen el desarrollo sin la implementación de o la política y un escenario que incluye la medida, entonces los impactos para los dos escenarios son calculados. La diferencia de los impactos se estiman en términos monetarios, estos datos son los costos evitados o los beneficios. Estos beneficios pueden entonces ser comparados con los costos, si los beneficios son mayores que los costos, la política o medida es benéfica para el bienestar social.
- La quinta área de aplicación es la valoración de los impactos ambientales y de salud ocurridos en una región debido a las diferentes actividades de la rama de la economía, en términos de contabilidad verde. Por ejemplo, uno podría valorar los efectos en la salud debido a las emisiones de diferentes contaminantes, entonces clasificarlos en diferentes categorías: fuentes, sectores económicos o contaminantes, comparar los efectos en salud en diferentes años para encontrar como la situación podría mejorar, considerando dos escenarios con y sin la actividad, entonces los costos externos de los dos escenarios son comparados.

Dada la importancia que tiene la estimación de los costos externos, en este capítulo se describe la metodología para estimar las externalidades ambientales.

## I.2. Metodología

---

En las dos últimas décadas se presentó un avance en la estimación de las externalidades ambientales. La Agencia de Protección Ambiental<sup>1,2</sup>, (EPA, por sus siglas en inglés), estimó los Costos y Beneficios totales por Implementar los programas de mejoramiento del aire contemplados en la “Clean Air Act (CAA)”, el primer reporte consistió en un análisis retrospectivo de la contaminación en el período 1970 a 1977, los resultados del análisis demostraron que invertir en el mejoramiento del aire fue más que justificado por los beneficios que se obtenían en el mejoramiento de la salud, calidad del aire y la productividad.

---

<sup>1</sup>EPA (2003). Benefits and Costs of the Clean Air Act 1990 - 2020: Revised Analytical Plan For EPA's Second Prospective Analysis.

<sup>2</sup>EPA (1999). The Benefits and Costs of the Clean Air Act 1990 to 2010. Report to Congress.

En el segundo reporte se presentó avances en la metodología en comparación del primer reporte, se establecieron nuevas metas y el tiempo de implementación, aumento el nivel de exigencia de algunos requerimientos, se agregaron nuevos programas para el control de la lluvia ácida precursor del ozono estratosférico, además de considerar las expectativas futuras en los programas de regulación.

El análisis consistió en una secuencia de seis etapas:

1. Estimación de la reducción de las emisiones de los contaminantes del aire para el período 1990, 2000 y 2010.
2. Estimación de los costos de reducción de las emisiones.
3. Modelación de la calidad de aire.
4. Cuantificar los beneficios la salud humana y el ambiente.
5. Estimar el Valor Económico de limpiar el aire.
6. Consideración de las incertidumbres.

Por otro lado, la Comunidad Europea en colaboración con el Departamento de Energía de los E.U.A. desarrollaron una metodología, para evaluar los costos externos asociados con diferentes ciclos de combustibles. A este proyecto de colaboración que fue iniciado en 1991 se le denominó en Europa “Proyecto ExternE”<sup>3</sup>.

El proyecto ExternE tenía como propósito ser el primer método sistemático para la evaluación de los costos externos de diversos ciclos de combustible. Los objetivos principales del estudio a fines de 1995, cuando se publicó la primera serie de reportes, fueron:

- Desarrollar una metodología unificada para cuantificar los impactos ambientales y los costos sociales asociados con la producción y consumo de energía;
- Utilizar esta metodología para evaluar los costos externos del uso incremental de diferentes ciclos de combustible en diferentes sitios de la Unión Europea;
- Identificar puntos metodológicos críticos y requerimientos de investigación.

La siguiente fase del estudio partió de 1996 a 1997, y constó de 3 partes:

El Programa Core, el cual fue orientado a refinamiento de la metodología, particularmente en los puntos mencionados anteriormente. Como segundo objetivo se planteo explorar los resultados de la aplicación de la metodología de externalidades y evaluación del impacto. Una tercera parte fue aplicar la metodología hacia áreas del sector de energía que no habían sido explorados previamente dentro de ExternE.

El Programa de Implementación Nacional, el cual consistió en la aplicación de la metodología para el sector de energía en 15 países de la Unión Europea. (a excepción de Luxemburgo e incluyendo a Noruega).

El Programa de Transporte de ExternE, en el cual la metodología fue adaptada por la caracterización de los impactos y daños del sector transporte.

En la actualidad, el objetivo principal del proyecto ExternE versión 2005 es aplicar la metodología para la evaluación de externalidades a un amplio rango de ciclos de combustibles fósiles, nucleares

---

<sup>3</sup> ExternE (2005, 1998, 1995). Externalities of Energy Methodology.

y renovables, para la generación y conservación de la energía, y para apoyar a los tomadores de decisiones, así como coadyuvar en la aplicación de los Programas Nacionales de Implementación. La metodología también está siendo aplicada para la evaluación de las externalidades asociadas con el uso de la energía en los sectores transporte y doméstico, y de un número de externalidades no ambientales como las asociadas con la seguridad.

La metodología provee una estructura para transformar los impactos que son expresados en diferentes unidades a una unidad monetarias, con las siguientes etapas:

1. Definición de la actividad o proceso a ser valorado, así como el escenario base donde la actividad esta incorporada, definiendo también la categoría de impactos más importantes y las externalidades.
2. Estimación de los impactos o los efectos de las actividades (en unidades físicas). Generalmente los impactos de las actividades son diferentes considerando dos escenarios: con y sin la actividad.
3. Monetización de los impactos.
4. Análisis de sensibilidad de las incertidumbres.
5. Análisis de resultados y conclusiones.

La metodología ExternE trata de cubrir todos los efectos externos relevantes, sin embargo en el estado actual del conocimiento, aún existen brechas e incertidumbres. El propósito de continuar las investigaciones es cubrir más efectos y reducir brechas y mejorar la metodología para reducir incertidumbres. Las siguientes categorías de impactos son considerados en esta metodología.

- a) **Impactos Ambientales.** Impactos que son causados por ciertas sustancias como lo son las partículas finas, el ruido, la radiación; derivadas de la producción y/o uso de la energía y que afectan al medio ambiente: aire, tierra y agua, así como de los efectos en la salud. La materia prima y la energía son transportadas, transformadas y finalmente recibida por los humanos, las plantas, los materiales y el ecosistema; durante este proceso se causan riesgos y daños.

Para estimar los impactos ambientales la metodología utilizada es la ruta de impactos, debido a la falta de conocimiento de la ruta de las emisiones que causan daño, algunas veces no puede ser cuantificados; en ese caso, otro segundo método a utilizar podría ser los costos evitados marginales o costos de reforestación.

- b) **Impactos del Calentamiento Global.** Para el calentamiento global se considera los daños que se pueden estimar y cuantificar, aunque las brechas e incertidumbres son grandes. La metodología recomienda la utilización de costos evitados. La cuantificación de los daños es estimada basándose en una aproximación de arriba-abajo (top-down), el total de los daños de un escenario es calculado y entonces distribuido sobre los gases efecto invernadero. Sin embargo debido a las grandes incertidumbres y posibles brechas, se utiliza adicionalmente una aproximación de costos evitados. En el caso que los costos marginales evitados esta fuera del alcance, entonces se puede utilizar emisiones objetivos o metas.
- c) **Accidentes.** Los accidentes son los eventos indeseados en contraste con la operación normal. Se realiza una distinción entre impactos públicos y riesgos de accidentes laborales, un riesgo público puede en principio ser valorado al describir el posible accidente, calculando el daño y por la multiplicación del daño con la probabilidad de los accidentes. Una cuestión aún no con-

tabilizada es la aversión al riesgo, lo cual significa que altos impactos con bajas probabilidades que son los más problemáticos y difíciles de estimar, aún no se ha desarrollado un método para estimar este tipo de riesgo. Para el riesgo ocupacional algunas estadísticas son disponibles; la dificultad del punto aquí es para juzgar cuando se considera exento de riesgo externo.

- d) **Seguridad Energética.** Si los inesperados cambios de disponibilidad y precios de energía llegan a ocurrir, esto tiene impactos, por instantes sobre el crecimiento de la economía. Un primer intento para estimar el orden de magnitud del resultado de costos externos se ha hecho en el proyecto “ExternE-POL”, sin embargo la metodología actualmente es revisada por el proyecto “CASES”, el cual será descrito en una futura descripción de la metodología Externe cuando este disponible.

## Ruta de Impacto

Los procesos de combustión comprendidos en las diferentes etapas de los ciclos de los combustibles fósiles, principalmente los procesos de refinación o procesamiento, así como el uso final de los productos derivados, incrementan la emisión de los contaminantes al aire y por consecuencia incrementan la concentración de ciertos contaminantes atmosféricos. Varios de estos contaminantes han sido asociados con los efectos adversos en la salud de la población expuesta.

De acuerdo con la metodología Externe, el alcance de los impactos se estima siguiendo una aproximación de función de daño, es decir la ruta del impacto. La ruta de impacto requiere una estimación de los impactos en términos físicos y después una valoración de esos impactos basados en las técnicas de valoración, en algunas de ellas se considera las preferencias individuales de los afectados. Esta aplicación ha tenido éxito en la aplicación de impactos a la salud, pero en otros casos no puede ser totalmente aplicado, como es el caso de acidificación y eutrofización del ecosistema o porque la estimación de los impactos físicos es limitada como es el caso del cambio climático.

La Ruta de Impacto es utilizada para la cuantificación de impactos ambientales y se caracteriza por las siguientes etapas:

- Emisión de contaminantes: Especificación de contaminantes emitidos.
- Transporte y conversión química, concentraciones en el ambiente: Calculo de incremento de la concentración de las regiones afectadas, usando modelos atmosféricos de dispersión atmosférica.
- Impactos: Cálculo de los impactos en unidades físicas, utilizando funciones exposición – respuesta.
- Valoración Económica: Valoración de los impactos en términos monetarios.

En términos de costos, los impactos a la salud contribuyen en gran medida la estimación de daños en Externe, un consenso entre expertos en salud publica mencionan que los niveles actuales de contaminación agravan la morbilidad (especialmente enfermedades respiratorias y cardiovasculares) y prematura mortalidad, recientes estudios han identificado que las partículas finas como el principal contaminante, aunque el ozono también esta implicado.

## Incertidumbres

En la estimación de costos de los daños se observan las incertidumbres, muchas personas cuestionan la utilidad de estos costos de daños, una respuesta emitida para esta crítica es que alguna incerti-

dumbre por un factor de tres es mejor que infinitas incertidumbres. En muchos casos los beneficios son mayores o menores que los costos implicados en una decisión, se puede observar claramente la parte de las incertidumbres. También puede suceder que la decisión de políticas sea tomada con o sin ningún significativo sesgo a favor de los costos o beneficios.

Una de las posibilidades para explorar las incertidumbres en el contexto específico de decisiones específicas es realizar un análisis de sensibilidad y checar con cada una de las decisiones, por ejemplo: implementación de la tecnología A en lugar de la B, cambios en diferentes suposiciones; como los son la tasa de descuento, valoración de la esperanza de vida perdida, costos por tonelada de carbono. Este análisis ayudará a seleccionar el resultado más robusto.

### **I.3 Emisiones**

---

Durante las actividades del proceso de producción, la recepción, el tratamiento, procesamiento, así como el procesamiento, almacenamiento, distribución y consumo de los combustibles fósiles se generan emisiones a la atmósfera. La importancia de la estimación de emisiones radica en la identificación de las causas o de las fuentes que contribuyen en el incremento de los niveles de contaminación.

Para estimar las emisiones de cada uno de los contaminantes a la atmósfera se utilizan los factores de emisión, estos se pueden obtener a través de técnicas específicas, como es el caso de la industria; las mediciones de las emisiones se realizan directamente en la fuente de emisión, para ello se requiere muestras en las instalaciones y los cálculos para obtener las emisiones se basan en metodologías y modelos específicos de estimación.

Entre las referencias de mayor importancia se encuentran las citadas en el documento AP-42 de la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (EPA, 2000). Los modelos como el caso de Air Chief, Fire y Tanks (EPA, 2000) utilizan programas de software que permiten hacer estimaciones a partir de información del proceso de producción, datos de cada actividad y están basados en trabajos experimentales, lo que garantiza la obtención de resultados y tendencias cercanas a la realidad.

Para el caso de almacenamiento masivo de combustible en tanques se utilizan los modelos de estimación las emisiones de diferentes contaminantes; por ejemplo: el modelo TANKS para estimar emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), el modelo GloBEIS 3 para calcular las emisiones COV y óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) provenientes de vegetación y del suelo. Los modelos MOBILE, para el cálculo de las emisiones de compuestos orgánicos totales (COT),  $\text{NO}_x$ , monóxido de carbono (CO), Partículas micrométricas ( $\text{PM}_{10}$ ) y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) de algunas categorías de fuentes móviles, etc. Estos modelos han sido desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América “EPA-EUA”.

### **I.4. Dispersión**

---

La contaminación atmosférica generada por el ciclo de combustibles fósiles es fundamentalmente emitida por las chimeneas de las plantas procesadoras, estos contaminantes primarios son los res-

ponsables de los impactos en la salud y son los precursores a través de reacciones químicas con el ambiente de los contaminantes secundarios.

Debido a la dispersión natural de la contaminación es difícil deducir la relación entre fuente – receptor. Para ello, se utilizan modelos matemáticos que incluyen la dispersión atmosférica, transformación y disminución de los contaminantes presentes en un día y predice los cambios en los patrones de emisión. Estos modelos varían en complejidad y tipo en función de la naturaleza del problema y el comportamiento de la atmósfera.

Existen diferentes modelos de calidad del aire aplicados a escala urbana, regional, continental y global.

“La dispersión de los contaminantes en la atmósfera depende de diversos factores: su naturaleza física y química, y las características topográficas (uso del suelo y orografía) y meteorológicas (temperatura, velocidad y dirección del viento) del medio en que son emitidos. La formulación de los modelos de calidad del aire es la principal herramienta científica para predecir los cambios ambientales que pueden ocurrir en la atmósfera, además de que son ampliamente utilizados para demostrar el cumplimiento de la legislación existente y para analizar la efectividad de las diversas estrategias de control de la contaminación. El fundamento de los modelos de calidad del aire está apoyado en las ecuaciones de conservación de masa del aire. En estas ecuaciones se trata de representar la dispersión de las moléculas en la atmósfera incluyendo términos como transporte, advección, difusión, emisión y deposición” (Melgar *et al*, 2004)

## **I.5. Impactos en la Salud**

---

La contaminación atmosférica se define como la presencia en el ambiente de partículas de materia sólida o gases ajenos a la composición natural del aire, que en cantidades suficientemente grandes producen efectos dañinos a la salud humana. Los principales contaminantes del aire son: el ozono, el dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno, el monóxido de carbono, las partículas suspendidas totales, las partículas de fracción respirable y el plomo. Estos contaminantes son generados por fuentes naturales o artificiales. Las fuentes naturales de contaminación son las que se generan en el medio ambiente sin que el hombre intervenga como son la erosión de los suelos, las fuentes artificiales son aquellas en las que las actividades humanas son las responsables.

La contaminación del aire de una gran variedad de fuentes provoca que el horizonte se vea borroso, irritan los ojos, provocan e intensifican enfermedades respiratorias y aumenta los riesgos de muerte, sobre todo en los niños y ancianos, a causa de las infecciones respiratorias.

La contaminación puede producir efectos nocivos a la salud humana de corto y largo plazo. Los efectos de corto plazo sólo se dan casos extremos de exposición como accidentes industriales o episodios de contaminación extremos como inversiones térmicas, como es el caso de Londres en donde se produjo una inversión térmica de 5 al 10 de diciembre de 1952, que impidió que se disiparan los gases, se concentraron en el aire miles de toneladas de hollín que desembocaron un episodio grave, ese episodio insólito fue el detonador de una lucha ambiental intensa, la neblina que cubrió Londres produjo 4.000 muertes adicionales a las normales, al extenderse 30 kilómetros a la redonda y reducir la visibilidad a menos de 5 metros. (Garfias y Díaz, 2003).

Los efectos de la contaminación sobre la salud humana de largo plazo no son tan claros como los casos de exposición aguda, y suelen presentarse generalmente en áreas altamente industrializadas y urbanizadas. Algunos de los efectos de estas largas exposiciones son enfermedades respiratorias y cardiovasculares crónicas, alteraciones en las funciones de los pulmones como ventilación y el transporte de oxígeno, irritación de ojos, garganta y nariz, así como el empeoramiento de enfermedades como asma y en el peor de los casos, la muerte.

La contaminación del aire tiene distinto potencial para producir daño a la salud humana, lo cual depende de propiedades físicas y químicas, de las dosis que se inhala y del tiempo de exposición.

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

La exposición a los contaminantes se puede clasificar en aguda y crónica, de acuerdo al período de exposición y a la concentración de contaminantes. La exposición aguda es una exposición a concentraciones elevadas de contaminantes y de corto tiempo, que puede ocasionar daños sistémicos al cuerpo humano, que van desde el aumento de la mortalidad total, por causas respiratorias y cardiovasculares a las alteraciones del funcionamiento pulmonar y otros sistemas, pasando por un incremento en el número de visitas médicas e ingresos hospitalarios, (Ballester *et al*, 1999). Por otra parte, la exposición crónica involucra exposiciones de largo plazo a concentraciones relativamente bajas de contaminantes. En estas circunstancias, los contaminantes van ocasionando daños a la salud humana como respuesta a factores acumulados, interactuantes y recurrentes.

La morbilidad<sup>4</sup> también está asociada con la exposición aguda a los contaminantes. Las enfermedades del tracto respiratorio superior e inferior, asma; son un ejemplo de la morbilidad asociada a la exposición aguda (Hernández *et al*, 2007); Así como, la bronquitis, neumonía y enfermedades pulmonares obstructivas.

Los efectos a la salud debidos a una exposición crónica a contaminantes atmosféricos se conocen menos, sin embargo son similares a los reportados para una exposición aguda. Existen estudios que indican un incremento en la mortalidad, principalmente en individuos de la tercera edad con padecimientos respiratorios y cardiovasculares. El incremento de enfermedades respiratorias, como la bronquitis se reporta como una consecuencia de la exposición crónica. (Naess *et al* 2006), (Levy *et al* 2000).

La investigación científica desarrollada durante las últimas décadas ha avanzado significativamente en el campo de la identificación y medición de los efectos de la contaminación en la salud humana; sin embargo, la mayor parte de los estudios realizados consiste en el análisis de casos y situaciones de exposición aguda, Recientemente se ha trabajado en la evaluación de los efectos de la contaminación en exposiciones de largo plazo, en donde se mide la relación entre la exposición de partículas a largo plazo y las causas de enfermedades. (Pope *et al* 2002).

## Partículas

Las partículas suspendidas suelen ser pequeños contaminantes como polen, esporas, polvo, hollín y metales diversos, cuando existe bajos niveles de salubridad e higiene suelen añadirse los polvos de materiales fecales, estas partículas varían de tamaños, desde 0,005 hasta 500  $\mu\text{m}$ . Las partículas de fracciones respirables,  $\text{PM}_{10}$ , tienen un tamaño menor de las 10 micras, es por eso que su sedimentación es tan lenta y son fácilmente inhaladas por el hombre, convirtiéndolas en uno de los contaminantes más peligrosos para la salud, dada su acumulación en el organismo.

Una partícula suspendida se encuentra en estado sólido o líquido, su tamaño varia de 0.001 a 100  $\mu\text{m}$ , encontrándose mayormente partículas entre 0.1 y 10  $\mu\text{m}$ . Las partículas dentro de este intervalo se llaman partículas menores a 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ). Dentro de las  $\text{PM}_{10}$  se encuentra otro grupo, llamado partículas menores a 2.5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ).

A diferencia de las partículas mayores a 10 micrómetros, las  $\text{PM}_{2.5}$  penetran directamente al aparato respiratorio sin ser capturadas por sus mecanismos de limpieza. Una vez que las partículas han entrado al tracto respiratorio, dependiendo de su tamaño, pueden acumularse en diferentes sitios. Las  $\text{PM}_{10}$  penetran hasta la zona traqueo-bronquial, mientras que las  $\text{PM}_{2.5}$  pueden penetrar hasta los alvéolos pulmonares<sup>5</sup>.

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

El aumento en las concentraciones de partículas  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  generalmente se han relacionado con el aumento de visitas a servicios de urgencias, aumento de sintomatología respiratoria, hospitalización por incremento de los padecimientos respiratorios, bronquitis aguda en niños, bronquitis crónica en adultos y muerte prematura, principalmente en menores de edad y las personas adultas mayores. (Hernández et al, 2007), (Barrios et al, 2004).

Entre los componentes de las partículas  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  se encuentran compuestos orgánicos (como benceno, 1-3 butadieno, hidrocarburos aromáticos policíclicos, dioxinas, etc.) y compuestos inorgánicos (como carbono, sulfatos y nitratos), entre otros.

La investigación científica desarrollada en los últimos años, ha demostrado la relación que existe entre la contaminación y los efectos en la salud y la mortalidad. (Pope et al 2002), (Naess et al 2006), (Levy et al 2000).

## Ozono

El ozono es un gas incoloro con altos niveles de toxicidad que cuando se encuentra en la troposfera es muy venenoso en altas concentraciones. Es el producto de la reacción entre óxidos de nitrógeno con vapores de hidrocarburos en presencia de luz solar. Los efectos del ozono troposférico en la salud de los individuos de regiones urbanas consisten en un decremento de la capacidad respiratoria y dolores al respirar.

---

<sup>4</sup>Proporción de individuos de una población que padece una enfermedad en particular.

<sup>5</sup>Fuente: Capítulo 4. Los efectos en salud por la contaminación del aire. PROAIRE 2002.

Largas exposiciones al ozono pueden ocasionar graves complicaciones respiratorias como la inflamación pulmonar. En el caso de los individuos con problemas respiratorios crónicos se llegan a presentar complicaciones recurrentes en los síntomas de sus enfermedades. (Rosales *et al*, 2001).

De acuerdo con Viscussi (1991), la bronquitis crónica puede ser causada a través de prolongadas exposiciones a contaminantes del aire. El ozono suele irritar las vías respiratorias y las PM<sub>10</sub> se alojan frecuentemente en estos conductos, provocando así la bronquitis crónica. Toda la gente está expuesta a contraer enfermedad, aunque se ha encontrado que las personas con mayor propensión son aquellas que trabajan en minas, industrias metalúrgicas e industrias con altos niveles de contaminación ambiental. Los episodios de esta enfermedad empeoran visiblemente con altos niveles de contaminación ambiental, en particular, cuando los niveles de dióxido de azufre, PM<sub>10</sub> y ozono sobrepasan los límites pertinentes.

Con respecto a los efectos en la salud debido a los compuestos tóxicos, en los estudios de la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos, se estimó que los compuestos tóxicos que contribuyen en el desarrollo de cáncer son: la materia orgánica policíclica, el 1,3-butadieno, el formaldehído, el benceno, los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y las emisiones que se generan por el uso del diesel. Además, existen tóxicos que no causan necesariamente cáncer aunque están relacionados con efectos respiratorios, neurológicos y defectos al nacimiento.

## I.6. Cuantificación de los Impactos en Unidades Físicas

---

### Funciones Dosis Respuestas

Para cuantificar los impactos en la salud humana ocasionados por la exposición de contaminantes se utilizan las funciones Concentración – Respuesta o también conocido como funciones Dosis-Respuesta. Existen diferentes tipos de estudios que correlacionan los cambios en los niveles de concentración de contaminantes con los efectos en la salud de la población que está expuesta.

*Estudios de Toxicológicos Experimentales (Chamber studies)*: Son estudios que se llevan a cabo bajo ambientes y condiciones controladas, se pueden estimar los efectos agudos en la salud, aunque este tipo de estudio tiene la limitante de que son muy específicos y aplicables a la población de estudio, siendo esta también de tamaño limitado. Además hay que tomar en cuenta que estos estudios toman en cuenta patrones de conducta muy específicos y no se pueden representar los cambios de concentración que verdaderamente ocurren a lo largo de un día o de varios días. (EPA 2003, 1999), (Ballester *et al*, 1999).

*Estudios epidemiológicos*: Se basan en análisis estadístico que relaciona la exposición a ciertas concentraciones ambientales y los efectos en salud. Considera una población más grande que los de cámara, incluyen más o varios parámetros de conducta, así como se pueden representar los cambios temporales y espaciales de las concentraciones diarias. Los estudios epidemiológicos se dividen en estudios de cohorte y en estudios ecológicos. (EPA 2003, 1999), (Ballester *et al*, 1999).

Los estudios de cohorte son estudios epidemiológicos en los cuales se define un grupo de individuos sanos basados en la presencia o ausencia de una exposición a un factor de riesgo supuesto, posteriormente se monitorea durante un tiempo para evaluar la ocurrencia de la enfermedad en

cuestión. Los estudios cohorte pueden ser retrospectivos, es decir cuando se trabaja con datos históricos de niveles de contaminantes a lo largo de varios años e incluye exposiciones y resultados que ya pasaron y los prospectivos cuando se trabaja con condiciones actuales y se pronostica un cambio de concentración específico y se observan exposiciones que todavía no han sucedido. Estos estudios utilizan información específica del sujeto o individuo acerca de variables como su estatus de fumador u ocupación.

Los estudios ecológicos, a su vez, se subdividen en dos tipos, los llamados series de tiempo y los de corte seccional (*cross sectional*). Los de series de tiempo correlacionan cambios en la exposición en un periodo de tiempo, con cambios en los resultados o efectos en salud. Los estudios más comunes correlacionan variaciones diarias en la contaminación del aire con variaciones en la mortalidad diaria en una ciudad determinada, principalmente mide los efectos de la exposición aguda a la contaminación del aire. La ventaja de estos estudios es que no requieren control de un gran número de factores o variables confusoras ya que las características de la población se mantienen básicamente sin cambios (edad, fumadores, exposición ocupacional, hábitos de salud). Se han llevado a cabo un gran número de este tipo de estudios alrededor del mundo, quizá porque resulten ser más económicos y se obtienen resultados más rápidamente que en el estudio cohorte. (EPA, 2003, 1999), (Ballester *et al*, 1999), (Mishra, 2003).

Los estudios cohorte y los de corte seccional (*cross sectional*) se utilizan para estimar el daño a exposiciones a largo plazo, mayores de un año. Mientras que los de series de tiempo se utilizan para efectos agudos, es decir exposiciones de uno o varios días.

### **Relaciones Concentración-Respuesta**

El incremento en la contaminación del aire es atribuible al uso de combustibles fósiles, y aquellos formados subsecuentemente cuando las emisiones interactúan con el ambiente externo. Tanto los niveles de fondo como los incrementos en la contaminación varían en tiempo y espacio; el incremento en la contaminación también varía por la tecnología y la fuente de combustible.

Dada esta complejidad, no es sorprendente que no existan estudios apropiados del incremento en los efectos sobre la salud por la exposición a estas mezclas de contaminantes específicos. El trabajo de Ostro, Krupnick y colegas en un estudio en los Estados Unidos (Lee *et al*, 1994), la estrategia ha sido considerar los cuatro principales contaminantes: partículas, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, y ozono. Para cada uno de éstos se tiene identificado, donde aplique, las relaciones dosis-respuesta que describen los cambios en los efectos o impactos en la salud asociados con cambios unitarios en la concentración del contaminante en cuestión. Todas las relaciones dosis-respuesta propuestas están basadas en estudios epidemiológicos de contaminantes atmosféricos en general; estudios experimentales (humanos o animales) son utilizados para proporcionar información contextual únicamente.

### **Efectos Agudos y Crónicos**

Es necesario distinguir los efectos agudos que ocurren en el mismo día por el incremento en la contaminación, o inmediatamente después, de los efectos crónicos o efectos retardados de posibles exposiciones por largos periodos. Como se describe abajo, los efectos agudos de diferentes contaminantes a través de un rango de indicadores de salud están bien identificados. Existe especulación informada pero, sin embargo, ninguna sobre el conocimiento establecido de los mecanismos por los cuales estos efectos ocurren.

Es más difícil establecer relaciones confiables en los estudios de efectos crónicos, y por tanto existen menos funciones dosis-respuesta potencialmente utilizables. Esto bien puede ser que en términos de impactos en la salud pública y su evaluación económica, los efectos crónicos son más importantes.

Estudios recientes han mostrado asociaciones entre efectos crónicos en salud y niveles ambientales de partículas, aun cuando la adecuación del ajuste para los factores o variables confusoras continúa siendo debate. La cuantificación de los efectos crónicos es complicado y posiblemente comprometido por utilizar únicamente los niveles de contaminación recientes, en lugar de los niveles históricos más altos que pueden ser biológicamente relevantes para la mortalidad y morbilidad crónicas (utilizar solo los niveles recientes sobrestimaré el riesgo por unidad de exposición en un alcance desconocido).

La evidencia de un efecto crónico en la mortalidad está dado por Dockery et al (1993), Pope et al (1995) y Abbey et al, 1999. Estos dos primeros estudios cohorte fundamentan claramente las relaciones con las partículas finas ( $PM_{2.5}$ ) y con los sulfatos. Los riesgos estimados de Pope et al. (1995), trasladando de  $PM_{2.5}$  a  $PM_{10}$ , se utilizan como el mejor estimado disponible de la mortalidad crónica. Ellos muestran que los efectos de la mortalidad crónica puede tener un impacto general sobre la evaluación total. Sin embargo, existe un convenio general en el presente que los estimados cuantificados de la mortalidad crónica pueden ser poco confiables.

Los estudios de Dockery *et al.* (1993) y Pope *et al.*, (1995) recientemente fueron analizados por un grupo de investigadores para verificar la validez de sus conclusiones (Krewski, et al 2000). El primer estudio hace un análisis con más de 8.000 adultos blancos de seis ciudades del este medio de los EUA con edades de 15 a 17 años. Se midieron concentraciones tanto de material particulado como de contaminantes gaseosos con estaciones de monitoreo localizadas centralmente en cada una de las comunidades. Después del control de factores externos (confounders) como fumar, obesidad, educación y exposición ocupacional; los investigadores encontraron una relación estadísticamente significativa con las tasas de mortalidad y las mediciones de las tres diferentes tipos de partículas ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y sulfatos).

- Por cada  $1\mu\text{g}/\text{m}^3$  que se incrementara la concentración promedio anual de  $PM_{2.5}$ , las tasas de mortalidad incrementaban en aproximadamente 1.3%.

El riesgo relativo para mortalidad cardiovascular (que contribuye con el 54% de todas las muertes) fue levemente mayor que para la mortalidad total, con ninguna significancia estadística para los efectos de cáncer de pulmón y pequeñas evidencias de impactos sobre otras causas de muerte. Las limitaciones de este estudio son el número relativamente pequeño de las ciudades estudiadas, el grupo limitado de variables “confounders” analizadas y la suposición de que las concentraciones medidas durante el periodo de estudio reflejan una exposición crónica.

El estudio de Pope se consideró un número mayor de individuos (552,138) y abarcó un área geográfica mayor (151 áreas metropolitanas de 50 estados americanos). Este estudio incluyó personas de al menos 30 años de edad y consideró variables confounders como consumo de alcohol, fumadores pasivos y también consideró todas las causas de muerte y muertes específicas (cáncer de pulmón y muertes cardiovasculares). Para estimar las concentraciones a las cuales estaban expuestas las personas, la localización de las personas fueron correlacionadas con una base de datos de monitores ambientales. Las concentraciones de exposición fueron estimadas de las concentraciones al inicio

del estudio (1979 a 1983  $PM_{10}$  y 1980 a 1981 para sulfatos). Para  $PM_{2.5}$  el estimado central para la mortalidad fue la mitad del que se estimó en Dockery, con grandes diferencias para los sulfatos.

- Por cada  $1\mu g/m^3$  que se incrementara la concentración promedio anual de  $PM_{2.5}$ , las tasas de mortalidad incrementaban en aproximadamente 0.5%.

Las principales críticas son que este estudio se realizó con individuos con más edad y mayor nivel de estudios y menos fumadores que el promedio de los Estados Unidos y además que las variables como migración y vida sedentaria fueron omitidas como confounders.

Finalmente, el estudio de Abbey et al (1999) estudió a 6,338 no fumadores residentes de California quienes eran de la religión del Séptimo Día cuyas características es que no fuman, no consumen alcohol ni drogas. El estudio estuvo enfocado a determinar el riesgo relativo de mortalidad prematura cuando un número de días relativo se exceden las concentraciones de una mezcla de contaminantes. Los resultados obtenidos no podrían ser aplicados, ya que la población en general es heterogénea.

## I.7. Valoración Económica

---

### Métodos de Valoración.

Los métodos de valoración económica son necesarios para estimar el cambio en el bienestar ante el consumo de bienes o servicios que no tienen un valor monetario expresado en el mercado de bienes y servicio, como es el caso de los bienes públicos; que se caracterizan por la no exclusión, lo que indica que el bien en cuestión se ofrece para una persona, se ofrece para todas, no puede excluirse a nadie del disfrute, aunque no pague nada por ello; la otra característica es la no rivalidad en el consumo, cuando alguien consume un bien, lo disfruta no reduce el consumo potencial de los demás. (Externe, 2005).

Generalmente los métodos de valoración de bienes que no tienen un mercado son clasificados de acuerdo al origen de la fuente de datos, los datos sobre el uso del flujo de servicios ambientales pueden obtenerse a través de la observación de las acciones de los individuos en un conjunto de actividades o también pueden provenir de respuestas de preguntas hipotéticas que reflejan las preferencias de los individuos. Los métodos basados en la observación de individuos son llamados métodos de preferencia revelada, mientras que los que provienen de mercados hipotéticos son los métodos de preferencias declaradas.

Utilizando los métodos de revelación de preferencias, también conocido como métodos del comportamiento, los investigadores observan el comportamiento individual de un bien de mercado que tiene conexión con el bien o servicio que se está investigando, asumiendo que el comportamiento refleja la maximización de la utilidad sujeta a una restricción presupuestaria, desde este análisis del comportamiento, se deduce el valor individual que tiene el bien o servicio que no tiene mercado y el cual es el objeto de estudio. Por ejemplo, el análisis del comportamiento de mercado inmobiliario para estimar el valor de cambios en la calidad del aire, el cual es un atributo en ese mercado.

Las técnicas de preferencias reveladas pueden dividirse en métodos directos e indirectos.

## **Descripción de los Métodos.**

### ***Métodos Directos***

Los métodos directos incluyendo precios de mercado y costos de sustitución, son utilizados cuando hay impactos físicos, en el caso de los efectos en la salud, los impactos físicos se estiman a través de las funciones dosis- respuesta. En este caso el impacto físico es multiplicado por el precio de mercado de el bien afectado para estimar el valor de uso de un bien que no tiene mercado. Un ejemplo, puede ser el impacto de la contaminación del aire proveniente de la generación de una planta generadora de energía eléctrica o del transporte que afecta a las cosechas. En el caso de que el daño ocasiona cambios en los consumidores y productores se tendría que contabilizar; entonces la reducción en la producción de la cosecha puede ser multiplicado por el precio de mercado para estimar el impacto de la contaminación del aire sobre las cosechas. La ventaja de este método es la obtención de la valoración a través del uso de precios de mercado en lugar de deducir la valoración como en el caso de los métodos indirectos.

### ***Costos de Sustitución***

El método de costos de sustitución o restauración asume que el costo económico de un bien que no tiene mercado puede ser estimado por el precio de mercado de un bien sustituto del mercado de bienes que pueda remplazar o restaurar la cantidad y la calidad original del bien en estudio. Este método se ha aplicado para estimar el daño económico de un suelo erosionado utilizando los precios de mercado para tierra y los fertilizantes, para calcular si se puede el costo de sustitución del suelo, también para calcular la función de pérdida del ecosistema; aunque se puede estimar la disposición a pagar por la reforestación del ambiente; sin embargo la ventaja de este método es la utilización de precios de mercado.

### ***Métodos Indirectos***

Estos métodos utilizan las relaciones entre bienes que tienen mercado y bienes que no lo tienen y que son objeto de estudio, asumiendo que hay algún tipo de relación de sustitución o complementariedad entre ambos bienes. Ejemplo de estos es la aproximación de una función de producción familiar con la cual se observa los cambios en el consumo de commodities que son sustitutos o complementarios de bienes de no mercado. Otros métodos indirectos son el método de costo de viaje, el de costos evitados y el de precios hedónicos.

### ***Costos de Viaje.***

Harold Hotelling esboza los postulados básicos de lo que sería el modelo de costos de viaje. El modelo se fundamenta en los costos en que tiene que incurrir el visitante por disfrutar de servicios recreativos ofrecidos en un lugar específico. Se busca estimar la variación en la demanda del bien ambiental, traducida por el número de visitas, ante cambios en los costos de viaje. Este modelo de comportamiento se basa en la hipótesis de maximización de la utilidad sujeta a una restricción presupuestaria (Hueth y Strong, 1984) y es extensible a otros bienes.

Freeman (1993) menciona que desde el punto de vista económico los servicios recreativos proporcionados por sistemas de recursos naturales tales como lagos, ríos, cursos de agua y bosques, entre otros, poseen dos características importantes:

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

El método de costo de viaje estima el valor de uso recreacional a través del análisis gastos incurridos en el viaje por el consumidor para disfrutar de las actividades de recreación. Los costos del viaje, la tasa de participación, los atributos de los visitantes y la información de sitios sustitutos pueden ser utilizados para deducir la demanda de recreación y la oferta de consumidores como las medidas de bienestar asociadas con los cambios en los atributos ambientales del sitio de recreación.

El método de costo de viaje se aplica a la valoración de áreas naturales que cumplen con una función de recreación en la función de producción de utilidad familiar; que las personas visitan para su esparcimiento. Aunque en general el disfrute de los parques naturales es gratuito, el visitante incurre en unos gastos para poder disfrutar de ellos, un costo de viaje. Se trata, por tanto, de intentar estimar cómo varía su demanda del bien ambiental (el número de visitas, por ejemplo), ante cambios en este costo de disfrutarlo. Con ello se tendría que estimar la curva de demanda del bien y se podría analizar los cambios en el excedente del consumidor que una modificación en el mismo produciría; es necesario entonces obtener datos sobre la utilización real del entorno natural objeto de análisis. En segundo, comparar esta utilización con el costo pagado por ello. (Azqueta, 1994).

### ***Costos Evitados.***

Existen bienes ambientales que están relacionados con bienes que sí tienen mercado. Se presenta el caso del bien ambiental forma parte de la función de producción del bien o servicio intercambiable en el mercado, como un insumo. Otra situación es cuando el bien ambiental entra a formar parte, junto con otros bienes privados, de la función de producción de utilidad de una persona o familia (Azqueta, 1994).

El método de costos evitados o inducidos ha sido aplicado para cuantificar el impacto de un cambio ambiental sobre distintos medios receptores. Este método intenta medir la disminución de costos en caso de evitar o reducir cierta actividad, por medio del conocimiento de las funciones dosis-respuesta correspondientes, y midiendo los niveles de daño en la zona de estudio. Se estiman los impactos que tiene la medida propuesta sobre las distintas actividades productivas afectadas, a partir de las características del entorno analizado.

Otra propuesta es estimar la función de producción de la explotación o actividad afectada, en la que el bien ambiental se combina con el resto de los factores de producción, se analiza el comportamiento maximizador de beneficios, ante cambios en la calidad ambiental y se trata de monetizar el valor de los cambios en el bienestar.

### ***Precios Hedónicos.***

El modelo de precios hedónicos para valorar externalidades ambientales y bienes no intercambiables en el mercado fue impulsado por Sherwin Rosen. Él utiliza la justificación teórica entre la relación de los precios de mercado y las características de los bienes. Triplett (1990) refiere la existencia práctica de índices de precios hedónicos como una aproximación para la verdadera medida de bienestar.

El modelo desglosa el precio de un bien de mercado en función de varias características. Éstas tienen un precio implícito cuya suma determina el precio del mercado en cuestión. Así, el precio de una vivienda puede determinarse por la agregación de los precios implícitos en sus características y las del entorno en que se ubica. Por procedimientos econométricos se calcula el peso de las variables que determinan el precio final de la vivienda (por ejemplo: superficie de la casa, número de habitaciones, distancia al centro de la ciudad, nivel de contaminación atmosférica) y, bajo determinados supuestos, se estiman los precios de dichas características. En otras palabras, dos casas idénticas, pero ubicadas en zonas con distinto nivel de contaminación ambiental tienen precios distintos. La diferencia en el precio de la vivienda se considera el precio implícito de la variación en los niveles de contaminación atmosférica (Riera, 1994).

La interpretación del método de precios hedónicos es difícil en situaciones reales donde hay un número específico de bienes que los consumidores no optimizan en cierto modo sobre las características de cada bien. Lo interesante es identificar las circunstancias especiales bajo las cuales los índices de precios hedónicos proveen una exacta medida del bienestar, de tal manera que el efecto del cambio en la calidad pueda ser inferido (Feenstra, 1995).

### ***Preferencia Declaradas***

Preferencias Declaradas, es el término genérico utilizado para una variedad de técnicas que incluyen el método de valoración contingente, y la selección de experimentos tal como el ranking contingente y análisis conjunto. En el estado de preferencia los investigadores proponen contingentes o hipotéticas preguntas, obteniendo respuestas del intercambio de mejoramiento del bien o servicio público por dinero, de esas respuestas, se pueden deducir las preferencias para los bienes hipotéticos o el valor del cambio en la provisión de ese bien hipotético. La naturaleza hipotética de las preguntas es al mismo tiempo una gran ventaja en relación con otras aproximaciones, esto permite estimar el valor de no uso o el valor de existencia y por lo tanto estimar el valor económico total de un bien o servicio.

### ***Transferencia de Beneficios***

La transferencia de beneficios es definida como la adaptación y uso de la información econométrica existente derivada de un sitio específico bajo ciertos recursos y condiciones hacia nuevos contextos o sitios con similares recursos o condiciones, también se define como la técnica donde los resultados de estudios de valoración económica (ambiental o salud) estimado a través de las técnicas de valoración son aplicados a un nuevo contexto, algunos autores prefieren el término “valor transferido”, en muchos caso también los daños estimados pueden ser transferido de previos estudios hacia nuevos contextos. (Rosenberger and Loomis, 2001), (Ready *et al*, 2004)

Cuando se necesita la valoración de un bien o servicio y no se cuenta con los recursos para desarrollar nuevos estudios, las medidas estimadas en contextos o sitios similares pueden proveer una aproximación para las estimaciones necesarias en la toma de decisiones. En otras palabras la transferencia de beneficios es una alternativa para cubrir la brecha en la disponibilidad de información sobre las preferencias de los individuos en un país o región. La aplicación de resultados de investigaciones previas puede ser una alternativa para ahorrar tiempo y recursos.

## ***Valoración Contingente***

El método de Valoración Contingente (VC), constituye una de las técnicas que se utilizan para estimar el valor de los bienes (productos y servicios) para los que no existe mercado. Se caracteriza por crear un mercado hipotético, en el que los individuos declaran sus preferencias, expresando su disposición a pagar una cantidad de dinero por la provisión de un bien a través de una encuesta o entrevista a los consumidores. El método intenta medir los cambios en el nivel de bienestar de las personas debido a un incremento o disminución de la cantidad y/o calidad de un bien. Esta medida, en unidades monetarias, suele expresarse en términos de la cantidad máxima que una persona pagaría por un bien. (Carson, 2000), (Mitchell y Carson, 1989).

Desde los trabajos realizados por Bishop and Herberlein (1979) un número creciente de estudios de VC han utilizado el formato dicotómico. En el formato binario se ofrece al entrevistado dos alternativas, una es la continuación del estado actual con todos los costos que implica esa decisión, la otra alternativa es aquella que se obtendría de llevarse a cabo un proyecto o una política. Aquí los entrevistados declaran si están a favor o en contra con respecto al proyecto alternativo y se formula una pregunta binaria de la disposición a pagar (DAP) con la que el entrevistado responde “sí o no” a un precio determinado (Hanemann, 1984), Cameron (1988). Este formato es atractivo porque genera un escenario para el consumidor similar al que enfrenta diariamente en el mercado de bienes transables.

En las últimas décadas, se ha incrementado la utilización de este método, existe una larga lista de bienes los cuales tienden a ser valorados usando el método de valoración contingente, incluyendo estudios de cambios en la provisión de calidad de agua, aire, todo tipo de recreación, contaminación de ríos, deforestación, ecoturismo, un ambiente menos ruidoso, la reducción de la contaminación, la reducción del riesgo accidentes, etc. (Johansson P., 1987). El uso del método de Valoración contingente ha generado un gran debate entre los que apoyan su aplicación y los críticos.

Algunos autores (Diamond, 1996; Kanhemann y Knesch, 1992; entre otros ) sostienen que VC no es capaz de captar con exactitud y confiabilidad la valoración que los individuos poseen respecto de un bien, el método se ha usado en forma extensiva debido a la carencia de otras alternativas para obtener valores de no uso. Esta supuesta capacidad de VC también es cuestionada por Cummings y Harrison (1995), quienes señalan que no es posible conocer las intenciones de los individuos respecto del valor de un determinado recurso, en otras palabras no se puede descomponer el valor entre clasificaciones de uso y no uso.

Otras críticas están relacionadas, con la naturaleza hipotética de las preguntas generando que los entrevistados no respondan en forma seria y responsable, y con el problema de revelación de preferencias, los individuos tendrían incentivo de no revelar su verdadera disposición a pagar, siendo las respuestas posiblemente sesgadas (Niklitschek 1991). Existe literatura referente a los sesgos, siendo el sesgo estratégico y el sesgo hipotético, los más discutidos y analizados. En diferentes estudios, se han aplicado y experimentado con diferentes formatos de pago que van desde el formato abierto, formato cerrado, doble bondad, triple bondad, encadenado, etc., para evitar el sesgo de punto de partida y estimar el verdadero valor que los individuos le dan al bien en cuestión.

Dadas estas críticas, VC se convirtió en el tema central de discusión a partir del derrame de petrolero causado por la compañía Exxon Valdez en Alaska en el año 1989. el derrame motivó la estimación de medidas monetarias de bienestar que permitieran compensar a los individuos por sus pérdidas

asociadas a valores de no uso de espacio naturales y especies silvestres. Dadas las irreconciliables diferencias entre las partes involucradas en la valoración (el Estado de Alaska y la compañía petrolera), respecto a la validez de VC para obtener los montos de compensación requerida, la Administración Nacional Atmosférica y Oceanográfica (NOAA, por sus siglas en inglés) citó a un panel de expertos para que discutieran las bondades y restricciones del método (Arrow et al, 1993). El informe emitido establece requisitos teóricos y prácticos que debe cumplir un estudio de VC, para que pueda ser aceptado como válido por las cortes en Estados Unidos para imputar los costos ambientales.

Entre las principales recomendaciones del informe, se destaca el uso del formato binario, el uso de entrevistas personales, preguntar por la DAP y recordar a los entrevistados su restricción de presupuesto y la existencia de sustitutos para el bien en cuestión. (Loomis et al, 1994)

Por otro lado, se tiene que la estimación de la medida de bienestar asociadas a este método se obtienen a través de la estimación de la media y mediana de la DAP, estimación que está sujeta a la forma funcional de las funciones de utilidad indirecta subyacentes o de las funciones de gasto, a las variables explicativas y a los supuestos sobre la distribución de los errores.

Una especificación errónea de estos supuestos da como resultado una estimación incorrecta de las medidas de bienestar, dificultando el proceso de valoración. Con el fin de superar esta dificultad, se propone la utilización de metodologías de valoración no paramétrica, las cuales no requieren ninguna especificación previa sobre estos supuestos, y entregan estimaciones con valores muy cercanos a los de una estimación paramétrica.

La metodología no paramétrica de valoración puede presentarse de dos maneras. La primera propuesta por Haab y Mc Connell en 1995 y consiste en la construcción de una función de densidad de la DAP como la diferencia de la proporción de respuestas negativas con respecto al total, al ofrecer el vector de cantidades. Para garantizar que la función de densidad sea monótonamente creciente sugieren aplicar el algoritmo de Turnbull. La metodología permite el cálculo del límite inferior de la media de la DAP. Kriström (1990) propone la construcción de una función de sobrevivencia de la DAP resultante de la diferencia entre las proporciones de respuestas afirmativas con respecto al total, la cual debe ser monótonamente decreciente. La media representa el área bajo la curva.

## **Valoración de los Impactos de Salud derivados de la Contaminación del aire**

### ***Mortalidad.***

El objetivo es la estimar el impacto de un cambio en la calidad del aire en unidades monetarias sobre la esperanza de vida de una población afectada, en la literatura se puede encontrar la utilización de métodos empíricos para estimar el Valor Estadístico de la Vida (VSL, por sus siglas en inglés).

### ***Valor Estadístico de la Vida***

Tradicionalmente la metodología utilizada en la evaluación de políticas o proyectos es el Análisis Costo – Beneficio (ACB). En el ACB se considera que un proyecto o alternativa es rentable si los beneficios superan a los costos, para llevar a cabo este análisis es necesario tener todos en unidades monetarias

Bajo este contexto de ACB dedicado a la evaluación de proyectos dirigidos a la prevención y corrección de riesgos de muerte o enfermedad, la obtención de la cuantificación monetaria de todos los beneficios y costes resulta una premisa fundamental. Aunque esto significa la existencia de dificultades adicionales en comparación con la evaluación proyectos privados, como es el caso de la identificación de costos y beneficios e incluso de los precios cuando se trata de bienes públicos, es por ello que la aplicación del ACB en proyectos de regulación ambiental, en la salud, en la seguridad ha tenido varias críticas, como las que realiza Kelman (1981) en cuanto a la monetarización de los costos y beneficios de bienes que por su naturaleza no tienen precio en el mercado utilizando métodos valoración económica.

Los trabajos pioneros en los que se ha dado un valor monetario a la salud no proceden del campo de la economía de la salud sino de la economía del transporte y de la economía del trabajo. Se trata de estudios en los que se obtiene el “valor estadístico de la vida humana”. Dichos valores se han usado, tradicionalmente, para realizar análisis costo- beneficio de diversas medidas regulatorias cuyo objetivo es reducir riesgos para la vida y la salud. Posteriormente, a partir de dichas estimaciones, se ha intentado asignar valores monetarios a los años de vida y a los años de vida ajustados por la calidad. (Pinto, 2001)

Los estudios que obtienen el valor monetario a la vida parten de la observación de que dicho valor se muestra a través de diversas decisiones que la sociedad toma con el objetivo de reducir el riesgo de muerte, producido por las diversas actividades humanas. Habitualmente, se estudian situaciones en las que el individuo tiene que elegir entre diversas opciones y, una o varias de ellas, están caracterizadas por la presencia de un cierto riesgo (normalmente muy pequeño) de muerte. En la medida que la persona está dispuesta (o no) a gastarse una cierta cantidad de dinero en reducir o eliminar dicho riesgo, está manifestando valor de la vida (Hammit, 2000).

El valor Estadístico de la Vida (VEV) refleja la disposición a pagar por disminuir la probabilidad de muerte -y con ellas el número de muertes- en una comunidad determinada en un cierto período.

Para efectuar la cuantificación monetaria del Valor Estadístico de la Vida se han desarrollado paralelamente estudios empíricos de medición de valores concretos de VEV con diferentes métodos para distintas situaciones siguiendo tres enfoques: (a) estudios de compensación de salarios, (b) estudios de comportamiento del consumidor y (3) estudios de valoración contingente (Alberinie 2004).

El método de compensación de salarios o también conocido como el de salarios hedónicos utiliza datos del mercado laboral para inferir en cuanto deberían compensarse a los trabajadores para aceptar trabajos riesgosos o cuanto de su ingreso deberían sacrificar para contar con un lugar de trabajo más seguro. La idea parte, si los trabajadores están dispuestos a recibir un salario mayor por un trabajo que tiene las mismas características que otro pero con mayor riesgo de muerte, esa diferencia puede tomarse como variación. Para deducirla se estima económicamente una función “hedónica” en la que el salario es una función de una serie de atributos. Utilizando micro datos de los salarios y las características de los trabajos correspondientes, se calcula dicha función y se obtiene la variación del salario según los niveles de riesgo de muerte asociados a cada trabajo. La principal dificultad que enfrenta este método, además de los problemas de estimación como formas funcionales, etc., tiene que ver con poder aislar las características de riesgo de los otros aspectos que determinan el salario, y eso depende fuertemente de disponer de una base de datos lo suficientemente completa. Bowland (1998).

Viscusi y Aldy (2003) documentan aproximadamente 60 estudios de compensación de salarios conducido en 100 países, en donde Estados Unidos es el país que más estudios ha producido para estimar el VEV dentro de un rango de \$4 a 9 millones de dólares

Los estudios del comportamiento del consumidor observan el intercambio entre el tiempo y el riesgo, o dinero y riesgo, para dar lugar al valor sobre la reducción de riesgo de mortalidad. Uno de los primeros estudios (Blomquist, 1979) observó que algunas personas usaban y otros no su cinturón de seguridad cuando conducían un automóvil. El VEV fue calculado como el valor del tiempo requerido para abrocharse el cinturón dividido entre la reducción de riesgo de morir en un accidente de tráfico que ofrece por la utilización de los cinturones de seguridad. Atkinson and Halvorsen (1990) obtienen una estimación del VEV a partir de los elevados precios de los automóviles con equipos de seguridad más sofisticados.

Dentro del enfoque de preferencias declaradas, el método de valoración contingente se ha expandido en las últimas tres décadas. En este método se utiliza como instrumento la encuesta, en donde se pregunta al encuestado por la máxima cantidad de dinero que está dispuesto a pagar (DAP) por una reducción de muerte. En Melinek (1974) se menciona que la mejor manera para calcular el VEV es preguntar en forma directa a los individuos su DAP para reducir riesgos. Asimismo, Schelling (1968) sostiene que a partir del principio de la soberanía del consumidor que el mejor criterio para valorar una vida lo dan los individuos mismos, de tal manera que si se pretende evitar una muerte en cierto grupo de gente, debemos preguntarle a sus miembros cuánto estarían dispuestos a pagar evitar una muerte dentro de su comunidad durante el siguiente año

Un individuo al responder sobre su DAP, ésta debería reflejar los costos evitados de incurrir en un tratamiento médico, así como la pérdida de ingresos a causa de la enfermedad y los costos implícitos en el sufrimiento de estar enfermo (Hammit, 2000). El VEV se calcularía como el cociente entre la disposición a pagar y la reducción del riesgo específico de muerte (Jones –Lee, 1989).

Este concepto de “disponibilidad a pagar” por disminuir el riesgo de muerte fue sugerido por Schelling (1968), pero fue formalmente introducido en 1974 con un trabajo de Jones-Lee (1974). El resultado teórico más importante de dicha investigación es que, basándose en un modelo estático de utilidad esperada, el VEV equivale al promedio poblacional de las tasas marginales de sustitución entre ingreso y riesgo de muerte. Posteriores avances teóricos han llevado a la construcción de modelos dinámicos de ciclo de vida a partir de los cuales se estudia como varía el VEV según la edad del individuo.

Hammit y Gram. (1999), han advertido que la validez de los valores estadístico de vida debería juzgarse, sobre la base de la “sensibilidad” de la DAP al tamaño de la reducción del riesgo propuesto. En esta regla se requiere en primer lugar, que la DAP debe aumentar conforme lo haga la magnitud de la reducción (scope test); y en segundo lugar, dicho aumento debería ser proporcional a la magnitud de la variación propuesta (proportionality test).

Los resultados obtenidos en la mayoría de los estudios de VEV indican que la DAP no observa una adecuada sensibilidad a las variaciones de los niveles de riesgo. Esta insensibilidad pone en duda la validez de los valores obtenidos mediante la aplicación del método de valoración contingente (Beattie *et al* (1998), Hammit y Gram. (1999)).

Alternativamente, otro camino para estimar el VEV es transferir valores de estudios ya existentes y realizados en algún otro lugar. Esto se debe principalmente a que el uso de los métodos descritos anteriormente requiere contar con una cantidad de información y experiencia en la materia. El VEV obtenido desde los precios hedónicos o estudios del comportamiento del consumidor son algunas veces transferidos en el contexto de políticas ambientales, asumiendo que las preferencias individuales por ingreso y riesgo no varían con este contexto. La elección de esta alternativa lleva a valores que pueden llegar a estar muy lejanos de la realidad local. Otro problema del método de transferencia es que no suelen tener en cuenta el tipo de riesgo de muerte en cuestión. Por lo tanto, transferir valores de salarios hedónicos para valorar los beneficios de proyectos de reducción de riesgos de muerte por contaminación constituye un error.

La utilidad de cada uno de los métodos dependerá del tipo de riesgo bajo análisis, así como de la finalidad asociada al estudio en cuestión. A priori, no se puede decir que un método es más apropiado que otro.

### ***Morbilidad***

Para la estimación de la valoración de la morbilidad, se han identificado los componentes que generan cambios en el bienestar, estos componentes deberían sumarse para obtener el cambio total en el bienestar, asumiendo que no hay solapamiento entre las categorías. Los tres componentes incluyen:

- i) Costos del Tratamiento, que incluye costos médicos pagados por el servicio de salud o la cobertura del seguro, y algunos otros gastos realizados por el individuo o por la familia.
- ii) Costo de Oportunidad, son los costos en términos de pérdida de productividad, días de trabajo perdido o de baja laboral y en términos de costos de actividad restringida, días que no se encuentra lo suficientemente mal como acudir al ambulatorio o al hospital para ser tratado, pero su rendimiento no es el habitual.
- iii) Desutilidad, otro costo económico y social incluye algunas restricciones sobre la reducción del disfrute o deseo de actividades de ocio, las inconformidades o inconvenientes como son el dolor o sufrimiento, la ansiedad acerca del futuro y los inconvenientes concernientes a todos los miembros de la familia.

Los cambios en bienestar del punto i) y ii) pueden aproximarse utilizando precios de mercado que existentes. La tercera medida que refleja la pérdida de utilidad, puede estimarse utilizando la valoración de la DAP o la disposición a aceptar (DAA) para evitar o compensar por esa pérdida de bienestar asociada con la enfermedad.

## **I.8. Aplicaciones de la Metodología de Externalidades**

---

La estimación de las externalidades ambientales, utilizando las metodologías antes mencionadas ha tenido varias aplicaciones, como es el caso de un estudio realizado en Europa, en donde se aplicaron modelos de dispersión a escala regional y global. A nivel regional se utilizaron los datos del Programa Europeo de Monitoreo y Evaluación (EMEP, por sus siglas en inglés) para priorizar los impactos. Para el caso global utilizaron los resultados del modelo Harwell Global Ozone. Posteriormente utilizaron las funciones Dosis-Respuestas y la valoración económica recomendada en el proyecto ExterneE de

la Comisión Europea; para estimar los daños de los precursores del Ozono. Los impactos valorados fueron la salud y la agricultura. (Rabl y Eyre, 1998).

En un estudio realizado en Francia, se estimaron los costos de daños en la salud derivados de los principales contaminantes del aire, como son; las partículas, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> en la ciudad de Paris, para ello utilizaron estudios epidemiológicos de Francia y Estados Unidos. Para el caso de la morbilidad, estimaron los costos de hospitalización, visitas médicas y enfermedades leves. En el caso de la valoración de la mortalidad, consideraron la reducción de la esperanza de vida. El autor presenta los beneficios en función de los beneficios que se obtendrían en función de obtener una disminución de las concentraciones de los contaminantes. (Rabl, 1999).

El estudio realizado por especialistas de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT), la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) tenía como objetivo estimar las externalidades de la generación de energía eléctrica a base de combustibles fósiles en México. Los impactos que evaluaron fueron sobre la salud, utilizaron la metodología vía de impactos del proyecto ExternE, así como el modelo Simplified Approach for Estimating Impacts of Electricity Generations (SIMPACTS) del Organismo Internacional de Energía Atómica (IOEA). El estudio se aplicó a 11 zonas de México con 13 plantas termoeléctricas. Para la estimación de costos de mortalidad utilizaron el enfoque de Años de Vida Perdidos proyecto ExternE, mediante la metodología de transferencia de beneficios. El valor Europeo fue transferido a México mediante la relación de paridad del poder adquisitivo del ingreso nacional bruto con respecto al de la Unión Europea. Para la estimación de los datos de costos de morbilidad utilizaron datos del 2000. (SEMARNAT - CEPAL, 2004).

El Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) realizó un estudio del impacto ambiental por el uso del gas natural y gas LP en México, para ello realizaron un análisis del ciclo de vida de los dos energéticos (GN y GLP) desde su procesamiento en la región sur de México hasta los impactos relacionados con el su uso en la ZMCM. En este estudio se estimaron los factores de emisión, se aplicaron los modelos de calidad del aire, se estimaron los impactos en salud a través de las funciones dosis-respuesta, se estimó la valoración económica y la prospectiva del uso del GN en México. En la etapa de la estimación de las externalidades ambientales, específicamente los impactos en la salud asociados a los ciclos de combustibles, utilizaron la metodología del proyecto ExternE. Con respecto a la estimación del valor estadístico de la vida, utilizan la metodología de transferencia de beneficios y los datos del proyecto ExternE. Para la estimación de los costos de morbilidad utilizaron los datos del año 2002. En este proyecto también aplicaron la metodología de valoración contingente para estimar la disposición a pagar que tienen los habitantes de la ZMCM por el mejoramiento de la calidad del aire. (Melgar *et al* 2004).

El Instituto Nacional de Ecología realizó un estudio para estimar los beneficios en la salud debido a una disminución de la contaminación del aire, Para la estimación de los impactos en la salud utilizaron las funciones Dosis-Respuesta. Con respecto a la valoración monetaria de los impactos en la salud, utilizaron la metodología de transferencia de beneficios para extrapolar la disposición a pagar por evitar una mortalidad prematura y enfermedades respiratorias. Los datos utilizados fueron de Estados Unidos y de otros países, los resultados de esos países se extrapolaron a las condiciones de México con el ajuste de los diferentes niveles de ingresos. También utilizaron los resultados preliminares de un estudio que estima la valoración económica por disminución del riesgo de mortalidad, en el cual se aplica la metodología de salarios hedónicos. También realizan una comparación de los costos y beneficios que se obtendrían de aplicar tres políticas ambientales que contribuyan en

la disminución de la contaminación del aire. Adicionalmente aplican un modelo para estimar los Costos y Beneficios utilizando un software analítico, donde se requiere como datos de entrada la reducción de las emisiones en porcentajes para el período 2003 -2010 y para el período 2003-2020, otros datos que el software requiere son los costos anuales para esos mismos periodos. (McKinley *et al*, 2003).

La Comisión Ambiental Metropolitana y el Banco Mundial desarrollaron un estudio para evaluar económicamente los beneficios económicos por mejorar la calidad del aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, evaluaron los impactos en la salud humana y en las actividades económicas. Plantearon 4 escenarios de mejoras en la calidad del aire, en la estimación de los impactos a la salud realizaron un meta-análisis de los estudios publicados de los efectos de la salud por la contaminación del aire. Finalmente para estimar los costos de reducción de riesgo de mortalidad y evitar enfermedades aplicaron la metodología de transferencia de beneficios, para ello ajustaron el efecto ingreso a través de la elasticidad del ingreso de la disposición a pagar (el porcentaje de cambio en la DAP corresponde a un porcentaje de cambio en el ingreso). Los autores emplearon una elasticidad del ingreso de DAP de 1,0 y 0,4. (Cesar *et al*, 2000).

## CAPITULO II.

### Estimaciones de Externalidades en la ZMCM

#### II.2. Introducción

---

Los agentes económicos que contribuyen en la emisión de contaminantes a la atmósfera son las empresas, las familias, el gobierno e incluso el mismo medio, causando impactos ambientales y en la salud; y por lo tanto generan con externalidades negativas.

En las últimas décadas se ha evidenciado la importancia que tienen los impactos en la salud ocasionados por la contaminación ambiental, así como la necesidad de cuantificar en términos monetarios las externalidades negativas, es por ello que como caso de estudio se presenta a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), en donde se estimará los costos externos derivados de los impactos en la salud asociados a la contaminación del aire de dos contaminante, el Ozono ( $O_3$ ) y las partículas menores a diez micrómetros ( $PM_{10}$ ), que actualmente rebasan los niveles de concentración permitidos en la norma oficial mexicana.

#### II.2. Descripción de la ZMCM.

---

Conforme al proyecto de delimitación geográfica realizado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) en colaboración con la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) y el Consejo Nacional de Población (CONAPO)<sup>1</sup> y de acuerdo a la declaración firmada por el Gobierno del Distrito Federal y el Gobierno del Estado de México<sup>2</sup>, la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM)<sup>3</sup>, esta integrada por 16 delegaciones del Distrito Federal y 59 municipios del Estado de México<sup>4</sup>. La población en el Distrito Federal es de 8.720.916 de habitantes, que representa aproximadamente el 45 % de la ZMCM y los 59 municipios conurbanos del Estado de México, con 10.442.765 de habitantes, que son el restante 55% (Censo 2005)<sup>5</sup>. En el anexo I se presenta una breve descripción del crecimiento de la ZMCM.

---

<sup>1</sup>SEDESOL, CONAPO e INEGI (2004). Delimitación de las zonas metropolitanas de México.

<sup>2</sup>Gaceta Oficial del Distrito Federal (2006). Declaratoria de la Zona Metropolitana del Valle de México, suscrita por el Jefe de Gobierno del Distrito Federal y el Gobernador del Estado de México.

<sup>3</sup>En el Anexo I, se describe el proceso de crecimiento de la ZMCM.

<sup>4</sup>De acuerdo con la delimitación de SEDESOL, CONAPO e INEGI, la ZMCM esta integraba por el DF, 58 municipios del Estado de México y un municipio de Hidalgo. La declaratoria firmada por el GEM y el GDF establece que la ZMCM se integra por el DF y 59 municipios del Estado de México; es decir, que no se considera el municipio hidalguense y en lugar de 58 municipios mexiquenses se incluyen 59. Lo anterior obedece a que en 2003 uno de los 58 municipios del Estado de México considerados en la ZMCM, Jaltenco, cedió parte de su territorio para que fuera creado el municipio de Tonanitla.

<sup>5</sup>INEGI, II Censo de Población y Vivienda 2005

Como consecuencia del crecimiento de la ZMCM, la problemática actual de la ciudad es de gran complejidad, particularmente en relación con el agua potable y con su entorno ambiental. A raíz del incremento de los niveles de contaminación del aire, el gobierno del Distrito Federal, el gobierno del Estado de México, la Secretaría de Medio Ambiente de gobierno Federal, así como instituciones, públicas, privadas, universidades y otros organismos han instrumentado diferentes programas de gestión ambiental, actualmente el Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la ZMCM (PROAIRE 2002-2010), que tiene como principal objetivo reducir y controlar las emisiones contaminantes a fin de salvaguardar la salud de los habitantes. Las acciones englobadas en los programas anteriores como son el PROAIRE 1995-2000 y el Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica (PICCA) han contribuido a que los niveles de contaminación hayan disminuido paulatinamente a lo largo de los últimos años.

Para reducir el riesgo de exposición a altas concentraciones de los contaminantes, en el PROAIRE, se han establecido una serie de objetivos y metas, así como estrategias para reducir las emisiones de  $PM_{10}$  y los precursores del ozono (HC y  $NO_x$ ).

Para evaluar las externalidades asociadas a los cambios de concentración media anual del  $PM_{10}$ , así como la exposición a concentraciones de ozono se seguirán las siguientes etapas enmarcadas en la metodología de estimación de Externalidades.

- Identificación de los impactos.
- Descripción de la ruta de los impactos identificados.
- Cuantificación de las descargas.
- Descripción del ambiente receptor.
- Estimación de los impactos en unidades físicas.
- Valoración Económica de los impactos
- Análisis de sensibilidad de las incertidumbres.

Para la cuantificación de los impactos ambientales, se utilizará la ruta de impactos, la cual esta integrada por las siguientes etapas:

- Emisiones, Estimación de los contaminantes emitidos.
- Concentración. Incremento de la concentración de los contaminantes.
- Impactos. Cálculo de los impactos en unidades físicas.
- Costos. Valoración de los impactos en términos monetarios.

## II.3. Emisiones

---

Desde la década de los setenta la preocupación por la contaminación del aire, generó un interés por las emisiones de los contaminantes, en aquél momento se calculó que el 70% de las emisiones eran responsabilidad de los vehículos, mientras que el 25% era de la industria y el 5% de fuentes naturales. Por diversas circunstancias los inventarios de emisiones correspondientes a ese período no fueron publicados oficialmente.

La preocupación por la mala calidad del aire en la ZMCM en los años ochenta, motivo a que se continuará trabajando con los inventarios de emisiones, que fueron base para constituir los programas de mejora. El primer inventario más detallado se desarrolló en el año de 1988, el cual sirvió de referencia para elaborar el Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA).

En 1995 las autoridades elaboraron el primer inventario de emisiones desagregado con información disponible desde 1994, que no se pudo comparar con el inventario anterior por no utilizar la misma metodología de cálculo. Con este inventario se diseñó el Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire en el Valle de México (PROAIRE 1995-2000).

En el PROAIRE<sup>6</sup> se estableció actualizar los inventarios de emisiones cada dos años, así como crear las plataformas para apoyar el inventario en sistemas de información geográfico que suministra información a los modelos de simulación y así poner en marcha un sistema integral de información. Sin embargo, en el inventario del año 1996 no les fue posible aplicar los modelos de calidad del aire.

La aplicación de los modelos de calidad del aire se llevó a cabo a partir del inventario de emisiones del año 1998, este inventario fue la base para la modelación de la proyección de las emisiones<sup>7</sup> al año 2010; resultados que indican que de no realizarse ninguna medida de control o reducción se incrementarían los contaminantes precursores de ozono y las partículas PM<sub>10</sub>. Con la información del inventario de emisiones del año 1998 desarrollaron el Programa de Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México (PROAIRE 2002-2010), actualmente vigente y es a partir del año 1998 que se aplican los modelos de calidad del aire utilizados actualmente.

En los inventarios correspondientes a los años 1998, 2000, 2002, 2004 y 2006, elaborados por la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal en colaboración con la Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México y la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)<sup>8</sup>; se han actualizado y validado periódicamente la información que se requiere para su desarrollo. Esto se debe, a los avances tecnológicos en la informática, a los sistemas de información geográfica, a la existencia de mejores fuentes de información, así como a las recomendaciones de expertos a nivel nacional e internacional que han ayudado en la reducción de las incertidumbres en la estimación de las emisiones.

Como se mencionó anteriormente, el inventario de emisiones del año 1998, que se muestra en la tabla 1, fue la base para la simulación de las proyecciones de las emisiones al año 2010 y para establecer los objetivos y metas del PROAIRE para el periodo 2002 – 2010.

*Tabla 1. Inventario de Emisiones Anuales de la ZMCM, 1998.*

SECTOR	EMISIONES											
	PM <sub>10</sub>		SO <sub>2</sub>		CO		NO <sub>x</sub>		HC		Total	
	(ton/año)	%	(ton/año)	%	(ton/año)	%	(ton/año)	%	(ton/año)	%	(ton/año)	%
Fuentes puntuales	3.093	16	12.442	55	9.213	0,5	26.988	13	23.980	5	75.716	3
Fuentes de área	1.678	8	5.354	24	25.960	1,5	9.866	5	247.599	52	290.457	12
Fuentes móviles	7.133	36	4.670	21	1.733.663	98	165.838	80	187.773	40	2.099.077	84
Vegetación y suelos	7.985	40	N/A	N/A	N/A	N/A	3.193	2	15.669	3	26.847	1
Total	19.889	100	22.466	100	1.768.836	100	205.885	100	475.021	100	2.492.097	100

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del GDF, Secretaría de Ecología del GEM y SEMARNAT (1998).

<sup>6</sup>Secretaría del Medio Ambiente del GDF, Secretaría de Ecología del GEM, SEMARNAP y SS (PROAIRE 1995-2000)

<sup>7</sup>Secretaría del Medio Ambiente del GDF, Secretaría de Ecología del GEM, SEMARNAT y SS (PROAIRE 2002-2010)

<sup>8</sup>GDF, GEM y SEMARNAT. "Inventarios de Emisiones: 1998, 2000, 2002, 2004 y 2006".

En este inventario se presenta las emisiones totales de los cinco principales contaminantes, las partículas micrométricas menores a 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) e hidrocarburos (HC), así como la contribución por sector. En 1998 se emitieron aproximadamente 2,5 millones de toneladas de contaminantes, de los cuales el 84% fueron generados por las fuentes móviles, el 12% por las fuentes de área, el 3% por las fuentes puntuales y 1% por la vegetación y suelo.

El sector transporte genera una importante cantidad de emisiones de casi todos los contaminantes, el 98% del CO, el 80% de los  $\text{NO}_x$ , el 40% de los hidrocarburos, el 36% de las  $\text{PM}_{10}$  y el 21% del  $\text{SO}_2$ . La principal contribución del sector industrial es del 55% de dióxido de azufre y el 13% de los  $\text{NO}_x$ , mientras que la vegetación y suelos aportan con el 40% de las emisiones de las  $\text{PM}_{10}$ . Las fuentes de área emiten el 52% de los HC y el 24% de dióxido de azufre.

Para obtener las proyecciones de las emisiones al año 2010, los autores del proaire simularon dos escenarios. En el primer escenario no se considero ningún programa de mejora, para llevar a cabo las proyecciones, utilizaron las tendencias de crecimiento poblacional, vehicular y el consumo de combustibles. Con base a esas tendencias estimaron los niveles de actividad de cada fuente y posteriormente calcularon las emisiones aplicando los factores de emisión correspondiente al año 1998. Como se observa en la tabla 2, las proyección al 2010 de los niveles de contaminación con respecto al año 1998 se incrementarían alcanzando aproximadamente el 26% en el total de hidrocarburos y del 37% en el total de óxidos de nitrógeno y 48% de dióxido de azufre.

*Tabla 2. Proyección del inventario de emisiones de la ZMVM al año 2010.*

SECTOR	EMISIONES					
	(TON/AÑO)					
	PM10	SO2	CO	NOX	HC	Total
FUENTES PUNTUALES	5.162	20.824	15.343	44.022	39.884	125.235
FUENTES DE ÁREA	1.824	5.424	26.854	14.198	300.052	348.352
FUENTES MÓVILES	10.169	7.053	2.258.255	221.368	241.655	2.738.500
VEGETACIÓN Y SUELOS	7.985	N/A	N/A	3.193	15.669	26.847
<b>TOTAL</b>	25.139	33.286	2.300.452	282.780	597.260	3.238.917
% $\Delta$	26 %	48 %	30 %	37 %	26 %	30 %

Fuente: Secretaria del Medio Ambiente del GDF, Secretaria de Ecología del GEM, SEMARNAT y SS (2002)<sup>9</sup>.

Para el segundo escenario, que se muestra en la tabla 3, consideraron algunas medidas de reducción de contaminación propuestas en el PROAIRE 2002 -2010, entre las medidas incluidas se encuentra sustitución del transporte de pasajeros de mediana capacidad por vehículos nuevos de alta capacidad, expansión del metro, reconversión energética en la industria, promoviendo sistemas de producción más limpia; reducción de emisiones por fugas de gas LP, recuperación y conservación de áreas verdes urbanas, entre otras. Para la estimación de las emisiones utilizaron la información del inventario proyectado al 2010, a través de una simulación e incluyendo las medidas del proaire,

<sup>9</sup>Secretaria del Medio Ambiente del GDF, Secretaria de Ecología del GEM, SEMARNAT y SS (PROAIRE 2002-2010).

el modelo que utilizaron pronóstico una reducción de las emisiones de los contaminantes de 17% en hidrocarburos, 43% en óxidos de nitrógeno, 16% en dióxido de azufre, 26% de monóxido de carbono y 18% en partículas menores a diez micrómetros.

*Tabla 3. Disminución de emisiones en la ZMCM al año 2010 con programa.*

SECTOR	EMISIONES					
	(TON/AÑO)					
	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	HC	Total
<b>TOTAL</b>	20.614	27.960	1.702.334	161.185	495.726	2.267.242
<b>% ▽</b>	18 %	16 %	26 %	43 %	17 %	30 %

Fuente: Secretaria del Medio Ambiente del GDF, Secretaria de Ecología del GEM, SEMARNAT y SS (2002).

En el anexo II, se presenta una breve descripción de las tendencias de los principales contaminantes en la ZMCM durante el período de 1998 al 2006.

## II.4. Concentraciones

Las concentraciones de los contaminantes del aire son monitoreados por el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT)<sup>10</sup>, el cual tiene como objetivo vigilar y evaluar la calidad del aire en ZMCM, al concluir el año 2006 tenía en operación 47 estaciones de monitoreo, 36 ubicadas en el Distrito Federal y 11 en el Estado de México<sup>11</sup>. El SIMAT está integrado por cuatro subsistemas operativos especializados, una unidad de apoyo para trabajos en campo y un Laboratorio de Transferencia de Estándares de Calibración:

- RAMA. Red Automática de Monitoreo Atmosférico.
- REDMA. Red Manual de Monitoreo Atmosférico.
- REDDA. Red de Depósito Atmosférico.
- REDMET. Red Meteorológica.
- Unidad Móvil de Monitoreo Atmosférico.
- Laboratorio de Transferencia de Estándares de Calibración.

La RAMA realiza mediciones del ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), partículas menores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>), partículas menores a 2,5 micrómetros (PM<sub>2,5</sub>) y ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S). En el anexo III, se presenta una descripción del subsistema.

En la ZMCM, en la década de los noventa alrededor del 88% de los días de cada año se rebasa la norma de protección a la salud. Actualmente se sigue rebasando los límites establecidos en la norma, siendo la época seca-caliente, que abarca los meses de marzo a mayo, presenta condiciones de mayor riesgo para la salud de la población, ya que con mayor frecuencia sobrepasan las normas de calidad del aire, el ozono y las partículas. Por esta razón, este estudio se enfocará principalmente los impactos en la salud relacionadas con estos contaminantes.

<sup>10</sup>Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT). <http://www.sma.df.gob.mx/simat>

<sup>11</sup>Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2007

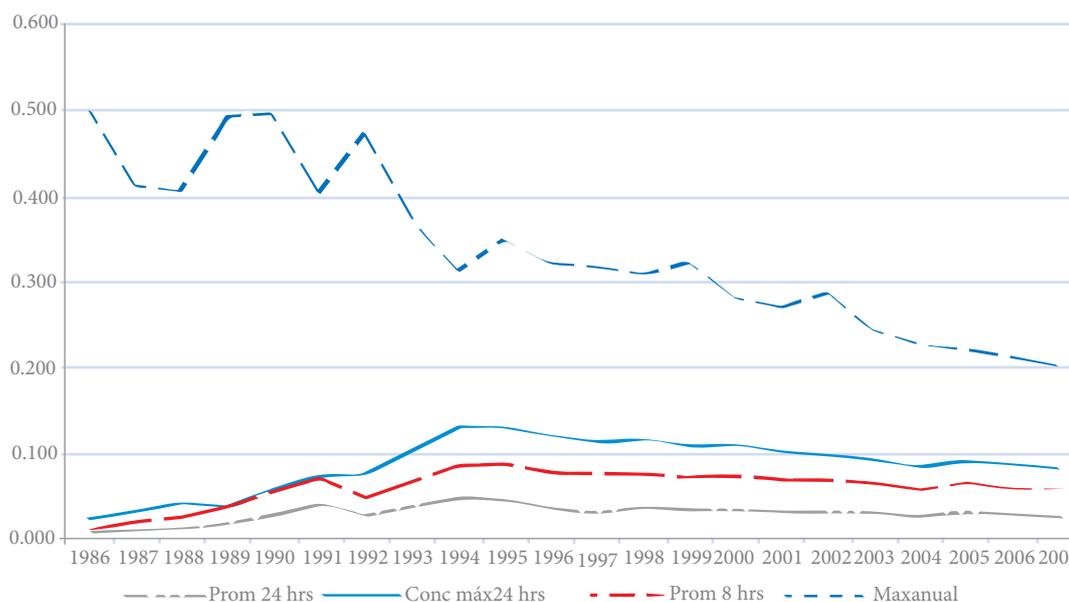
## Ozono

La presencia de Ozono en el aire se le atribuye a diversos procesos físicos – químicos, siendo la combinación de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos volátiles el proceso más importante para su formación. En 1994 se publica la norma<sup>12</sup> NOM-020, que establece el criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al ozono y el valor normado permisible para la concentración del ozono; y es hasta el año 2002 que se realizaron algunas modificaciones a la norma, referente a los criterios para calcular las concentraciones del ozono<sup>13</sup>, los cuales se presentan en el anexo IV.

En la norma de salud ambiental se establece que “La concentración de Ozono, como contaminante atmosférico, debe ser menor o igual a 0,110 ppm<sup>14</sup> promedio horario, para no ser rebasado una vez al año”. (NOM – 020-SSA1-1993).

La RAMA mide minuto a minuto las concentraciones de los diferentes contaminantes durante los 365 días del año, en la gráfica 1, se presenta la tendencias del Ozono durante del período 1986 hasta 2006. En la primera gráfica se representa el valor promedio de 24 horas en cada año, en la segunda gráfica se presenta la concentración máxima en un día durante todo el año; mientras que en la tercera gráfica el promedio de 8 horas que abarca el periodo horario de 11 a 18 horas y finalmente se presenta el valor máximo anual.

Gráfica 1. Concentraciones de Ozono 1986-2006



Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos del SIMAT de las concentraciones de Ozono 1986-2006

En la tabla 4, se muestran el porcentaje de días con concentraciones de Ozono menores e iguales a los límites permitidos en la normatividad en la ZMCM durante el período 1990-2006. Se observa un incremento a través del tiempo del número de días con concentraciones menores e iguales a 0,11 ppm; y también se muestra un aumento de los días con concentraciones de 0,080 ppm.

<sup>12</sup>SS, 1994. Norma Oficial Mexicana (NOM -020- SSA1- 1993).

<sup>13</sup>SS, 2002. Modificación a la Norma Oficial Mexicana (NOM -020- SSA1- 1993).

<sup>14</sup>Conversión: 1 ppm = 1960 µg/m<sup>3</sup> de aire ambiente a condiciones normales de presión y temperatura (25° C y 1 atmósfera). 0,110 ppm es equivalente a 216 µg/m<sup>3</sup>,

*Tabla 4. Porcentajes de días con concentraciones de Ozono menores e iguales a los límites establecidos en Norma Oficial Mexicana en la ZMCM del periodo 1990-2006*

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>0,11 PPM PROMEDIO DE UNA HORA</b>	7,4	2,6	8,5	11,2	5,8	11,2	10,7	11,8	12,3	17,8	11,7	18,9	17,8	21,9	34,7	36,2	41,4
<b>0,080 PPM PROMEDIO DE OCHO HORAS</b>	10,8	3,1	9,5	13,3	10,4	16,4	16,4	17,8	18,1	22,2	18,4	24,1	25,2	32,3	45,8	41,6	49,6

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2006

*Tabla 5. Concentración máxima anual de Ozono del periodo de 1990-2006.*

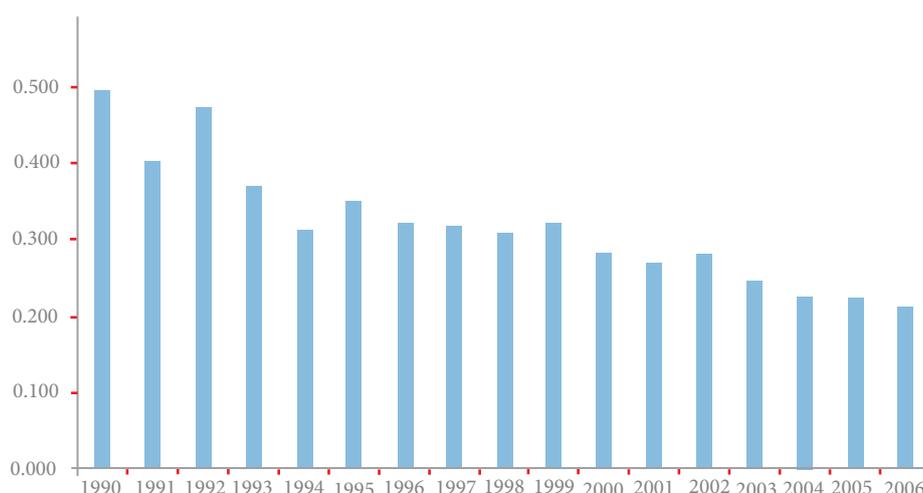
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
VALOR MÁXIMO	0,496	0,404	0,475	0,370	0,312	0,349	0,323	0,318	0,309	0,321	0,282	0,271	0,284	0,243	0,226	0,222	0,211
ESTACIÓN DEL REGISTRO DEL MÁXIMO <sup>15</sup>	LAG	PED	PLA	PED	PED	PED	PED	TAC	EAC	PLA	PED	AZC	PED	AZC	SUR	SUR	AZC

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos del SIMAT de las concentraciones de Ozono 1986-2006

En todas las estaciones de monitoreo se rebasan los límites permitidos por la normatividad, como se indica en la tabla 5 y gráfica 2, donde se presenta el valor máximo anual y la estación que registro ese valor.

<sup>15</sup>Nombre de las estaciones de monitoreo: LAG: Lagunilla, PED: Pedregal, PLA: Plateros, TAC: Tacaba, EAC: ENEP Acatlán, AZC: Azcapotzalco, SUR: Santa Ursula

Gráfica 2. Concentración máxima anual de Ozono del período de 1990-2006.



Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos del SIMAT de las concentraciones de Ozono de 1986 al 2006

La estación de Pedregal (PED) ha reportado con mayor frecuencia el valor máximo de concentración de ozono, esta estación se encuentra ubicada físicamente en el sur de la ZMCM; sin embargo en los últimos cuatro años han destacado la estación Azcapotzalco (AZC) y Santa Ursula (SUR), que se encuentran en el norte y sur de la ZMCM respectivamente.

Los límites de concentración de ozono establecido en la normatividad es rebasado por todas las estaciones de monitoreo atmosférico, la frecuencia de días en que se presenta esta situación depende de varias variables; aunque existe una relación con la ubicación geográfica, las estaciones que con mayor frecuencia reportan valores máximos se encuentran ubicadas en el sur de la ZMCM. Con respecto al tiempo, se observa que en el período de 11:00 a 18:00 horas, el comportamiento de los datos indica que se excede del límite de 0,11 ppm y esto se mantiene con regularidad durante los meses del año.

Por otro lado, las metas de reducción de concentración de ozono en la ZMCM propuestas en el Proaire, establece:

1. Eliminar las concentraciones de ozono superiores a 200 puntos de IMECA<sup>16</sup>, esto equivale a 0,233 partes por millón (ppm).
2. Reducir el número de días con concentraciones de ozono que se encuentren en el intervalo 101 a 200 IMECA (0,111 – 0,233 ppm).
3. Aumentar el número de días con concentraciones de ozono dentro del límite establecido por la norma de 0,11 ppm.

Al observar las tablas 4 y 5 se puede decir que dos de los propósitos establecidos en el Proaire se están cumpliendo paulatinamente; ya que durante los últimos años se ha aumentado el número de días con concentraciones inferiores a 0,11 ppm.

---

<sup>16</sup>Índice Metropolitano de la Calidad del Aire.

## Partículas menores a 10 micras (PM<sub>10</sub>)

Las partículas son generadas por una variedad de fuentes naturales y antropogénicas, por la quema de combustibles fósiles de vehículos y procesos industriales. Se emiten a la atmósfera directamente o se forman por la transformación de emisiones gaseosas como son los óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles. En el año de 1994 se publica la norma<sup>17</sup> NOM-025, que establece el valor permisible para la concentración de partículas menores a 10 micras (PM<sub>10</sub>) en el aire; es hasta el año 2005 que se realizaron modificaciones a la norma<sup>18</sup>. Entre los cambios, se destaca el establecimiento de los valores de concentración máxima de las partículas suspendidas totales (PST), las partículas menores de 2,5 micrómetros (PM<sub>2,5</sub>), y las PM<sub>10</sub>; así como los nuevos criterios para calcular las concentraciones.

“La concentración de partículas menores de 10 micras, como contaminantes atmosférico, no deben rebasar el límite permisible de 120 µg/m<sup>3</sup> promedio de 24 horas y 50 µg/m<sup>3</sup> promedio anual, para protección a la salud de la población susceptible”. (NOM – 025-SSA1-2005).

El SIMAT ha realizado la medición de la concentración de las PM<sup>10</sup> con equipos manuales y automáticos; es decir a través de la RAMA y la REDMA. Las mediciones de las concentraciones a través de la RAMA comenzaron a partir del año 1992, mientras que con la REDMA se cuenta con una serie histórica desde 1988.

Del período de 1990 a 2006, el límite de concentración anual de las PM<sub>10</sub> de 50 µg/m<sup>3</sup> mencionado en la norma ha sido rebasado todos los años, como se muestra en la tabla 6 y gráfica 3.

Tabla 6. Promedio aritmético anual de PM<sub>10</sub> en la ZMCM de 1990-2006.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
<b>PM<sub>10</sub> µg/m<sup>3</sup></b>									
<b>MÁXIMO</b>	179	121	138	189	163	155	197	155	146
<b>ESTACIONES QUE CUMPLEN CON LA NOM</b>	0	0	0	0	0	1	2	1	0

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>PM<sub>10</sub> µg/m<sup>3</sup></b>								
<b>MÁXIMO</b>	160	125	95	95	101	90	75	79
<b>ESTACIONES QUE CUMPLEN CON LA NOM</b>	1	1	1	1	1	1	1	1

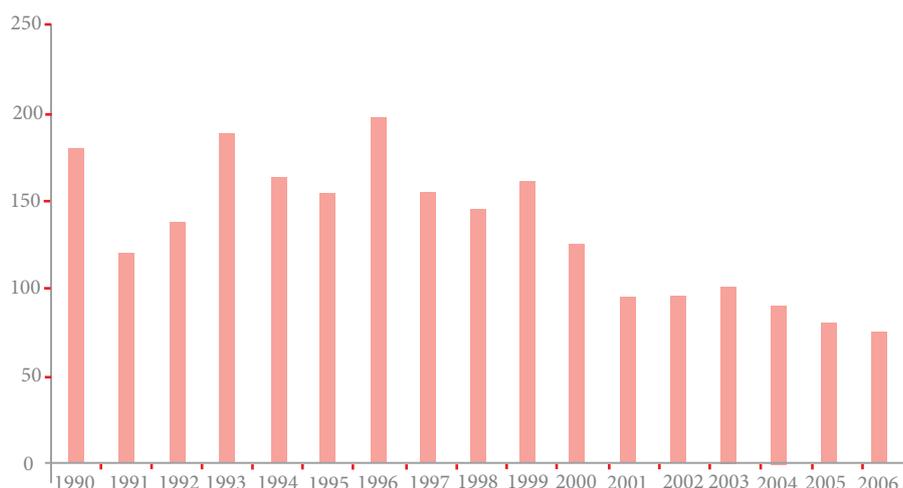
Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2006

La concentración anual de PM<sub>10</sub> más alta se reportó en el año 1996, a pesar de que en ese año dos estaciones de monitoreo cumplieron con la norma. Durante todo el período en la mayoría de las estaciones de monitoreo atmosférico rebasan las concentraciones establecidas, solamente la estación de pedregal (PED) ha cumplido con este límite.

<sup>17</sup>SS, 1994. Norma Oficial Mexicana (NOM -025- SSA1- 1993).

<sup>18</sup>SS, 2005. Modificación a la Norma Oficial Mexicana (NOM -025- SSA1- 1993).

Gráfica 3. Promedio anual de  $PM_{10}$  en la ZMCM de 1990-2006.



Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. 2006

Los datos reportados por el SIMAT indican que en los últimos dos años en la zona suroeste se obtuvieron niveles de concentración por debajo de los  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sin embargo en las estaciones de monitoreo ubicadas en la zona noreste las concentraciones superaron los  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; por lo tanto esta zona existe un mayor riesgo de exposición a altas concentraciones de  $PM_{10}$ .

Con respecto a las metas de reducción de concentración de  $PM_{10}$  en la ZMCM propuestas en el Proaire, establece:

1. Aumentar el número de días en que las concentraciones diarias de  $PM_{10}$  se encuentran dentro del límite establecido por la norma.
2. Reducir el promedio anual conforme la norma.

En la tabla 6, se observa que las concentraciones promedio anual de  $PM_{10}$  han disminuido a través del tiempo, sin embargo no se ha alcanzado el límite establecido en la norma en la mayoría de las estaciones de monitoreo.

## II.5. Estimación de los impactos en la salud.

---

Los habitantes de la ZMCM están expuestos a altas concentraciones de  $O_3$  y las  $PM_{10}$ , principalmente los individuos que trabajan al aire libre, población propensa a contraer enfermedades ocasionadas por estos contaminantes.

Los efectos en la salud derivados de la contaminación del aire dependen de la frecuencia y la duración en que una persona se exponga a la contaminación, el tipo de contaminante y su concentración, el lugar, la hora y el día de la semana, la temperatura y el estado del tiempo, entre otras variables. El efecto de la contaminación del aire, sobre la mortalidad, incluye varios factores de riesgo, tales como la edad, el sexo, el tabaquismo, la masa corporal y la exposición laboral.

Para la cuantificación de los efectos en salud por la exposición a los contaminantes criterios, se requiere conocer como afecta un cambio en las concentraciones ambientales de un contaminante en la variación de la incidencia de presentarse una enfermedad o síntoma.

Los datos que se requieren son los cambios en los niveles de concentración del contaminante que se traduce en cambios en la exposición ( $\Delta C$ ) y las funciones exposición o concentración respuesta que cuantifiquen la relación que existe entre la  $\Delta C$  de exposición y los cambios esperados en la salud.

En la estimación de los impactos en la salud, se siguieron las siguientes etapas:

1. Para cuantificar los cambios en la exposición se necesita conocer los niveles de concentración de cada uno de los contaminantes registrados en la red de monitoreo de la ciudad.
2. Estimar a través de modelos de calidad del aire, las concentraciones con el escenario de cambio o programa de control y reducción de emisiones, para cada contaminante.
3. Calcular el  $\Delta C$  para cada celda de la malla de modelación, concentración base menos la concentración con escenario.
4. Identificar la función concentración respuesta (C-R) para cada efecto en la salud cuantificable y para cada contaminante.
5. Estimar la población expuesta y la población en riesgo.
6. Calcular los cambios en la incidencia del efecto de acuerdo a la función C-R específica.
7. Sumar el cambio de incidencia que ocurre en cada celda de la malla para obtener el cambio global.

En este estudio las concentraciones de los contaminantes se obtuvieron de las bases de datos del SIMAT. A la ZMCM se dividió en cinco zonas geográficas: noroeste, noreste, centro, suroeste y sureste. Para obtener la concentración promedio representativa de la ZMCM se promedió las concentraciones de cada una de las zonas antes mencionadas.

Con los datos del XII Censo de Población y Vivienda<sup>19</sup> y II Conteo de Población y Vivienda<sup>20</sup> se obtuvieron los datos de densidad de población para cada delegación y municipio, la población total y por zona, los índices de mortalidad<sup>21,22</sup>, y morbilidad<sup>23</sup>, así como incidencia de algunas enfermedades respiratorias y cardiovasculares, esta información se obtuvo desagregada para las delegaciones del Distrito Federal y los municipios del Estado de México.

En el desarrollo del Proaire, se utilizó de base al inventario de emisiones del año 1998, y las proyecciones al año 2010 considerando los siguientes escenarios:

- Escenario 1. Proyección con las emisiones al año 2010 sin medidas de control.
- Escenario 2. Proyección al año 2010 con medidas de control.

---

<sup>19</sup>INEGI (2001). XII Censo de Población y Vivienda, 2000.

<sup>20</sup>INEGI (2006) II Conteo de Población y Vivienda, 2005

<sup>21</sup>Fuente: Elaborado a partir de los datos de defunciones del D.F. y Edo. México. Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica/Dirección General de Epidemiología/ SSA, 2000 al 2006

<sup>22</sup>Fuente: Elaborado a partir de los datos de defunciones del D.F. y Edo. México. Secretaría de Salud/Dirección General de Información en Salud, 2000 al 2006

<sup>23</sup>Fuente: Elaboración a partir de los datos de casos de enfermedad del D.F. y Edo. México. Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica/Dirección General de Epidemiología/ SSA, 2000 al 2006.

Con la aplicación de modelos de calidad del aire realizaron simulaciones y proyecciones de las concentraciones al año 2010; resultados que indicaban que de no aplicarse ninguna medida de control o reducción se incrementaría los niveles de ozono y las partículas  $PM_{10}$ . Sin embargo al aplicarse algunas medidas de control, se calcula una reducción de las emisiones de 18% de  $PM_{10}$ , y se pronostica una concentración máxima de ozono de aproximadamente 17% menor a la concentración estimada al año 2010 sin medidas de control.

En este trabajo de investigación, se toma como base las metas de reducción de contaminantes establecidas en el PROAIRE, es por ello que para la estimación en los cambios de concentraciones de ozono y  $PM_{10}$  y por lo tanto para la estimación de los impactos en la salud, se establecieron los siguientes escenarios:

- Escenario 1. Caso base año 1998 y la proyección al año 2010 sin medidas de control.
- Escenario 2. Proyección al año 2010 con medidas de control alcanzando una reducción del 10% de ozono y de las  $PM_{10}$ .
- Escenario 3. Proyección al año 2010 con medidas de control alcanzando la reducción propuesta en el proaire 17% para el Ozono y 18% para las  $PM_{10}$ .
- Escenario 4. Proyección al año 2010 con medidas de control con una reducción de la contaminación del 24%

Para estimar las concentraciones ponderadas promedio de ozono y  $PM_{10}$  se considero lo siguiente:

Dado que la RAMA está integrada por las estaciones de monitoreo ubicadas en puntos estratégicos de la Ciudad de México, se agrupo a las delegaciones del Distrito Federal y a los municipios del Estado de México que conforman la ZMCM en cinco zonas de análisis: Noroeste, Noreste, Centro, Suroeste y Sureste, la asignación de cada unidad político administrativa por zona tomó como criterio la localización física de las estaciones de monitoreo automático que miden Ozono y las  $PM_{10}$ . Cabe mencionar, que para algunas delegaciones se tenía el problema de que abarcaban 2 zonas, tal es el caso de Venustiano Carranza, que se ubica entre las zonas centro y noreste; sin embargo el criterio de asignación, fue considerar el lugar donde se encontraba el mayor número de sitios de monitoreo que midieran el contaminante de interés.

Cabe aclarar que en el desarrollo del proaire consideraron 16 delegaciones y 18 municipios que en aquel momento se consideraba como ZMCM, pero a partir del año 2006 el número de municipios que pertenecen a la ZMCM fue modificado<sup>24</sup>. Por lo tanto, en este estudio se aplicará los cuatro escenarios propuestos anteriormente a ZMCM considerando la demarcación geográfica definida en el proaire y la ZMCM actualizada al 2006.

Por otra parte, a fin de contar con el número de personas por cada demarcación de la ZMCM fue consultado el XII Censo general de población y vivienda del año 2000 y II Conteo de población y vivienda del año 2005, mediante el cual fue obtenida la población total y por edades. Esta última fue agrupada considerando lo que marca la literatura referente a las funciones dosis respuesta y en la estimación de los impactos a la salud.

---

<sup>24</sup>SEDESOL, CONAPO e INEGI (2004). Delimitación de las zonas metropolitanas de México y Gaceta Oficial del Distrito Federal (2006). Declaratoria de la Zona Metropolitana del Valle de México.

Asimismo, con el fin de conocer la ubicación física de la población de acuerdo a sus actividades cotidianas se consideró la información de la Encuesta Origen Destino de Viajes mediante la cual se obtuvo la población atraída por diferentes motivos de viaje, excepto el regreso a casa, durante el horario de 6 a 18 horas, por cada delegación y municipio.

La consideración de ambas fuentes de información obedece a que es interés de este trabajo, el determinar el grado de exposición a que están sujetos los individuos de acuerdo a la concentración de ozono y  $PM_{10}$ , de ahí la importancia por conocer los puntos de localización de los habitantes de la ZMCM.

Una vez establecidas las consideraciones anteriores se procedió a estimar la concentración ponderada promedio de ozono y  $PM_{10}$  por la población afectada por este contaminante, a través de la aplicación de la siguiente ecuación:

$$C_{ponderada} = \frac{\sum_{i=1}^m (C_i * P_i)}{\sum_{i=1}^m P_i} \quad (1)$$

donde:

$C_i$  = Concentración del contaminante por zona , ppm o  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

$P_i$  = Número de habitantes por zona .

$i_i$  = noroeste, noreste, centro, suroeste, sureste.

### Selección de las funciones C-R

Las concentraciones ambientales generalmente se miden usando monitores. La mortalidad a gran escala o los estudios de ingresos a hospitales pueden incluir a millones de personas que residen en una región cubierta por muchos sitios de monitoreo. Generalmente, se usa una concentración promedio regional, habiendo examinado concentraciones similares a través de los sitios.

La concentración de la contaminación está expresada en función del tiempo, t. En estudios de los efectos agudos en salud, el periodo  $t_1$ , a  $t_2$ , generalmente es de 24 horas, aunque algunas veces se usan múltiples de los días promedio (las mediciones de ozono comúnmente se refieren a un máximo en las concentraciones de 1, 5, ó 8 horas en un día, en lugar del promedio de 24 horas). En estudios de efectos crónicos en la salud, los promedios se refieren a periodos de tiempo de uno o varios años. Sin embargo, los efectos agudos diarios estimados son acumulados en un año y expresados como el efecto de los cambios en las concentraciones promedio anuales.

Una función C-R con frecuencia es estimada para un determinado lugar o varios lugares como son diferentes ciudades de un mismo país y para un determinado tipo de población. Al aplicar una función C-R a otra región puede dar como resultado sobreestimaciones en el cambio de incidencias para ciertos lugares o subestimaciones para otros.

Por otra parte, algunos investigadores sugieren especificar el tamaño y composición de la partícula cuando se estudia y estiman los impactos en salud por la exposición a este contaminante. La materia particulada es una mezcla heterogénea que varía en tiempo y espacio y puede estar constituida por

compuestos sólidos o líquidos como son los aerosoles orgánicos, sulfatos, nitratos, metales, carbón elemental y otros materiales. Algunos investigadores piensan que la partícula fina tiene más impacto dañino que la gruesa, aunque no está bien definido hasta donde esto puede afectar o definir el tipo de efecto en la salud o la exposición de la población.

Otro aspecto importante es contar con información de la incidencia base de enfermedades o síntomas asociadas a niveles de concentración, ya que algunas de las funciones C-R están expresadas como un cambio relativo a las condiciones de la línea base. Adicionalmente, la población afectada con frecuencia se refiere a la misma categoría de población para la cual la función C-R fue obtenida, entonces se debe tener en cuenta que el análisis y los resultados podrían quedar subestimados.

Las funciones Dosis – Respuestas utilizadas en este trabajo para cuantificar los impactos en la salud y que incluye mortalidad, admisiones a hospitales, visitas a emergencia (ERV's), días de actividad restringida (RADs), ataques de asma y síntomas (en su mayoría respiratorios), se resumen en las tablas 7 y 8, y con más detalle se presentan en el anexo V.

Los criterios para la selección de las funciones C-R fueron el tipo de estudio, periodo, población considerada, lugar (país), contaminantes incluidos en el modelo, tamaño de partícula, efectos en salud que sean económicamente factibles de ser evaluados de estudios realizados en diversas ciudades de Europa (ExternE 2005, 1998 y 1995), Estados Unidos (Acta de Aire Limpio, 2003 y 1999) y México (Molina, 2002) y otros autores<sup>25</sup>.

El efecto en la salud estimado se conoce como  $y$ , en donde  $a$  un cambio en la calidad del aire por contaminante,  $\Delta C$ , corresponde a un cambio en el efecto en la salud,  $\Delta y$ . El cálculo de  $\Delta Y$  dependerá de la función C-R derivada y obtenida de un estudio epidemiológico.

---

<sup>25</sup>Referencias: EPA (2003), Benefits and Costs of the Clean Air Act 1990 - 2020: Revised Analytical Plan For EPA's Second Prospective Analysis, Appendix D; EPA Report to Congress (1999), The Benefits and Costs of the Clean Air Act 1990 to 2010. Appendix D; European Commission (2005). ExternE. Externalities of Energy Methodology 2005 Update; European Commission (1998). ExternE. Externalities of Energy. Vol. VII, Metodology, Update.; European Commission (1995). DGXII, Science, Research and Development. Externalities of Fuel Cycles ExternE Project, Vol. II, Metodology; Pope et al 2004; Air Quality in the Mexico Megacity, Capítulo 4. Mario y Luisa Molina, 2001; Levy et al, 2000.

Tabla 7. Funciones exposición respuesta utilizadas para la estimación en los cambios en la mortalidad y morbilidad por la disminución en la contaminación por Ozono.

$$\Delta Y = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta O_3} - 1)] \cdot pop$$

EFEECTO	$\Delta Y$	$y_0$	$\beta$	$\Delta O_3$	pop	$\sigma_\beta$	ESTUDIO
<b>MORTALIDAD</b>	Cambio en la mortalidad	Tasa de mortalidad no accidental	Coeficiente ozono = 0,5%	Cambio en la concentración anual 24h de O <sub>3</sub> en µg/m <sup>3</sup>	Población todas las edades		Levy et al (2000)
<b>MORTALIDAD</b>	Cambio en la mortalidad	Tasa de mortalidad no accidental	Coeficiente ozono = 0,4%	Cambio en la concentración anual 24h de O <sub>3</sub> en µg/m <sup>3</sup>	Población todas las edades		Borja Aburto (1998)
<b>ADMISIÓN A HOSPITALES ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (NEUMONÍA)</b>	Cambio en Admisión por neumonía	Tasa de enfermedades respiratorias (neumonía)	Coeficiente ozono = 0, 521 %	Cambio en la concentración anual 24 h de O <sub>3</sub> (ppb)	población todas las edades	Error estándar de $\beta = 0,13$	Schwartz (1995)
<b>ADMISIÓN A HOSPITALES ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA (COPD)</b>	Cambio en Admisión por (COPD)	Tasa de COPD	Coeficiente ozono = 0,6170	Cambio en la concentración anual 24 h de O <sub>3</sub> (ppb)	población todas las edades	Error estándar de $\beta = 0,2305$	Schwartz (1995)
<b>ADMISIÓN A HOSPITALES ASMA</b>	Cambio en Admisión por Asma	Tasa de Enfermedad - Asma	Coeficiente ozono = 0,00250	Cambio en la concentración anual 24 h de O <sub>3</sub> (ppb)	población todas las edades	Error estándar de $\beta = 0,000718$	Burnett et al (1999)
<b>VISITAS A SALAS DE EMERGENCIA (ERV's) ASMA</b>	Cambio ERV's por Asma		Coeficiente ozono = 0,75 %	Cambio en la concentración anual 1 h de O <sub>3</sub> (ppb)	población todas las edades	Error estándar de $\beta = 0,26$	Cody et al (1992)
<b>DÍAS DE ACTIVIDAD RESTRINGIDA MENORES (MRAD's)</b>	Cambio en MRAD	Tasa de incidencia de MRAD	Coeficiente = 0,00220	Cambio en la concentración anual 1 h de O <sub>3</sub> (ppb)	población > 18 años < 65 años	Error estándar de $\beta = 0,000658$	Ostro y Rothschild (1989)
<b>ATAQUES DE ASMA ENFERMOS DE ASMA</b>	Cambio en Ataques de Asma	Tasa de incidencia de Ataques de Asma	Coeficiente ozono = 0,00184	Cambio en la concentración anual 1 h de O <sub>3</sub> (ppb)	población todas las edades	Error estándar de $\beta = 0,000714$	Whittemore and Korn (1980)
<b>SÍNTOMAS</b>	Cambio en síntomas		Coeficiente = 0,0001370	Cambio en la concentración anual 1 h de O <sub>3</sub> (ppb)	población > 18 años y < 65 años	Error estándar de $\beta = 0,00007$	Krupnick et al (1990)

Tabla 8. Funciones exposición respuesta utilizadas para la para la estimación en los cambios en la mortalidad y morbilidad por la disminución en la contaminación por partículas.

EFEECTO	$\Delta Y$	$y_0$	$\beta$	$\Delta O_3$	$\rho \rho$	$\sigma_\beta$	ESTUDIO
<b>MORTALIDAD</b>	Cambio en la mortalidad	Tasa de mortalidad no accidental	Coefficiente $PM_{10}$ = 1%	Cambio en la concentración anual de $PM_{10}$ en $\mu g/m^3$	Población todas las edades		Molina (2002)
<b>MORTALIDAD</b>	Cambio en la mortalidad	Tasa de mortalidad no accidental	Coefficiente $PM_{10}$ = 0,386 %	Cambio en la concentración anual de $PM_{10}$ en $\mu g/m^3$	población > 30 años	Error estándar de $\beta = 0,091$	Pope et al (1995)
<b>ADMISIÓN A HOSPITALES ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (NEUMONÍA)</b>	Cambio en Admisión por neumonía	Tasa de enfermedades respiratorias (neumonía)	Coefficiente $PM_{10}$ = 0,00115	Cambio en la concentración anual de $PM_{10}$ en $\mu g/m^3$	población todas las edades	Error estándar de $\beta = 0,00039$	Schwartz (1994)
<b>ADMISIÓN A HOSPITALES ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (NEUMONÍA)</b>	Cambio en Admisión por neumonía	Tasa de enfermedades respiratorias (neumonía)	Coefficiente ozono = 0,6170	Cambio en la concentración anual de $PM_{10}$ en $\mu g/m^3$	Ancianos > 65 años	Error estándar de $\beta = 0,000570$	Samet (2000)
<b>ADMISIÓN A HOSPITALES ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA (COPD)</b>	Cambio en Admisión por (COPD)	Tasa de COPD	Coefficiente $PM_{10}$ = 0,227	Cambio en la concentración anual de $PM_{10}$ en $\mu g/m^3$	población todas las edades	Error estándar de $\beta = 0,066$	Schwartz (1994) y Burnett <i>et al</i> (1994)
<b>ADMISIÓN A HOSPITALES ASMA</b>	Cambio en Admisión por Asma	Tasa de Enfermedad - Asma	Coefficiente $PM_{10}$ = 0,00321	Cambio en la concentración anual de $PM_{10}$ en $\mu g/m^3$	población todas las edades	Error estándar de $\beta = 0,00106$	Burnett <i>et al</i> (1999)
<b>VISITAS A SALAS DE EMERGENCIA (ERV's) ASMA</b>	Cambio ERV's por Asma	Tasa de visitas a salas de emergencia por Asma	Coefficiente $PM_{10}$ = 0,016527	Cambio en la concentración anual de $PM_{10}$ en $\mu g/m^3$	población < 18 años	Error estándar de $\beta = 0,004139$	Norris (1999)
<b>DÍAS DE ACTIVIDAD RESTRINGIDA (RAD's)</b>	Cambio en RAD	Tasa de incidencia de RAD	Coefficiente $PM_{10}$ = 0,00475	Cambio en la concentración anual de $PM_{10}$ en $\mu g/m^3$	población > 18 años < 65 años	Error estándar de $\beta = 0,00029$	Ostro (1987)
<b>DÍAS DE TRABAJO PERDIDO (WLD)</b>	Cambio en WLD	Tasa de incidencia de WLD	Coefficiente $PM_{10}$ = 0,0046	Cambio en la concentración anual de $PM_{10}$ en $\mu g/m^3$	población > 18 años < 65 años	Error estándar de $\beta = 0,00036$	Ostro (1987)
<b>SÍNTOMAS</b>	Cambio en síntomas		Coefficiente = 0,000461	Cambio en la concentración anual de $PM_{10}$ en $\mu g/m^3$	población > 18 años y < 65 años	Error estándar de $\beta = 0,000239$	Krupnick <i>et al</i> (1990)

Los resultados de las estimaciones de los casos de mortalidad prematura y de morbilidad que se evitarían utilizando las funciones Concentración – Respuesta anteriores y considerando los cambios en las concentraciones para cada uno de los escenarios, se presentan en las tablas 9 y 10.

Tabla 9. Impactos a la Salud por Ozono

POBLACIÓN	ZMCM							
	ZMCM				ZMCM			
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7	Escenario 8
	Al 2010 sin programa	Disminución 10%	Disminución 17%	Disminución 24%	Al 2010 sin programa	Disminución 10%	Disminución 17%	Disminución 24%
<b>MORTALIDAD</b>	466	338	574	810	506	367	624	881
<b>MORTALIDAD (A)</b>	82	60	101	143	89	65	110	156
<b>ADMISIONES A HOSPITALES</b>								
<b>ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (NEUMONÍA)</b>	Toda	459	333	566	799	500	616	869
<b>ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA (COPD)</b>	Toda	644	467	794	1.121	701	864	1.219
<b>POR ASMA</b>	Toda	513	373	631	887	558	686	965
<b>VISITAS A SALAS DE EMERGENCIA</b>								
<b>POR ASMA</b>	Asmáticos	13.352	9.425	15.708	22.620	14.518	17.080	14.348
<b>ATAQUES DE ASMA</b>	Toda	8.885	6.337	10.388	14.689	9.661	11.296	9.552
<b>SÍNTOMAS</b>	Toda	26.834.949	18.942.317	31.570.528	45.461.560	28.992.503	34.108.827	28.651.414
<b>DÍAS DE ACTIVIDAD RESTRINGIDA MENOR (MRAD 's)</b>	Adultos	2.508.989	1.771.051	2.951.751	4.250.522	2.710.713	3.189.075	2.678.823

(a) Considerando Mortalidad por enfermedades cardiovasculares.  
Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 9 se observa que de no llevarse a cabo ningún programa de control de contaminación, como se muestra en los escenarios 1 y escenario 5, los casos de mortalidad aumentarían; la diferencia entre estos dos escenarios a pesar de considerar el mismo  $\Delta C$  en el nivel de concentración de Ozono, se debe a la consideración que se tuvo de la población afectada, porque en el escenario 1 se consideró a 18 municipios del Estado de México, en el escenario 5 se consideró los 59 municipios.

El mismo comportamiento se presenta en los escenarios 1 y 5 por morbilidad aguda, donde los casos de enfermedad y admisión a hospitales, visitas a salas de emergencia, síntomas, etc. aumentarían de no llevarse a cabo ningún programa de mejora de la calidad del aire.

Al comparar los escenarios 2 al 4 y del 6 al 8, se observa que los casos evitados de mortalidad aumentarían conforme va aumentando el porcentaje de disminución de los niveles de contaminación por ozono. En el caso de los escenarios 6, 7 y 8 el número de casos evitados de mortalidad es mayor al compararlos con los escenarios 2, 3 y 4, esto se debe a la consideración de la población afectada. Con respecto a los impactos por morbilidad aguda, el número de casos evitados por enfermedad, tienen el mismo comportamiento que los casos evitados por mortalidad, es decir aumentan mientras mayor sea el porcentaje de disminución de la contaminación por Ozono.

Al igual que los impactos en salud asociados al ozono, en la tabla 10 se observa que de no llevarse a cabo ningún programa de control de contaminación, como se muestra en los escenarios 1 y escenario 5, los casos de mortalidad asociados a las  $PM_{10}$  aumentarían. El mismo comportamiento se presenta por morbilidad aguda, donde los casos de enfermedad y admisión a hospitales, visitas a salas de emergencia, síntomas, etc. aumentarían.

Al comparar los escenarios 2 al 4 y del 6 al 8, se observa que los casos evitados de mortalidad aumentarían conforme va aumentando el porcentaje de disminución de los niveles de contaminación por  $PM_{10}$ . Con respecto a los impactos por morbilidad aguda, el número de casos evitados por enfermedad aumentan mientras mayor sea el porcentaje de disminución de la contaminación por  $PM_{10}$ .

Como se presenta en la tabla 9, de alcanzarse las metas propuestas en el proaire<sup>26</sup> para los niveles de ozono se reflejaría una mejora, ya que los casos evitados son mayores al compararlo con el número de casos sin programa. Sin embargo para el caso de las  $PM_{10}$ , de la tabla 10, los casos que se evitarían no alcanzarían a contrarrestar el número de casos sin programa de mejora. En los escenarios optimistas, donde se alcanza una disminución del 24%, se observa una disminución de los impactos en la salud en ambos contaminantes.

---

<sup>26</sup>Los objetivos del proaire, es disminuir un 17% de los niveles de ozono y 18% de  $PM_{10}$ .

Tabla 10. Impactos a la Salud por PM<sub>10</sub>.

POBLACIÓN		ZMCM				ZMCM			
		Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7	Escenario 8
		Al 2010 sin programa	Disminución 10%	Disminución 18%	Disminución 24%	Al 2010 sin programa	Disminución 24%	Disminución 18%	Disminución 24%
<b>MORTALIDAD</b>									
<b>MORTALIDAD</b>	Toda	1.499	726	1.307	1.743	1.630	790	1.421	1.895
<b>MORTALIDAD</b>	> 30 años	5.605	2.716	4.890	6.519	6.043	2.929	5.272	7.029
<b>ADMISIONES A HOSPITALES</b>									
<b>ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (NEUMONÍA)</b>	Toda	320	155	279	372	348	169	304	405
<b>ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (NEUMONÍA)</b>	Ancianos	31	15	27	36	33	16	29	38
<b>ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA (COPD)</b>	Toda	749	363	653	871	814	395	710	947
<b>POR ASMA</b>	Toda	2.033	1.001	1.780	2.353	2.211	1.088	1.936	2.559
<b>VISITAS A SALAS DE EMERGENCIA</b>									
<b>ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA (COPD)</b>	Toda	2.375	1.151	2.071	2.762	2.582	1.251	2.252	3.003
<b>POR ASMA</b>	< 65 años	2.190	1.080	1.919	2.533	2.383	1.175	2.088	2.757
<b>DÍAS DE INSUFICIENCIA RESPIRATORIA</b>									
<b>POR ASMA</b>	Asmáticos	294.123	142.537	256.566	342.088	319.811	154.985	278.974	371.965
<b>SÍNTOMAS</b>	Toda	153.360.884	74.321.044	133.777.879	178.370.505	166.755.185	80.812.128	145.461.831	193.949.108
<b>DÍAS DE ACTIVIDAD RESTRINGIDA (RAD)</b>	Adultos	9.351.637	4.704.834	8.233.153	10.749.669	10.103.517	5.083.107	8.895.106	11.613.952
<b>DÍAS DE TRABAJO PERDIDO (WLD)</b>	Adultos	3.284.409	1.650.478	2.890.761	3.776.779	3.548.479	1.783.178	3.123.180	4.080.435
<b>DÍAS DE ACTIVIDAD RESTRINGIDA MENOR (MRAD's)</b>	Adultos	16.920.565	8.687.848	14.971.170	19.328.032	18.280.993	9.386.359	16.174.865	20.882.023
<b>MORBILIDAD CRÓNICA</b>									
<b>BRONQUITIS CRÓNICA</b>	> 30 años	26.158	12.677	22.818	30.424	28.202	13.667	24.600	32.801

Fuente: Elaboración propia

# CAPÍTULO III.

## Valoración Económica

### III.1. Introducción

---

La cuantificación en unidades monetarias de los bienes públicos con el objetivo de incorporar los cambios en el bienestar de las personas en el análisis formal de costos y beneficios que genera un proyecto o una política resulta una premisa fundamental. Para realizar dicha cuantificación se pueden seguir varios enfoques. Dentro del enfoque de preferencias declaradas, el método de valoración contingente (VC) constituye una alternativa. Lo esencial de la estimación consiste en la construcción de un mercado hipotético, donde se describe a los individuos las características del bien a evaluar, para posteriormente preguntarle por máxima disposición a pagar (DAP) por acceder a una mejora en la calidad o cantidad del bien.

Algunas de las aplicaciones del método de VC han estado orientadas a la prevención de riesgos de mortalidad, para la obtención del Valor Estadístico de la Vida. Este valor se calcula como el cociente de la DAP y la reducción específica de muerte.

Como parte de la aplicación de la metodología para estimar Externalidades, en este capítulo se presenta la valoración económica de los impactos a la salud. En primer lugar se describe el modelo del Valor Estadístico de la Vida (VEV), para posteriormente realizar su estimación en el contexto de reducción de riesgo de mortalidad asociado a la contaminación del aire, utilizando la metodología de valoración contingente y siguiendo las recomendaciones realizadas por diversos autores para una correcta comunicación de riesgo (Corso et al., 2001; Krupnick et al., 2002; Carson, 2000). Se describen los modelos que sustentan la metodología de valoración contingente en tres formatos de pago para obtener las medidas de bienestar. Se realiza una estimación paramétrica y no paramétrica de la DAP y se comparan los resultados. Adicionalmente se estima el VEV y los costos de morbilidad de los impactos en la salud asociados a la contaminación del aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). Finalmente se calcula los precios implícitos por descontaminación.

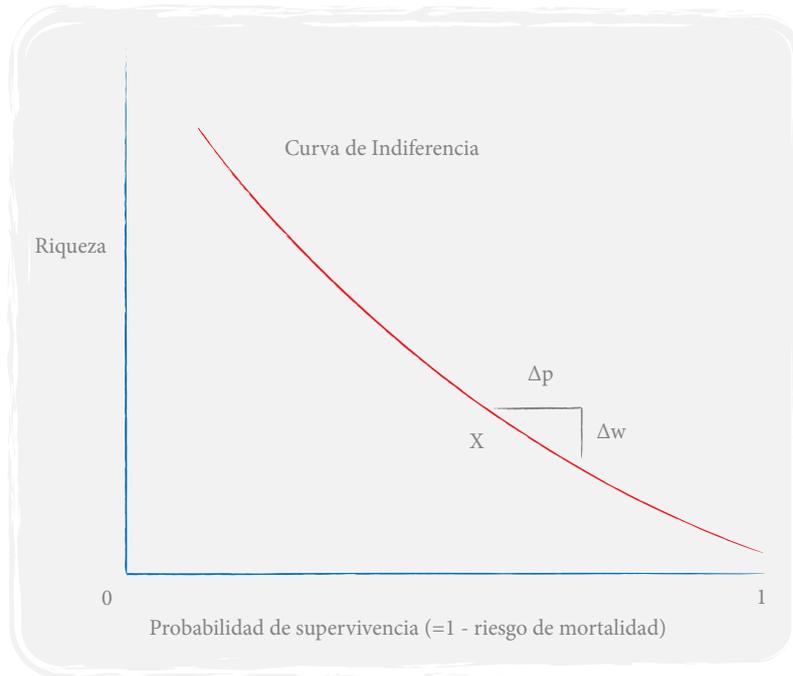
### III.2. Valor Estadístico de la Vida

---

#### Modelo

De acuerdo con la soberanía del consumidor, donde se considera que los individuos son los mejores jueces de sus propios intereses, hay una tasa en la cual un individuo podría intercambiar dinero por pequeños cambios en el riesgo de morir dentro de un período definido de tiempo. Las preferencias individuales por la riqueza y el riesgo de morir son ilustrados en la figura 1. El punto X representa el punto inicial riqueza y el riesgo de mortalidad. La curva de indiferencia separa combinaciones de riqueza y el riesgo de mortalidad en dos regiones. El individuo prefiere puntos por encima de la curva de indiferencia a su posición inicial y no prefiere puntos por debajo (Hammit, 2000).

Figura 1. Preferencias entre riqueza y riesgo de mortalidad



La tasa individual de intercambio entre riqueza y riesgo es caracterizada por la pendiente de la curva de indiferencia. Lo máximo que un individuo podría pagar para reducir su riesgo en  $\Delta p$  es  $\Delta w$ . Para pequeños valores de  $\Delta p$ ,  $\Delta w \approx (dw/dp)\Delta p$ . La tasa de intercambio es llamada el Valor Estadístico de la Vida. Si el VEV individual es de \$5 millones, se paga hasta  $\Delta w = 50$  para reducir su riesgo de morir ese año en  $\Delta p = 10^{-5}$ , este valor aplica solo a cambios muy pequeños en el riesgo. Esto no significa que un individuo podría pagar esa cantidad para evitar una muerte segura ese año, ni tampoco implica que acepte \$5 millones por una muerte segura. Lo que significa es que 10.000 personas similares juntas pagarían \$5 millones para eliminar el riesgo de muerte de una persona.

El modelo económico estándar en la literatura, asume que el bienestar de un individuo  $U(w)$  es la función de utilidad de la renta asociada al estado de salud normal, y  $V(w)$  es la función de utilidad de la renta si un individuo esta muerto. Si la probabilidad de morir es  $p$ , la función esperada de utilidad es definida como:

$$U(p, w) = (1 - p)U(w) + pV(w) \quad (2)$$

En la función  $V(w)$  se incorpora la riqueza que se puede dejar por concepto de herencias o también incluye las facturas médicas o seguros de vida como consecuencia de morir.

El VEV individual o la tasa marginal de sustitución entre la renta  $w$  y el riesgo de morir  $p$ , se obtendrá diferenciando la ecuación 2.

$$VEV = \frac{d(w)}{d(p)} = \frac{U(w) - V(w)}{(1 - p)U'(w) + pV'(w)} \quad (3)$$

donde  $U'(w)$  y  $V'(w)$  denotan las primeras derivadas de las funciones de utilidad de la renta condicionada a disfrutar de buena salud o a morir en el siguiente periodo, respectivamente.

El numerador en la ecuación 3 es la diferencia entre la utilidad de sobrevivir o morir en el periodo

actual. El denominador es la utilidad marginal esperada de la riqueza, es decir, la utilidad adicional asociada a la riqueza condicional de la supervivencia y la muerte, ponderada por las probabilidades de estos eventos. Suponiendo que la vida se prefiere a la muerte y que es preferida una mayor riqueza que menos, tanto el numerador como el denominador son positivos, por lo que el VEV es positivo y la curva de indiferencia en la figura 1 tiende hacia abajo.

El VEV depende de la base de referencia del riesgo y de la riqueza. En primer lugar, considerar la posibilidad del efecto del riesgo. Es natural suponer que  $U(w)$  y  $V(w)$ , es decir, el aumento de la utilidad proviene por la mayor riqueza si la persona sobrevive y por lo tanto tiene la oportunidad de gastar. Si es así un aumento en el riesgo  $p$  disminuye el valor del denominador. La utilidad asociada a la supervivencia (numerador) no se ve afectado por el riesgo, por lo que el individuo estaría dispuesto a reducir su mortalidad gastando más dinero para reducir la mortalidad. Esto implica que la curva de indiferencia es convexa, para pequeños cambios en la situación de riesgo, el efecto de la base de referencia no puede ser grande. Suponiendo que  $V(w) \geq 0$  (es decir que el individuo prefiere más riqueza a menos, aún cuando el muere), el efecto proporcional de un cambio en la línea base sobre el riesgo, el VEV no puede ser mayor que el cambio proporcional en la probabilidad de supervivencia  $(1 - p)$ . Para la mayoría de las personas, la probabilidad anual de supervivencia es de más del 99%, por lo que el riesgo anual no puede ser menor en más de un 1%

El VEV puede depender de la salud del individuo, se podría esperar que la DAP por reducir riesgo de mortalidad sea mayor si la persona considera que sobrevivirá en un buen estado de salud que en un mal estado, aunque teóricamente a la inversa también es posible. Si la mala salud del individuo limita la oportunidad de mejorar su bienestar por gastar dinero, la utilidad marginal de la riqueza puede ser menor si él sobrevive en malas condiciones de salud que si él sobrevive en buen estado de salud. Si es así, el denominador de la ecuación 3 es menor si sobrevivir significará mala salud. Como el numerador es pequeño, el VEV por sobrevivir con mala salud puede ser mayor o menor que el VEV por la supervivencia en buena salud, dependiendo si el efecto de la salud sobre el valor marginal de la riqueza supere su efecto en la utilidad total de la supervivencia.

La DAP por la reducción de riesgo por mortalidad depende de la capacidad de pago y es probable que aumente con la renta. La hipótesis que la renta adicional es más valorada en vida que como legado  $U(w) > V(w)$  implica que el numerador de la ecuación 3 incrementa con la renta. La mayoría de los individuos son adversos al riesgo financiero, si es así el denominador desciende con la renta, la segunda derivada de  $U(w)$  y  $V(w)$  son negativas y el VEV se incrementa. Si el individuo es indiferente al riesgo financiero, el denominador es constante y de nuevo el VEV aumenta con la renta. Solo en el caso improbable en el cual el individuo prefiere soportar mayor riesgo financiero, por el mismo rendimiento esperado, puede el denominador incrementarse con la renta, son lo que el efecto sobre el VEV es indeterminado.

El VEV representa la tasa a la que un individuo estaría DAP por una reducción infinitesimal del riesgo de mortalidad. La DAP por una discreta reducción de riesgo puede ser evaluado como la integral de individuales DAP de una serie de infinitesimales cambios entre el nivel de riesgo inicial y el riesgo final. La DAP por cada sucesivo incremento podría ser inferior a la anterior, porque la persona tiene menos renta y pequeños riesgos que el punto de partida. Los efectos renta es probables que sean mucho mayores que los efectos de la muerte de todos modos.

El simple modelo de VEV se define en término de los ingresos y el riesgo de mortalidad en un solo período. Muchos de los riesgos ambientales se caracterizan por un período de lactancia entre el

tiempo en que una persona ha sido expuesta al agente y el momento en el que pueda morir de su efecto tóxico. Dado que las medidas de prevención deben tomarse antes que la exposición ocurra, a menudo existe la necesidad de determinar la DAP ahora para reducir el riesgo de mortalidad futura. En la práctica, los riesgos de salud ambiental son normalmente evaluados por el tratamiento de muertes prematuras, en parte debido a la limitada capacidad de predecir las diferencias en riesgo a las diferentes poblaciones por los diferentes contaminantes.

Las evidencias han demostrado que los efectos de mortalidad derivado de la contaminación del aire por partículas se concentran entre las personas de edad avanzada y los niños, esto dificulta la valoración de la mortalidad debido a las diferencias de esperanza de vida. Aunque se han desarrollado otras alternativas para la valoración de la mortalidad y que son utilizadas en otras áreas de la salud pública y medicina, como es el caso de los beneficios de longevidad que son algunas veces cuantificados usando “la calidad de años de vida ajustados” que contabilizan las diferencias entre la esperanza de vida y la salud; también existe un creciente uso de los “años de vida ajustados por discapacidad” que contabilizan los años productivos, es decir cuando los individuos contribuyen más a la sociedad, y que tienen más valor que los años vividos en la infancia o en edad avanzada. Estas alternativas proporcionan relativos valores de reducción de riesgo para diferentes poblaciones, pero no abortan directamente la cuestión si una determinada reducción de riesgo vale su costo.

### III.3. Formato Binario en Valoración Contingente

---

Michael Hanemann (1984), Cameron y James (1987) y Cameron (1998), desarrollaron formulaciones teóricas del método de VC con formato binario, los cuales permiten estimar cambios en el bienestar de las personas<sup>1</sup>. Hanemann asume que la probabilidad de una respuesta positiva respecto a pagar una cantidad “ $A_t$ ” se explica por la magnitud de este valor “umbral”. Esto se traduce en incorporar esta cantidad como una variable explicativa de la probabilidad de una respuesta positiva y posteriormente usar la función de probabilidad acumulada para estimar el valor esperado del recurso.

Hanemann (1984) se centra fundamentalmente en la forma de obtener medidas de bienestar Hicxianas (variación equivalente y compensada) a partir de los datos generados por respuestas dicotómicas, utilizando funciones indirectas de utilidad.

Cameron, por su parte estima una función de valoración del recurso y por tanto, las medidas de bienestar se obtienen directamente de esta función, con la ventaja que la información contenida en las variables explicativas puede ser fácilmente utilizada en la toma de decisiones en el ámbito ambiental.

El modelo de Hanemann es conocido como el modelo de “*diferencias en la función de utilidad indirecta*”, mientras que la propuesta por Cameron se conoce como “*función de variación*”, que se centra en la diferencia de funciones de costo. McConnell (1990) sostiene que sin elementos aleatorios un enfoque debería ser el dual del otro, pero que se debe distinguir entre Hanemann y Cameron, cuando existan elementos aleatorios en las funciones estimadas. Aunque McConnell no entrega evidencia empírica respecto de la igualdad entre los enfoques, los autores han continuado trabajando con la

---

<sup>1</sup>En lo que sigue del texto se llamará “modelo de Cameron” a los trabajos que incluyen: Cameron y James (1987) y Cameron (1988).

función de diferencias de utilidad. Como plantea McConnell, se obtiene menos información del efecto ingreso o del efecto de otras variables explicativas al usar la función de diferencias de utilidad, mientras que la pendiente de las variables exógenas se obtiene directamente cuando se estima la función de variación.

### III.4. Enfoque de diferencias en la función de utilidad indirecta.

---

El método de Valoración Contingente pregunta a los individuos si ellos estarían dispuestos a pagar una cantidad igual a  $A_t$  unidades monetarias por una mejora en la calidad ambiental de un recurso. Si se considera la formulación macroeconómica que subyace en la maximización de utilidad del consumidor, cuando se incorpora la demanda por servicios ambientales, la función indirecta de utilidad estará dada por:

$$u_j = v_j(p, y; q_j) \quad (4)$$

donde  $j = 0$  es la situación inicial y  $j = 1$  en la situación modificada (mejora de la calidad ambiental),  $p$  es un vector de precios que enfrentan los individuos por sus bienes, y representa el ingreso familiar, y se asume que el nivel de utilidad alcanzado está condicionada a un vector de calidad de los bienes denotada por  $q_j$ , donde se incorporan además, las características socioeconómicas de los individuos que son relevantes para modelar sus respuesta a la pregunta sobre DAP.

El supuesto principal en VC es que las funciones de utilidad tienen componentes que son desconocidos para el investigador, lo cual sirve para generar una estructura estocástica a la función de utilidad dada en (4). De esta forma, la función indirecta de utilidad es una variable aleatoria con alguna distribución de probabilidad para los parámetros, y con medidas que dependen de las características observables de los individuos. Lo anterior se expresa:

$$u_j = v_j(p, y; q_j) + \varepsilon_j \quad (5)$$

donde  $\varepsilon_j$  es un error aleatorio con media cero. El modelo de VC enfrenta al individuo a una elección entre una mejora en la calidad ambiental de  $q_0$  a  $q_1$ , por lo cual se debe pagar una cantidad  $A_t$  o no tener la mejora y no pagar<sup>2</sup>. Es importante entender que la verdadera valoración del recurso no es observable directamente de las respuestas de los individuos. No obstante, se puede inferir a partir de estas respuestas, si la verdadera valoración es mayor o menor que la cantidad ofrecida  $A_t$ . Por lo tanto la probabilidad de una respuesta positiva por parte del individuo es:

$$\begin{aligned} \Pr(si) &= \Pr[v_1(p, y - A_t; q_1) + \varepsilon_1 > v_0(p, y; q_0) + \varepsilon_0] \\ \Pr(si) &= \Pr[v_1(p, y - A_t; q_1) - v_0(p, y; q_0) > \varepsilon_0 - \varepsilon_1] \\ \Pr(si) &= \Pr[\Delta v > \varepsilon_0 - \varepsilon_1] \\ \Pr(si) &= \Pr[\Delta v > \eta] \\ \Pr(si) &= \Pr[\Delta v > \eta] = F_\eta(\Delta v) \end{aligned} \quad (6)$$

---

<sup>2</sup>La cantidad  $A_t$  que enfrenta cada individuo es aleatoriamente asignada entre las observaciones.

donde  $F_\eta$  es la función de distribución acumulada de  $\eta$  y  $\eta = \varepsilon_0 - \varepsilon_1$ . Al elegir una distribución para  $\eta$ , y especificando apropiadamente  $v(\cdot)$ , los parámetros de la diferencia indicada por  $\Delta v$ , pueden ser estimados con información sobre la cantidad de pago requerida de los individuos, de las respuestas a la pregunta binaria, y de la información acerca de las características socioeconómicas de los entrevistados (McConnell and Ducci, 1989). Para ajustar los datos del proceso referéndum generalmente se usa un modelo Logit o Probit. Es decir, se asume que  $\eta$  se distribuye en forma logística o normal respectivamente, y se estima con procedimientos de máxima verosimilitud convencionales.

En la estructura tradicional de Hanemann (1984), para especificar la función de diferencias de utilidad indirecta  $\Delta v$ , se postula una forma funcional de  $v_j(p, y; q_j) + \varepsilon_j$  y luego se calcula la diferencia  $\Delta v = v_1(p, y - A_t; q_1) - v_0(p, y; q_0)$  a estimar. El uso de esta forma funcional se justifica aduciendo a que ésta puede ser considerada como una aproximación de primer orden a una función de utilidad indirecta bien comportada. En la tabla 11 se presentan las expresiones para la función de diferencias de utilidad lineal y logarítmica.

Tabla 11. Formas Funcionales para la Función Indirecta de Utilidad

FUNCIÓN V	FORMA FUNCIONAL $\Delta v$
I. $v_j = \alpha_j + \beta y + \varepsilon_j$	$\Delta v = \alpha - \beta A_t$
II. sin formulación	$\Delta v = \alpha - \beta \ln A_t$

En las ecuaciones de la tabla 11,  $A_t$  representa la suma de dinero propuesta o valor umbral,  $\beta > 0$  y  $\alpha = (\alpha_1 - \alpha_0)$ .

Para obtener medidas de bienestar se debe considerar que el nivel de diferencias entre pagar y no pagar la cantidad  $A_t$  se encuentra cuando la cantidad requerida es exactamente igual a la verdadera valoración que el individuo tiene del bien (denotado por  $C_t$ ). Es decir, cuando  $v_1(p, y - C_t; q_1) + \varepsilon_1$  es exactamente igual a  $v_0(p, y; q_0) + \varepsilon_0$ . A partir de este análisis se puede mostrar que está dada por:

$$C_t = y - m_1[p, v_0(p, y; q_0) + \eta; q_1] \quad (7)$$

donde  $m$  es la inversa de  $v_1(p, y - C_t; q_1)^3$ . Dado que la función de utilidad contiene un componente aleatorio, entonces  $C_t$  será una variable aleatoria. En este marco conceptual se pueden definir como medidas de bienestar la media y la mediana. La media representa la esperanza matemática de la suma de dinero que el individuo estaría dispuesto a pagar para un determinado proyecto se realice, de modo que permanezca “tan bien” como antes. Por su parte, la mediana es la cantidad de dinero necesaria para que el individuo esté justo en el punto de indiferencia entre mantener el uso del recurso o renunciar a éste. Si se denota la mediana  $C_t^*$ , debe cumplirse que:

$$\Pr\{v_1(p, y - C_t^*; q_1) > v_0(p, y; q_0)\} = 0,5 \quad (8)$$

<sup>3</sup> Sabemos que  $v_1(p, y - C_t; q_1) + \varepsilon_1 = v_0(p, y; q_0) + \varepsilon_0$ . Además, la inversa de  $v_1(p, y - C_t; q_1)$  es igual a  $m = m_1(p, v_1; q_1)$ , donde se deduce que  $C_t = y - m_1(p, v_1; q_1)$ . Por otra parte  $v_1(p, y - C_t; q_1) - v_0(p, y; q_0) + \varepsilon_0 - \varepsilon_1$ . Reemplazando esta expresión de  $C_t$  obtendremos  $C_t = y - m_1(p, v_0(p, y; q_0) + \varepsilon_0 - \varepsilon_1; q_1)$ , que es idéntica la expresión de la ecuación 7.

Tanto en el caso Logit como Probit esto se cumple para  $F_{\eta}(0) = 0,5$ , y por consiguiente  $\Delta v(C^*) = 0$ . Si se aplican estos criterios a los modelos de funciones indirectas anteriormente discutidos, se obtienen expresiones de la media y la mediana para las diferentes especificaciones de  $\Delta v$ , lo que se muestra en la tabla 12.

Tabla 12. Media y Mediana de las Formas Funcionales Tradicionales

MODELO	MEDIA	MEDIANA
I. $C_t = [\alpha + \eta] / \beta$	$\alpha / \beta$	$\alpha / \beta$
II. $C_t = e^{\alpha/\beta} e^{\eta/\beta}$	$e^{\alpha/\beta} E\{e^{\eta/\beta}\}$	$e^{\alpha/\beta}$

El operador esperanza en las expresiones de la fila II en la tabla 12 es definido por Hanemann como la función generadora de momentos de  $\eta$ , la cual asume la forma  $E\{e^{\alpha/\beta}\} = \pi / \beta * [\text{sen}(\pi / \beta)]$  para el caso Logit y a  $E\{e^{\eta/\beta}\} = \exp(1/2\beta^2)$  en el Probit<sup>4</sup>.

### III.5. El enfoque de la Función de Variación.

Cameron trabaja directamente con la idea que si un individuo esta dispuesto a pagar la cantidad  $A_t$ , entonces su verdadera valoración es mayor que la cantidad requerida ( $C_t > A_t$ ). Desde la perspectiva macroeconómica su propuesta ha sido modelada como si la comparación del individuo entre su DAP y el pago requerido en la encuesta, se basara en una función de gasto. Si se define  $m_j(u_1) + v_j$  como la cantidad de dinero necesaria para alcanzar un nivel de utilidad igual a  $u_1$ ,  $v_j$  como un error con media cero,  $j = 0$  para la situación corriente y  $j = 1$  para la situación con acceso al recurso o mejora de la cantidad ambiental, una respuesta afirmativa implica que la cantidad de dinero ( $A_t$ ) requerida de los individuos es menor que su máxima disposición a pagar, la cual se obtiene comparando las funciones de gasto sin y con la mejora en la calidad ambiental, esto se expresa como:

$$A_t < m_0(u_1) - m_1(u_1) + v_0 - v_1 \quad (9)$$

Siguiendo a McConnell (1990), la función de variación puede definirse como:

$$S(\cdot) = m_0(u_1) - m_1(u_1) > 0 \quad (10)$$

Se llama función de variación porque esta es la variación compensada o equivalente, dependiendo del tipo de pregunta que se formule y de los derechos de propiedad involucrados.

Aunque este es el marco macroeconómico del modelo de Cameron, para obtener las medidas de bienestar no es necesario formular una función de gasto y luego calcular la diferencia entre dos funciones evaluadas con y sin mejora en la calidad ambiental. Por el contrario, en este modelo se utiliza la información existente en las respuestas dicotómicas para obtener directamente la verdadera función de valoración de los individuos. Esta metodología, se basa en que el vector de cantidades

<sup>4</sup>Otra medida de bienestar utilizada en la literatura es la media truncada, la cual surge como respuesta a problemas relacionados con estimaciones negativas de la DAP y con estimaciones poco realistas considerando las características socioeconómicas de los individuos.

$(A_i)$ , que varían entre los individuos, contienen información acerca de la dispersión en la distribución condicional de la DAP que puede ser útil para la estimación e interpretación de las funciones de variación. Para comprender este argumento se asume que el verdadero modelo poblacional es de la forma:

$$C_i = x_i'\beta + \mu_i \quad (11)$$

donde  $C_i$  es una variable dependiente continua no observable que representa la verdadera valoración del individuo,  $\beta$  es un vector de parámetros a ser estimados,  $x$  es un vector de variables explicativas y  $\mu_i$  es un error aleatorio distribuido en forma normal con media cero y varianza constante. En el cuestionario la DAP se denota una aceptación de  $A_i$  por  $y_i = 1$ , y un rechazo por  $y_i = 0$ . Retomando la ecuación (10) se puede definir la probabilidad que un individuo responda afirmativamente por:

$$\begin{aligned} \Pr(y_i = 1) &= \Pr(C_i > A_i) \\ &= \Pr(x_i'\beta + \mu_i > A_i) \\ &= \Pr(\mu_i > A_i - x_i'\beta) \\ &= \Pr(z_i > [A_i - x_i'\beta] / \sigma) \end{aligned} \quad (12)$$

donde  $z_i$  es la variable aleatoria normal estándar. Luego:

$$\Pr(y_i = 1) = 1 - \Phi[(A_i - x_i'\beta) / \sigma] \quad (13)$$

y

$$\Pr(y_i = 0) = \Phi[(A_i - x_i'\beta) / \sigma] \quad (14)$$

donde  $\Phi$  representa la función de distribución normal acumulada. Para una muestra dada de  $N$  observaciones independientes, la función de densidad conjunta condicional puede ser interpretada como la función de verosimilitud. Expresada en términos lineales se tiene:

$$\ln L = \sum \{ y_i \ln [1 - \Phi((A_i - x_i'\beta) / \sigma)] + (1 - y_i) \ln [\Phi((A_i - x_i'\beta) / \sigma)] \} \quad (15)$$

La presencia de  $A_i$  en la función de verosimilitud hace posible, a través de técnicas de estimación no lineal, maximizar el valor de  $\ln L$  respecto al vector de coeficiente  $\beta$  y de la desviación estándar  $\sigma$ , a diferencia del modelo Probit tradicional (Cameron y James, 1987). Dado que es factible conocer  $\beta$  como  $\sigma$ , se puede “recuperar” la ecuación (10) y por lo tanto los parámetros pueden ser interpretados análogamente a los resultados de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Así, en especificaciones lineales, el valor estimado (media y mediana) de  $C_i$  es exactamente  $x_i'\beta$  y los efectos de un cambio de una cantidad en  $x_j$  es simplemente  $\beta_j$ . Por su parte, si se asume una función de valoración logarítmica, las medidas de bienestar serán  $\exp(x_i'\beta) \exp(\sigma^2 / 2)$  para la media y  $\exp(x_i'\beta)$  para la mediana.

### III.6. Modelo de Doble Bondad

---

El formato dicotómico doble o de doble bondad, consiste en realizar una pregunta adicional a cada entrevistado. En este formato, a cada entrevistado se le realiza una segunda pregunta. Si el indivi-

duo respondió afirmativamente a la primera pregunta de estar dispuesto a pagar una cantidad  $A$  de unidades monetarias, se le pregunta si estaría dispuesto a pagar una cantidad superior  $B_u > A$ ; si respondió negativamente la primera vez, se le pregunta si estaría dispuesto a pagar una cantidad inferior  $B_d < A$ . (Kanninen, 1993; Duffield and Patterson, 1991; Hanemann, 1994).

Como en el caso del formato binario, el investigador puede asumir que cada individuo tiene una disposición a pagar máxima por la mejora ambiental, denominada  $C$ , que se comporta como una variable aleatoria. Como resultado de las dos preguntas se podrán obtener cuatro posibles combinaciones de respuestas: si-si, si-no, no-si, no-no. Las probabilidades de obtener cada una de estas respuestas,  $\pi^{ss}, \pi^{sn}, \pi^{ns}, \pi^{nn}$ , estarán dadas por las siguientes expresiones, donde  $G_c(A)$  es la función de probabilidad acumulada de  $C$  evaluada en  $A$ , que da la probabilidad de obtener una respuesta negativa cuando el nivel de pago sugerido es  $\$A$

$$\begin{aligned}\pi^{ss}(A, B_u) &= \Pr[A \leq C \text{ y } B_u \leq C] \\ &= \Pr[B_u \leq C] \\ &= 1 - G_c(B_u),\end{aligned}\tag{16}$$

$$\begin{aligned}\pi^{sn}(A, B_u) &= \Pr[A \leq C \leq B_u] \\ &= G_c(B_u) - G_c(A),\end{aligned}\tag{17}$$

$$\begin{aligned}\pi^{ns}(A, B_d) &= \Pr[A \geq C \geq B_d] \\ &= G_c(A) - G_c(B_d),\end{aligned}\tag{18}$$

$$\begin{aligned}\pi^{nn}(A, B_d) &= \Pr[A \geq C \text{ y } B_d \geq C] \\ &= G_c(B_d).\end{aligned}\tag{19}$$

La función de verosimilitud de la muestra estará dada por:

$$\begin{aligned}L &= \sum [d^{ss} \log \pi^{ss}(A, B_u) + d^{sn} \log \pi^{sn}(A, B_u) \\ &+ d^{ns} \log \pi^{ns}(A, B_d) + d^{nn} \log \pi^{nn}(A, B_d)]\end{aligned}\tag{20}$$

donde  $d^{ss}, d^{sn}, d^{ns}, d^{nn}$ , son variables binarias; que toman el valor de 1 cuando el entrevistado se ubica en el rango indicado. El estimador de máxima verosimilitud se obtiene maximizando la función anterior.

### Comparación de las medidas de bienestar

Una rigurosa comparación de las medidas de bienestar requiere conocer las propiedades estadísticas de sus estimaciones, que permitan realizar distintas pruebas de hipótesis. Sin embargo, aunque las medidas de bienestar son por sí mismas variables aleatorias, no es posible obtener sus varianzas directamente del proceso de estimación inicial.

Del proceso de maximización de la función de verosimilitud, se obtiene un vector de coeficientes  $\hat{\beta}$  y su correspondiente matriz de varianzas y covarianzas  $\hat{V}$ . A partir de estas estimaciones, se construye un conjunto de medidas de bienestar de la forma  $C = f(\hat{\beta})$ , donde  $f$  es una función no lineal de los coeficientes estimados. Para verificar diferencias estadísticas entre las medidas de bienestar

se debe probar la hipótesis dada por:  $H_0 : C_1 = C_2$ , una de las formas tradicionales de probar esta hipótesis pueden plantearse; construyendo un intervalo de confianza para cada medida de bienestar y verificar si estos intervalos se interceptan (se traslapan).

Para construir intervalos de confianza Krinsky y Robb (1986) proponen una metodología que consiste en generar muestreos aleatorios para el vector de parámetros  $\beta$ . Dado que los coeficientes estimados se distribuyen asintóticamente normal con matriz de varianzas y covarianzas  $\hat{V}$  y media  $\hat{\beta}$ , se puede generar muestreos aleatorios para  $\beta$  a partir de esta distribución normal multivariada. Para cada muestra obtenida se calculan nuevas medidas de bienestar y de esta forma ascendente y el intervalo de confianza se obtiene eliminando un porcentaje igual a  $\alpha/2$  de los valores en las colas de la distribución, donde  $\alpha$  es el nivel de significancia. Este método toma en cuenta tanto la variabilidad asociada a cada uno de los coeficientes estimados, como la interacción entre éstos y fue usada en VC por Park, Creel y Loomis (1991).

### III.7. Aplicación de la Metodología

---

Como se mencionó en el capítulo anterior, el caso de estudio es la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), en donde se estimará los costos externos derivados de los impactos en la salud asociados a la contaminación del aire de dos contaminante, el Ozono ( $O_3$ ) y las partículas menores a diez micrómetros ( $PM_{10}$ ), que actualmente rebasan los niveles de concentración permitidos en la norma oficial mexicana. En primer lugar se estimará el Valor Estadístico de la Vida (VEV) aplicando el método de valoración contingente en formato binario simple, el formato de doble bondad y el formato de secuencia de pagos (payment card).

Para estimar el VEV en el caso de la disminución de las concentraciones de la  $PM_{10}$ , se utilizó el formato binario simple y el formato dicotómico doble. Para el caso del Ozono se utilizó el formato de secuencia de pagos.

#### Grupo focal

El estudio empezó con el diseño de un cuestionario basado en otros estudios empíricos de valoración contingente, así como en las recomendaciones de diversos autores mencionados en la literatura. En las primeras versiones del cuestionario se incluyeron preguntas sociodemográficas, socioeconómicas, de salud, de la contaminación atmosférica, y con especial atención las pregunta que incluía la disminución de riesgo de mortalidad.

En una primera fase, se invitó a participar a 30 personas en 5 grupos focales con diferentes niveles de estudios y profesión para aplicarles y discutir sobre la primera versión de la encuesta y específicamente sobre la pregunta de DAP y la reducción de riesgo. Esta prueba piloto se llevo a cabo en las instalaciones de Unidad Profesional de Ingeniería, Ciencias Sociales y Administrativas (UPIICSA), y en la Escuela Superior de Química e Industrias Extractivas (ESIQUIE) del Instituto Politécnico Nacional. El propósito principal de la prueba piloto fue corroborar el diseño del cuestionario, además de observar la reacción de los participantes ante la pregunta de DAP y riesgo.

Posteriormente, tomando como base el análisis de los resultados reportados en el grupo focal y

con los comentarios de los participantes se mejoró el cuestionario. Se diseñó una nueva versión del cuestionario con la principal pregunta de valoración con formato abierto, el cual fue aplicado como prueba piloto a 47 personas de la ZMCM; con esta información se definió el tamaño de la muestra (anexo VI) y se estimaron los vectores óptimos de pago.

Para fines del estudio, se aplicó un muestreo aleatorio simple y se consideró a los habitantes mayores de 18 años de la ZMCM, que forman un total de 11,472,453<sup>5</sup> habitantes.

### Definición del vector de pagos

Dado que el tamaño total de la muestra, se ve limitado principalmente por las restricciones presupuestarias para el investigador, motivo por el cual se debe elegir el criterio que optimice el vector de pagos. Cooper (1993) diseñó una metodología de selección de pagos con distribución de áreas iguales (DWEABS<sup>6</sup>, por sus siglas en inglés), basada en la minimización del error cuadrado medio (ECM) de la disposición a pagar ( $DAP$ ). El error cuadrático medio se define como la suma entre la varianza de la  $DAP$  y el sesgo de la  $DAP$  al cuadrado:

$$ECM = Varianza + (sesgo \ DAP)^2$$

$$ECM(D\hat{A}P) = E[D\hat{A}P - E(D\hat{A}P)]^2 + [E(D\hat{A}P) - DAP]^2 \quad (21)$$

donde:

$D\hat{A}P$  = Es el estimador de la verdadera media poblacional de  $DAP$ .

Con el modelo se obtiene el valor óptimo de pagos  $b$ , el número óptimo de rangos de pago  $m$  y una distribución óptima del tamaño de las submuestra  $n$  entre los vectores de pago  $b$  ( ver tabla 13).

Con los valores de la  $DAP$  obtenidos como resultado de aplicar la preencuesta con formato abierto a los habitantes de la ZMCM, se le aplicó el modelo DWEABS<sup>7</sup>, como se describe en el anexo VII.

Los resultados del modelo DWEABS está diseñado para el formato dicotómico simple y para el formato dicotómico doble se formularon los pagos superiores e inferiores, como se muestra en la tabla 13. Dada la restricción de presupuesto se decidió obtener una muestra de 500 observaciones. Se concluyó utilizar en la encuesta final, un rango de pagos  $m=11$  con sus respectivos vectores de pago  $b$  y el tamaño de las submuestra  $n$  ( ver tabla 3).

Con base al análisis de los resultados reportados en la prueba piloto, conociendo el tamaño de la muestra y los vectores de pago, se diseñó la versión final del cuestionario el cual se aplicó en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México durante los meses de mayo y junio de 2007. Se contrató a grupo de encuestadores para aplicar las encuestas en las 16 delegaciones y 59 municipios de la ZMCM, por medio de entrevistas personales en sus domicilios y en centros de trabajo.

<sup>5</sup>INEGI, II Censo de Población y Vivienda, 2005.

<sup>6</sup>Bid Distribution With Equal Area Bid Selection (DWEABS).

<sup>7</sup>El modelo DWEABS, trabaja con los datos de  $DAP$  de la preencuesta (la media y la varianza de la disposición a pagar), el tamaño total de la encuesta ( $N$ ) y con un supuesto de la distribución de probabilidad de la  $DAP$ .

Tabla 13. Tamaño Óptimo de la muestra para cada rango de pago.

SUBMUESTRA ( $n_i$ )	PAGO INICIAL	PAGO INFERIOR	PAGO SUPERIOR
22	10	5	58
50	58	10	103
49	103	58	142
48	142	103	180
48	180	142	217
47	217	180	254
48	254	217	294
50	294	254	339
53	339	294	393
60	393	339	470
25	470	393	1000

Fuente: Elaboración propia

### Diseño del Cuestionario

En la elaboración de la versión final del cuestionario (anexo VIII), al igual que en la preencuesta se siguieron pautas generales, con el propósito de entregar información imparcial y objetiva, elaborar un nivel secuencial de preguntas y usar material visual.

La encuesta se estructuró en cuatro partes, en la primera etapa de la encuesta se realizaron algunas preguntas para familiarizar al entrevistado con la problemática ambiental en la ZMCM, posteriormente se le presentó información relacionada con las tasas de mortalidad debido a diferentes causas apoyándose con ayudas visuales, con la finalidad de que el entrevistado tuviera claridad en el concepto de riesgo.

En la literatura se señala la importancia de comunicar adecuadamente el riesgo de mortalidad en los estudios de valoración contingente, específicamente cuando se trata de riesgos muy pequeños en donde la base es sobre 100.000 o en algunos casos un millón (Hammitt, 2000). Entre las estrategias de comunicación de riesgo se encuentra las ayudas visuales, que tienen un amplio consenso; mientras que las analogías verbales para traducir las reducciones de riesgo en otro tipo de unidades parecen resultar menos efectiva. (Curso, 2001). Las ayudas visuales que se utilizaron en el estudio de VC se elaboraron apoyándose en los trabajos de Hammitt, Corso y Martínez Pérez.

En la segunda parte de la encuesta, se presentó el mercado hipotético que contempla la descripción del proyecto de mejora en la calidad del aire y por lo tanto de un cambio en el riesgo de mortalidad. La disminución de riesgos fue estimada con base a los criterios mencionados en el capítulo II. Durante la encuesta se le enfatizó a los entrevistado que consideren su restricción presupuestaria, la duración del proyecto y el vehículo de pago, recomendaciones que dan varios autores para llevar acabo estudios de valoración contingente (Arrow, 1993, M Mitchell y Carson. 1989).

Cabe señalar que al preguntar por la disposición a pagar se utilizaron dos tipos de formatos: Primero, el formato dicotómico simple que consistía en preguntar al entrevistado por la disposición a pagar de \$A por lograr una disminución de los riesgos de mortalidad, obteniéndose como respuestas si o no. Segundo, se le planteaba al encuestado el formato dicotómico doble que consiste en una pregunta adicional que depende de una respuesta positiva o negativa a la primera pregunta. Si la primera respuesta era afirmativa, la segunda pregunta implicaba el planteamiento por un pago superior, y para el caso que la primera respuesta era negativa, el segundo planteamiento implicaba el pago de una cantidad inferior.

En la tercera parte de la encuesta se realizan preguntas relacionadas con su salud y las enfermedades que los entrevistados hayan tenido durante el último año y que consideren que están asociadas a la contaminación del aire. Finalmente, en la última parte de la encuesta, se recogen datos de carácter socioeconómico, como es la edad, sexo, nivel de ingresos, años de estudios, hijos, entre otras.

Una vez aplicadas las encuestas, se realizó la captura y la validación de las bases de datos, posteriormente se estimaron las medidas de bienestar y los intervalos de confianza. Adicionalmente se realizó una estimación no paramétrica con la finalidad de realizar una comparación entre los resultados.

### **Análisis de Resultados**

En la tabla 14 se presentan las características de la muestra, donde se observa que aproximadamente el 55% de los entrevistados fueron del sexo masculino y el otro 45% del sexo femenino; el 61% de los entrevistados son solteros; mientras que el 38% de toda la muestra tiene unos ingresos menores de \$5.000 pesos mexicanos. El 54% de los entrevistados tienen un nivel de estudios de media superior. Adicionalmente se observó que el 93% de los le da mucha importancia a la calidad del aire, y el 70% ha tenido síntomas o enfermedades asociadas a la contaminación del aire. Al aplicar la primera pregunta dicotómica de disposición a pagar a los entrevistados, el 33% no está DAP por reducir el riesgo de mortalidad.

*Tabla 14. Características Socioeconómicas de la muestra*

	<b>FRECUENCIA</b>	<b>PORCENTAJE</b>
<b>SEXO</b>		
<b>MASCULINO</b>	277	55,4
<b>FEMENINO</b>	223	44,6
<b>ESTADO CIVIL</b>		
<b>SOLTERO</b>	308	61,6
<b>CASADO/ UNIÓN LIBRE</b>	169	33,8
<b>DIVORCIADO/SEPARADO</b>	16	3,2
<b>VIUDO</b>	7	1,4
<b>NIVEL DE INGRESOS</b>		
<b>MENOS DE \$5,000</b>	191	38,2
<b>ENTRE \$5,000 Y \$11,000</b>	156	31,2
<b>ENTRE \$11,000 Y \$21,000</b>	115	23
<b>ENTRE \$21,000 Y \$35,000</b>	34	6,8
<b>MAYOR DE \$35,000</b>	4	0,8
<b>NIVEL DE ESTUDIOS</b>		
<b>PRIMARIA</b>	11	2,2
<b>SECUNDARIA</b>	30	6
<b>MEDIO SUPERIOR</b>	270	54
<b>LICENCIATURA</b>	157	31,4
<b>MAESTRÍA</b>	24	4,8
<b>DOCTORADO</b>	8	1,6

Fuente: Elaboración propia

Después de la revisión y la validación de las bases de datos, se revisó que variables podrían explicar en mayor medida la DAP declarada por los entrevistados, en la tabla 15 se muestran las variables utilizadas, se indica la media aritmética y entre paréntesis la desviación estándar.

*Tabla 15. Descripción Variables Utilizadas*

VARIABLES	DESCRIPCIÓN	MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR
$b_i$	Monto anual en pesos mexicanos, DAP de los entrevistados de la ZMCM	228,02 (124,45)
Ingreso	Ingreso mensual en pesos mexicanos	9.211,10 (7.979,27)
Edad	Edad del entrevistados (años)	30,06 (12,85)
Sexo	Variable binaria 1 = Femenino, 0=Masculino	0,45
Estado Civil	Variable binaria: 1 = soltero, 0 = los demás estados civiles	0,62
Hijos	Número de hijos del encuestado	0,84 (1,40)
Estudio	Años de estudios del encuestado	14,10 (3,28)
Dependientes	Número de dependientes económicos	2,89 (1,64)
Importancia	Variable binaria que indica la importancia que el encuestado le da a la calidad del aire 1 = muy importante	0,93
Molestias en salud	Variable binaria que indica si el encuestado ha tenido molestias en la salud asociadas a la contaminación: 1 = si, 0 = no	0,85
Ausencia	Días de ausencia laboral por motivos de enfermedades asociadas a la contaminación	1,67 (5,01)
Mejoras	Percepción de mejoras 1 = si, 0 = no	0,51

Fuente: Elaboración propia

Una vez seleccionadas las variables que explican la disposición a pagar de los habitantes de la ZMCM, se estimaron los modelos lineal y logarítmico para el formato doble bondad y el formato simple, utilizando el paquete econométrico Eviews<sup>8</sup>.

En la tabla 16 se presentan los resultados de aplicar los modelos lineal y logarítmico para el formato doble bondad considerando todas las variables explicativas seleccionadas y asumiendo distintas distribuciones de probabilidad, como es el caso de la distribución normal y logarítmica, que dan lugar a los modelos probit y logit respectivamente.

*Tabla 16. Estimación con todas las variables, formato dicotómico doble*

VARIABLES	DISTRIBUCIÓN NORMAL		DISTRIBUCIÓN LOGÍSTICA	
	MODELO LINEAL	MODELO LOGARÍTMICO	MODELO LINEAL	MODELO LOGARÍTMICO
<b>CONSTANTE</b>	0,116 (0,274)	-3,671 (-8,668)***	0,703 (0,973)	-7,538 (-9,390)***
<b>b<sub>i</sub></b>	-6,769 (-27,604)***	-1,364 (-31,958)***	-12,822 (-20,597)***	-2,919 (-25,103)***
<b>INGRESO</b>	0,998E-01 (11,336)***	0,739 (7,580)***	0,171 (9,429)***	1,244 (7,463)
<b>EDAD</b>	0,240E-02 (0,285)	0,351E-03 (0,047)	0,262E-03 (0,019)	-0,522E-02 (-0,382)
<b>SEXO</b>	0,317 (2,607)***	0,268 (2,258)***	0,512 (2,461)***	0,505 (2,359)***
<b>ESTADO CIVIL</b>	0,619E-01 (0,313)	0,487E-02 (0,026)	-0,134 (0,403)	-0,203 (-0,584)
<b>HIJOS</b>	-0,659E-01 (-0,991)	-0,764E-01 (-1,095)	-0,854E-01 (-0,739)	-0,723E-01 (-0,600)
<b>ESTUDIO</b>	0,635E-01 (3,073)***	0,380E-01 (1,911)*	0,112 (3,155)***	0,112 (3,199)***
<b>DEPENDIENTES</b>	0,533E-01 (1,665)*	0,238E-01 (0,604)	0,501E-01 (0,792)	0,411E-01 (0,592)
<b>IMPORTANCIA</b>	-0,219 (-0,836)	-0,289 (-1,109)	-0,299 (-0,740)	-0,315 (-0,804)
<b>MOLESTIAS EN SALUD</b>	0,278 (2,021)**	0,248 (1,793)*	0,481 (2,099)*	0,426 (1,793)*
<b>AUSENCIA</b>	0,503E-02 (-0,444)	0,699E-02 (0,320)	0,173E-02 (0,068)	0,791E-02 (0,228)
<b>MEJORAS</b>	-0,237 (-1,877)*	-0,145 (-1,194)	-0,373 (-1,750)*	-0,358 (-1,658)*

El valor entre paréntesis es el valor de la prueba t sobre la significancia de los parámetros de las variables (Ho: bi=0)  
\*, \*\*, \*\*\* indican que los estimadores son significativos a un nivel de confianza de 95, 97,5 y 99 % respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

<sup>8</sup>Eviews versión 5.

Posteriormente se seleccionaron las variables estadísticamente significativas y se volvieron a estimar los modelos lineal y logarítmico para el formato doble bondad como se muestra en la tabla 17.

Los coeficientes estimados que se presentan en la tabla 17 son resultado del método de máxima verosimilitud para una función de distribución normal acumulada (Probit) y la distribución logística (logit). Los resultados son consistentes con la teoría económica ya indican que en la ZMCM la probabilidad de responder que si a las pregunta de la DAP aumenta mientras mayor sea el nivel de ingresos, mayor sea el nivel de estudios y mayor sean las molestias en la salud asociadas a la contaminación del aire y menor sean los pagos propuestos en las preguntas de valoración.

*Tabla 17. Estimación con variables significativas, formato dicotómico doble.*

VARIABLES	DISTRIBUCIÓN NORMAL		DISTRIBUCIÓN LOGÍSTICA	
	MODELO LINEAL	MODELO LOGARÍTMICO	MODELO LINEAL	MODELO LOGARÍTMICO
<b>CONSTANTE</b>	-0,114 (-0,447)	-4,045 (-14,088)***	0,617E-02 (0,014)	-8,388 (-15,090)***
<b>b<sub>i</sub></b>	-6,658 (-31,811)***	-1,352 (-39,092)***	-12,674 (-21,957)***	-2,886 (-26,045)***
<b>INGRESO</b>	0,101 (12,893)***	0,719 (8,211)***	0,175 (10,240)***	1,252 (8,292)***
<b>SEXO</b>	0,317 (2,694)***	0,274 (2,461)***	0,504 (2,488)***	0,516 (2,473)***
<b>ESTUDIO</b>	0,699E-01 (3,818)***	0,467E-01 (2,467)***	0,125 (3,873)***	0,125 (3,935)***
<b>MOLESTIAS EN SALUD</b>	0,279 (2,063)**	0,235 (1,909)*	0,482 (2,150)**	0,434 (1,890)**
<b>MEDIANA DAP</b>	\$321,02	\$281,51	\$310,46	\$279,83
<b>INTERVALO DE CONFIANZA</b>	(304,21-337,36)	(253,08 - 312,32)	(295,27 - 325,35)	(259,7-301,92)
<b>MEDIA DAP</b>	\$321,02	\$702,27	\$310,46	\$343,80
<b>INTERVALO DE CONFIANZA</b>	(304,21- 337,36)	(640,94 - 771,86)	(295,27 - 325,35)	(314,52 - 377,86)

El valor entre paréntesis es el valor de la prueba t sobre la significancia de los parámetros de las variables (Ho: bi=0)  
\*, \*\*, \*\*\* indican que los estimadores son significativos a un nivel de confianza de 95, 97,5 y 99 % respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

En el cálculo de las medidas de bienestar, la media y la mediana, para las diferentes formas funcionales de  $\Delta v$  indicadas en la tabla 12 fueron empleados los coeficientes de la regresión y sus varianzas derivadas del método de aproximación lineal. Los intervalos de confianza se obtuvieron al aplicar el método de Park, Loomis y Creel a un nivel de 95%.

En la tabla 17 se observa que para la forma funcional lineal, ambas medidas (media y mediana) son iguales, no sucede lo mismo para la forma funcional logarítmica y esto se explica por las distintas definiciones adoptadas en dichas medidas e indicadas en la tabla 12.

Sin embargo si se comparan los intervalos de confianza para una prueba entre dos formas funcionales con la misma distribución, por ejemplo media para el modelo lineal (distribución normal) con la media para el modelo logarítmico (distribución normal), el resultado muestra que los intervalos no se interceptan por lo que las medias son estadísticamente distintas. Por el contrario, los resultados muestran que las medianas no difieren estadísticamente dentro de un mismo marco conceptual, ni entre distintos modelos.

Con respecto a los datos obtenidos al considerar solo la primera pregunta de valoración, se siguió el mismo procedimiento, es decir con las mismas variables seleccionadas se estimaron los modelos lineal y logarítmico para el formato dicotómico. En la tabla 18 se presentan los resultados de aplicar los modelos lineal y logarítmico para el formato simple considerando todas las variables explicativas seleccionadas y asumiendo distintas distribuciones de probabilidad.

Una vez seleccionadas las variables estadísticamente significativas, se volvieron a estimar los modelos lineal y logarítmico para el formato dicotómico, los resultados se muestran en la tabla 19. Al igual que el formato doble bondad los resultados son consistentes ya indican que en la ZMCM la probabilidad de responder que si a las pregunta de la DAP aumenta mientras mayor sea el nivel de ingresos, mayor sea el nivel de estudios y mayor sean las molestias en la salud asociadas a la contaminación del aire y menor sean los pagos propuestos en la pregunta de valoración.

Los intervalos de confianza también se obtuvieron de aplicar el método de Park, Loomis y Creel a un nivel de 95%. En la tabla 19 se observa que para la forma funcional lineal, ambas medidas (media y mediana) son iguales, no sucede lo mismo para la forma funcional logarítmica.

Como se presenta en el caso del formato doble bondad, al comparar los intervalos de confianza entre dos formas funcionales con la misma distribución, en el caso de la media los intervalos no se interceptan por lo que las medias son estadísticamente distintas. Por el contrario, los resultados muestran que las medianas no difieren estadísticamente.

Tabla 18. Estimación con todas las variables, formato binario.

VARIABLES	DISTRIBUCIÓN NORMAL		DISTRIBUCIÓN LOGÍSTICA	
	MODELO LINEAL	MODELO LOGARÍTMICO	MODELO LINEAL	MODELO LOGARÍTMICO
<b>CONSTANTE</b>	0,185 (0,333)	-2,348 (-3,986)***	0,265 (0,282)	-4,339 (-4,155)***
$b_i$	-4,513 (-7,576)***	-0,698 (-6,972)***	-7,661 (-7,277)***	-1,317 (-6,523)***
<b>INGRESO</b>	0,685E-01 (5,249)***	0,685 (6,059)***	0,117 (4,995)***	1,153 (5,724)***
<b>EDAD</b>	0,838E-02 (0,944)	0,516E-02 (0,574)	0,134E-01 (0,902)	0,865E-02 (0,570)
<b>SEXO</b>	0,361 (2,733)***	0,361 (2,718)***	0,618 (2,751)***	0,636 (2,793)***
<b>ESTADO CIVIL</b>	0,161 (0,718)	0,215 (0,956)	0,260 (0,694)	0,337 (0,884)
<b>HIJOS</b>	-0,961E-01 (-1,272)	-0,917E-01 (-1,222)	-0,151 (-1,180)	-0,142 (-1,105)
<b>ESTUDIO</b>	0,223E-01 (0,899)	0,328 (0,136)	0,406E-01 (0,952)	0,156E-01 (0,369)
<b>DEPENDIENTES</b>	0,580E-01 (1,324)	0,439E-01 (0,989)	0,950E-01 (1,273)	0,733E-01 (0,962)
<b>IMPORTANCIA</b>	-0,156 (-0,599)	-0,158 (-0,604)	-0,244 (-0,547)	-0,232 (-0,512)
<b>MOLESTIAS EN SALUD</b>	0,131 (0,912)	0,979E-01 (0,676)	0,227 (0,933)	0,169 (0,691)
<b>AUSENCIA</b>	0,211E-01 (-1,255)	-0,207E-01 (-1,075)	-0,337E-01 (-1,176)	-0,337E-01 (-1,020)
<b>MEJORAS</b>	-0,992E-01 (-0,724)	-0,881E-01 (-0,642)	-0,176 (-0,756)	-0,177 (-0,755)

El valor entre paréntesis es el valor de la prueba t sobre la significancia de los parámetros de las variables ( $H_0: b_i=0$ ). \*, \*\*, \*\*\* indican que los estimadores son significativos a un nivel de confianza de 95, 97,5 y 99 % respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

La selección entre la media y la mediana para la forma funcional logarítmica, significa un problema importante desde la perspectiva de los beneficios agregados. Hanemann (1989), recomienda utilizar la mediana como base para estimaciones realistas de las medidas de bienestar, ya que es más robusta a observaciones en las colas de la distribución. Dado los resultados, esta sugerencia parece bastante razonable, ya que usando la mediana de cualquiera de las formas funcionales se obtienen las medidas de beneficio más conservadoras. Además, reduce los efectos en las medidas de bienestar por diferencias en la forma funcional escogida, ya que las medianas no difieren significativamente. Por otro lado, los resultados refuerzan la sugerencia de utilizar la forma funcional lineal para imputar los beneficios de recursos ambientales en contextos de países menos desarrollados como es el caso de este trabajo.

Tabla 19. Estimación con variables significativas formato binario.

VARIABLES	DISTRIBUCIÓN NORMAL		DISTRIBUCIÓN LOGÍSTICA	
	MODELO LINEAL	MODELO LOGARÍTMICO	MODELO LINEAL	MODELO LOGARÍTMICO
<b>CONSTANTE</b>	0,329 (1,072)	-2,314 (-5,797)***	0,489 (0,959)	-4,355 (-5,969)***
$b_i$	-4554 (-7,905)***	-0,711 (-7,187)***	-7,760 (-7,566)***	-1,358 (-6,776)***
<b>INGRESO</b>	0,712E-01 (5,828)***	0,684 (6,739)***	0,123 (5,561)***	1,160 (6,424)***
<b>SEXO</b>	0,345 (2,656)***	0,361 (2,759)***	0,586 (2,657)***	0,629 (2,804)***
<b>ESTUDIOS</b>	0,280E-01 (1,233)	0,944E-02 (0,429)	0,507E-01 (1,314)	0,285E-01 (0,744)
<b>MOLESTIAS EN SALUD</b>	0,867E-01 (0,622)	0,489E-01 (0,351)	0,159 (0,675)	0,101 (0,427)
<b>MEDIANA DAP</b>	\$350,25	\$389,52	\$348,90	\$364,70
<b>INTERVALO DE CONFIANZA</b>	(315,23 - 398,38)	(312,9 - 524,95)	(315,14 - 397,24)	(301,59 - 472,62)
<b>MEDIA DAP</b>	\$350,25	\$501,51	\$348,90	\$1.144,93
<b>INTERVALO DE CONFIANZA</b>	(315,23 - 398,38)	(427 - 626,85)	(315,14 - 397,24)	(947,04 - 1484,10)

El valor entre paréntesis es el valor de la prueba t sobre la significancia de los parámetros de las variables ( $H_0: b_i=0$ )  
\*, \*\*, \*\*\* indican que los estimadores son significativos a un nivel de confianza de 95, 97,5 y 99 % respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

La estimación de las medidas de bienestar está sujeta a diferentes formas funcionales sobre la función indirecta de utilidad, que depende de la inclusión o exclusión de variables explicativas y de la suposición de distribución de probabilidad de los errores. Una incorrecta especificación de la distribución de probabilidad podría arrojar resultados sesgados.

Con el propósito de superar estas dificultades, se realizará una estimación de las medidas de bienestar utilizando un método no paramétrico.

### III.8. Estimación No Paramétrica

Existen dos documentos importantes que abordan estas metodologías: el primero fue en 1990 realizado por Kriström, y el segundo por Haab y McConnell (1995). Ambos parten de la construcción de una función de sobrevivencia y de acumulación de densidad de la DAP respectivamente, para la estimación de las medidas de bienestar.

La idea básica reside en que a priori no existe ninguna razón que justifique que los gustos de los consumidores se distribuyan como una distribución normal o logística. El método no paramétrico más simple se basa en la noción de que la curva de demanda debe ser no creciente en el precio ( $A$ ).

En el caso del método desarrollado por Kriström (1990) la función es creada con los vectores de pago ( $b_j$ ) y sus respectivas proporciones de aceptación. La probabilidad de una respuesta positiva es la proporción de respuestas positivas  $\hat{\pi}_j$  para cada precio de salida  $A_j$ .

En la situación del estudio, tenemos diferentes precios de salida dando lugar a una secuencia de proporciones de respuestas positivas:

$$\hat{\pi}(\hat{\pi}_1, \hat{\pi}_2, \hat{\pi}_3, \hat{\pi}_4, \dots, \hat{\pi}_j) \quad (22)$$

donde  $\hat{\pi}_1$  corresponde al precio de salida más bajo  $A_j$ ,  $\hat{\pi}_2$  al siguiente precio y así sucesivamente. Con el teorema de Ayer se muestra que si  $\hat{\pi}$  forma una secuencia monótona no creciente de proporciones, entonces dicha secuencia proporciona un estimador de máxima verosimilitud de la probabilidad de aceptar. También proponen el siguiente algoritmo: si  $\hat{\pi}_j \leq \hat{\pi}_{j+1}$  para  $j(j=1,2,\dots,k-1)$ , entonces  $\bar{\pi}_j = \bar{\pi}_{j+1}$ , donde la barra indica las estimaciones por máxima verosimilitud. Las proporciones de  $\hat{\pi}_1$  y  $\hat{\pi}_{j+1}$  son remplazadas por:  $(Y_j + Y_{j+1})/(n_j + n_{j+1})$ , donde  $Y_i$  es el número de respuestas “si” en el grupo  $j$ . El procedimiento es repetido hasta que la secuencia es decreciente y monótona en  $A$ .

Es necesario asumir que  $\pi = 1$  cuando  $A = 0$  y que  $\pi = 0$  cuando  $A = A^*$ , es decir, que si el precio ofrecido es cero entonces la probabilidad de aceptar el pago es la unidad y si el precio es  $A^*$  entonces es cero, al ser demasiado alto y en consecuencia nadie acepta el pago propuesto. La media representa el área bajo la curva, y para el cálculo se escoge el valor de  $A^*$  es el punto donde se corta el eje o sea igual a cero.

Haab y McConeell (1995) analizaron la proporción de respuestas negativas  $N_j$  resultado del ofrecimiento de las cantidades  $b_j$ . La secuencia de estas proporciones permite estimar la función de distribución acumulada (fda), la cual al ser monótonicamente creciente, permite la construcción de la función de distribución de probabilidad (fdp) como su diferencia. Estos cálculos se realizan asumiendo una distribución Turnbull, la cual especialmente robusta ya que hace supuestos paramétricos acerca de la distribución de la disposición a pagar y no supuestos acerca de la función de utilidad.

Con la distribución Turnbull,  $p_j$  es la probabilidad de que la verdadera DAP se encuentre del intervalo  $(b_{j-1}, b_{j+1})$ , es decir:

$$p_j = P(b_{j-1} < DAP \leq b_j), \forall j = 1, \dots, m+1 \quad (23)$$

Con esta especificación, la fda se escribe como:

$$L(F; N, Y) = \Sigma [N_j \ln(F_j) + Y_j \ln(1 - F_j)] \quad (24)$$

donde  $Y_j$  son las respuestas positivas.

Si la proporción de respuestas negativas al valor  $b_{j+1}$  es mayor que la proporción de respuestas negativas al nivel  $b_j$ , entonces la probabilidad de la DAP está en el intervalo  $(b_{j-1}, b_{j+1})$  es positiva e igual a la diferencia en la proporciones.

El procedimiento se puede resumir de la siguiente manera:

$\forall j = 1, \dots, m$  calcular  $\left[ F = \frac{N_j}{N_j + Y_j} \right]$ ; después comparar  $F_j$  y  $F_{j+1}$  comenzando con  $j = 1$ . Si

$F_{j+1} \leq F_j$  agrupar las celdas  $j$  y  $j+1$  con límites  $(b_j, b_{j+2})$ , continuar hasta que las celdas son agrupadas lo suficiente para formar una fdp monótonamente creciente. Se calcula la fdp ( $p_j$ ) como la “etapa de diferencias” de la fpa ( $F_j$ ). La varianza asociada a los parámetros  $F_j$  y  $p_j$  puede ser expresado como:

$$V(F_j) = \frac{F_j(1 - F_j)}{N_j + Y_j} + \frac{F_{j-1}(1 - F_{j-1})}{N_{j-1} + Y_{j-1}} \quad (25)$$

Turnbull realiza mínimos supuestos sobre la distribución de la DAP, y la medida de tendencia central de bienestar es una aproximación de la cola inferior y de la esperanza de la DAP. La estimación del límite inferior de la DAP y de la varianza, se realiza con las siguientes formulas:

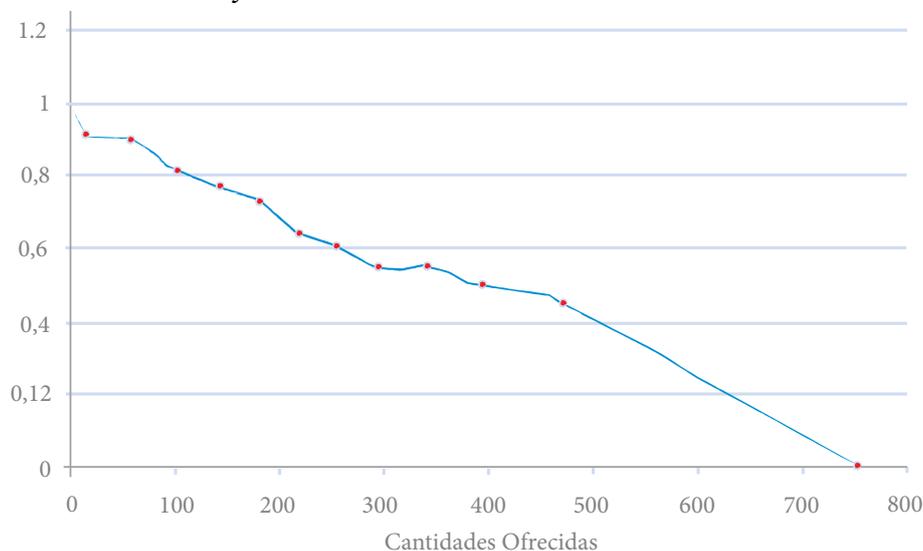
$$E(\text{Lim inf DAP}) = \left[ \sum_{j=1}^{n+1} b_{j-1} * p_j \right]$$

$$\text{Var}(\sum_{j=1}^{n+1} b_{j-1} * p_j) = \sum_{j=1}^{n+1} b_j^2 (\text{Var}(F_j) + V(F_{j+1})) - 2 \sum_{j=1}^{n+1} b_j * b_{j-1} * V(F_j) \quad (26)$$

### Aplicación del método

Con los datos obtenidos en el estudio de valoración contingente considerando la primera pregunta dicotómica, se aplicó el método de Kriström. En la tabla 20, se muestran los resultados obtenidos, se obtuvieron la media y la mediana como medidas de bienestar. En la gráfica 4, se muestra la función de supervivencia de la DAP.

Gráfica 4. Función de Supervivencia de la DAP



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Estimación no paramétrica

GRUPO	MONTO	RANGO DE MONTOS	PUNTO MEDIO MONTO	TOTAL RESPUESTA	TOTAL OBSERVACIONES	ESTIMACIÓN KRISTRÖM
$j$	$b_i$			$Y_j$	TOTAL	DAP
nd	0	0	0	nd	nd	0,00
0	10	0 a 10	5	20	22	0,45
1	58	10 a 58	34	45	50	0,31
2	103	58 a 103	80,5	40	49	6,74
3	142	103 a 142	122,5	37	48	5,57
4	180	142 a 180	161	35	48	6,71
5	217	180 a 217	198,5	30	47	18,04
6	254	217 a 254	235,5	29	48	8,04
7	294	254 a 294	274	27	50	17,58
8	339	294 a 339	316,5	29	53	-2,27
9	393	339 a 393	366	30	60	17,26
10	470	393 a 470	431,5	14	25	-25,89
11	500	470 a 550	485	0	0	271,60
Total				336	500	
					<b>MEDIA DAP (\$)</b>	<b>324,14</b>
					<b>MEDIANA DAP (\$)</b>	<b>393,00</b>

La media y la mediana estimada por diferentes métodos se muestra en la tabla 21, en donde se observa que la media del método no paramétrico cae dentro de los intervalos de confianza del modelo lineal y asumiendo diferentes distribuciones de probabilidad; mientras que en el caso de la mediana se observa la misma situación con la diferencia que el valor con método no paramétrico se encuentran cerca del límite superior de los intervalos de confianza del método paramétrico.

Para el caso del modelo logarítmico, la media estimada por el método no paramétrico, no se encuentra dentro de los intervalos de confianza estimados por el método paramétrico; sin embargo la mediana cae dentro de los intervalos y se encuentra muy cerca del valor paramétrico.

Tabla 21. Medidas de Bienestar Paramétrico y No Paramétrico

MÉTODO DE ESTIMACIÓN	MEDIA	MEDIANA
<b>1) PARAMÉTRICO</b>		
<b>DISTRIBUCIÓN NORMAL:</b>		
a) Lineal	\$350,25 (315,23 - 398,38)	\$350,25 (315,23 - 398,38)
b) Logaritmica	\$501,51 (427 - 626,85)	\$389,52 (312,9 - 524,95)
<b>DISTRIBUCIÓN LOGÍSTICA:</b>		
c) Lineal	\$348,90 (315,14 - 397,24)	\$348,90 (315,14 - 397,24)
d) Logaritmica	\$1.144,93 (947,04 - 1484,10)	\$364,70 (301,59 - 472,62)
<b>2) NO PARAMÉTRICO</b>		
e) Kriström	\$324,14	\$393

Fuente: Elaboración propia

Si se compara los resultados del método de Kriström con el modelo lineal, no se presenta diferencias significativas y por lo tanto no se alteran sustancialmente el valor las medidas de bienestar.

### Estimación del Valor Estadístico de la Vida

Para estimar el VEV por disminución de  $PM_{10}$  se consideró como escenario base año 1998 y una disminución de la concentración del 18% al año 2010, que es uno de los objetivos propuestos en el proaire. El cálculo de la reducción de riesgo por disminución de la concentración de  $PM_{10}$  se obtuvo de la aplicación de las funciones dosis-respuesta, donde los resultados indicaron una reducción de riesgo de 41 a 34 en 100.000 habitantes.

En la tabla 22 se presentan la estimación del Valor Estadístico de la Vida para la ZMCM utilizando la media y la mediana de la DAP anual obtenida con los diferentes modelos. Si se considera a la mediana del modelo lineal como la medida de bienestar los resultados indican que el Valor estadístico de la Vida se encuentra en el intervalo de \$4.254.278 a \$5.376.453 pesos mexicanos; un valor bastante conservador.

Sin embargo si se considera a la media del modelo logarítmico como medida de bienestar, el Valor Estadístico de la Vida se encuentra en el intervalo de \$12.781.053 a \$20.029.102 pesos mexicanos.

Tabla 22. Estimación Valor Estadístico de la Vida

VEV (\$ EN PESOS MEXICANOS)											
	POBLACIÓN AFECTADA	REDUCCIÓN DE LA TASA RIESGO	FORMATO DICOTÓMICO DOBLE				FORMATO DICOTÓMICO SIMPLE				No PARAMÉTRICO
			DISTRIBUCIÓN NORMAL		DISTRIBUCIÓN LOGÍSTICA		DISTRIBUCIÓN NORMAL		DISTRIBUCIÓN LOGÍSTICA		
			MODELO LINEAL	MODELO LOGARÍTMICO	MODELO LINEAL	MODELO LOGARÍTMICO	MODELO LINEAL	MODELO LOGARÍTMICO	MODELO LINEAL	MODELO LOGARÍTMICO	
<b>LIMITE SUPERIOR</b>			4.552.940	4.215.005	4.390.855	4.074.649	5.376.453	7.084.615	5.361.068	6.378.380	
<b>VEV<sup>(a)</sup></b>	19.183.337	7,41E-05	4.332.419	3.799.200	4.189.957	3.776.527	4.726.901	5.256.880	4.708.681	4.921.915	5.303.846
<b>LIMITE INFERIOR</b>			4.105.554	3.415.515	3.984.902	3.504.857	4.254.278	4.222.833	4.253.063	4.070.195	
<b>LIMITE SUPERIOR</b>			4.552.940	10.416.861	4.390.855	5.099.519	5.376.453	8.459.836	5.361.068	20.029.102	
<b>VEV<sup>(b)</sup></b>	19.183.337	7,41E-05	4.332.419	9.477.689	4.189.957	4.639.853	4.726.901	6.768.274	4.708.681	15.451.722	4.374.525
<b>LIMITE INFERIOR</b>			4.105.554	8.649.992	3.984.902	4.244.696	4.254.278	5.762.702	4.253.063	12.781.053	

(a) Considerando a la mediana como medida de bienestar

(b) Considerando a la media como medida de bienestar

Fuente: Elaboración propia.

### III.9. Modelo Payment Card

Cameron and Huppert, proponen que en los estudios de Valoración Contingente (VC), una forma de preguntar al entrevistado su máxima Disposición a Pagar (DAP) es ofreciendo una secuencia ordenada de valores llamada “payment card”, en donde el entrevistado selecciona la cantidad que esta DAP; La veracidad de la respuesta del entrevistado podría ser cuestionada, porque una persona podría seleccionar un valor, el cual quizá no refleje la verdadera DAP. Por ejemplo si una persona seleccionó \$20 quizá su verdadera DAP se encuentra en el intervalo de \$20 y \$50, podría ser \$40. (Cameron and Huppert, 1989).

La opción de payment card (intervalos) tiene la ventaja de evitar un alta tasa de no respuestas que podría tener el formato abierto, este formato originalmente fue creado para evitar sesgo de partida, el problema surge cuando se realizan las estimaciones, porque las verdades respuestas se podrían encontrar en un intervalo de valores. La estimación de la variable dependiente utilizando la regresión por mínimos cuadrados considerando el punto medio del intervalo, podría generar resultados sesgados.

Sin embargo una estimación del modelo de regresión por máxima verosimilitud, donde la variable dependiente es el intervalo, es decir método de regresión de intervalos es más apropiado para el formato payment card.

Cameron and Huppert propone que la función de valoración tiene una distribución lognormal, si la verdadera valoración  $Y_i$  del entrevistado no es el umbral o límite inferior  $t_1$  o el umbral o límite superior  $t_2$  del intervalo, entonces  $(\log Y_i)$  podría estar entre  $(\log t_1)$  y  $(\log t_2)$ . Se asume que  $E(\log Y_i / x_i)$  es alguna función  $g(x, \beta)$ , En este caso, se tiene que:

$$(\log Y_i) = x_i' \beta + u_i \quad (27)$$

donde:

$Y_i$  es un vector de T por 1 que representa la valoración para una muestra de tamaño T;  $x'$  representa una matriz de T por k de variables explicativas o exógenas;  $\beta$  es el vector de parámetros k por 1;  $u_i$  es el vector T por 1 de errores aleatorios normalmente distribuidos, con media cero y desviación estándar  $\sigma$ .

Se puede estandarizar cada par de los umbrales del intervalo para  $(\log Y_i)$  :

$$P_r(Y_i \subseteq (t_{1i}, -t_{2i})) \\ = P_r((\log t_{1i} - x_i' \beta) / \sigma < z_i < (\log t_{2i} - x_i' \beta) / \sigma) \quad (28)$$

donde  $z_i$  es la variable aleatoria normal estándar. La probabilidad en (28) puede describirse como la diferencia entre dos funciones acumuladas de densidad normal estándar; dado que  $z_{1i}$  y  $z_{2i}$  representan el límite inferior y superior respectivamente, entonces (28) se puede escribir como  $\Phi(z_{2i}) - \Phi(z_{1i})$ , donde  $\Phi$  es la función de densidad acumulada normal estándar. La función de densidad conjunta de probabilidad para n observaciones independientes puede ser interpretada como función de

verosimilitud definida sobre  $\beta$  parámetros desconocidos y  $\sigma$  (implícita en  $z_{ui}$  y  $z_{li}$ ). La función de verosimilitud es:

$$\log L = \sum_{i=1}^n \log[\Phi(z_{ui}) - \Phi(z_{li})] \quad (29)$$

Con el procedimiento de máxima verosimilitud se pretende encontrar un vector de estimadores, los cuales puedan dar la máxima probabilidad de obtener los datos observados en los trabajos empíricos.

Una vez obtenidos los valores óptimos de  $\beta$  y  $\sigma$ , se pueden estimar las medidas de bienestar, en el caso de la función de valoración que tiene una distribución lognormal, la mediana es el antilogaritmo de la variable  $Y = \exp(x_i\beta)$ , mientras que la media, es el antilogaritmo de  $Y$  multiplicado por  $\exp(\sigma^2/2)$ .

### III.10. Aplicación del modelo

---

Para estimar el VEV en el caso de la disminución de las concentraciones del Ozono se utilizó el formato payment card. Para el diseño de la encuesta, se utilizó la información recabada en el grupo focal. Se aplicó el cuestionario con la principal pregunta de valoración con formato abierto, a una muestra piloto de 30 personas de la ZMCM; con la finalidad de conocer la secuencia de pagos que serían utilizados en la encuesta.

Para la elaboración de la versión final del cuestionario (anexo IX), se siguió el mismo procedimiento que en el apartado anterior, la diferencia se encuentra que el cuestionario está enfocado al Ozono, la disminución de riesgos es distinta y el formato de pago también es diferente.

Se obtuvo una muestra de 500 observaciones, se aplicó un muestreo aleatorio simple y se consideró a los habitantes mayores de 18 años de la ZMCM.

Después de aplicar las encuestas, se realizó la captura y la validación de las bases de datos, posteriormente se estimaron las medidas de bienestar, los intervalos de confianza y una estimación no paramétrica.

#### **Análisis de Resultados**

Las características de la muestra para este estudio de valoración contingente, se presentan en la tabla 23, donde se observa que el 55% de los entrevistados fueron del sexo masculino y el otro 45% del sexo femenino; el 59% de los entrevistados son solteros; mientras que el 41% de toda la muestra tiene unos ingresos menores de \$5.000 pesos mexicanos. El 51% de los entrevistados tienen un nivel de estudios de media superior. Adicionalmente se observó que el 79% le da mucha importancia a la calidad del aire y el 67% ha tenido síntomas o enfermedades asociadas a la contaminación del aire. Al aplicar la pregunta de la máxima cantidad que están dispuestos a pagar los entrevistados por disminuir el riesgo de mortalidad, el 12% no está DAP.

Tabla 23. Características Socioeconómicas de la muestra

	FRECUENCIA	PORCENTAJE
<b>SEXO</b>		
<b>MASCULINO</b>	275	55
<b>FEMENINO</b>	225	45
<b>ESTADO CIVIL</b>		
<b>SOLTERO</b>	297	59,4
<b>CASADO/ UNIÓN LIBRE</b>	179	35,8
<b>DIVORCIADO/SEPARADO</b>	20	4
<b>VIUDO</b>	4	0,8
<b>NIVEL DE INGRESOS</b>		
<b>MENOS DE \$5,000</b>	206	41,2
<b>ENTRE \$5,000 Y \$11,000</b>	170	34,0
<b>ENTRE \$11,000 Y \$21,000</b>	98	19,6
<b>ENTRE \$21,000 Y \$35,000</b>	16	3,2
<b>MAYOR DE \$35,000</b>	10	2,0
<b>NIVEL DE ESTUDIOS</b>		
<b>PRIMARIA</b>	23	4,6
<b>SECUNDARIA</b>	22	4,4
<b>MEDIO SUPERIOR</b>	254	50,8
<b>LICENCIATURA</b>	164	32,8
<b>MAESTRÍA</b>	28	5,6
<b>DOCTORADO</b>	9	1,8

Fuente: Elaboración propia.

Se revisó que variables podrían explicar en mayor medida la DAP declarada por los entrevistados, en la tabla 24 se muestran las variables utilizadas, se indica la media aritmética y entre paréntesis la desviación estándar.

*Tabla 24. Descripción Variables Utilizadas.*

VARIABLES	DESCRIPCIÓN	MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR
$b_i$	Monto anual en pesos mexicanos, DAP de los entrevistados de la ZMCM	154,15 (165,50)
Ingreso	Ingreso mensual en pesos mexicanos	8,417 (7.122,80)
Edad	Edad del entrevistados (años)	31,39 (13,28)
Sexo	Variable binaria: 1 = Femenino, 0 = Masculino.	0,45
Estado Civil	Variable binaria: 1 = soltero, 0 = los demás estados civiles	0,59
Hijos	Número de hijos del encuestado	0,95 (1,37)
Estudio	Años de estudios del encuestado	13,94 (3,63)
Dependientes	Número de dependientes económicos	2,63 (1,51)
Importancia	Variable binaria que indica la importancia que el encuestado le da a la calidad del aire 1 = muy importante	0,74
Molestias en salud	Variable binaria que indica si el encuestado ha tenido molestias en la salud asociadas a la contaminación: 1 = si, 0 = no	0,67
Ausencia	Días de ausencia laboral por motivos de enfermedades asociadas a la contaminación	1,35 (3,51)
Mejoras	Percepción de mejoras 1 = si, 0 = no	0,23

Fuente: Elaboración propia.

La lista de valores presentados a los entrevistados fue de: \$0, \$5, \$10, \$20, \$50, \$100, \$150, \$200, \$250, \$300, \$350, \$400, \$450, \$500, \$600, \$700, \$800, \$900 y \$1000 o más. Considerando el planteamiento de los autores, se supone que un individuo podría seleccionar un valor, pero este valor podría no indicar su verdadera DAP; se asume que el verdadero valor de la DAP puede ser igual o superior al valor indicado. Por ejemplo un entrevistado seleccionó \$20 pesos aunque su verdadera DAP podría ser mayor a \$20 pero no superior a \$50. La frecuencia de los intervalos de pago se muestra en la tabla 25.

*Tabla 25. Tabla de Frecuencia*

<b>INTERVALO</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>PORCENTAJE</b>
0 - 5	69	13,80
5 - 10	1	0,20
10 - 20	4	0,80
20 - 50	14	2,80
50 - 100	83	16,60
100 - 150	81	16,20
150 - 200	87	17,40
200 - 250	65	13,00
250 - 300	42	8,40
300 - 350	13	2,60
350 - 400	9	1,80
400 - 450	7	1,40
450 - 500	0	0,00
500 - 600	7	1,40
600 - 700	3	0,60
700 - 800	4	0,80
800 - 900	3	0,60
900 - 1.000	4	0,80
1.000 y más	4	0,80
<b>TOTAL</b>	<b>500</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente el modelo de Cameron, para obtener las medidas de bienestar no es necesario formular una función de gasto y luego calcular la diferencia entre dos funciones evaluadas con y sin mejora en la calidad ambiental. Por el contrario, en este modelo se utiliza la información existente en las respuestas para obtener directamente la verdadera función de valoración de los individuos.

Una vez seleccionadas las variables que explican la disposición a pagar de los habitantes de la ZMCM, se estimó el modelo considerando todas las variables, utilizando el paquete econométrico Eviews<sup>9</sup> y Limdep<sup>10</sup>.

<sup>9</sup>Eviews versión 5.

<sup>10</sup>Limdep versión 7.0.

Para obtener la maximización de la función de máxima verisimilitud con respecto a los parámetros desconocido  $\beta$  y  $\sigma$  de este modelo particular de intervalos se utilizó el paquete econométrico LIMDEP, el cual tiene el procedimiento "GROUPED DATA" con el cual se puede determinar los parámetros.

En la tabla 26 se presentan los resultados, en la primera columna se estimó el modelo por mínimo cuadrados ordinarios, para este caso en el modelo se asume que la DAP de cada entrevistado es exactamente igual al punto medio del intervalo, mientras que en la segunda columna se estimó los parámetros del modelo por máxima verosimilitud considerando el intervalo.

Posteriormente se seleccionaron las variables estadísticamente significativas y se estimó nuevamente el modelo, los resultados se muestra en la tabla 27. Los coeficientes estimados que se presentan en la tabla son resultado del método de máxima verosimilitud para una función de valoración log-lineal. Los resultados son consistentes con la teoría económica ya indican que en la ZMCM la DAP aumenta mientras mayor sea el nivel de ingresos, mayor sea el nivel de estudios, menor sea el número de hijos y no hayan percibidos mejoras en la calidad del aire.

En el cálculo de las medidas de bienestar, la media y la mediana, para los diferentes métodos de estimación fueron empleados los coeficientes de la regresión y sus varianzas derivadas del método de aproximación lineal. Los intervalos de confianza se obtuvieron al aplicar el método de Park, Loomis y Creel a un nivel de 95%.

En la tabla 27 se observa que los parámetros estimados con el punto medio del intervalo por el método de mínimos cuadrados y los parámetros estimados por el método de máxima verosimilitud son similares. Para el caso de la mediana los valores son muy cercanos y si se comparan los intervalos de confianza, se observa que los intervalos se interceptan; sin embargo, con la media se observa que los intervalos de confianza no se interceptan.

En la valoración económica de bienes ambientales, se parte del supuesto de que los individuos conocen su verdadera valoración que tienen del recurso en cuestión y que sus respuestas deberían ser consistentes ante diferentes secuencia de precios o de formatos de payment card. Si se procede a realizar una simulación donde se reduce el número de intervalos, uniendo en pares los intervalos originales, entonces en la pregunta de valoración se podría presentar al entrevistado la siguiente secuencia de precios \$0, \$10, \$50, \$150, \$250, \$350, \$450, \$600, \$800 y \$1.000 o más; es razonable asumir que un individuo que anteriormente declaró que su máxima DAP es \$20, ahora declararía que su DAP es \$10, entonces su respuesta es consistente. Se procedió a estimar los parámetros del modelo considerando dobles intervalos, los resultados se muestran en la tabla 27; también se estimó el modelo cuando los intervalos originales son unidos en cuádruple intervalos.

La pregunta que surge en que intervalo se encuentra la verdadera DAP. Cameron demostró usando técnicas de Monte Carlo que cuando el rango de los intervalos se incrementan en una función con distribución log-lineal normal estimada por mínimos cuadrados se puede encontrar oscilaciones en los resultados, mientras que con una estimación de máxima verosimilitud los resultados son más robustos; esta tendencia se puede observa en las diferentes columnas de la tabla 27.

Tabla 26. Estimación con todas las variables.

VARIABLE	INTERVALO ORIGINAL		DOBLE INTERVALO		CUÁDRUPLE INTERVALO	
	MCO	MV	MCO	MV	MCO	MV
<b>CONSTANTE</b>	-6,84 (-14,579)***	-5,935 (-7,841)***	-5,677 (-17,147)***	-4,922 (-7,322)***	-4,454 (-18,081)***	-2,892 (-5,667)***
<b>EDAD</b>	0,012 (1,347)	0,108E-01 (1,508)	0,919E-02 (1,449)	0,972E-02 (1,515)	0,131E-02 (0,278)	0,308E-02 (0,614)
<b>SEXO</b>	-0,085 (-0,621)	-0,548E-01 (-0,502)	-0,829E-01 (0,856)	--0,759E-01 (-0,783)	-0,429E-01 (-0,596)	-0,429E-01 (-0,582)
<b>ESTADO CIVIL</b>	0,265 (1,140)	0,157 (0,844)	0,116 (0,708)	0,784E-01 (0,476)	0,863E-01 (0,707)	0,879E-01 (0,702)
<b>HIJOS</b>	-0,152 (-1,601)	-0,116 (-1,520)	-0,685E-01 (-1,021)	-0,605E-01 (0,895)	0,139E-02 (0,028)	0,541E-02 (0,105)
<b>ESTUDIO</b>	0,116 (5,297)***	0,106 (6,010)***	0,974E-01 (6,314)***	0,104 (6,633)***	0,679E-01 (5,925)***	0,753E-01 (6,145)***
<b>LOG (INGRESO)</b>	1,09 (9,026)***	0,957 (9,917)***	0,832 (9,771)***	0,861 (10,008)***	0,634 (10,004)***	0,702 (10,637)**
<b>DEPENDIENTES</b>	0,023 (0,430)	0,106E-02 (0,025)	-0,289E-01 (-0,775)	-0,417E-01 (-1,108)	-0,430E-01 (-1,550)	0,499E-01 (-1,756)
<b>IMPORTANCIA</b>	-0,095 (-0,598)	-0,677E-01 (-0,537)	-0,436E-01 (-0,389)	-0,238E-01 (-0,212)	0,287E-01 (0,345)	0,414E-01 (0,484)
<b>MOLESTIAS EN SALUD</b>	0,093 (0,618)	0,690 (0,578)	0,932E-01 (0,881)	0,968E-01 (0,913)	0,465E-01 (0,591)	0,887E-01 (1,096)
<b>AUSENCIAS</b>	-0,032 (-1,655)*	-0,268 (-1,732)*	-0,258E-01 (-1,892)*	-0,291E-01 (-2,096)**	-0,734E-02 (-0,723)	-0,927E-02 (-0,864)
<b>MEJORAS</b>	-0,305 (-1,876)*	-0,295 (-2,268)**	-0,269 (-2,349)***	-0,314 (-2,702)***	-0,256 (-3,000)***	-0,257 (-2,891)***

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27. Estimación con variables significativas

VARIABLE	INTERVALO ORIGINAL		DOBLE INTERVALO		CUÁDRUPLE INTERVALO	
	MCO	MV	MCO	MV	MCO	MV
CONSTANTE	-6,538 (-20,833)***	-5,737 (-8,530)***	-5,659 (-25,528)***	-4,656 (-7,770)***	-4,448 (-27,023)***	-2,542 (-5,557)***
EDAD	0,819E-02 (1,002)	0,902E-02 (1,375)	0,954E-02 (1,651)*	0,111E-01 (1,889)*	0,290E-02 (0,676)	0,541E-02 (1,181)
HIJOS	-0,189 (-2,474)***	-0,145 (-2,353)***	-0,109 (-2,030)**	-0,102 (-1,860)*	-0,443E-01 (-1,107)	-0,472E-01 (-1,115)
ESTUDIO	0,113 (5,325)***	0,105 (6,099)***	0,988E-01 (6,572)***	0,107 (6,954)***	0,699E-01 (6,265)***	0,791E-01 (6,483)***
LOG (INGRESO)	1,098 (9,975)***	0,949 (10,710)***	0,799 (10,275)***	0,814 (10,286)***	0,591 (10,237)***	0,651 (10,670)***
MEJORAS	-0,299 (-1,849)*	-0,287 (-2,209)**	-0,260 (-2,279)**	-0,300 (-2,581)***	-0,253 (-2,989)***	-0,252 (-2,824)***
MEDIANA DAP INTERVALO DE CONFIANZA	1,493	1,169 (27,801)***	1,055	1,009 (26,610)***	0,783	0,655 (19,859)***
MEDIA DAP INTERVALO DE CONFIANZA	\$54,03 (47,46 - 61,74)	\$61,53 (55,38 - 68,32)	\$69,40 (63,32 - 76,25)	\$63,52 (57,83 - 69,65)	\$91,68 (85,65 - 98,32)	\$75,72 (70,42 - 81,31)
	\$164,74 (144,70 - 188,23)	\$121,95 (68,32 - 135,42)	\$121,04 (110,44 - 132,99)	\$105,68 (96,22 - 115,89)	\$124,60 (116,41 - 133,63)	\$93,83 (87,26 - 100,77)

El valor entre paréntesis es el valor de la prueba t sobre la significancia de los parámetros de las variables (Ho: bi=0)

\*\*\*, \*\*\*, \*\* indican que los estimadores son significativos a un nivel de confianza de 95, 97,5 y 99 % respectivamente

Fuente: Elaboración propia.

Examinando las medidas de bienestar que se muestran en la tabla 27, para la estimación por mínimos cuadrados, la mediana se incrementa sistemáticamente cuando el rango de los intervalos se incrementan, desde \$54,03 hasta \$91,68; sin embargo con la estimación por MV para los intervalos originales y los dobles intervalos los valores de la mediana son muy cercanos y para cuádruple intervalo el valor se incrementa.

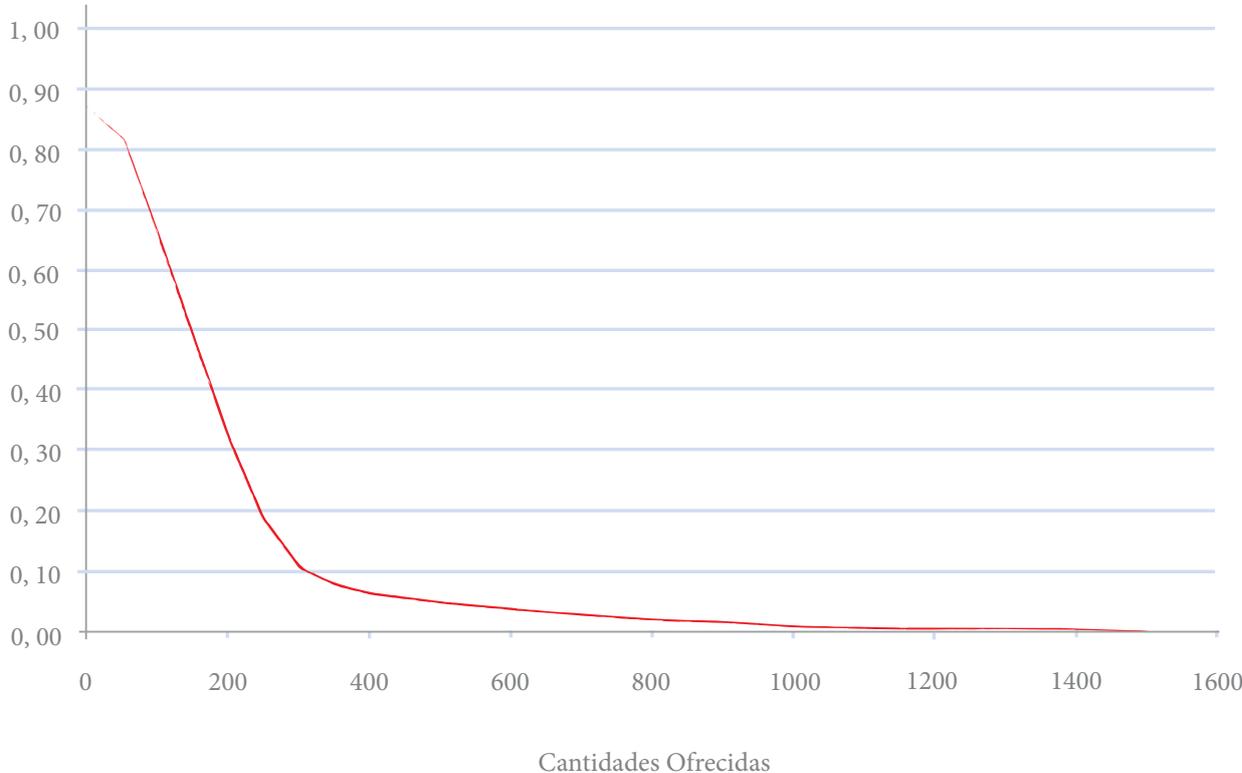
En el caso de la media, los valores estimados por MCO oscilan, como se observa en las columnas uno, tres y cinco de la tabla 27; mientras que la media estimada por MV tiende a disminuir cuando se incrementa el rango de los intervalos. Esto se debe a un problema estadístico que se presenta en la estimación por MCO cuando se considera el punto medio del intervalo, y la mediana es transformada en la media, al multiplicar por  $[ \exp(\sigma^2/2) ]$ , ya que se asume que el verdadero valor dentro de cada intervalo es exactamente el punto medio en lugar de un valor aleatorio que se encuentra dentro del intervalo.

Con el propósito de comparar las medidas de bienestar considerando los intervalos originales se realizó una estimación de la media y la mediana utilizando un método no paramétrico

**Estimación No Paramétrica**

Con los datos obtenidos en el estudio de valoración contingente se aplicó el método de Kriström. En la gráfica 5, se muestra la función de supervivencia de la DAP y en la tabla 28, se muestran los resultados obtenidos, se obtuvieron la media y la mediana como medidas de bienestar.

*Grafica 5. Función de Supervivencia de la DAP*



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Estimación No paramétrica

GRUPO	MONTO	RANGO DE MONTOS	PUNTO MEDIO MONTO	TOTAL RESPUESTA	TOTAL OBSERVACIONES	ESTIMACIÓN KRISTRÖM
$j$	$b_j$			$Y_j$	$Total_j$	DAP
0	0	0	0	Nd	nd	0,00
1	5	0 a 5	2,5	1	431	0,01
2	10	5 a 10	7,5	4	431	0,07
3	20	10 a 20	15	14	431	0,49
4	50	20 a 50	35	83	431	6,74
5	100	50 a 100	75	81	431	14,10
6	150	100 a 150	125	87	431	25,23
7	200	150 a 200	175	65	431	26,39
8	250	200 a 250	225	42	431	21,93
9	300	250 a 300	275	13	431	8,29
10	350	300 a 350	325	9	431	6,79
11	400	350 a 400	375	7	431	6,09
12	500	400 a 500	450	7	431	7,31
13	600	500 a 600	550	3	431	3,83
14	700	600 a 700	650	4	431	6,03
15	800	700 a 800	750	3	431	5,22
16	900	800 a 900	850	4	431	7,89
17	1.000	900 a 1000	950	4	431	8,82
18	1.500	1000 - 1100	1250	0	0	0,00
<b>TOTAL</b>				<b>431</b>		
					<b>MEDIA DAP (\$)</b>	<b>155,21</b>
					<b>MEDIANA DAP (\$)</b>	<b>134,34</b>

Fuente: Elaboración propia.

La media y la mediana estimada por diferentes métodos se muestra en la tabla 29, en donde se observa que la media del método no paramétrico cae dentro de los intervalos de confianza del modelo estimado por MCO, mientras que la media estimada por MV no cae dentro de los intervalos de confianza, la razón que los resultados sean similares se debe que en la estimación no paramétrica al igual que la estimación por MCO, se consideró al punto medio del intervalo como el verdadero valor de la DAP. Por otro lado, los intervalos de confianza de la mediana en las diferentes estimaciones paramétricas se interceptan y los valores están cercanos mientras que la mediana obtenida por el método no paramétrico se duplica.

Tabla 29. Medidas de Bienestar Paramétrico y No Paramétrico

MÉTODO DE ESTIMACIÓN	MEDIA	MEDIANA
1) Paramétrico		
Distribución Lognormal:		
a) MCO	\$164,74 (144,70 - 188,23)	\$54,03 (47,46 - 61,74)
b) MV	\$121,95 (68,32 - 135,42)	\$61,53 (55,38 - 109,76)
2) No Paramétrico		
c) Kriström	\$155,21	\$134,34

### Estimación del Valor Estadístico de la Vida

Para estimar el VEV por disminución de Ozono se consideró como escenario base año 1998 y una disminución de la concentración del 17% al año 2010, que es uno de los objetivos propuestos en el proaire. El cálculo de la reducción de riesgo por disminución de la concentración del Ozono se obtuvo de la aplicación de las funciones dosis-respuesta, donde los resultados indicaron una reducción de riesgo de 19 a 16 en 100.000 habitantes.

En la tabla 30 se presentan la estimación del Valor Estadístico de la Vida para la ZMCM utilizando la media y la mediana de la DAP anual obtenida para los diferentes intervalos y por los diferentes métodos de estimación. Si se considera a la mediana obtenida de la regresión de los intervalos originales como la medida de bienestar los resultados indican que el Valor Estadístico de la Vida se encuentra en el intervalo de \$3.374.712 a \$1.702.729 pesos mexicanos; un rango de valores conservador.

Sin embargo si se considera a la media como medida de bienestar, el Valor Estadístico de la Vida se encuentra en el intervalo de \$4.163.662 a \$2.100.586 pesos mexicanos.

Tabla 30. Valor Estadístico de la Vida

VEV	POBLACIÓN AFECTADA	REDUCCIÓN DE LA TASA DE RIESGO	INTERVALO ORIGINAL		DOBLE INTERVALO		CUÁDRUPLE INTERVALO		NO PARAMÉTRICO
			MCO	MV	MCO	MV	MCO	MV	
Limite superior			\$1.898.275	\$3.374.712	\$2.344.404	\$2.141.479	\$3.022.975	\$2.499.980	
VEV <sup>(a)</sup>	19.183.337	3,25E-05	\$1.661.222	\$1.891.819	\$2.133.792	\$1.952.942	\$2.818.819	\$2.327.986	\$4.130.456
Limite inferior			\$1.459.219	\$1.702.729	\$1.946.855	\$1.778.058	\$2.633.419	\$2.165.153	
Limite superior			\$5.787.373	\$4.163.662	\$4.088.948	\$3.563.187	\$4.108.626	\$3.098.303	
VEV <sup>(b)</sup>	19.183.337	3,25E-05	\$5.065.173	\$3.749.509	\$3.721.530	\$3.249.390	\$3.830.987	\$2.884.985	\$4.772.131
Limite inferior			\$4.448.987	\$2.100.586	\$3.395.619	\$2.958.407	\$3.579.175	\$2.682.921	

(a) Considerando a la mediana como medida de bienestar

(b) Considerando a la media como medida de bienestar

Fuente: Elaboración propia.

Al comparar las tablas 22 y 30 se observa que el VEV para el caso del PM<sub>10</sub>, es mayor en comparación con el VEV estimado para las Ozono, este resultado es congruente ya que en el caso de las partículas se tiene una disminución del riesgo de 7 en 100.000; mientras que para el Ozono la disminución del riesgo es de 3 en 100.000

### III.11. Estimación de Costos Externos

---

#### Estimación de los Costos de Morbilidad

Los costos de morbilidad para los diferentes impactos estimados se cuantificaron con base a los costos directos de su tratamiento. Estos costos se obtuvieron del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) y de la compañía de seguros AXA Seguros<sup>11</sup>, S.A. de C.V., los costos incluyen las consultas médicas, estudios de laboratorio y medicamentos.

$$\text{Costo} = \text{Impacto en la Salud} * \text{Costo de enfermedad} \quad (30)$$

Para la estimación de la pérdida de productividad derivado de los días de Actividad Restringida se consideró el salario promedio diario. Para los contaminantes que producen efectos en la salud se desconoce el impacto en diferentes grupos de edad, por lo que se empleo el salario promedio para toda la ZMCM.

Las estimaciones de los costos se presentan en las tablas 31 y 32, donde se observa que de no llevarse a cabo ningún programa de control de contaminación, como se muestra en los escenarios 1 y escenario 5, los costos aumentarían; la diferencia entre estos dos escenarios a pesar de considerar el mismo nivel de concentración de partículas o de Ozono, se debe a la consideración que se tuvo de los casos evitados de enfermedad, derivados de la población afectada; ya que en el escenario 1 se consideró a 18 municipios del Estado de México, en el escenario 5 se consideró los 59 municipios.

Al comparar los escenarios 2 al 4 y del 6 al 8 de la tabla 31, se observa que los costos evitados aumentarían conforme va aumentando el porcentaje de disminución de los niveles de contaminación por partículas. En el caso de los escenarios 6, 7 y 8 los costos evitados es mayor al compararlos con los escenarios 2, 3 y 4, esto se debe a la consideración de los impactos que va relacionada con la población afectada. Con respecto a los costos evitados por Ozono presentados en la tabla 32 tienen el mismo comportamiento que los costos evitados por partículas, es decir aumentan mientras mayor sea el porcentaje de disminución de la contaminación.

Para estimar los beneficios netos de la disminución de la contaminación es necesario realizar un análisis costo – beneficio de los programas ambientales que se aplicarían y que se están aplicando para mejorar la calidad del aire. Los resultados obtenidos forman parte de los beneficios económicos, ya que son costos evitados al disminuir la concentración.

En la ZMCM el problema de la contaminación del aire es grave sobre todo en ciertas épocas del año donde se incrementan los problemas de salud y dada las características socioeconómicas, demográficas de la ciudad, la disminución de la concentración de los contaminantes significa disminuir los casos de morbilidad en la ZMCM, además de la disminución de los casos de morbilidad. Los resultados muestran los costos externos que se evitarían, objetivo de este trabajo, se traducen en beneficios.

---

<sup>11</sup>AXA Seguros (antes ING Seguros).

Tabla 31. Costos Evitados para PM<sub>10</sub>.

COSTOS (\$ PESOS MEXICANOS) <sup>12</sup>				
	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4
<b>MORBILIDAD AGUDA</b>				
<b>ADMISIONES A HOSPITALES</b>				
ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (NEUMONÍA)	6.530.688	3.164.872	5.696.769	7.595.692
ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (NEUMONÍA)	626.564	303.643	546.557	728.742
ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA (COPD)	12.191.492	5.908.185	10.634.733	14.179.643
POR ASMA	11.049.844	5.437.750	9.675.517	12.789.766
<b>VISITAS A SALAS DE EMERGENCIA</b>				
ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA (COPD)	10.979.875	5.321.017	9.577.830	12.770.440
POR ASMA	6.857.603	3.382.069	6.007.918	7.931.975
<b>DÍAS DE INSUFICIENCIA RESPIRATORIA</b>				
POR ASMA	746.969.703	361.993.010	651.587.418	868.783.224
SÍNTOMAS	16.201.043.795	7.851.275.070	14.132.295.126	18.843.060.168
DÍAS DE ACTIVIDAD RESTRINGIDA (RAD)	472.912.267	237.923.456	416.350.551	543.610.753
<b>MORBILIDAD CRÓNICA</b>				
BRONQUITIS CRÓNICA	66.451.132	32.203.241	57.965.834	77.287.778
ENFERMEDADES RESPIRATORIAS	716.683.406	347.315.804	625.168.448	833.557.930

Fuente: Elaboración propia.

<sup>12</sup>A precios de 2007

Tabla 31. Costos Evitados para PM<sub>10</sub> (Continuación).

COSTOS (\$ PESOS MEXICANOS)				
	ESCENARIO 5	ESCENARIO 6	ESCENARIO 7	ESCENARIO 8
<b>MORBILIDAD AGUDA</b>				
<b>ADMISIONES A HOSPITALES</b>				
ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (NEUMONÍA)	7.101.068	3.441.287	6.194.316	8.259.088
ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (NEUMONÍA)	670.992	325.173	585.312	780.415
ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA (COPD)	13.256.278	6.424.196	11.563.554	15.418.071
POR ASMA	12.014.921	5.912.675	10.520.562	13.906.805
<b>VISITAS A SALAS DE EMERGENCIA</b>				
ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA (COPD)	11.938.841	5.785.746	10.414.343	13.885.790
POR ASMA	7.462.948	3.680.616	6.538.259	8.632.159
<b>DÍAS DE INSUFICIENCIA RESPIRATORIA</b>				
POR ASMA	812.208.876	393.608.917	708.496.051	944.661.401
SÍNTOMAS	17.616.017.783	8.536.993.233	15.366.587.820	20.488.783.760
DÍAS DE ACTIVIDAD RESTRINGIDA (RAD)	510.934.838	257.052.716	449.825.509	587.317.546
<b>MORBILIDAD CRÓNICA</b>				
BRONQUITIS CRÓNICA	71.641.854	34.718.745	62.493.740	83.324.987
ENFERMEDADES RESPIRATORIAS	773.742.008	374.967.281	674.941.106	899.921.474

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Costos Evitados para Ozono

COSTOS (\$ PESOS MEXICANOS)				
	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4
<b>MORBILIDAD</b>				
<b>ADMISIONES A HOSPITALES</b>				
ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (NEUMONÍA)	9.369.540	6.792.917	11.547.958	16.303.000
ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA (COPD)	10.493.869	7.608.055	12.933.694	18.259.332
POR ASMA	2.787.187	2.024.818	3.429.319	4.823.311
<b>VISITAS A SALAS DE EMERGENCIA</b>				
POR ASMA	41.810.640	29.513.393	49.188.988	70.832.142
ATAQUES DE ASMA	22.565.376	16.094.023	26.383.144	37.304.832
SÍNTOMAS	2.834.843.968	2.001.066.330	3.335.110.550	4.802.559.192
DÍAS DE ACTIVIDAD RESTRINGIDA (RAD ´s)	126.879.550	89.562.036	149.270.059	214.948.885

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Costos Evitados para Ozono (continuación)

COSTOS (\$ PESOS MEXICANOS)				
	ZMCM			
	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7	Escenario 8
<b>MORBILIDAD</b>				
<b>ADMISIONES A HOSPITALES</b>				
ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (NEUMONÍA)	10.187.861	7.386.199	12.556.539	17.726.879
ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA (COPD)	11.410.387	8.272.531	14.063.302	19.854.074
POR ASMA	3.030.616	2.201.663	3.728.831	5.244.571
<b>VISITAS A SALAS DE EMERGENCIA</b>				
POR ASMA	45.462.316	32.091.046	53.485.077	44.927.465
ATAQUES DE ASMA	24.536.201	17.499.650	28.687.407	24.257.576
SÍNTOMAS	3.062.767.970	2.161.953.862	3.603.256.436	3.026.735.406
DÍAS DE ACTIVIDAD RESTRINGIDA (RAD ´s)	137.080.780	96.762.904	161.271.506	135.468.065

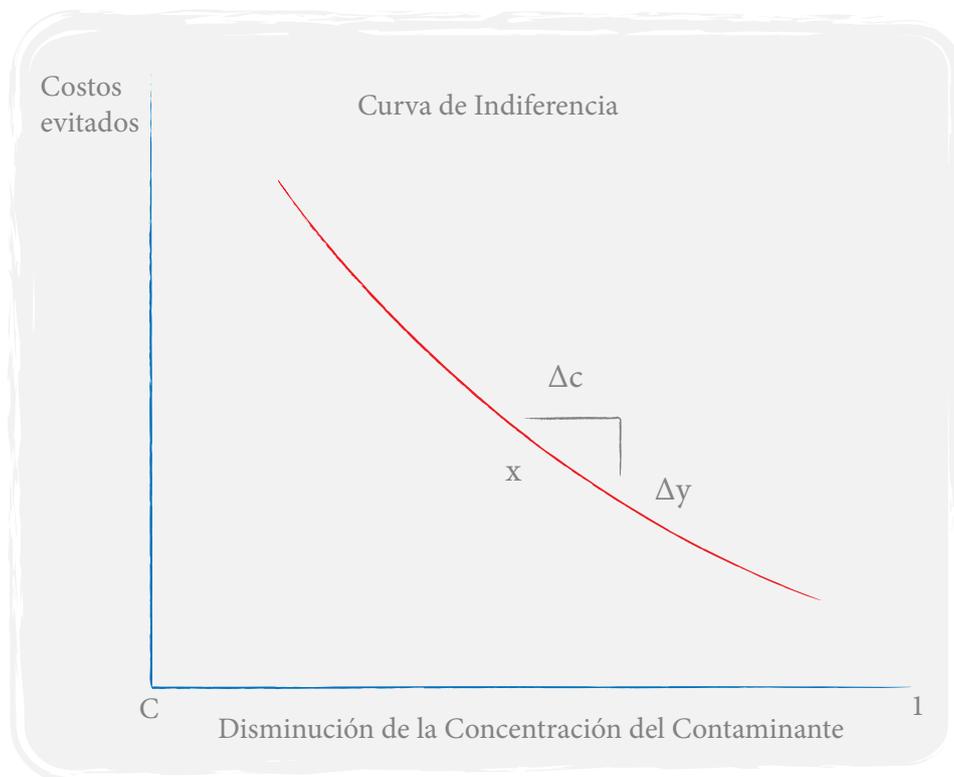
Fuente: Elaboración propia.

### III.12. Precios Implícitos

El precio de un bien es explícito cuando se trata de precios de mercado, pero no todo tiene un precio y, en algunos casos, el asignar un precio a determinados bienes como el medio ambiente provoca rechazo. En el mercado no se proporciona únicamente productos específicos, algunos de los bienes están formados de grupo de productos, un paquete. El precio de mercado de estos bienes refleja, el valor del conjunto, sin que se conozca la importancia relativa – el precio – de cada uno de los componentes. Si el dato que se requiere es uno de los componentes del precio global, se trata de un precio implícito, por ejemplo como el correspondiente al valor de la calidad ambiental de una zona sobre el precio total de un piso. (Pasqual, 1999).

En esta investigación para estimar el precio implícito de descontaminación (PID), se considera que hay una tasa en la cual se puede intercambiar dinero por pequeños cambios en la concentración de un contaminante que provoca impactos en la salud, dentro de un período definido de tiempo. En la figura 2 se representa las preferencias de los individuos por los costos evitados y la disminución de la concentración, el punto  $X$  representa el punto inicial, la curva de indiferencia separa combinaciones de costos evitados y la disminución de la concentración del contaminante en dos regiones. Los individuos prefieren puntos por encima de la curva de indiferencia a la posición inicial y no prefieren puntos por debajo.

Figura 2. Preferencias entre costos evitados y disminución de la concentración



Fuente: Elaboración propia.

La tasa individual de intercambio entre costos evitados y la disminución de la concentración es caracterizada por la pendiente de la curva de indiferencia. Lo máximo que un individuo podría pagar al reducirse los niveles de concentración en  $\Delta c$  es  $\Delta y$ . Para pequeños valores de  $\Delta c$ ,  $\Delta y \approx (dy/dc)\Delta c$ . La tasa de intercambio la llamaremos Precio Implícito por Descontaminar (PID), si se sabe que:

$$\text{Costos evitados totales} = f(\text{Pe}, C) \quad (31)$$

donde:

Pe = costos evitados por cada enfermedad asociada a la contaminación

C = Disminución de la concentración de la contaminación

$$Pe = \sum_{m=1}^n P_m * n \quad (32)$$

$P_m$  = Precio de mercado por tratamiento de la enfermedad,

n = número de casos evitados por enfermedad.

Si se asume para este caso particular, que los costos evitados totales se representa de la forma:

$$Y_i = x_i' \beta + \mu_i \quad (33)$$

donde  $Y_i$  es una variable dependiente que representa los costos totales evitados que tendrían los individuos al disminuir la contaminación,  $\beta$  es un vector de parámetros a ser estimados,  $x$  es un vector de variables explicativas en este caso los cambios en la concentración del contaminante y  $\mu_i$  es el error.

Para poder calcular los precios implícitos por descontaminar, se generó una base de datos con las estimaciones de los costos evitados ante cambios porcentuales del 1% hasta el 99,5% de disminución de las concentraciones de Ozono y de las partículas. Con esta base de datos se calculó la pendiente, la cual nos representa PID. En la tabla 33, se presenta los resultados obtenidos.

Tabla 33. Estimación de PID

COEFICIENTES	OZONO	PM10
$\alpha$	6,84	126,57
$\beta$	129,92	551,18

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados nos indican que la pendiente es el precio implícito por descontaminación en la ZMCM, para el Ozono es \$129.92 millones de pesos mexicanos, al dividirlos este precio por los 19.183.337 habitantes, se obtiene que el precio implícito individual (PIDI) es igual a \$6,77 pesos mexicanos. Para el caso de las partículas el es de \$28,73 pesos mexicanos; que sumando los dos precios dan un total de \$35,50 pesos al año por persona. El PIDI que se obtuvo es para dos contaminantes, si se considera otros contaminantes criterios, el PIDI total aumentaría.

Los precios obtenidos son bajos al compararlos con la máxima DAP que tienen los habitantes por disminuir el riesgo de mortalidad y obtenido por el método de preferencia declaradas. Aunque es conveniente que la comparación se realice con la máxima DAP que tienen los habitantes por disminuir el riesgo de enfermedad asociada a la contaminación del aire; para obtener información confiable, veraz y útil para los tomadores de decisiones de política ambiental.

# CAPÍTULO IV.

## Evaluación de Políticas Ambientales

### IV.1. Introducción

---

La evaluación de un proyecto se puede realizar antes de que inicie o cuando se termine el proyecto, es decir que se puede realizar una evaluación ex - ante o una evaluación ex-post, dada la interrelación que existe en las diferentes etapas de una evaluación, se recomienda una evaluación periódica.

La evaluación ex - ante proporciona información que permite escoger con mejor conocimiento de causa las mejores políticas. Por otro lado, la evaluación ex - post esta basada en hechos reales, no en supuestos, por lo que la comparación de los resultados obtenidos con los objetivos que se perseguían, teniendo en cuenta los recursos empleados es más insesgada y fiable que la evaluación ex -ante. (Pasqual, 1999).

Tradicionalmente la metodología utilizada en la evaluación de políticas o proyectos es el Análisis Costo - Beneficio (ACB). En el ACB se considera que un proyecto o alternativa es rentable si los beneficios superan a los costos, para llevar acabo este análisis es necesario tener todos en unidades monetarias

La evaluación de políticas públicas tiene dificultades adicionales en comparación con la evaluación proyectos privados, como es el caso de la identificación de costos y beneficios e incluso de los precios cuando se trata de bienes públicos, es por ellos que la aplicación del ACB en proyectos de regulación ambiental, en la salud, en la seguridad ha tenido varias críticas, como las que realiza kelman (1981) en cuanto a la monetarización de los costos y beneficios de bienes que por su naturaleza no tienen precio en el mercado, utilizando métodos valoración económica de preferencias reveladas y declaradas.

El ACB es una guía y la dificultad que se presenta en la evaluación de políticas de bienes ambientales sugiere que se utilicen diferentes indicadores ambientales y económicos para la toma de decisiones.

“La toma de decisiones de política económica ambiental puede considerarse como un proceso de dos etapas. La primera es establecer los objetivos para los indicadores ambientales claves, pues éstos definen el nivel en el que ha de protegerse la capacidad del medio ambiente; la segunda etapa es, entonces, influir en la actividad económica de tal manera que ésta no exceda dichos objetivos. Tienen que usarse varios instrumentos (tales como impuestos, regulaciones y gasto gubernamental) que limiten la conducta de las empresas y familias individuales”. (Jacobs, 1997).

En la actualidad no existe ninguna duda de la importancia que se tiene de evaluar las políticas ambientales, así como los instrumentos utilizados, dándoles seguimiento y retroalimentación para alcanzar las metas establecidas y en beneficio de la sociedad.

Una buena toma de decisiones de política ambiental debe considerar las externalidades ambientales traducidos en costos o beneficios externos, es por ello, que en este capítulo analizaremos una política ambiental en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

## IV.2. El Transporte en la ZMCM

El transporte es uno de los principales generadores de emisiones de contaminantes, por lo tanto principal generador de externalidades negativas hacia el medio ambiente y hacia la salud. Las emisiones de los contaminantes están asociadas con la edad los vehículos ya que las emisiones de automóviles de más edad son mayores en comparación con los vehículos nuevos. La preocupación por el medio ambiente y las consecuencias que tienen derivadas de la contaminación ha generado que varios países adopten políticas que impulsen la renovación del parque vehicular. En el caso de la ZMCM, en el proaire se han propuesto algunas medidas que impulsan la disminución de emisiones generadas por el transporte.

En el capítulo II se mostró que una de las principales fuente de emisión de los contaminantes criterios son las fuentes móviles, como se presenta en la tabla 34 y 35 del inventario de emisiones del 2006.

*Tabla 34. Emisiones de las Fuentes Móviles en ZMCM, 2006*

TIPO DE VEHÍCULO	EMISIONES (TON/AÑO)							
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COT	COV	NH <sub>3</sub>
<b>AUTOS PARTICULARES</b>	916	500	1.463	1.043.734	63.937	94.189	86.780	2.896
<b>TAXIS</b>	175	93	326	122.707	11.072	11.283	10.395	655
<b>COMBIS</b>	53	30	103	98.900	6.116	13.740	12.657	152
<b>MICROBUSES</b>	57	31	98	163.044	12.126	20.494	19.004	223
<b>PICK UP</b>	81	46	139	103.366	9.754	13.536	12.501	182
<b>VEHÍCULOS ≤ 3 TONELADAS</b>	130	85	109	66.826	6.150	6.557	6.103	62
<b>TRACTOCAMIONES</b>	2.109	1.693	293	38.357	24.407	18.171	17.324	43
<b>AUTOBUSES</b>	1.203	968	551	36.674	16.333	7.579	7.178	30
<b>VEHÍCULOS &gt; 3 TONELADAS</b>	425	332	173	184.384	7.977	11.452	10.286	77
<b>MOTOCICLETAS</b>	99	57	69	118.807	1.669	11.842	11.066	31
<b>TOTAL</b>	5.248	3.835	3.324	1.976.799	159.541	208.843	193.294	4.351

Fuente: Secretaria del Medio Ambiente del GDF, Secretaria de Ecología del GEM y SEMARNAT. Inventario de Emisiones, 2006<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Se utilizó la versión preliminar del Inventario de Emisiones del año 2006, porque la versión final se encuentra en elaboración.

Tabla 35. Contribución Porcentual de las Fuentes Móviles en la ZMCM, 2006

TIPO DE VEHÍCULO	EMISIONES (%)							
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COT	COV	NH <sub>3</sub>
<b>AUTOS PARTICULARES</b>	17,5	13,0	44,0	52,8	40,1	45,1	44,9	66,5
<b>TAXIS</b>	3,3	2,4	9,8	6,2	6,9	5,4	5,4	15,1
<b>COMBIS</b>	1,0	0,8	3,1	5,0	3,8	6,6	6,5	3,5
<b>MICROBUSES</b>	1,1	0,8	2,9	8,2	7,6	9,8	9,8	5,1
<b>PICK UP</b>	1,5	1,2	4,2	5,2	6,1	6,5	6,5	4,2
<b>VEHÍCULOS ≤ 3 TONELADAS</b>	2,5	2,3	3,3	3,5	3,9	3,1	3,2	1,4
<b>TRACTOCAMIONES</b>	40,2	44,1	8,8	1,9	15,3	8,7	9,0	1,0
<b>AUTOBUSES</b>	22,9	25,2	16,6	1,9	10,2	3,6	3,7	0,7
<b>VEHÍCULOS &gt; 3 TONELADAS</b>	8,1	8,7	5,2	9,3	5,0	5,5	5,3	1,8
<b>MOTOCICLETAS</b>	1,9	1,5	2,1	6,0	1,0	5,7	5,7	0,7
<b>TOTAL</b>	100	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: Secretaria del Medio Ambiente del GDF, Secretaria de Ecología del GEM y SEMARNAT. Inventario de Emisiones, 2006.

Debido a la cantidad de autos particulares que circulan por la ZMCM, estos generan casi el 53% de monóxido de carbono (CO), el 40% de los Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), el 44% de bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y el 45% de compuestos orgánicos volátiles (COV), como se muestra en tabla 34 y tabla 35. Los tractocamiones y autobuses por su consumo de diesel, contribuyen a la cantidad de emisiones de partículas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>.

Por otro lado, en la tabla 36 se observa la distribución del parque vehicular en la ZMCM desde el año 1994 al 2006, los datos indican un crecimiento en la cantidad de vehículos. En 12 años, la flota vehicular se ha incrementado en aproximadamente un 80%, ya que en el año 2006 fue de 4,2 millones de vehículos, en donde el 80% de los vehículos corresponden a autos particulares.

Tabla 36. Distribución de la Flota Vehicular Circulante de la ZMCM (1994 -2006).

TIPO DE VEHICULO	NÚMERO DE VEHICULO						
	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006
<b>AUTOS PARTICULARES</b>	1.744.209	1.743.946	1.978.296	2.307.857	2.712.262	2.967.893	3.395.800
<b>TAXIS</b>	68.741	117.700	109.195	115.686	115.974	118.634	155.126
<b>COMBIS</b>	33.865	34.520	19.276	18.242	19.485	19.485	39.746
<b>MICROBUSES</b>	31.047	31.219	31.440	29.301	32.236	33.051	36.056
<b>PICK UP</b>	129.801	124.243	140.210	142.190	175.021	128.281	133.352
<b>VEHÍCULOS ≤ 3 TONELADAS</b>	169.099	178.092	241.115	333.612	273.396	191.408	81.628
<b>TRACTOCAMIONES</b>	52.509	56.619	55.173	62.907	75.571	83.034	86.324
<b>AUTOBUSES</b>	30.759	32.076	32.887	25.419	30.683	32.565	43.108
<b>VEHÍCULOS &gt; 3 TONELADAS</b>	55.267	50.107	55.299	41.630	59.225	57.913	75.433
<b>MOTOCICLETAS</b>	37.667	52.412	81.758	88.366	94.437	127.454	180.701
<b>TOTAL</b>	2.352.964	2.420.934	2.744.649	3.165.210	3.588.290	3.759.718	4.227.274

Fuente: Secretaria del Medio Ambiente del GDF, Secretaria de Ecología del GEM y SEMARNAT.

Cabe mencionar que a raíz de la actualización geográfica de la ZMCM, en el año 2006 se contabilizó la flota vehicular de las 16 delegaciones de Distrito Federal y los 59 municipios del Estado de México, de los municipios que se agregaron recientemente representan el 5% del total de la flota vehicular de la ZMCM.

Por otro lado, el 95% de la flota vehicular de la ZMCM utiliza gasolina como combustible, el 4% son unidades a diesel y los vehículos restantes utilizan principalmente gas licuado de petróleo (GLP) y en menor volumen gas natural comprimido (GNC), como se muestra en la tabla 37.

*Tabla 37. Distribución de la Flota Vehicular por Tipo de Combustible, 2006.*

TIPO DE VEHÍCULO	NÚMERO DE VEHÍCULOS				
	GASOLINA	DIESEL	GLP	GNC	TOTAL
Autos particulares	3.389.697	1.879	4.209	15	3.395.800
Taxis	154.953	144	29	0	155.126
Combis	39.128	62	553	3	39.746
Microbuses	19.902	118	15.678	358	36.056
Pick Up	131.557	700	1.095	0	133.352
Vehículos ≤ 3 Toneladas	47.111	30.035	4.475	7	81.628
Tractocamiones	13.112	73.212	0	0	86.324
Autobuses	2.196	40.791	121	0	43.108
Vehículos > 3 Toneladas	50.137	17.890	7.386	20	75.433
Motocicletas	180.701	0	0	0	180.701
Total	4.028.494	164.831	33.546	403	4.227.274

Fuente: Secretaria del Medio Ambiente del GDF, Secretaria de Ecología del GEM y SEMARNAT.

En el cálculo de las emisiones se considera el año-modelo de los vehículos, porque esto influye en el volumen de las emisiones. En la tabla 38 se muestra la cantidad de vehículos de acuerdo al año-modelo y tipo de combustible. De los vehículos a gasolina, aproximadamente el 21% son modelos 1990 y anteriores, estos vehículos se caracterizan por no tener ningún sistema de control de emisiones, mientras que 7% son modelos 1991 y 1992, los cuales tienen incorporado un convertidor catalítico de dos vías, que permite disminuir las emisiones de COV y CO. Los vehículos correspondiente a los modelos 1993 y posteriores cuentan con convertidores catalíticos de tres vías y otros dispositivos anticontaminantes, lo cual permite la reducción de emisiones de COV, CO y NO<sub>x</sub>.

*Tabla 38. Distribución de la Flota Vehicular por Año-modelo y Tipo de Combustible, 2006.*

GASOLINA		DIESEL	
AÑO MODELO	ZMCM	AÑO MODELO	ZMCM
1990 y ant.	829.407	1990 y ant.	58.787
1991 - 1992	271.878	1991 - 1993	18.931
1993 - 1998	777.066	1994 - 1997	15.358
1999 - 2006	2.150.143	1998 - 2006	71.755
Total	4.028.494	Total	164.831

Fuente: Secretaria del Medio Ambiente del GDF, Secretaria de Ecología del GEM y SEMARNAT.

Con respecto a los vehículos que utilizan diesel como combustible, aproximadamente el 47% son modelos 1993 y anteriores, mientras que 9% son vehículos que traen mejoras y cumplen con los estándares de emisiones EPA 94; el 44% correspondiente a los modelos 1999 a 2006 tienen incorporado mejoras tecnológicas y cumplen con los estándares de emisión EPA 98.

De acuerdo al uso de los vehículos, la flota vehicular de la ZMCM se utiliza para el transporte de personas en vehículos de uso particular (automóviles y motocicletas) o de uso público (taxis, combis, microbuses y autobuses) y para el transporte de carga de mercancías (tractocamiones, pick up de uso intensivo, vehículos mayores y menores a tres toneladas); siendo el transporte o movilidad de las personas las que contribuye en mayor cantidad a las emisiones de contaminantes.

Aunque los autos particulares, tienen la mayor importancia dado su número, no así, en cuanto al movimiento de personas, pues es el transporte público masivo es el que realiza el 79% de los viajes/persona/día en la ZMCM. Dentro de esta modalidad, los colectivos con ruta fija son los que poseen la mayor demanda, casi el 46% de los tramos de viaje. (EOD, 2007)<sup>2</sup>.

En la ZMCM existen factores que han propiciado que los habitantes tengan la necesidad de realizar un importante número de viajes y por tanto emplear algún modo de transporte motorizado terrestre. Entre éstos se encuentran la gran extensión que abarca la urbe, la forma de la ciudad, su división política administrativa, el uso del espacio -estructura urbana-, así como el patrón de concentración y/o dispersión de actividades económicas, políticas y sociales.

El Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) realizó la Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes de la ZMCM (EOD 94)<sup>3</sup>, con la finalidad de conocer la movilidad de las personas. En aquella ocasión se captó información de las 16 delegaciones del DF y de 28 municipios conurbados ubicados en el Estado de México. Con la nueva delimitación geográfica de la ZMCM, el INEGI realizó la EOD 2007<sup>4</sup> abarcando en el estudio las características de movilidad de las personas residentes en el DF, como en 40 de los 59 municipios del Estado de México.

Los resultados de la EOD se subdivide en tres partes: Hogares, Viajeros y Viajes, la parte correspondiente a Viajes cuenta con una serie de datos tales como: los viajes-persona-día<sup>5</sup> para las delegaciones del Distrito Federal y los municipios del Estado de México, mismos que se desagregan a un nivel menor de análisis como son los distritos<sup>6</sup>, otro elemento que se considera son los propósitos<sup>7</sup> por

---

<sup>2</sup>Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 2007.

<sup>3</sup>Fue elaborada por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática en 1994, en colaboración con el Gobierno del Distrito Federal y el Gobierno del Estado de México.

<sup>4</sup>El INEGI realizó la EOD 2007 en colaboración del Gobierno del Distrito Federal y del Gobierno del Estado de México.

<sup>5</sup>Es la cantidad total de viajes que se realizan tomando como período un día.

<sup>6</sup>Es la unión de varias Áreas Geográficas de Estadísticas Básicas, o una sola. Se delimita tomando en cuenta homogeneidad en uso del suelo, características socioeconómicas y barreras físicas (naturales o artificiales).

<sup>7</sup>Es la razón de efectuar un viaje. Se identifican dentro de este: Ir al trabajo, cuando una persona se traslada hacia su empleo o negocio, tal como una oficina, tienda o fábrica; regresar a casa, es el viaje al lugar de residencia de la persona; ir a la escuela, es el viaje de un estudiante a la escuela o facultad; Ir de compras, el traslado a la tienda, mercado, etc., para comprar cosas; ir a comer, cuando la persona se traslada a comer a un sitio específico; social-diversión, el viaje realizado con un propósito social o recreativo durante el cual no hay relación de trabajo o negocios personales; relacionado con el trabajo, incluye viajes realizados para actividades que se consideran como parte de un empleo para una persona; llevar a recoger a alguien, incluye viajes para recoger o dejar a una persona o más personas en un lugar específico; Otro propósito, incluye todos los diferentes motivos o propósitos que no se han considerado.

los cuales viajan las personas; la modalidad<sup>8</sup> y tipo de transporte<sup>9</sup> que emplean, el horario en que se realizan; el número de ocupantes por vehículo, la distancia-tiempo de recorrido y el costo derivado de tales movimientos.

El total de viajes<sup>10</sup> realizados en 2007 por los residentes de la ZMCM, de acuerdo al propósito ascendió a 21.954.157 viajes al día, los cuales se distribuyen a lo largo de las 24 horas del día divididos en cuatro períodos, matutino de 6 a 9 horas, mediodía de 12 a 15 horas, vespertino de 17 a 20 horas y “otro” que incluye las horas no consideradas en los períodos anteriores. Los tres primeros se caracterizan por registrar el mayor número de viajes y por ende la máxima demanda en el uso de corredores viales que comunican e interrelacionan al Distrito Federal con el Estado de México y viceversa, en tanto el último tiene poca representatividad en sus movimientos. Debe destacarse la importancia, del horario matutino, movimientos motivados por ir al trabajo.

Con respecto al año 1994, el total de viajes realizados, fue de 20.645.725 viajes al día, y al igual que en el año 2007 los períodos matutino, mediodía y vespertino registraron el mayor número de viajes, destacándose el horario matutino motivados por ir al trabajo, como se muestra en la gráfica 6.

Respecto a los propósitos de los viajes que efectúan las personas dentro de la ZMCM, éstos se clasifican en nueve motivos, siendo para el año 2007 y 2004 el más representativo el regreso al hogar con un 45% y 46% para los diferentes años. En segundo orden de importancia se encuentra los traslados al trabajo con 26% y 22% para los años 2007 y 2004 respectivamente, La tercera de mayor importancia corresponde a los viajes cuyo motivo es acudir a estudiar con 9% y 14%. El último lugar queda el propósito de ir a comer, donde menos del 1% realizan viajes para dicho fin, como se muestra en la tabla 39.

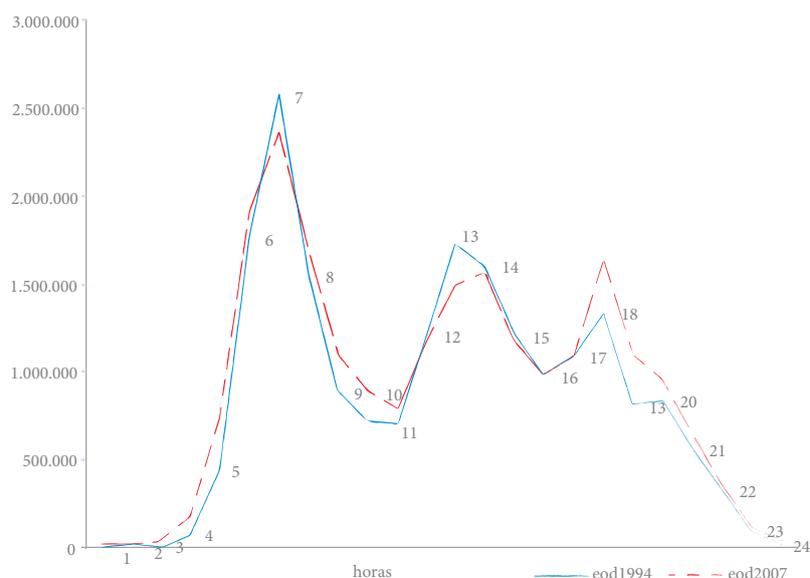
---

<sup>8</sup>Es la agrupación de modos de transporte por tipo de servicio; existen tres: Transporte público, se refiere a los viajes que se realizan utilizando uno o más de los siguientes modos: Trolebús, Metro, Colectivo, Metrobús, Autobuses RTP, Taxi y Suburbano. Transporte Privado, se refiere a los viajes que se realizan utilizando uno o más de los siguientes modos: Automóvil, Moto, Bicicleta y otro, y Transporte Mixto, se refiere a los que se realizan combinando, modalidad pública y privada.

<sup>9</sup>Entre los tipos se conocen el Autobús Urbano o Suburbano. Vehículo automotor de combustión interna y capacidad de 30 asientos o más en el cual viajan sentados o parados, siguiendo una ruta específica y abordando o descendiendo en lugares señalados como paradas de autobús. Trolebús, vehículo automotor eléctrico con ruta fija; tiene ruedas de hule, toma la electricidad de las líneas tendidas para tal fin, su capacidad de pasajeros sentados es de 45. Metro, Transporte colectivo automotor eléctrico con ruedas de hule y metal, se desplaza sobre rieles de ruta fija y cuenta con estaciones terminales e intermedias con correspondencia de sus diferentes líneas, cuenta con 6 o 9 vagones y tiene gran capacidad de pasajeros, opera en línea subterránea, elevada o en superficie, sin cruzarse con calles o ejes viales. Tren ligero, transporte público automotor eléctrico, que se desplaza sobre rieles en ruta fija con 2 vagones articulados. Colectivo, vehículo automotor con capacidad de 10 a 23 asientos, en el cual viaja sentado o parado, sigue una ruta específica, tiene ascensos y descensos de usuarios a lo largo de la misma. Taxi, vehículo automotor de combustión interna tipo automóvil para alquiler, existen dos tipos: taxi de sitio, que es el que toma su pasaje en una base y no tiene una ruta definida y taxi libre es el que circula por las calles para ofrecer su servicio y que tampoco tiene una ruta definida. Automóvil, vehículo automotor con capacidad de hasta 10 asientos, con motor de combustión interna, el cual sirve fundamentalmente para transporte de personas; sus dimensiones son menores a los de otros vehículos automotores. Motocicleta, vehículo automotor de 2 ruedas con motor de combustión interna, transporta hasta 2 personas incluyendo al conductor, en ocasiones se les instala un tercera rueda y un aditamento para llevar otra persona, o bien carga. Motoneta, vehículo automotor de combustión interna de dos ruedas para transportar a una persona y en algunos modelos hasta dos incluyendo al conductor, su capacidad de transporte y de motor así como su velocidad son menores que los de una motocicleta.

<sup>10</sup>Significa un movimiento motorizado con un propósito específico: Cuando una persona utiliza una serie de diferentes modos de transporte para llegar a un destino con un propósito definido, las series de modos de transporte es considerada como un viaje.

Gráfica 6. Distribución de Viajes para las 24 Horas del Día en la ZMCM.



Fuente: Elaboración propia con base en los datos de la Encuesta Origen Destino del INEGI, GDF y GEM 1994 y 2007.

Tabla 39. Motivos de los Viajes Efectuado en la ZMCM.

MOTIVO DEL VIAJE	2007		1994	
	VIAJES	PORCENTAJE	VIAJES	PORCENTAJE
Regresar a casa	9.849.659	44,9	9.380.827	45,4
Trabajo	5.588.292	25,5	4.628.986	22,4
Ir a estudiar	1.941.692	8,8	2.852.261	13,8
Llevar o recoger a alguien	1.198.867	5,5	862.527	4,2
Compras	1.075.114	4,9	954.508	4,6
Social, diversión	612.856	2,8	562.926	2,7
Trámite	385.004	1,8	---	---
Relacionado con el Trabajo	269.434	1,2	382.497	1,9
Ir a comer	131.958	0,6	162.577	0,8
Otro	901.281	4,1	858.616	4,2
Total	21.954.157	100	20.645.725	100

Fuente: Elaboración propia con base en los datos de la Encuesta Origen Destino del INEGI, GDF y GEM 1994 y 2007.

La totalidad de viajes, se realizó ocupando alguna modalidad de transporte: público, privado y mixto, con un peso relativo en la movilidad cotidiana de 78%, 21% y 1% respectivamente para el año 2007. Si se considera que un viaje puede tener uno o más tramos utilizando diversos modos de transporte, en la ZMCM se realizaron en el año 2007 poco más de 30.6 millones de tramos de viaje, mientras que en el año 1994 se realizaron cerca de 29.2 millones de tramos de viaje.

En la tabla 40, se observa que, de acuerdo a la modalidad de transporte utilizada, los dos tipos de vehículo que tienen el mayor porcentaje, son el automóvil (20,7%) y el colectivo (46,2%). Ambos contribuyen a un importante movimiento de personas dentro de la ZMCM. Por su parte, el tren ligero y la motocicleta son los modos de transporte de menor uso para recorrer un tramo, al registrar cada uno de ellos porcentajes menores al 0.7 % del total de tramos.

En el caso del año 1994, se presenta una situación similar ya que el modo de transporte más utilizado fue el colectivo y el automóvil y el de menor uso fueron el tren ligero y la motocicleta.

Tabla 40. Tramos de Viaje y su Porcentaje por Modo de Transporte

MODO DE TRANSPORTE	2007		1994	
	TRAMOS DE VIAJE	PORCENTAJE	TRAMOS DE VIAJE	PORCENTAJE
Colectivo	14.125.825	46,2	16.106.994	55,3
Automóvil	6.343.727	20,7	4.871.561	16,7
Metro	4.175.075	13,6	3.788.922	13,0
Autobús suburbano	2.203.813	7,2	1.026.881	3,5
Taxi	1.798.724	5,9	743.533	2,6
Autobús RTP	600.104	2,0	1.952.299	6,7
Bicicleta	437.342	1,4	220.166	0,8
Metrobús	233.165	0,8	---	---
Trolebús	204.916	0,7	167.767	0,6
Tren Ligero	114.348	0,4	---	---
Motocicleta	92.563	0,3	21.008	0,1
Otro	273.956	0,9	225.111	0,8
Total	30.603.558	100	29.124.242	100

Fuente: Elaboración propia con base en los datos de la Encuesta Origen Destino del INEGI, GDF y GEM 1994 y 2007.

Nota: En la modalidad de Otro, se incluyen autobuses foráneos, transporte escolar, transporte de personal, etc.

Cabe señalar que para el caso del metro, los resultados de las encuestas EOD indican que la mayor parte de sus usuarios lo utiliza como un importante medio de conexión con otras opciones de traslado.

Otro resultado a destacar, es que de los 6.8 millones de viajes de dos y más tramos, destaca que el modo de transporte que acumula la mayor cantidad de combinaciones con otros modos es el colectivo, con 4.2 millones de viajes, seguido por el metro. En cuanto a las combinaciones con otros modos, las de mayor frecuencia son en los viajes donde se efectúa el primero y segundo tramo en colectivo (2 millones) y en colectivo y metro (1.6 millones).

Respecto a los viajes de dos y más tramos que realizan su primer tramo en metro, se tiene que 961 mil utilizan el colectivo y 187 mil el autobús suburbano en el segundo tramo. Si bien, este último ocupa el tercer lugar en cuanto transporte utilizado en el primer tramo, y sólo el 14.8% lo ocupa como transporte de su segundo tramo cuando su primer tramo fue en metro.

Es importante considerar la relación que tienen los diferentes modos de transporte ya señalados y los propósitos de viaje, que de alguna manera indican el comportamiento de la población, es decir, los modos de transporte determinan la facilidad y disposición a trasladarse hacia los distintos distritos que conforman la ZMCM, en particular hacia aquellos que concentran los servicios educativos y actividades económicas; siendo justamente este proceso de interrelación entre vehículos automotores, personas y usos del suelo lo que favorece la exposición humana a la contaminación.

En términos espaciales, los viajes que se realizan por motivo de trabajo considerando los modos de transporte motorizado responden, en este caso, a una centralidad, situación que puede ser resultado de los niveles de accesibilidad de estas zonas. Las personas se concentran en esos puntos buena parte del día, dependiendo de las actividades que realizan, permanecen por lo menos 8 horas o en algunos casos más horas expuestas a diferentes contaminantes de la zona.

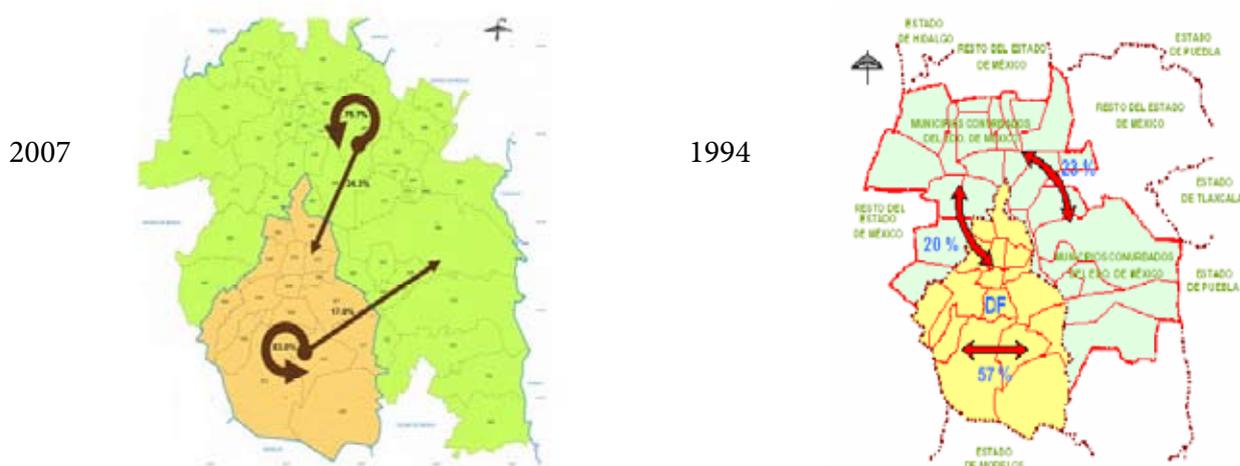
También es importante señalar que el uso del suelo, -en el sentido de posicionamiento o ubicación física de actividades económicas -, está en función de las decisiones de localización privadas que aprovechan economías de escala, de aglomeración o búsqueda de competitividad y, de una planeación no adecuada, lo que ha fomentado y determinado la necesidad de movilidad de la población, cubierta principalmente a través del uso de vehículos automotores de baja capacidad de transportación. El empleo de estos vehículos, ha auspiciado mayor consumo de energía -combustibles fósiles- y el aumento de distancias recorridas, que se ha traducido sin lugar a dudas en emisiones contaminantes a la atmósfera de considerable magnitud.

Dada la importancia que tiene las actividades económicas de las personas y los viajes, Gordon y Richardson<sup>11</sup> en unos de sus trabajos examinan la distribución del empleo en los diferentes subcentros de la región metropolitana de los Ángeles, Estados Unidos, en función de las tasa de viajes generadas más que en función de la densidad de empleo, usan la densidad de viajes para reflejar el hecho que diferentes actividades céntricas con el mismo número de trabajos podría generar diferentes niveles de tráfico, dependiendo de la composición de trabajos del sector. Esta selección implica que la importancia del subcentro podría no basarse solamente solo en el rol como el empleo, ya que la tasa de generación de viajes puede variar entre sectores. Para el caso de la ZMCM, con la densidad de viajes por motivos de trabajo se puede observar la distribución de la población, el uso del territorio y posiblemente los impactos en la salud.

Si en la ZMCM, se estima el índice de densidad de viajes atraídos<sup>12</sup>, los resultados indican que de los viajes derivados por motivos de trabajo, los distritos pertenecientes a las delegaciones Centrales tienen un alta densidad de viajes atraídos como son, Cuauhtémoc (28.729,56 viajes/km<sup>2</sup>), Benito Juárez (14.329,59 viajes/km<sup>2</sup>), Miguel Hidalgo (9.011,29 viajes/km<sup>2</sup>) y Venustiano Carranza (7.604,50 viajes/km<sup>2</sup>). Asimismo el municipio de La Paz (7.610,89 viajes/km<sup>2</sup>), lo anterior responde, a que son centros concentradores de empleo en comercio y servicios, en el caso del Cuauhtémoc, la existencia aún de empleos de la industria textil. Los resultados obtenidos del cálculo de la densidad de viajes para el año 1994 se muestran en el anexo X.

En el mapa 1, que muestra la movilidad que existe entre el Distrito Federal y el Estado de México para el año de 2007 y 1994.

Mapa 1. Movilidad en la ZMCM, 2007 y 1994.



Fuente: SETRAVI. Encuesta Origen Destino del INEGI, GDF y GEM 1994 y 2007.

<sup>11</sup>Gordon P. and Richardson H.W. (1996) "Beyond Polycentricity." The Dispersed Metropolis, Los Angeles, 1970-1990". Journal of the American Planning Association, Vol. 62, no 3, pp. 289-295.

<sup>12</sup>El cálculo de la densidad de viajes se obtiene al dividir el número de viajes de cada distrito entre la superficie urbana de cada uno de ellos.

### IV.3. Análisis de la Política para fuentes móviles

---

En el proaire de la ZMCM, se han propuesto algunas medidas que impulsen la disminución de emisiones generadas por el transporte. Las estrategias de reducción de emisiones se encuentran agrupadas en tres grupos y son:

1. Modernización y mejoramiento tecnológico (reducción de emisiones por kilómetro recorrido).
2. Mejoramiento de las condiciones de vialidad (incremento de la velocidad de circulación).
3. Reducción de la tasa de crecimiento de viajes por persona y distancias recorridas por viaje.

Dentro de la modernización y mejoramiento tecnológico se encuentra la readaptación de sistemas de control de emisiones, instalación de convertidores catalíticos, sustitución de vehículos públicos que no cumplan con la norma, sustitución de microbuses por autobuses, mejoramiento del transporte masivo (metro, tren ligero, etc.).

En esta parte de la investigación se realiza un análisis coste-beneficio del impacto que ha tenido la sustitución de microbuses por el metrobús.

#### El Metrobús

En la Ciudad de México desde 19 de junio de 2005, se cuenta con un nuevo sistema de transporte público rápido por autobús: el Metrobús, cuyas características principales son que funciona en vías confinadas y que utiliza autobuses articulados de alta capacidad en carriles exclusivos para su circulación. Con ello se busca reducir los tiempos de recorrido para los usuarios, descongestionar las vialidades eje, sustituir vehículos y disminuir la contaminación.

El Corredor de Insurgentes fue la primera línea de este medio, que forma parte del Proyecto de Corredores de Transporte Público de Pasajeros, que circula de norte a sur por la Avenida de los Insurgentes, desde Indios Verdes hasta Dr. Galvez (Eje 10 Sur), y cuenta con dos servicios: Ruta A1, que abarca de extremo a extremo, es decir desde la estación Indios Verdes hasta la estación Dr. Galvez (con intervalo de tres minutos) y la Ruta A2, que realiza un recorrido intermedio, desde la estación de Indios Verdes a la Glorieta Insurgentes (con intervalos de 2 minutos).

El Metrobús del Corredor Insurgentes tiene como principales características:

Longitud: 19,7 kilómetros

Carriles confinados al centro de la avenida

34 estaciones intermedias y 2 terminales (con andén a 1 metro de altura)

Distancia entre estaciones: 400-500 metros

Unidades en operación: 85 autobuses articulados (60 de CISA<sup>13</sup> y 25 de RTP<sup>14</sup>)

con especificaciones anticontaminantes y con capacidad para 160 pasajeros cada uno.

Velocidad de operación: 17 Km/hr (con objetivo de 20 Km/hr.)

---

<sup>13</sup>Corredor Insurgentes, S.A. de C.V. (CISA), es una empresa privada que fue constituida el 8 de octubre del año 2004 por los concesionarios de microbuses de la Ruta 2

<sup>14</sup>Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal, (R.T.P.), es un organismo público descentralizado de la Administración Pública del Distrito Federal, con personalidad jurídica y patrimonio propio.

El segundo corredor es una continuación del primero, inició operaciones el 13 de marzo de 2008 y abarca la parte sur por la Av. Insurgentes, desde la estación del Dr. Galvez hasta el monumento el Caminero. El Corredor Insurgentes Sur tiene las siguientes características:

Longitud: 8,5 kilómetros

Carriles confinados al centro de la avenida

8 estaciones intermedias y 2 terminales.

Distancia entre estaciones: 400-500 metros

Unidades en operación: 26 autobuses articulados, con especificaciones anticontaminantes y con capacidad para 160 pasajeros cada uno.

El metrobús opera con autobuses articulado, que son vehículos automotores, formado por dos carros, un tractor y otro movido, unidos a través de una articulación que posibilita maniobrar giros, permitiendo así la circulación por vialidades, con capacidad para transportar de 101 a 170 pasajeros, de los cuales 56 pasajeros o más van sentados, se integra y desplaza sobre vialidades de superficie; tienen una longitud de 16.500 a 18.500 mm, ancho de 2.450 a 2.600 mm, con entrevías mínimas: trasera de 1.800 mm y delantera de 1.950 mm; con un peso bruto vehicular entre 18,43 a 28,50 toneladas. (GDF, 2000)<sup>15</sup>.

### **Microbuses**

El microbús es un vehículo de transporte público más pequeño que un autobús urbano. El tamaño más reducido facilita la circulación en calles estrechas y en tránsito pesado; pero debido a su tamaño este medio es incómodo, son vehículos con motor a gasolina. Estas unidades son capaces de transportar de 20 a 28 pasajeros sentados, con peso bruto vehicular de aproximadamente 4.5 toneladas, con un largo no mayor a 8.400 mm, un ancho máximo de 2.040 mm. La carrocería se fabrica en aluminio y fibra de vidrio.

Los microbuses se organizan por rutas fijas que prácticamente cubren todas las colonias del Distrito Federal y municipios del Estado de México. Algunas rutas se han convertido en grandes consorcios subdivididos en ramales y que administran docenas de unidades.

### **Autobuses**

Son vehículos automotores, generalmente para 28 pasajeros sentados y un total máximo de pasajeros de pie y sentados entre 71 a 100, el cual se integra y desplaza en la circulación general sobre las vialidades de superficie, con pesos brutos vehiculares de entre 13,10 y 18,42 toneladas y un largo que va desde 10.251 a 12.500 mm, un ancho de 2.450 a 2.600 mm y entrevías mínimas: trasera de 1.800 mm y delantera 1.950 mm (GDF, 2000).

En el anexo XI se presentan las características técnicas de los autobuses articulados, los autobuses y los microbuses.

---

<sup>15</sup>Gaceta Oficial del Distrito Federal, 25 de Febrero de 2000. “Acuerdo por el que se expide el Manual de Lineamientos Técnicos, para Vehículos del servicio público de transporte de pasajeros del Distrito Federal”.

Los autobuses que circulan en D.F. están organizados por la Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal y otra parte esta concesionado a privados, y al igual que los microbuses se encuentran agrupados por rutas fijas.

Uno de los impactos ocasionados con la puesta en operación del metrobús, fue que dejaron de circulación 260 microbuses y 90 autobuses sustituidos por 85 autobuses articulados.

Para conocer el impacto que tiene la sustitución de microbuses por el metrobús, es importante considerar que existen varios factores importantes que deben ser tomados cuando se analiza la sustitución de microbuses por autobuses de mayor tamaño y que pueden tener un efecto importante sobre el medio ambiente. El primero es el cambio en las emisiones atmosféricas causadas por el reemplazo de vehículos nuevos por usados, se parte del supuesto que los vehículos nuevos usualmente tienen un mejor rendimiento que los viejos; se considera que al aplicar un proceso de renovación de los autos viejos se genera un decremento importante en las emisiones atmosféricas. Sin embargo, otro factor que también debe considerarse es que la aceleración en la transformación de los recursos naturales usados para construir más vehículos puede generar más residuos como consecuencia de enviar a la chatarra los vehículos antiguos; por lo tanto éste proceso puede tener efectos ambientales negativos, al considerar el incremento de los impactos relacionados en el proceso de renovación de los vehículos, por ejemplo la producción, el desguace, el desmantelamiento y el proceso de reciclaje.

Dentro de la metodología de estimación de externalidades, la ruta de impacto y el ciclo de vida de un producto son las herramientas que ayudan a la estimación de los impactos ambientales. La Evaluación de Ciclo de Vida (ECV) en inglés LCA (Life Cycle Assessment), permite establecer un inventario de los impactos ambientales asociados a productos y/o servicios, evaluarlos y generar políticas para su solución. Con la ECV se predice y se comparan los impactos ambientales de un producto o servicio desde que nace hasta que termina su vida útil. Con esta técnica se examina cada etapa del ciclo de vida, desde la extracción de materias primas, siguiendo con la fabricación, distribución, uso, posible reciclado y disposición final. Para cada etapa se calculan las entradas (en términos de materias primas y de energía) y salidas (en términos de emisiones al aire, agua y residuos sólidos) y se totalizan para todo el ciclo de vida. Estas entradas y salidas se traducen en impactos ambientales. La sumatoria de estos impactos representa el efecto total al ambiente del ciclo de vida del producto y/o servicio. La ECV tiene como principal objetivo el rediseño de productos bajo el criterio de que los recursos energéticos y materias primas no son ilimitados y normalmente se usan más rápidamente que su tasa de reemplazo o innovación.

Las etapas generales del ciclo de vida, en el caso de los autobuses son:

1. Extracción de la materia prima.
2. Procesamiento de la materia prima.
3. Fabricación del autobús
4. Uso del autobús
5. Gestión de residuos

Los impactos ambientales durante la extracción y procesamiento de la materia prima, se considera la obtención y tratamientos de los recursos naturales que son la entrada de los materiales en la fabricación del autobús, en donde se consume cantidades elevadas de energía, millones de toneladas de acero, aluminio, plástico y vidrio. Durante el procesamiento de estos materiales se utiliza una variedad de metales y compuestos químicos.

En la fase de fabricación, y las operaciones de pintado y recubrimiento, están las operaciones de fundición de metal, en esta etapa se originan emisiones en la atmósfera. Aproximadamente, el 56% de todas las emisiones son causadas por las operaciones de pintado y recubrimiento. La mayoría de las corrientes de residuos sólidos generadas en una planta de montaje de automóviles son lodos resultantes del tratamiento de aguas residuales, residuos de aceite, basura de la planta, y desechos de componentes metálicos. (Viñoles *et al*)

La fase de uso de un automóvil es responsable, aproximadamente, del 80% del consumo de energía primaria total del ciclo de vida de un automóvil. La mayoría de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO) son liberadas durante el uso del mismo. La emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) durante el uso de un automóvil (p.e. gases de escape y evaporación de combustible) es mayor que la generada en cualquier otra etapa del ciclo de vida.

El segundo proceso que más contribuye a las emisiones de COV es el pintado de un automóvil, lo que ocurre no sólo durante su fabricación sino durante su reparación y mantenimiento.

Además, el consumo de recursos cuando un vehículo circula, la infraestructura necesaria (carreteras, autopistas, estacionamientos, estaciones de servicio, etc.) y las operaciones de mantenimiento y servicio, contribuyen significativamente a los efectos medioambientales del uso de un automóvil.

Los impactos ambientales en la etapa de retiro consisten en residuos generados durante diferentes procesos de desmantelamiento y eliminación de los vehículos desechados, así como del consumo de energía empleado en estas actividades. El impacto es fuertemente dependiente de la composición del material de los vehículos.

El hecho de que los materiales utilizados para fabricar un automóvil cambien constantemente, tanto en morfología como composición, dificulta el proceso de desmantelamiento y reciclado, a la vez que aparecen intereses contrapuestos. Sirve como ejemplo el siguiente: la sustitución de piezas metálicas por otras de un material más ligero, utilizando diferentes familias de polímeros plásticos, reduce el consumo de combustible y en consecuencia las emisiones atmosféricas, a la vez que dificulta los procesos de separación y clasificación de piezas, lo que hace más complejo el reciclado de las mismas.

En la ZMCM, las principales armadoras de autobuses son: Mercedes, Volvo, Scania, entre otras. Aunque algunas empresas su proceso de fabricación parte de un chasis adquirido por el cliente a un fabricante de vehículos industriales (Mercedes, Volvo, Scania, etc), posteriormente adaptan el producto a las necesidades del cliente y cubriendo los reglamentaciones de seguridad y homologación. El proceso productivo en las que se realiza la carroza del autobús o microbús se puede resumir en cinco etapas como se describe en el anexo XII.<sup>16</sup>

## **Evaluación Económica**

Después de una descripción breve del ciclo de vida de un autobús y cuales son las implicaciones en el medio ambiente, y tomando en cuenta que el ámbito del proyecto la ZMCM, aunque el problema de la calidad del aire puede trascender fronteras, solo se considerará las emisiones en la ZMCM. El período inicial para el que se analiza el programa es el año 2005, año en que empezó las operaciones del metrobús.

---

<sup>16</sup>Hidromex, S.A. de C.V., Empresa fabricante de minibuses, vehículos blindados.

Para evaluar el proyecto se realizó un análisis de los costos totales, este consistió en calcular el Valor Actual Neto (VAN) de los costos totales al llevarse a cabo el proyecto. Los costos totales fueron considerados como la sumatoria de los costos privados dentro de los que se incluyen los costos de fabricación de un auto y mantenimiento. En cuanto a los costos externos, se realizará aplicará la metodología de externalidades bajo considerando algunos supuestos.

El VAN de un proyecto mide la variación que se produce en la riqueza hoy (período 0) por llevar a cabo dicho proyecto<sup>17</sup>, la fórmula de cálculo es:

$$VAN = \sum_{t=M}^{M+T} \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad \text{con } r \neq -1 \quad (34)$$

Donde r es la tasa de descuento intertemporal.

El valor de ésta tasa refleja en qué porcentaje una unidad de beneficios en el presente es más valiosa que la misma unidad de beneficios obtenida un período más tarde. La tasa de descuento intertemporal desde el punto de vista privado existe porque, entre otras razones, los individuos prefieren consumir ahora pues son impacientes, además porque el capital es productivo, y en general, la utilidad marginal del consumo es decreciente. Aunque existe diferencias con respecto a la tasa de descuento óptima a utilizar, en este trabajo se utilizará la del 5%, 7% y 12%.

Para la evaluación del programa se consideró siguiente:

1. Situación sin proyecto, sin metrobús.
2. Situación con proyecto, en donde se encuentra en operación el metrobús y se mandaron a un proceso de chatarrización a los microbuses.

En un análisis de costo-beneficio, cuando se obtiene el Valor actual de los costos de distintos proyectos, el criterio de deseabilidad para escoger el mejor sería aquel que tenga los menores costos totales. Para el cálculo de los costos totales se usaron, en el caso de los microbuses los datos de costos de fabricación, costos de mantenimiento; para el caso del metrobús se utilizaron el costo de inversión y los costos de mantenimiento. La inversión en los dos corredores del Metrobús, se muestran en la tabla 41 y 42.

*Tabla 41. Inversión en el Corredor de Indios Verdes a Dr. Galvez*

INVERSIÓN	MILLONES DE PESOS (\$)
Parque Vehicular: Autobuses	280
Estudios y proyectos	22
Infraestructura	452
Estaciones y terminales	
Pasos a desnivel	
Carril confinado	
Semaforización y señalamiento	
Obras inducidas	
Sistema de Peaje	37
<b>TOTAL</b>	<b>791</b>

Fuente: Metrobús

<sup>17</sup>Pasqual Joan, 1999.

*Tabla 42. Inversión en el Corredor de Insurgentes Sur del Dr. Galvez al el Caminero*

<b>INVERSIÓN</b>	<b>MILLONES DE PESOS (\$)</b>
Parque Vehicular: Autobuses	78
Estudios, proyectos y supervisión de la obra	10,8
Infraestructura:	314,7
Estaciones y terminales	124
Pasos a desnivel y peatones	45
Carril confinado	103,9
Elementos de confinamiento	3,6
Semaforización y señalamiento	8,2
Obras inducidas	30
<b>TOTAL</b>	<b>403,5</b>

Fuente: Metrobús

Los costos de operación y mantenimiento de mantenimiento de metrobús, se muestran en el anexo XIV e incluyen los costos por concepto de salarios, combustibles, limpieza, mantenimiento general, etc.

A partir del año 2005, los microbuses que circulaban por la Avenida Insurgentes fueron enviados al proceso de chatarrización, la forma en que se organizan los microbuses es por rutas fijas; por lo tanto una persona o un grupo de personas puede ser dueña de una unidad o puede administrar varias unidades; para obtener los costos promedio que tenía el sistema anterior, se aplicaron 30 encuestas a dueños de microbuses de varias rutas en la ZMCM (aneo XIII). El costo promedio por unidad se muestra en la tabla 43.

*Tabla 43. Costos de los Microbuses.*

<b>COSTOS DE LOS MICROBUSES</b>	<b>PESOS MEXICANOS (\$)/AÑO</b>
Precio de Compra	450.000
Cambio de aceite	4.754
Engrasamiento	600
Cambio de motor	22.000
Mantenimiento en general	20.600
Llantas	5.325
Combustible	176.222
Seguro	4.500
Seguro de vida conductor	1.200
Tenencia	2.700
Verificación	520
Derechos	1.320
Conseciones	900

Fuente: Microbuses

## IV.4. Estimación de Beneficios

---

### Reducción de Emisiones

Para el cálculo de las emisiones contaminantes, se consideró la flota vehicular en la Avenida Insurgentes antes de la implantación del corredor Insurgentes.

El sistema de transporte público de pasajeros en la Av. Insurgentes estaba formado por el Organismo Público Descentralizado Red de Transporte de Pasajeros (RTP) y por los Concesionarios del Transporte Colectivo de pasajeros. La RTP es un servicio de transporte formal y ofrece sus servicios por medio de autobuses y rutas establecidas. Mientras que los Concesionarios de Transporte Colectivo, se encuentran organizados en agrupaciones denominadas rutas, donde los concesionarios privados son los propietarios de los vehículos que prestan sus servicios de transporte. (SETRAVI, 2004).<sup>18</sup>

El transporte público que prestó sus servicios en la Av. Insurgentes, en el tramo comprendido entre Indios Verdes y la intersección con el Eje 10 Sur fue la Ruta 2 que conjuntamente con la RTP atendieron la mayor parte de la demanda de transporte.

La Ruta 2 contaba con un parque vehicular integrado por un total de 262 unidades, de los cuales 175 eran autobuses y 87 microbuses. Mientras que la RTP tenía circulando 90 unidades. La edad del parque vehicular de la RTP tenía un promedio de antigüedad de 8,3 años. En el caso de la Ruta 2, la cantidad de modelos por año de los vehículos se muestra en la tabla 44.

*Tabla 44. Modelos de Vehículos por Año de la Ruta 2.*

MODELO	UNIDADES
1995	58
1996	11
1997	74
1998	34
1999	8
2000	37
2001	18
2002	19
2003	3
<b>TOTAL</b>	<b>262</b>

El transporte público que prestó sus servicios en la Av. Insurgentes, en el tramo comprendido entre Dr. Galvez y el monumento el Caminero fueron parte de la ruta 1, de la ruta 76 que conjuntamente con la RTP y autobuses atendieron la mayor parte de la demanda de transporte en esa área.

La edad del parque vehicular, para el caso de los autobuses RTP tenía 2 a 5 años de antigüedad, mientras que los autobuses tenían 11 años de antigüedad, y los microbuses eran modelos 1989 a 1994.

---

<sup>18</sup>Gacetas Oficiales del Distrito Federal: - 6 de Octubre de 2004 y 12 de Noviembre de 2004.

Para calcular los kilómetros recorridos (KRV) por tipo de vehículo y año modelo; se utilizó la ecuación 31 utilizada en la estimación de inventarios de emisiones en la ZMCM<sup>19</sup>. Se requiere conocer, los datos de recorrido diario, los días que circulan los vehículos y el número de vehículos de acuerdo a la distribución de año modelo.

$$KRV_{ij} = (KD_j)(NV_{ij})(DA_i) \quad (35)$$

donde:

$KRV_{ij}$  = Kilómetros recorridos por el tipo de vehículo  $i$ , del año modelo  $j$  [  $Km/año$  ].

$KD_j$  = Kilómetros recorridos al día por el tipo de vehículo  $i$  [  $Km/día$  ].

$NV_{ij}$  = Número de vehículos del tipo  $i$ , del año modelo  $j$ .

$DA_i$  = Días al año que circulan los vehículos del tipo  $i$  [  $días/año$  ].

### Cálculo de Emisiones

Las emisiones de los contaminantes se obtuvieron a partir de los kilómetros recorridos por los vehículos (KRV) y los factores de emisión por tipo de vehículo y año modelo; de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$E_{ijk} = (KRV_{ij})(FE_{ijk})/(1.000.000) \quad (36)$$

donde:

$E_{ijk}$  = Emisión del tipo de vehículo, año modelo, del contaminante  $k$  [  $ton/año$  ].

$KRV_{ij}$  = Kilómetros recorridos por el tipo de vehículo, del año modelo  $j$  [  $ton/año$  ].

$FE_{ijk}$  = Factor de emisión del tipo de vehículo  $i$ , año modelo  $j$ , del contaminante  $k$  [  $g/Km$  ].

1.000.000 = Factor de conversión de gramos a toneladas.

Los factores de emisión utilizados para el cálculo de las emisiones son los reportados en el Inventario de Emisiones del 2004.

En las tablas 45 y 46 se observa las toneladas de emisiones que se generan con el metrobús y con sistema de transporte de microbuses y autobuses, es decir toneladas de emisiones con proyecto y sin proyecto, mientras que en la tabla 47 se observa el total de emisiones y el porcentaje de disminución que se logró al sustituir los microbuses y autobuses por el metrobús.

Tabla 45. Emisiones en el Corredor de Indios Verdes a Dr. Galvez

TIPO VEHÍCULO	EMISIONES (TON/AÑO)								
	HCT	CO	NOx	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	COV	COT
<b>METROBÚS</b>	25,88	97,47	40,14	3,40	2,96	0,12	1,14	25,54	26,71
<b>TOTAL (MICROBUSES Y AUTOBUSES)</b>	130,92	872,83	256,12	9,58	8,30	0,68	5,61	127,01	134,24

<sup>19</sup>Inventario de Emisiones de la ZMCM, 2004. Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del DF y Secretaría de Ecología del GEM y SEMARNAT.

Tabla 46. Emisiones en el Corredor de Insurgentes Sur del Dr. Galvez a El Caminero

TIPO VEHÍCULO	EMISIONES (TON/AÑO)								
	HCT	CO	NOx	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	COV	COT
<b>METROBÚS 1</b>	7,92	29,81	12,28	1,04	0,91	0,04	0,35	7,81	8,17
<b>TOTAL (MICROBUSES Y AUTOBUSES)</b>	66,17	694,31	43,03	0,67	0,55	0,41	2,73	62,65	67,24

Tabla 47. Emisiones Totales en los dos Corredores

TIPO VEHÍCULO	EMISIONES (TON/AÑO)								
	HCT	CO	NOx	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	COV	COT
<b>METROBÚS</b>	33,80	127,28	52,42	4,44	3,86	0,16	1,49	33,36	34,88
<b>MICROBUSES Y AUTOBUSES</b>	197,09	1.567,14	299,15	10,25	8,85	1,09	8,33	189,67	201,47
<b>DISMINUCIÓN EMISIONES (%)</b>	17,15	8,12	17,52	43,35	43,69	14,26	17,85	17,59	17,31

Los resultados nos indican que con el programa de sustitución de microbuses por el metrobús se logró disminuir 17% de hidrocarburos, 8% de monóxido de carbono, 18% de óxidos de nitrógeno, 43% de las PM<sub>10</sub>, y 44% de las PM<sub>2,5</sub>.

## IV.5. Estimación de los Impactos en Salud

Después de estimar las emisiones de los diferentes contaminantes considerando la situación con proyecto y sin proyecto; se procedió a estimar las concentraciones y los impactos en la salud, siguiendo los pasos de la ruta de impacto y basándonos en la metodología de externalidades.

Para la estimación de las concentraciones, se consideró como la zona de impacto a las delegaciones donde el metrobús brinda servicio. Las delegaciones consideradas son la Gustavo A. Madero, Cuauhtémoc, Benito Juárez y Avaro Obregón, Coyoacán y Tlalpan. Adicionalmente se seleccionaron las estaciones de monitoreo atmosférico del SIMAT que se encuentren cerca de la ruta del metrobús.

Para establecer los cambios en las concentraciones de los contaminantes, por la sustitución de microbuses-autos a metrobús, se consideró el periodo anterior (2004-2005) al inicio de operaciones del metrobús, cuando aún circulaban los microbuses y autobuses en la avenida Insurgentes. Para el caso con proyecto, se consideró el período (2007-2008). Después de estimar el  $\Delta C$ , se procedió entonces a calcular los impactos en la salud, utilizando las funciones dosis – respuestas. Se estimaron los costos evitados por enfermedad asociados a las PM<sub>10</sub> y al Ozono, como se muestra en la tabla 48 y 49.

Tabla 48. Costos evitados asociados a la PM<sub>10</sub>

<b>IMPACTOS EN SALUD</b>	<b>POBLACIÓN AFECTADA</b>	<b>CASOS EVITADOS</b>	<b>COSTO EVITADOS EN PESOS MEXICANOS (\$)</b>
<b>MORBILIDAD AGUDA</b>			
<b>ADMISIONES A HOSPITALES</b>			
<b>ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (NEUMONÍA)</b>	Toda	24	494.102
<b>ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (NEUMONÍA)</b>	Ancianos	3	67.107
<b>ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA (COPD)</b>	Toda	57	922.389
<b>POR ASMA</b>	Toda	157	852.806
<b>VISITAS A SALAS DE EMERGENCIA</b>			
<b>ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA (COPD)</b>	Toda	180	830.720
<b>POR ASMA</b>	< 65 años	165	518.201
<b>DÍAS DE INSUFICIENCIA RESPIRATORIA</b>			
<b>POR ASMA</b>	Asmáticos	22.253	56.514.551
<b>SÍNTOMAS</b>	Toda	11.603.043	645.593.302
<b>DÍAS DE ACTIVIDAD RESTRINGIDA (RAD)</b>	Adultos	777.964	39.341.644
<b>MORBILIDAD CRÓNICA</b>			
<b>BRONQUITIS CRÓNICA</b>	> 30 años	2.149	5.458.488
<b>ENFERMEDADES RESPIRATORIAS</b>	> 18 años	16.616	58.447.928

Tabla 49. Costos evitados asociados al O<sub>3</sub>.

IMPACTOS EN LA SALUD	POBLACIÓN AFECTADA	CASOS EVITADOS	COSTOS EVITADOS EN PESOS MEXICANOS (\$)
<b>MORBILIDAD</b>			
<b>ADMISIONES A HOSPITALES</b>			
<b>ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (NEUMONÍA)</b>	Toda	108	2.202.825
<b>ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA (COPD)</b>	Toda	152	2.467.160
<b>POR ASMA</b>	Toda	121	655.117
<b>VISITAS A SALAS DE EMERGENCIA</b>			
<b>POR ASMA</b>	Asmáticos	1.667	5.219.679
<b>ATAQUES DE ASMA</b>	Toda	1.127	2.862.074
<b>SÍNTOMAS</b>	Toda	3.508.980	195.239.673
<b>DÍAS DE ACTIVIDAD RESTRINGIDA (RAD's)</b>	Adultos	328.079	16.590.971

## IV.6. Precios Implícitos

En el capítulo anterior, se estimó el precio implícito por descontaminar (PID), para la ZMCM. En este capítulo se calcula el PID asociado a la política de sustitución de microbuses por el metrobús.

Para poder calcular los precios implícitos por descontaminar, se generó una base de datos con las estimaciones de los costos evitados ante cambios porcentuales del 1% hasta el 99,5% de disminución de las concentraciones de Ozono y de las partículas en la zona de estudio. Con esta base de datos se calculó la pendiente, la cual nos representa PID. En la tabla 50, se presenta los resultados obtenidos.

Tabla 50. Estimación de PID

COEFICIENTES	OZONO	PM <sub>10</sub>
$\alpha$	0,515	8,532
$\beta$	17,71	60,661

Los resultados nos indican que la pendiente es el precio implícito por descontaminación en la zona de estudio, para el Ozono es \$17.71 millones de pesos mexicanos, al dividirlos este precio por los 4,011,701 habitantes, se obtiene que el precio implícito individual (PIDI) es igual a \$4,41 pesos mexicanos. Para el caso de las partículas el es de \$15,12 pesos mexicanos; que sumando los dos precios dan un total de \$19,54 pesos al año por persona al año. El PIDI que se obtuvo es para dos contaminantes, si se considera otros contaminantes criterios, el PIDI total aumentaría.

Aunque los resultados son conservador, y no se considera a los otros contaminantes, pueden ser de gran ayuda para el tomador de decisiones de política ambiental, si se desea internalizar los costos externos.

## IV.7. Análisis Costo – Beneficio.

En el Manual<sup>20</sup> de Lineamientos Técnicos para vehículos para transporte público, se menciona que la vida útil de los autobuses es de 8 años, para este caso de estudio, considerará como período de evaluación del proyecto de 20 años.

Para la evaluación del proyecto se procedió a realizar los cálculos para obtener los valores actuales netos de los costos y beneficios totales en los dos escenarios mencionados anteriormente, a diferentes tasas de actualización (5%, 7% y 12%). En el anexo XIV, se presenta el cálculo de los valores actuales para los costos y beneficios en forma desagregada.

En la tabla 51, se observa el Valor Actual Neto (VAN) para el escenario 1 sin proyecto, es decir sin metrobús y el escenario 2 con metrobús; a diferentes tasa de actualización y considerando los costos externos por impactos a la salud.

Tabla 51. Valor Actual Neto

ESCENARIOS	$r$	VAN (CONSIDERANDO EXTERNALIDADES)	VAN (SIN CONSIDERAR EXTERNALIDADES)
Escenario 1	5%	-14.783,56	1.454,39
Escenario 2	5%	16.823,52	-1.149,43
Escenario 1	7%	-12.528,15	1.195,72
Escenario 2	7%	14.058,11	-1.128,26
Escenario 1	12%	-8.838,41	772,75
Escenario 2	12%	9.544,57	-1.082,86

<sup>20</sup>Gaceta Oficial del Distrito Federal, 25 de Febrero de 2000. “Acuerdo por el que se expide el Manual de Lineamientos Técnicos, para Vehículos del servicio público de transporte de pasajeros del Distrito Federal”.

## **Criterio de Decisión**

Para elegir la deseabilidad o no de un proyecto en términos de su rentabilidad, los criterios más usados son los del VAN y la TIR, criterios que se presentan en la mayoría de los manuales de evaluación de proyectos y que se emplean cada vez más, tanto en el sector público como en el privado.

Considerando al VAN como un criterio específico de deseabilidad de un proyecto se destaca en términos generales, que cuando se analiza los beneficios de un proyecto, se preferirá un proyecto donde su VAN sea no negativo ( $VAN \geq 0$ ), cuanto mayor sea el VAN mejor, ya que indica una mayor diferencia entre beneficios y costes; de igual forma cuando se compara dos proyectos se elegirá el que tenga mayor VAN, siempre y cuando los dos tengan la misma duración. (Pascual J., SoutoG, 2000).

De acuerdo a las estimaciones realizadas, los resultados indican que se obtiene mayores beneficios sociales cuando se considera las externalidades, como se muestra en la tabla 51. Al comparar el VAN para los diferentes escenarios y a diferentes tasas de descuento se observa que el escenario 2, a una tasa de descuento del 5% tiene el VAN más grande, es decir que la puesta en operación del metrobús y considerando las externalidades en salud, es la que genera mayores beneficios, entendiendo como beneficios a los costos evitados en salud que obtienen los individuos con la implantación de la política de sustitución de microbuses por el metrobús. Sin embargo, si no se toma en cuenta los costos externos y se considera solamente los beneficios privados, el escenario 1, sin metrobús es el que tiene mayor rentabilidad. Los resultados también indican que entre menor sea la tasa de descuento mayor es la rentabilidad.

Cabe destacar que en la evaluación del proyecto, se consideró solamente los costos externos asociados a dos contaminantes, el Ozono y las partículas, y si se considera los costos evitados por los otros contaminantes criterios, los beneficios mayores.

Como línea futura de investigación, sería conveniente incluir los costos externos asociados a la charrización de los microbuses, ya que estas actividades generan impactos a la salud por la generación de emisiones y por la generación de residuos sólidos.

## CONCLUSIONES

---

En este trabajo de investigación se estimó las externalidades ambientales asociadas a la contaminación del aire considerando la ruta de impacto, que abarca desde las emisiones, concentraciones, dispersión, impactos a la salud y valoración económica; como caso de estudio se presentó a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). Las principales conclusiones son las siguientes:

El sector transporte genera una importante cantidad de emisiones de casi todos los contaminantes, principalmente de monóxido de carbono y de los óxidos de nitrógeno. En la ZMCM las emisiones de los diferentes contaminantes durante la última década tienen un comportamiento variable, aunque la tendencia general es a la baja.

La concentración de la contaminación por Ozono y por las Partículas menores a diez micrómetros ( $PM_{10}$ ) en la ZMCM aún siguen rebasando los límites permitidos por la normas de salud. Aunque conviene mencionar que la aplicación de las medidas establecidas en el PROAIRE han contribuido paulatinamente en el aumento de los días con concentraciones inferiores a la establecidas en la normas, sin alcanzarse las metas establecidas.

Uno de los parámetros que influyen de manera importante en la cuantificación de los impactos en salud es la concentración incremental o delta de concentración ( $\Delta C$ ), ya que entre mayor sea su valor, mayor será el número de casos evitados o producidos dependiendo de si su valor es positivo o negativo.

Otros de los parámetros que influyen en la estimación de los impactos en salud es la población afectada, entre mayor sea la población expuesta mayor será el número de casos evitados o producidos de mortalidad y morbilidad.

Para estimar las medidas de bienestar a partir de un estudio de Valoración Contingente con formato binario, existen dos enfoques alternativos; a) la interpretación que entrega expresiones para las medidas de bienestar a partir de formas funcionales de utilidad indirecta y b) el modelo que estima de forma directa la función de valoración continua.

El análisis de la función de utilidad indirecta implica estimar una función de diferencia de utilidad indirecta, la cual representa el proceso de maximización de bienestar del individuo. Una vez que los parámetros de esta función son estimados, el valor representativo del bien se calcula como la media, definida por el área bajo la curva de probabilidad acumulada de la disposición a pagar.

La prueba realizada a través de la comparación de intervalos de confianza sugiere que las medidas de bienestar presentan diferencias significativas entre formas funcionales.

Las diferencias entre las medidas de bienestar para las diversas formas funcionales y la sensibilidad respecto a los aspectos del diseño muestral afectan la credibilidad y aplicación de los resultados de valoración contingente, las estimaciones no paramétricas ayudan a esclarecer este problema.

Si se compara los resultados del método no paramétrico con el modelo lineal paramétrico, no se presenta diferencias significativas y por lo tanto no se alteran sustancialmente el valor las medidas de bienestar, sin embargo existen diferencias significativas cuando se comparan con el modelo logarítmico paramétrico.

Los resultados sugieren que es más importante poner atención en las diferentes formas funcionales en la estimación paramétrica que entre los métodos paramétricos y no paramétricos.

De acuerdo a los resultados la estimación entre paramétrico y no paramétrico en el formato dicotómico no representa un problema por el rango de valores del intervalo de confianza estimado por el método paramétrico; entonces estos resultados nos indican que la suposición de la distribución de los errores es la adecuada. La diferencia entre ambos métodos no es significativa.

La importancia del diseño óptimo de los vectores de pago, así como de la submuestras reduce el riesgo de errores, entonces es mejor invertir más tiempo en el diseño óptimo y aprovechar las ventajas que dan los modelos tradicionales de econometría.

El uso de la forma funcional lineal es la adecuada en comparación de otras formas funcionales, ya que no se presentan diferencias significativas entre la estimación paramétrica y no paramétrica.

Respecto de la valoración económica, se puede comentar que es preferible trabajar con medidas de bienestar tal como la mediana o con la forma funcional lineal, para evitar sobre estimar los beneficios asociados a recursos ambientales, sobre todo en contextos de países menos desarrollados, en donde la proporción del gasto que le asignan las familias es pequeña.

Al aplicar la metodología de preferencias declaradas para estimar el Valor Estadístico de la Vida (VEV) en la ZMCM en el contexto de disminución del riesgo de mortalidad asociado a la contaminación de Ozono y  $PM_{10}$ , los resultados obtenidos son bajos sobre todo si se considera a la mediana como medida de bienestar.

El VEV se encuentra en el intervalo de \$4.254.278 a \$5.376.453 pesos mexicanos en el caso de las  $PM_{10}$  si considera a la mediana del modelo lineal. Para el caso del Ozono el VEV se encuentra en el intervalo de \$1.702.729 a \$3.374.712 pesos mexicanos si se considera la mediana obtenida de la regresión de los intervalos originales. En la estimación del VEV, no se presentó la insensibilidad de la disposición a pagar ante distintos niveles de riesgo señalada en la literatura porque el cambio en el nivel de riesgo fue muy puntual, además la comunicación del riesgo jugó un papel importante. Sin embargo, si comparamos los resultados obtenidos con los diferentes enfoques y para los diferentes contaminantes, se observa que existe una relación positiva entre la disposición a pagar y el nivel de riesgo. Los resultados muestran que los individuos están dispuestos a pagar una mayor cantidad de dinero por una reducción de 41 a 34 en 100.000 como se presentó en el caso de la  $PM_{10}$ ; que por una disminución del riesgo de 19 a 16 en 100.000 en el caso del Ozono.

Los resultados obtenidos en la estimación del VEV demuestran la validez teórica de los estudios realizados, al presentarse una relación positiva y significativa entre los ingresos del individuo y su disposición a pagar.

Al comparar las estimaciones del Valor Estadístico de la Vida suponiendo diferentes formas funcionales, con el método no paramétrico, en el formato dicotómico se observó que no hay diferencias significativas, se obtuvo un valor superior; sin embargo este valor se encuentra dentro de los intervalos de confianza de las estimaciones paramétricas.

En el caso del modelo de payment card, las estimaciones de intervalos por el método de máxima verisimilitud en modelos log-lineal es menos ambiguo y más realista que las estimaciones por mínimos cuadrados que utilizan el punto medio del intervalo, sin embargo no se puede afirmar que asumiendo una distribución log-lineal se estime el verdadero valor de la DAP.

Si se utiliza en la estimación de las medidas de bienestar por el método de mínimos cuadrados, se recomienda que la secuencia de precios o los intervalos de payment card sean lo suficiente finos para minimizar el sesgo por usar el punto medio del intervalo.

Para este caso de estudio, una de las ventajas de aplicar el método de valoración contingente, además de estimar las medidas de bienestar, se puede obtener información de la percepción que tienen los habitantes de la ZMCM con respecto a la problemática ambiental, información de utilidad en el diseño de nuevas medidas de prevención y control de la contaminación.

En la estimación de la pérdida de productividad derivado de los días de Actividad de Actividad Restringida o días de trabajo perdido se consideró el salario promedio diario. Aunque el empleo de este dato para estimar los costos de morbilidad en grupos de edad específico, proporciona una subestimación de los daños si solo afecta a los niños y una sobreestimación del daño cuando la gente mayor es afectada.

Los resultados de este trabajo indican que la disminución de la contaminación del aire en la ZMCM genera beneficios económicos significativos, que puede ser utilizado para fomentar la continuidad o creación de nuevos programas para el mejoramiento de la calidad del aire.

El precio implícito individual por descontaminación (PIDI) en la ZMCM para los dos contaminantes: Ozono y  $PM_{10}$  es igual a \$35,50 pesos al año, el PIDI aumentaría si se considera otros contaminantes criterios; es conveniente comparar los resultados con la máxima DAP que tienen los habitantes por disminuir el riesgo de enfermedad asociada a la contaminación del aire; para obtener información confiable, veraz y útil para los tomadores de decisiones de política ambiental.

Se demostró la importancia de la cuantificación en unidades monetarias de las externalidades para ser consideradas en la evaluación de la política ambiental, como es el caso de la sustitución de los microbuses por el metrobús, que al aplicar la metodología de externalidades se obtuvieron los costos o beneficios externos del proyecto. Los resultados indican una disminución el 17% de hidrocarburos, 8% de monóxido de carbono, 18% de óxidos de nitrógeno, 43% de las  $PM_{10}$ , y 44% de las  $PM_{2,5}$ , que se traducen en disminución de la concentración de los contaminantes, disminución de los impactos en la salud y aumento de los costos evitados.

Los resultados obtenidos demuestran que la decisión de inversión de un proyecto público podría cambiar al considerar las externalidades, como es el caso del metrobús, donde al evaluar la política considerando las externalidades se obtuvieron mayores beneficios sociales; y es diferente si solo se considera los costos - beneficios privados que indica que no es rentable.

Existe la oportunidad de mejorar este trabajo de investigación, se considera como futuras líneas de investigación lo siguiente:

Se estimó el VEV por el método de preferencias declaradas para una reducción de riesgo puntual y para los dos contaminantes específicos, una línea futura de investigación es realizar un estudio que considere las variaciones en los riesgos de mortalidad, realizar un análisis de sensibilidad del VEV ante cambios del riesgo y comprobar que la relación positiva y significativa entre los ingresos del individuo y su disposición a pagar y aplicando otros formatos de pago.

A pesar de la aplicación de ayudas visuales para que los individuos comprendan la disminución de los riesgos en los estudios de preferencias declaradas, sería interesante seguir indagando sobre el modo de corregir las distorsiones en el momento de comunicación del riesgo.

Dado la sinergia entre los contaminantes que existen en el aire, y la dificultad que se presenta en la valoración de cada contaminante, se podría realizar una valoración económica utilizando la metodología de análisis conjunto; donde se valora un bien considerando un conjunto de atributos.

Otra línea de investigación es aumentar la aplicación de estudios epidemiológicos para establecer las funciones dosis - respuestas para diferentes contaminantes y diferentes grupos de edad en la ZMCM.

Se estimó las externalidades para dos contaminantes, Ozono y las  $PM_{10}$ , el estudio se puede extender a los otros contaminantes criterios y para otros medios como el agua y el suelo.

Otra línea de investigación es el estudio de los precios implícitos, abarcando todos contaminantes criterios y quizá trabajar en la propuesta de un modelo que permita obtener los precios implícitos por descontaminación.

En la evaluación de la política ambiental se estimaron las externalidades asociadas a los impactos en la salud por Ozono y las partículas, se puede extender a los otros contaminantes criterios. También se puede incorporar los costos externos asociados a la chatarrización de los microbuses, ya que estas actividades generan impactos a la salud por la generación de emisiones y por la generación de residuos sólidos.

## REFERENCIAS

---

Abbey D., R. Burchete, S. Knutsen, W. Donnell, M. Lebowitz, P. Enright. (1998). “*Long-term Particulate and other Air Pollutants and Lung Function in Nonsmokers*”. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Vol. 158. pp. 289-298.

Alberini A. (2004). “*Robustness of VSL Values from Contingent Valuation Surveys*”. Document of Department of Agricultural and Resource Economics, University of Maryland.

Anderson H., R. Atkinson, J. Peacock, L. Marston, K. Konstantinou. (2004). “*Meta-analysis of time series studies and panel studies of particulate matter (PM) and ozone (O<sub>3</sub>)*”. Report of a WHO task group. World Health Organisation. <http://www.euro.who.int>

Arrow, K., R. Solow, P. Portney, E. Leamer, R. Radner and H. Schuman (1993). “*Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation*”. Inter American Development Bank.

Atkinson S. and R. Halvorsen (1990). “*The Valuation of Risks to Life: Evidence from the Market for Automobiles*”. The Review of Economics and Statistics. Vol. 72, No.1. pp 133-136.

Azqueta Oyarzyn, D. (1994). “*Valoración Económica de la Calidad Ambiental*”, McGraw-Hill. Madrid, España.

Ballester F., J. Tenías y S. Pérez (1999). “*Efectos de la Contaminación Atmosférica sobre la Salud: Una Introducción*”. Revista Especializada en Salud Pública. Vol. 73, No. 2, pp. 109-121.

Barrios S., F. Peña, S. Osses. (2004). “*Efectos de la Contaminación Atmosférica por Material Particulado en las Enfermedades Respiratorias Agudas en Menores de 5 años*”. Ciencia y Enfermería. Vol. X. No. 2. pp. 21-29.

Beattie J, J. Covey, P. Dolan, L. Hopkins, M. Jones-Lee, G. Loomes, N. Pidgeon, A. Robinson and A. Spencer (1998) “*On the Contingent Valuation of Safety and the Safety of Contingent Valuation: Part 1-Caveat Investigator*” Journal of Risk and Uncertainty, 17:5-25

Bishop R. and T. Herberlein (1979). “*Measuring Values of Extra-Market Goods: Are Indirect Measures Biased?*”. American Journal of Agricultural Economics. Vol. 61. pp. 926-930.

Blomquist G. (1979). “*Value of Life Saving: Implications of Consumption Activity*”. The Journal of Political Economy. Vol. 87. No. 3. pp. 540-558.

Bowland B.J. (1998). *“Robust Estimates of Value of a Statistical Life for Developing Economies: An Application to Pollution and Mortality in Santiago”*. Centre for Agricultural and Rural Development.

Borja-Aburto V., M. Castillejos, D. Gold, S. Bierzwinski, D. Loomis. (1998). *“Mortality and ambient fine particles in southwest Mexico City, 1993- 1995”*. Environmental Health Perspective 1998. Vol. 106 (12). pp. 849-855.

Borja A., V. D. Loomis, S. Bangdiwala, C. Shy, R. Rascon-Pacheco (1997). *“Ozone, Suspended Particulates, and Daily Mortality in Mexico City”*. American Journal Epidemiology. Vol. 145. pp. 258-268.

Burnett R., M. Smith-Doiron, D. Stieb, S. Cakmak and J. Brook (1999). *“Effect of particulate and gaseous air pollution and cardiorespiratory hospitalizations”*. Archives Environmental Health. Vol. 54 (2). Pp. 130-139.

Burnett R., R. Dales, M. Raizenne, D. Krewski, P. Summers, G. Roberts, M. Raadyoung, T. Dann and J. Brook (1994). *“Effect of Low Ambient Levels of Ozone and Sulfates On the Frequency of Respiratory Admissions to Ontario Hospital”*. Environmental Respiratory. Vol. 65 (2). pp. 172-1994.

Calero Arístides, (1978). *“Técnicas de Muestreo”*. Editorial: Pueblo y Educación. La Habana, Cuba.

Cameron T. and D. Huppert (1989), *“OLS versus ML Estimation of Non-market Resource Values with Payment Card Interval Data”*. Journal Environmental Economics and Management. Vol. 17, pp. 230-246.

Cameron, T. (1988). *“A New Paradigma for Valuing Non-Market Goods Using Referendum Data”*. Journal of Environmental Economics and Management. Vol. 15. No. 3. pp. 355-379.

Cameron, T. and M. James. 1987. *“Efficient Estimation Methods for “Closed-Ended” Contingent Valuation Surveys”* The Review of Economics and Statistics 69:269-76.

Carson R. (2000). *“Contingent Valuation: A User’s Guide”*. Environmental Science Technology. Vol. 34, pp. 1413-1418

Carson, R. T., y R. Mitchell (2000). *“Public preference toward environmental risks: the case of trihalomethanes”*, Discussion paper 2000-21, Department of Economics, University of California.

Cesar, H., V. Borjas, P. Cicero, K. Dorland, R. Muñoz, L. Bryer, M. Cropper, A. González, G. Oaliz, A. Martínez, A. Olsthoorn, A. Rosales, G. Soto, V. Torres, R. Uribe, P. Van, E. Vega, M-M Niño, M-A Niño, A. Cruz, P. Montúfar (2000). *“Ecosistema Urbano y Salud de los Habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México”*. Comisión Ambiental Metropolitana y el Banco Mundial. México.

Cody R., C. Weisel, G. Birnbaum, P. Lloy (1992). *“The effect of Ozone Associated with Summertime Photochemical Smog on the Frequency of Asthma Visits to Hospital Emergency Departments”*. Environmental Research. Vol. 58. pp. 184-194.

Consejo Nacional de Población (2002). *“Proyecciones de la Población de México 2000 – 2050”*.

Consejo Nacional de Población (1998). “*Escenarios demográficos y urbanos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2010. Síntesis*”.

Cooper, J. (1993). “*Optimal Bid Design for Dichotomous Choice Contingent Valuation Surveys*”. *Journal of Environmental Economics and Management*. Vol. 24. pp. 25-40.

Corso P., Hammitt J., Gram. J., (2001). “*Valuing Mortality-Risk Reduction: Using Visual Aids to Improve the Validity of Contingent Valuation*”. *The Journal of Risk and Uncertainty*, Vol. 23:2; pp. 165–184.

Cummings, R. and G. Harrison (1995). “*The Measurement and Descomposition of Nonuse Values. A Critical Review*”. *Environment and Resources Economics*. Vol. 5. pp. 225-247.

Diamond P. (1996). “*Testing the Internal Consistency of Contingent Valuation Surveys*”. *Journal of Environmental Economics and Management*. Vol. 30. pp. 337-347.

Dockery D.W., C.A. Pope, X.P. Xu, J. Spengler, J. Ware, M. Fay, B. Ferris, F Speizer (1993). “*An association between air pollution and mortality in six U.S. cities*”. *New England Journal Medical*. Vol. 329 (24). Pp. 1753-1759.

Duffield, J. and D. Patterson (1991). “*Inference and Optimal Design for Welfare Measure in Dichotomous Choice Contingent Valuation*”. *Land Economics*. Vol. 67 (2). pp. 225-239.

Environmental Protection Agency (2003). “*Benefits and Costs of the Clean Air Act 1990 - 2020: Revised Analytical Plan For EPA’s Second Prospective Analysis*”. <http://epa.gov>

Environmental Protection Agency (2000). “*AP-42. Compilation of Air Pollutant Emission Factors*”. <http://epa.gov>

Environmental Protection Agency (2000). “*TANKS Versión 4.0*”. <http://epa.gov>

Environmental Protection Agency (1999). “*Preferred and Alternative Methods for Estimating Air Emissions from Oil and Gas Field Production and Processing Operations*”. <http://epa.gov>

Environmental Protection Agency (1999). Report to Congress: “*The Benefits and Costs of the Clean Air Act 1990 to 2010*”. <http://epa.gov>

European Commission (2005). “*Externalities of Energy*”. *Methodology ExternE*.

European Commission (1998), “*Externalities of Energy*”. Vol. VII. *Metodology ExternE*.

European Commission (1995). “*Externalities of Fuel Cycles ExternE Proyect*”. Vol. II. *Methodology*. Method for Estimation of Physical Impacts and Monetary Valuation for Priority Impact Pathways.

Feenstra, Robert (1995). “*Exact Hedonic Price Indexes*”. National Bureau of Economic Research. No. 5061. NBER Working Paper No. 5061.

Freeman, M. (1993). *“The Measurement of Environmental and Resources Values, Theory and Methods”*. Resources for the Future. Washington D.C.

Gaceta Oficial del Distrito Federal (2006). *“Declaratoria de la Zona Metropolitana del Valle de México”*. No. 10. 23 de Enero del 2006.

Gaceta Oficial del Distrito Federal, (2004). *“Declaratoria de necesidad para la prestación del servicio público de transporte de pasajeros en el corredor de transporte público de pasajeros “metrobus”. Insurgentes”*. 12 de Noviembre de 2004.

Gaceta Oficial del Distrito Federal. (2000). *“Acuerdo por el que se expide el Manual de Lineamientos Técnicos, para Vehículos del servicio publico de transporte de pasajeros del Distrito Federal”*. 25 de Febrero de 2000.

Gaceta Oficial del Distrito Federal. (1999). *“Acuerdo por el que se reforma el Manual de Lineamientos Técnicos, de Seguridad, Comodidad y Ambientales, que deben cumplir los Autobuses, Minibuses y Vagonetas, que presten el Servicio Publico de Transporte de Pasajeros en el Distrito Federal”*. 29 de Septiembre de 1997.

Gaceta Oficial del Distrito Federal. (1996). *“Manual de Lineamientos Técnicos, de Seguridad, Comodidad y Ambientales, que deben cumplir los Autobuses, Minibuses y Vagonetas, que prestan el Servicio Publico de Transporte de Pasajeros en el Distrito Federal”*. 24 de Septiembre de 1996.

Garfias F. y Díaz L. (2003). *“Gasolinas Oxigenadas. La Experiencia Mexicana”*. Fondo de Cultura Económica.

Gobierno del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2006). *“Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México”*. Versión preliminar

Gobierno del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2004). *“Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México”*

Gobierno del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). *“Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México”*

Gobierno del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2000). *“Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México”*

Gobierno del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (1998). *“Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México”*

Gobierno del Distrito Federal. (1989). *“Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica”*

Gordon P. and Richardson H.W. (1996) *“Beyond Polycentricity. The Dispersed Metropolis, Los Angeles, 1970-1990”*. Journal of the American Planning Association, Vol. 62, No. 3, pp. 289-295.

Greene William. 1997 *“Econometric Analysis”*, Pretince Hall, Inc.

Greene William. 1998 “*LIMDEP Econometric Software*”, Manuals.

Haab, T. and K. Mc Connell (1995). “*Referendum Models and Negative Willingness to Pay: Alternative Solutions*”. Department of Agricultural and Resource Economics. University of Maryland, College Park.

Hammit, J. (2000). “*Valuing Mortality Risk: Theory and Practice*”. Environmental Science and Technology. Vol. 34. pp. 1396-1400.

Hammit y Gram (1999). *Willingness to Pay for Health Protection: Inadequate Sensitivity to Probability?*. Journal of Risk and Uncertainty. Vol. 8. pp. 33-62.

Hanemann, M. (1989). “*Welfare Evaluation in Contingent Valuation Experiments with Responses Reply*”. American Journal of Agricultural Economics. Vol. 71. pp. 1057-1061.

Hanemann, M. (1984). “*Welfare Evaluation in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses*”. American Journal of Agricultural Economics. Vol. 66. pp. 322-341.

Hernández L., A. Barraza, M. Ramírez, H. Moreno, P. Millar, L. Carvajal, I. Romieu. (2007). “*Morbilidad infantil por causas respiratorias y su relación con la contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua, México*”. Salud Pública de México. Vol. 49, No.1. pp. 27-36.

Hueth, Darrell and E. Strong (1984). “*A critical Review of the Travel Cost, Hedonic Travel Cost and Household Production Models for Measurement of Quality Changes in Recreational Experiences*”, Northeastern Journal of Agricultural and Resource Economics. Vol. 13, No. 2. pp. 187-198.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Gobierno del Distrito Federal y del Estado de México. (2007). “*Encuesta Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Zona Metropolitana de la Ciudad de México*”.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2007). “*II Censo de Población y Vivienda 2005*”.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2001). “*XII Censo de Población y Vivienda, 2000*”.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Gobierno del Distrito Federal y del Estado de México. (1994). “*Base de datos de la Encuesta Origen y Destino de los Viajes de los Residentes del Zona Metropolitana de la Ciudad de México*”

Jacobs M. (1997). “*La Economía Verde, Medio Ambiente, Desarrollo Sostenible y la Política del Futuro*”. Economía Crítica.

Jones-Lee, M. W. (1989). “*The Economics of Safety and Physical Risk*”. Basil Blackwell, Oxford.

Jones-Lee M. (1974). “*The Value of Changes in the Probability of Death or Injury*”. The Journal of Political Economy. Vol. 82. No. 4. pp. 835-849

Kanhemann, D. and J. Knesch (1992). "Valuing Public Good: The Purchase of Moral Satisfaction". *Journal of Environmental Economics and Management*. Vol. 22. pp. 57-70.

Kanninen, B. and B. Kriström (1993). "Sensibility of Willingness to Pay Estimates to Bid Design in Dichotomous Discrete Choice Contingent Valuation Models: Comment". *Land Economics*. Vol. 69, pp 199-202.

Kelman S. (1981). "Cost-Benefit Analysis: An Ethical Critique." *AEI Journal on Government and Society Regulation*. pp. 33-40.

Krewski, D., R. Burnett, M. Goldberg, K. Hoover, J. Siemiatycki, M. Jarret, M. Abrahamowicz, W. White (2000). "Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality". Special Report; Health Effects Institute: Cambridge MA.

Krinsky, I. And L. Robb (1986). "On Approximating the Statistical Properties of Elasticities" *The Review of Economics and Statistics*. Vol. 68:7. pp. 15-19.

Kriström B. (1990). "A Non-Parametric Approach to the Estimation of Welfare Measures in discrete Response Valuation Studies". *Land Economics* Vol. 66. No. 2. pp

Krupnick, A. J., Alberini, A., Cropper, M. L., Simon, N., O' Brien, B., Goeree, R., y M. Heintzelman (2002). "Age, health and the willingness to pay for mortality risk reductions: a contingent valuation survey of Ontario residents", *Journal of Risk and Uncertainty* 24, 161-186.

Krupnick, A. J., W. Harrington and B. Ostro. (1990). "Ambient Ozone and Acute Health Effects – Evidence From Daily Data". *Journal of Environmental Economics and Management*. Vol. 18 (1) pp. 1-18.

Loomis, J. B., y P. duVair (1993). "Evaluating the effect of alternative risk communication devices on willingness to pay: Results from a dichotomous choice contingent valuation experiment". *Land Economics*. Vol. 69 (3). pp. 287-298.

Levy J., J. Hammitt, J. Spengler (2000). "Estimating the Mortality Impacts of Particulate Matter: What Can Be Learned from Between-Study Variability?" *Environmental Health Perspectives*. Vol. 108, No. 2. pp. 109-117.

Martínez, J., J. Pinto, J. Abellán. (2004). "El Valor Estadístico de Vida Humana en España". Departamento de Economía Aplicada. Universidad de Murcia.

McConnell, K. (1990). "Models for Referendum Data: The Structure of Discrete Choice Models for Contingent Valuation". *Journal of Environmental Economics and Management*. Vol. 18. pp. 19-34.

McConnell, K. and J. Ducci (1989). "Valuating Environmental Quality in Developing Countries: Two Case Studies". Prepared for AERE. Session on Contingent Valuation Surveys in Developing Countries.

McKinley G., M. Zuk, M. Hojer, M. Avalos, I. González, M. Hernández, R. Iniestra, I. Laguna, M. Martínez, P. Osnaya, L. Reynales, R. Valdés and J. Martínez (2003). “*The Local Benefits of Global Air Pollution Control in Mexico City*” Instituto Nacional de Ecología e Instituto Nacional de Salud Pública (INE –INSP). México.

Melgar E., M. Ruiz, M. Bauer, R. Villaseñor, M. Magdaleno, J. Ceballos, G. Yañez. (2004). “*Análisis Técnico Económico del Impacto Ambiental por el Uso del Gas Natural y Gas LP en México*”. Instituto Mexicano del Petróleo y Petróleos Mexicanos.

Melinek, S. (1974). “*A Method of Evaluating Human Life for Economic Purposes*”, Accident Analysis and Prevention. Vol. 6. pp. 103–114.

Mitchell, R.C. y Carson R. (1989), “*Using Survey to Value Public Goods. Resources for the Future*”. The Johns Hopkins University Press, Washington D.C., 463 pp.

Mishra Vinod (2003). “*Health Effects of Air Pollution*”. Population-Environment Research Network -PERN. pp. 1-7.

Molina M., L. Molina, (2002). “*Air Quality in the México Megacity*”. An Integrated Assessment MIT-USA. Editorial.- Kluwer Academic Publishers.

Naess O. P. Nafstad, G. Aamodt, B. Claussen, P. Rosland. (2006). “*Relation between Concentration of Air Pollution and Cause-Specific Mortality: Four-Year Exposures to Nitrogen Dioxide and Particulate Matter Pollutants in 470 Neighborhoods in Oslo, Norway*”. American Journal of Epidemiology. Vol. 165, No. 4. pp. 435-443.

Niklitschek H. (1991). “*Una revisión de las Metodologías de Valoración Económica para Recursos Naturales*”. Universidad de Concepción – Departamento de Economía. pp 1-71

Ostro B. D. (1987). “*Air Pollution and Morbidity Revisited: A Specification Test*”. Journal of Environmental Economics and Management. Vol. 14. pp. 87-98

Ostro B. and S. Rothschild (1989). “*Air Pollution and Acute Respiratory Morbidity – and Observational Study of Multiple Pollutants*”. Environmental Respiratory. Vol. 50 (2). pp. 238-247

Park, T., J. Loomis and M. Creel. (1991). “*Confidence Intervals for Evaluations Benefit Estimates from Dichotomous Choice Contingent Valuation Studies*” Land Economics Vol. 67(1): 64-73.

Pasqual J. y Souto G. (2000). “*Errores más frecuentes en la evaluación de políticas y proyectos*”, Departamento de Economía Aplicada, Universidad Autónoma de Barcelona.

Pasqual Joan (1999). “*La evaluación de Políticas y Proyectos, Criterios de valoración económica y sociales*”. Icaria.

Pinto J. (2001). “*El Valor de la Salud: Un Enfoque Basado en el Análisis Coste-Beneficio*”. Documento de Trabajo No. 14. Departamento de Economía y Centro de Investigación en Economía y Salud (CRES). Universidad Pompeu Fabra.

Pope C., R. Burnett, M. Thun, E. Calle, D. Krewski, K. Ito, G. Thurston (2002). "Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution" Journal American Medical Association. Vol. 287. No. 9. pp. 1132-1141.

Pope C., M. Thun, M. Thun, M. Namboodiri, D. Dockery, J. Evans, F. Speizer and C. Heath. (1995). "Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults" American Journal Respiratory Critical Care Medical. Vol 151, No. 3. pp. 669-674.

Rabl (1999). "Les Bénéfices monétaires d'une amélioration de la qualité de l'air en Ile-de-France". Pollution Atmosphérique. janvier-mars. pp. 83-94

Rabl and Eyre (1998). "An Estimate of Regional and Global O<sub>3</sub> damage from precursor NO<sub>x</sub> and VOC emissions". Environment International. Vol. 24. No. 8. pp. 835-850.

Ready R., S. Navrud, B. Day, R. Dubourg, F. Machado, S. Mourato, F. Spanninks, M. Vázquez (2004). "Benefit Transfer in Europe: How Reliable Are Transfers Between Countries?". Environmental and Resources Economics. Vol. 29. pp. 67-82.

Riera, P. (1994). "Manual de Valoración Contingente". Universidad Autónoma de Barcelona – España.

Rosales J., V. Torres, G. Olaiz, V. Borja (2001). "Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos". Salud Pública de México. Vol. 43, No. 6. pp. 544-555.

Rosenberger, R.S. and Loomis, J.B. (2001). "Benefit Transfer of Outdoor Recreation Use Values". U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

Samet J., F. Dominici, S. Zeger, J. Schwartz, D. Dockery (2000). "The National Morbidity, Mortality and Air Pollution Study, Part I: Methods and Methodologic Issues." Research Report 94, Part I. Health Effects Institute, Cambridge MA. <http://www.healtheffects.org>

Schelling, T. (1968). "The life you save may be your own" en Chase, S.B. (ed), Problems in Public Expenditure Analysis, Brookings Institution, Washington, 127-162.

Secretaría de Desarrollo Social, Consejo Nacional de Población e Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2004). "Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México". México.

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, (2007). "La calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 1986-2006. Informe del estado y tendencias de la contaminación atmosférica. México, D.F."

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de México y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (SEMARNAT - CEPAL), (2004). "Evaluación de las Externalidades Ambientales de la Generación Termoeléctrica en México".

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal / Secretaría de Ecología del Estado de México / Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales / Secretaría de Salud, (2002). *“Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010 (PROAIRE)”*

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal / Secretaría de Ecología del Estado de México / Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca / Secretaría de Salud, (1995). *“Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (PROAIRE)”*

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal / Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México, (2006). *“Bases de Datos de Concentraciones de Ozono del período de 1986 a 2006.”*

Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal / Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México, (2006). *“Bases de Datos de Concentraciones de Partículas menores a 10 micras del periodo 1988 a 2006.”*

Secretaria de Salud (2006). Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica/Dirección General de Epidemiología. *“Datos de defunciones del D.F. y Edo. México del 2000 al 2006”*.

Secretaria de Salud (2006). Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica/Dirección General de Epidemiología. *“Datos de casos de enfermedad del D.F. y Edo. México del 2000 al 2006.”*

Secretaría de Salud (2005). Modificación a la Norma Oficial Mexicana (NOM -025- SSA1- 1993). Salud Ambiental. *“Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a material particulado. Valor de concentración máxima de material particulado para partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micras ( $PM_{10}$ ) y partículas menores de 2,5 micras ( $PM_{2,5}$ ) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población”*.

Secretaría de Salud (2002). Modificación a la Norma Oficial Mexicana (NOM -020- SSA1- 1993). Salud Ambiental. *“Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al Ozono ( $O_3$ ). Valor normado para la concentración de Ozono ( $O_3$ ) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.”*

Secretaría de Salud (1994). Norma Oficial Mexicana (NOM -020- SSA1- 1993). Salud Ambiental. *“Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al Ozono ( $O_3$ ). Valor normado para la concentración de Ozono ( $O_3$ ) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población”*.

Secretaría de Salud (1994). Norma Oficial Mexicana (NOM -025- SSA1- 1993). Salud Ambiental. *“Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a partículas menores de 10 micras ( $PM_{10}$ ). Valor permisible para la concentración de partículas menores de 10 micras ( $PM_{10}$ ) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población”*.

Schwartz J. (1995). *“Air pollution and hospital admissions for the elderly in Detroit, Michigan”*. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. Vol. 150 (3). pp. 648-655.

Schwartz J., R. Morris (1995). "Air Pollution and Hospital Admissions for Cardiovascular Disease in Detroit, Michigan". American Journal of Epidemiology. Vol. 142 (1). pp. 23-35.

Schwartz J. (1994). "PM<sub>10</sub>, Ozone and Hospital Admissions for the Elderly in Minneapolis St Paul, Minnesota". Archives of Environmental Health. Vol. 49 (5). pp. 366-374.

Schwartz J. (1993). "Particulate Air Pollution and Chronic Respiratory Disease". Environmental Respiratory. Vol. 62. pp. 7-13.

Triplett, Jack E. (1990). "Hedonic Methods in Statistical Agency Environments: An Intellectual Biopsy". Ernst R. Berndt and Jack E. Triplett, Eds. Fifty Years of Economic Measurement. University of Chicago y NBER, pp. 207-233.

Vega R., O. Peraza y G. Herrera, S. Saldívar (1996). "Aspectos prácticos sobre el tamaño de la muestra en la investigación", Revista de Gastroenterología, México.

Viscusi, W. Kip and Joseph E. Aldy. (2003). "The Value of Statistical Life: A Critical Review of Market Estimates throughout the World". Journal of Risk and Uncertainty, Vol. 27, pp 5-76.

Viscusi, W.K., Magat, W.A. y J. Huber (1991). "Pricing environmental health risks: survey assessments of risk-risk and risk-dollar trade-offs for chronic bronchitis". Journal of Environmental Economics and Management. Vol. 21. pp. 32-51.

Vivancos J., Gomez T., Lopez R., Bastante M., Capuz S. (2004). "Revisión de los Estudios de análisis de Ciclo de Vida en la Industria del Automóvil", Departamento de proyectos de ingeniería, Universidad politécnica de Valencia.

Viñoles C. Bastante M., López R., Vivancos J., Capuz S. (2004). "Análisis del impacto medioambiental de un automóvil, a lo largo de su ciclo de vida", Departamento de proyectos de ingeniería, Universidad politécnica de Valencia.

Wittemore A., E. Korn (1980). "Asthma and Air Pollution in the Los Angeles Area". American Journal Public Health. Vol. 70. pp. 687-696.

## ANEXO I.

### Zona Metropolitana de la Ciudad de México

---

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) es un área concentradora de población, actividades económicas y poder político, que enfrenta problemas que por su naturaleza no tienen en otras ciudades. Su ubicación se encuentra en una cuenca cerrada, su altura sobre el nivel del mar y las características de su subsuelo han sido factores presentes en su historia. Su extensión abarca las 16 delegaciones del Distrito Federal y 59 municipios del Estado de México<sup>1</sup> (mapa 2).

*Mapa 2. Zona Metropolitana de la Ciudad de México.*



---

<sup>1</sup>SEDESOL, CONAPO e INEGI (2004). Delimitación de las zonas metropolitanas de México y Gaceta Oficial del Distrito Federal (2006)

DELEGACIÓN		MUNICIPIO		MUNICIPIO		MUNICIPIO	
09002	Azcapotzalco	15002	Acolman	15035	Huehuetoca	15083	Temamatla
09003	Coyoacán	15009	Amecameca	15036	Hueypoxtla	15084	Temascalapa
09004	Cuajimalpa de Morelos	15010	Apaxco	15037	Huixquilucan	15089	Tenango del Aire
09005	Gustavo A. Madero	15011	Atenco	15038	Isidro Fabela	15091	Teoloyucán
09006	Iztacalco	15013	Atizapán de Zaragoza	15039	Ixtapaluca	15092	Teotihuacán
09007	Iztapalapa	15015	Atlautla	15044	Jaltenco	15093	Tepetlaoxtoc
09008	La Magdalena Contreras	15016	Axapusco	15046	Jilotzingo	15094	Tepetlixpa
09009	Milpa Alta	15017	Ayapango	15050	Juchitepec	15095	Tepotzotlán
09010	Álvaro Obregón	15020	Coacalco de Berriozábal	15070	La Paz	15096	Tequixquiac
09011	Tláhuac	15022	Cocotitlán	15053	Melchor Ocampo	15099	Texcoco
09012	Tlalpan	15023	Coyotepec	15057	Naucalpan de Juárez	15100	Tezoyuca
09013	Xochimilco	15024	Cuautitlán	15058	Nezahualcóyotl	15103	Tlalmanalco
09014	Benito Juárez	15121	Cuautitlán Izcalli	15059	Nextlalpan	15104	Tlalnepantla de Baz
09015	Cuauhtémoc	15025	Chalco	15060	Nicolás Romero	15125	Tonanitla
09016	Miguel Hidalgo	15028	Chiautla	15061	Nopaltepec	15108	Tultepec
09017	Venustiano Carranza	15029	Chicoloapan	15065	Otumba	15109	Tultitlán
		15030	Chiconcuac	15068	Ozumba	15112	Villa del Carbón
		15031	Chimalhuacán	15069	Papalotla	15122	Valle de Chalco Solidaridad
		15033	Ecatepec de Morelos	15075	San Martín de las Pirámides	15120	Zumpango
		15034	Ecatzingo	15081	Tecámac		

Fuente: INEGI, SEDESOL, CONAPO, GDF y GEM

La ZMCM se encuentra en una etapa de transición, en la que el Distrito Federal disminuye su participación relativa en población respecto al Estado de México. Al mismo tiempo que se transforma el uso de suelo, desplazándose el habitacional y el industrial hacia el Estado de México, mientras que el comercial y de servicios se concentra en el Distrito Federal.

Lo anterior se manifiesta claramente cuando tenemos que en la ZMCM se encuentra aproximadamente el 17.41% de la población del territorio nacional, aún cuando abarca una superficie de tan sólo 0.25% de la República Mexicana, existe una distribución no homogénea de la población en el Distrito Federal, con 8.720.916 de habitantes, que representan el 45 % de la ZMCM y los 59 municipios conurbanos del Estado de México, con 10.442.765 de habitantes, que son el restante 55 % (Censo 2005)<sup>2</sup>.

El crecimiento de la zona metropolitana tuvo lugar durante la década que se inició en 1940, sobre el territorio del municipio de Naucalpan, Estado de México. Dicho municipio empezó a crecer debido a la vecindad con el Distrito Federal y la aparición de importantes actividades que atrajeron población proveniente de otros lugares; su población fue de 13.845 habitantes. En 1950 la ZMCM estaba integrada por la ciudad de México —es decir, las actuales delegaciones Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Benito Juárez y Miguel Hidalgo—, siete delegaciones del Distrito Federal y dos municipios del Estado de México; contaba con 2.982.075 habitantes, sobre una superficie urbanizada de 26.275 hectáreas, dando una densidad urbana de 113.49 hab./ha (tabla 52).

*Tabla 52. Población de la ZMCM por delegación y municipio, según periodo de conurbación, 1950-2005*

ID	DELEGACIÓN O MUNICIPIO	1950	1960	1970	1980	1990	2000 (1)	2005 (2)
1	BENITO JUÁREZ				544.882	407.811	360.478	355.017
2	CUAUHTÉMOC	Ciudad	Ciudad	Ciudad	814.983	595.960	516.255	521.348
3	MIGUEL HIDALGO	de México	de México	de México	543.062	406.868	352.640	353.534
4	VENUSTIANO CARRANZA	2.234.795	2.832.133	2.902.969	692.896	519.628	462.806	447.459
5	ALVARO OBREGÓN	93.176	220.011	456.709	639.213	642.753	687.020	706.567
6	AZCAPOTZALCO	187.864	370.724	534.554	601.524	474.688	441.008	425.298
7	COYOACÁN	70.005	169.811	339.446	597.129	640.066	640.423	628.063
8	GUSTAVO A. MADERO	204.833	579.180	1.186.107	1.513.360	1.268.068	1.235.542	1.193.161
9	IZTACALCO	33.945	198.904	477.331	570.377	448.322	411.321	395.025
10	IZTAPALAPA	76.621	254.355	522.095	1.262.354	1.490.499	1.773.343	1.820.888
11	MAGDALENA CONTRERAS, LA	21.955	40.724	75.429	173.105	195.041	222.050	228.927
19	NAUCALPAN DE JUÁREZ	29.876	85.828	382.184	730.170	786.551	858.711	821.442
12	TLALNEPANTLA DE BAZ	29.005	105.447	366.935	778.173	702.807	721.415	683.808
13	CUAJIMALPA DE MORELOS		19.199	36.200	91.200	119.669	151.222	173.625
14	TLÁHUAC		29.880	62.419	146.923	206.700	302.790	344.106
15	TLALPAN		61.195	130.719	368.974	484.866	581.781	607.545
16	XOCHIMILCO		70.381	116.493	217.481	271.151	369.787	404.458
17	CHIMALHUACÁN		76.740	19.946	61.816	242.317	490.772	525.389
18	ECATEPEC DE MORELOS		40.815	216.408	784.507	1.218.135	1.622.697	1.688.258
19	ATIZAPÁN DE ZARAGOZA			44.322	202.248	315.192	467.886	472.526
20	COACALCO DE BERRIOZÁBAL			13.197	97.353	152.082	252.555	285.943
21	CUAUTITLÁN			41.156	39.527	48.858	75.836	110.345
22	HUIXQUILUCAN			33.527	78.149	131.926	193.468	224.042

<sup>2</sup>INEGI, II Censo de Población y Vivienda 2005.

ID	DELEGACIÓN O MUNICIPIO	1950	1960	1970	1980	1990	2000 (1)	2005 (2)
23	MILPA ALTA			33.694	53.616	63.654	96.773	115.895
24	NEZAHUALCÓYOTL			580.436	1.341.230	1.256.115	1.225.972	1.140.528
25	PAZ, LA			32.258	99.436	134.784	212.694	232.546
26	TULTITLÁN			52.317	136.829	246.464	432.141	472.867
27	CUAUTITLÁN IZCALLI				173.754	326.750	453.298	498.021
28	CHALCO				78.393	282.940	217.972	257.403
29	CHICOLOAPAN				27.354	57.306	77.579	170.035
30	IXTAPALUCA				77.862	137.357	297.570	429.033
31	NICOLÁS ROMERO				112.645	184.134	269.546	306.516
32	TECÁMAC				84.129	123.218	172.813	270.574
34	ACOLMAN					43.276	61.250	77.035
35	ATENCO					21.219	34.435	42.739
36	JALTENCO					22.803	31.629	26.359
37	MELCHOR OCAMPO					26.154	37.716	37.706
38	NEXTLALPAN					10.840	19.532	22.507
39	TEOLOYUCAN					41.964	66.556	73.696
40	TEPOTZOTLÁN					39.647	62.280	67.724
41	TEXCOCO					140.368	204.102	209.308
42	TULTEPEC					47.323	93.277	110.145
43	ZUMPANGO					71.413	99.774	127.988
44	VALLE DE CHALCO SOLIDARIDAD						323.461	332.279
45	CHICONCUAC						17.972	19656
46	CHIAUTLA						19.620	22.664
47	TEOTIHUACÁN						44.653	46.779
48	TEZOYUCA						18.852	25.372
49	TEPETLAOXTOC						22.729	25.523
50	PAPALOTLA						3.469	3.766
51	AMECAMECA							48.363
52	APAXCO							25.738
53	ATLAUTLA							24.110
54	AXAPUSCO							21.915
55	AYAPANGO							6.361
56	COCOTITLÁN							12.120
57	COYOTEPEC							39.341
58	ECATZINGO							8.247
59	HUEHUETOCA							59.721
60	HUEYPOXTLA							36.512
61	ISIDRO FABELA							8.788
62	JILOTZINGO							13.825
63	JUCHITEPEC							21.017
64	NOPALTEPEC							8.182
65	OTUMBA							29.873
66	OZUMBA							24.055
67	SAN MARTÍN DE LAS PIRÁMIDES							21.511
68	TEMAMATLA							10.135
69	TEMASCALAPA							33.063
70	TENANGO DEL AIRE							9.432
71	TEPETLIXPA							16.912

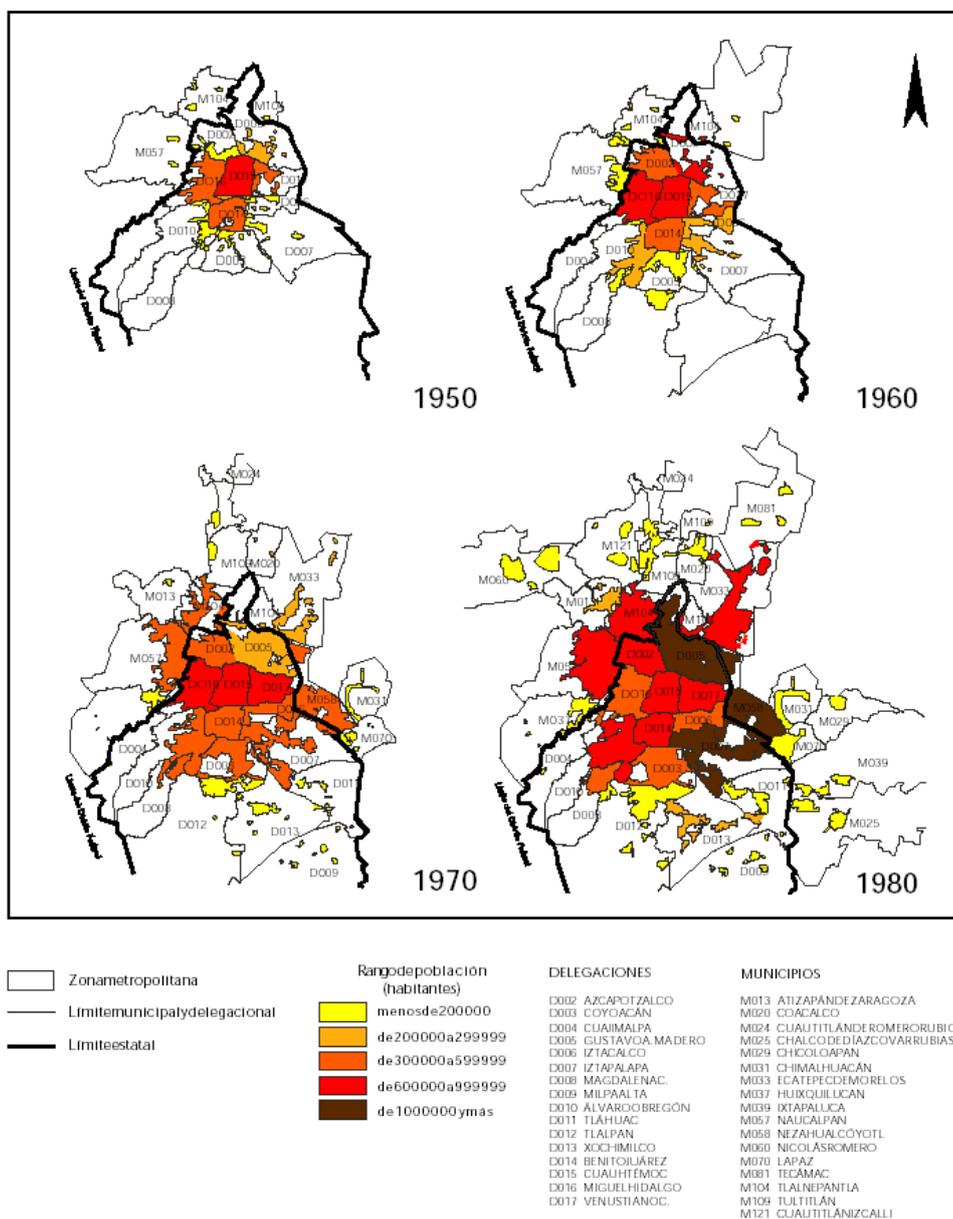
ID	DELEGACIÓN O MUNICIPIO	1950	1960	1970	1980	1990	2000 (1)	2005 (2)
72	TEQUIXQUIAC							31.080
73	TLALMANALCO							43.930
74	TONANITLA							8.081
75	VILLA DEL CARBÓN							39.587

Fuente: Consejo Nacional de Población. 2000.

(1) Elaboración propia con base en información, XII Censo General de Población y Vivienda del INEGI de México 2001. (2) II Censo de Población y Vivienda 2005.

En esos años, la zona central de la ciudad de México se densificó considerablemente, pero en casi todas las delegaciones que la rodeaban las densidades de población eran menores a 100 hab./ha. Entre el municipio de Naucalpan y la Ciudad de México existía ya continuidad urbana, como puede verse en el mapa 3.

Mapa 3. Evolución de la distribución de la población por delegación y municipio 1950-1980



Fuente: CONAPO, 1998. "Escenarios demográficos y urbanos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2010. Síntesis".

Durante el próximo período se destaca que Tlalnepantla y Naucalpan se urbanizaron rápidamente; en ambos se incrementó considerablemente el número de habitantes en diez años. La expansión de ambos municipios fue estimulada con la política de promoción a la instalación de industrias que definió el gobierno del Estado de México. En Naucalpan predominó la industria textil, alimenticia y la fabricación de componentes diversos; mientras que en Tlalnepantla fueron el cemento, siderurgia, herramientas, harineras y alimentos varios.

A raíz de la actualización de la cartografía censal del 2000, el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática consideró que la extensión de la ZMCM abarcaba las 16 delegaciones del Distrito Federal y 34 municipios del Estado de México. La distribución de la población en ese año fue de 8.605.239 de habitantes en el Distrito Federal y con 9.204.232 de habitantes en los 34 municipios del Estado de México. (Censo 2000)<sup>3</sup>.

El proyecto a nivel nacional de delimitación de Zonas Metropolitanas de México realizado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) en colaboración con la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) y el Consejo Nacional de Población (CONAPO), la ZMCM esta integrada por el DF, 58 municipios del Estado de México y un municipio de Hidalgo.

Con la declaratoria firmada por el Gobierno del Distrito Federal y el Gobierno del Estado de México, publicada el 23 de Enero de 2006 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal se delimita a la ZMCM con las 16 delegaciones del Distrito Federal y 59 municipios del Estado de México, con una población total de 19.183.337 habitantes (Conteo 2005)<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup>INEGI, XII Censo General de Población y Vivienda 2000, México 2001

<sup>4</sup>INEGI, II Conteo de Población 2005

## ANEXO II.

### Emisiones de los principales Contaminantes en la ZMCM

En este anexo se presenta las tendencias de las emisiones de los principales contaminantes en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) durante el periodo 1998 al 2006. La fuente de información son los inventarios de emisiones de los años 1998, 2000, 2002, 2004 y 2006. Cabe aclarar que en el caso del Inventario de Emisiones del año 2006, se utilizó la versión preliminar, ya que la versión final se encuentra en elaboración.

En el PROAIRE<sup>1</sup> establecieron actualizar los inventarios de emisiones cada dos años, aunque la aplicación de los modelos de calidad del aire se llevó a cabo a partir del inventario de emisiones del año 1998. Con este inventario elaboraron la proyección de las emisiones al año 2010 y también sirvió de base para desarrollar el PROAIRE<sup>2</sup> 2002– 2010, actualmente vigente.

Las emisiones anuales en la ZMCM por partículas menores a diez micrómetros ( $PM_{10}$ ) en el período 1998-2006 se presentan en la tabla 53, donde se observa que a partir del año 2002, las fuentes de área<sup>3</sup> son las principales generadoras de este contaminante, le sigue por orden de importancia las fuentes móviles, posteriormente la fuentes puntuales y finalmente la vegetación y suelos.

Tabla 53. Emisiones de  $PM_{10}$

SECTOR	EMISIONES				
	TON/AÑO				
	$PM_{10}$				
	1998	2000	2002	2004	2006
FUENTES PUNTUALES	3.093	2.809	4.246	3.916	4.869
FUENTES DE ÁREA	1.678	509	12.781	10.801	12.031
FUENTES MÓVILES	7.133	5.287	4.444	4.768	5.248
VEGETACIÓN Y SUELOS	7.985	1.736	2.071	1.201	803
TOTAL	19.889	10.341	23.542	20.686	22.951

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del GDF, Secretaría de Ecología del GEM y SEMARNAT.  
Inventario de Emisiones: 1998, 2000, 2002, 2004 y 2006<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Secretaría del Medio Ambiente del GDF, Secretaría de Ecología del GEM, SEMARNAP y SS (PROAIRE 1995-2000)

<sup>2</sup>Secretaría del Medio Ambiente del GDF, Secretaría de Ecología del GEM, SEMARNAT y SS (PROAIRE 2002-2010)

<sup>3</sup>En los inventarios de emisiones, a las fuentes de área las agrupan en categorías, como son: combustión en fuentes estacionarias, fuentes móviles que no circulan por caminos y vialidades, uso de solventes, almacenamiento y transporte de productos de petróleo, fuentes industriales ligeras y comerciales, manejo y tratamiento de residuos; a su vez cada categoría se divide en subcategorías.

<sup>4</sup>En esta investigación para el caso del Inventario de Emisiones del año 2006, se utilizó la versión preliminar, la versión final se encuentra en elaboración.

Al comparar las emisiones totales en los diferentes años, se observa que hubo un descenso considerable de las emisiones en el año 2000, sin embargo para el siguiente período se incrementó notablemente; posteriormente volvió a disminuir el total de las emisiones sin llegar a los niveles alcanzados en el año 2000.

En el caso de las emisiones anuales por dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), en tabla 54 se observa que las fuentes puntuales en los años de 1998, 2000 y 2006 fueron las principales generadoras de este contaminante, le sigue por orden de importancia las fuentes móviles y finalmente las fuentes de área.

Las emisiones totales de este contaminante indican una tendencia a la baja hasta el año 2004, ya que en el siguiente período hubo un incremento de 267 toneladas.

*Tabla 54. Emisiones de SO<sub>2</sub>*

SECTOR	EMISIONES				
	TON/AÑO				
	SO <sub>2</sub>				
	1998	2000	2002	2004	2006
FUENTES PUNTALES	12.442	10.288	3.579	3.284	3.555
FUENTES DE ÁREA	5.354	45	40	41	34
FUENTES MÓVILES	4.670	4.348	4.929	3.321	3.324
VEGETACIÓN Y SUELOS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>TOTAL</b>	22.466	14.681	8.548	6.646	6.913

N/A. No aplica

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del GDF, Secretaría de Ecología del GEM y SEMARNAT.

Inventario de Emisiones: 1998, 2000, 2002, 2004 y 2006.

Con respecto a las emisiones anuales por monóxido de carbono (CO), que se muestra en tabla 55, en la cual se observa que las fuentes móviles son las principales generadoras de este contaminante, emitiéndose a la atmósfera cada período arriba de 1,5 millones de toneladas.

*Tabla 55. Emisiones de CO.*

SECTOR	EMISIONES				
	TON/AÑO				
	CO				
	1998	2000	2002	2004	2006
FUENTES PUNTALES	9.213	10.004	6.880	6.443	6.637
FUENTES DE ÁREA	25.960	6.633	7.612	7.731	6.900
FUENTES MÓVILES	1.733.663	2.018.788	1.927.101	1.777.907	1.976.799
VEGETACIÓN Y SUELOS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>TOTAL</b>	1.768.836	2.035.425	1.941.593	1.792.081	1.990.336

N/A. No aplica

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del GDF, Secretaría de Ecología del GEM y SEMARNAT. Inventario de Emisiones: 1998, 2000, 2002, 2004 y 2006.

El comportamiento de las emisiones totales de CO, indican que el año 2000 hubo un aumento del 15% de las emisiones con respecto al año 1998, para el año 2002 disminuyó un 5% con respecto al año 2000, también en el año 2004 se disminuyó en un 8% las emisiones con respecto al período anterior; sin embargo en el año 2006 volvió a incrementarse en un 11%.

Referente a la contaminación por óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), las fuentes móviles son las principales generadoras de este contaminante, el máximo se obtuvo en el año 1998, donde se emitieron 165.838 toneladas; le siguen las fuentes puntuales, que en el año 1998 también se emitió la cantidad máxima, por orden de importancia continúan las fuentes de área y finalmente la vegetación y suelo (ver tabla 56).

Tabla 56. Emisiones de NO<sub>x</sub>

SECTOR	EMISIONES				
	TON/AÑO				
	NO <sub>x</sub>				
	1998	2000	2002	2004	2006
FUENTES PUNTALES	26.988	24.717	19.543	19.737	21.255
FUENTES DE ÁREA	9.866	10.636	11.818	11.662	9.218
FUENTES MÓVILES	165.838	157.239	156.311	147.971	159.541
VEGETACIÓN Y SUELOS	3.193	859	590	626	1.248
<b>TOTAL</b>	205.885	193.451	188.262	179.996	191.262

Fuente: Secretaria del Medio Ambiente del GDF, Secretaria de Ecología del GEM y SEMARNAT.  
Inventario de Emisiones: 1998, 2000, 2002, 2004 y 2006.

A partir del año 2000 en los inventarios de emisiones se presenta algunas diferencias, se reportan los compuestos orgánicos totales (COT) en vez de los hidrocarburos totales (HC), separando el metano (CH<sub>4</sub>) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), incluyendo además de las emisiones de partículas menores a 2.5 µm (PM<sub>2.5</sub>), y el amoníaco (NH<sub>3</sub>).

Con respecto a los compuestos orgánicos totales (COT), se observa que las fuentes de área son las principales generadoras, le siguen en orden de importancia las fuentes móviles, las fuentes puntuales y finalmente las fuentes naturales; como se muestra en la tabla 57. La tendencia de las emisiones totales indica un incremento a través del tiempo, en el año 2006 se obtuvo el máximo de emisiones de este contaminante.

Por otro lado, se tiene que las fuentes de área son las principales generadoras de los compuestos orgánicos volátiles, le siguen las fuentes móviles, las fuentes puntuales y por último las fuentes naturales. La tendencia de las emisiones totales indica un incremento a través de los años, (ver tabla 57). Al igual que los COT, el máximo de emisiones totales por los compuestos orgánicos volátiles se presentó en el año 2006.

En el caso de las PM<sub>2.5</sub>, como se muestra en la tabla 58, las fuentes móviles fueron las principales generadoras de este contaminante, y la máxima cantidad de emisiones totales se obtuvo en el año 2002 con 6.777 toneladas, aunque para el año 2004 y 2006 se presentó una disminución de las emisiones.

Tabla 57. Emisiones de COT y COV

SECTOR	EMISIONES							
	TON/AÑO							
	COT				COV			
	2000	2002	2004	2006	2000	2002	2004	2006
FUENTES PUNTALES	22.794	75.933	119.746	112.209	22.010	71.072	114.101	106.992
FUENTES DE ÁREA	418.586	412.432	487.057	545.670	197.803	213.854	216.562	246.851
FUENTES MÓVILES	210.816	204.347	198.136	208.843	194.517	188.530	183.899	193.294
VEGETACIÓN Y SUELOS	15.425	16.644	17.606	27.481	15.425	16.644	17.606	27.481
<b>TOTAL</b>	<b>667.621</b>	<b>709.356</b>	<b>822.545</b>	<b>894.203</b>	<b>429.755</b>	<b>490.100</b>	<b>532.168</b>	<b>574.618</b>

Fuente: Secretaria del Medio Ambiente del GDF, Secretaria de Ecología del GEM y SEMARNAT.  
Inventario de Emisiones: 2000, 2002, 2004 y 2006.

Las fuentes de área son las principales generadoras de amoníaco y metano, le siguen por orden de importancia las fuentes móviles y finalmente las fuentes puntuales en ambos casos. Las emisiones totales por NH<sub>3</sub> se han incrementado a través del tiempo, mientras que las emisiones totales por metano disminuyeron en el año 2002 y volvieron a incrementarse en el año 2004, como se observa en la tabla 58.

Tabla 58. Emisiones de PM<sub>2,5</sub>, NH<sub>3</sub> y CH<sub>4</sub>

SECTOR	EMISIONES										
	TON/AÑO										
	PM <sub>2,5</sub>				NH <sub>3</sub>				CH <sub>4</sub>		
	2000	2002	2004	2006	2000	2002	2004	2006	2000	2002	2004
FUENTES PUNTALES	572	610	651	826	216	225	196	204	181	763	1.559
FUENTES DE ÁREA	492	2.193	1.962	1.264	12.969	13.236	13.543	15.381	168.549	152.576	223.690
FUENTES MÓVILES	4.589	3.518	3.748	3.835	2.261	3.472	3.775	4.351	11.593	10.565	9.816
VEGETACIÓN Y SUELOS	380	456	261	164	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
<b>TOTAL</b>	<b>6.033</b>	<b>6.777</b>	<b>6.622</b>	<b>6.089</b>	<b>15.446</b>	<b>16.933</b>	<b>17.514</b>	<b>19.936</b>	<b>180.323</b>	<b>163.904</b>	<b>235.065</b>

N/A. No aplica

Fuente: Secretaria del Medio Ambiente del GDF, Secretaria de Ecología del GEM y SEMARNAT.  
Inventario de Emisiones: 2000, 2002, 2004 y 2006.

Como se mencionó anteriormente con el inventario de emisiones del año 1998 se elaboraron la proyección de las emisiones al año 2010 y también sirvió de base para desarrollar el PROAIRE 2002– 2010, actualmente vigente; es por ello que en la tabla 59 se presenta una comparación de las emisiones de cuatro contaminantes criterios para los años 1998, 2000, 2002, 2004 y 2006 con respecto a las proyecciones del año 2010 sin programa y con programa de mejoramiento del aire.

Al comparar las emisiones totales de PM<sub>10</sub> en los diferentes períodos, se observa que ningún año ha rebasado el pronóstico de emisiones para el año 2010 sin programa, aunque el comportamiento de las emisiones muestran una tendencia no definida, ya que en el año 2000 se logra una reducción considerablemente, sin embargo en el período siguiente se volvieron a incrementar las emisiones; posteriormente bajaron y finalmente volvieron a subir en el año 2006. Por lo tanto, no es posible deducir si se logrará la meta establecida en el PROAIRE 2002-2010 de disminuir las emisiones de PM<sub>10</sub> en un 18% con respecto a la proyección del año 2010 sin programa de mejora.

*Tabla 59. Emisiones Anuales 1998-2010*

AÑO DEL INVENTARIO	EMISIONES (TON/AÑO)				
	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	TOTAL
1998	19.889	22.466	1.768.836	205.885	2.017.076
2000	10.341	14.681	2.035.425	193.451	2.253.898
2002	23.542	8.548	1.941.593	188.262	2.161.945
2004	20.686	6.646	1.792.081	179.996	1.999.409
2006	22.951	6.913	1.990.336	191.262	2.211.462
proyección 2010 sin programa	25.139	33.286	2.300.452	282.780	2.641.657
proyección 2010 con programa	20.614	27.960	1.702.334	161.185	1.912.093

Fuente: Secretaria del Medio Ambiente del GDF, Secretaria de Ecología del GEM y SEMARNAT. Inventario de Emisiones: 1998, 2000,

Con respecto al dióxido de azufre, las emisiones han disminuido del período 1998 al 2004, aunque en el 2006 se presentó un aumento de 267 toneladas, la tendencia es a la baja y de continuar así se podría esperar que se alcanzará e incluso se superará la meta de porcentaje de disminución establecido en el programa de mejoramiento de la calidad del aire.

En el caso de las emisiones totales de CO en los diferentes años, comprobamos que ningún período ha superado las emisiones pronosticadas para el año 2010 sin programa, pero también se muestra una tendencia no definida en su comportamiento; por lo tanto no se puede deducir si se logrará la meta de reducción de emisiones.

Referente al NO<sub>x</sub>, se observa que del año 1998 al 2004 una tendencia a la baja del total de emisiones, pero en el año 2006 se vuelve a incrementar la cantidad. En todos años se comprueba que no se han rebasado las emisiones proyectadas al año 2010 sin programa; pero tendremos que esperar al tiempo para verificar si se alcanzará el porcentaje de disminución establecido como meta en el PROAIRE.

Al considerar la suma de las emisiones totales de los cuatro contaminantes criterios, presentada en la última columna de la tabla 59, se observa que del año 1998 al 2004 se presentó una tendencia a la baja de las emisiones, sin embargo en el año 2006 se volvió a incrementar la cantidad; aunque ningún año ha rebasado las emisiones pronosticadas para el año 2010 sin programa.

Cabe aclarar que durante cada período que se elabora el inventario, se actualiza la información que se requiere para su desarrollo, razón por la cual se vuelve a recalcular las emisiones para años an-

teriores a la fecha de elaboración del inventario<sup>5</sup>, de tal manera que se puedan comparar al utilizar la misma técnica de cálculo. La actualización de la información se debe a los avances tecnológicos en la informática, a los sistemas de información geográfica, a la existencia de mejores fuentes de información, entre otras, que han contribuido en la disminución de las incertidumbres en las estimaciones. En la tabla 60, se muestra la tendencia de las emisiones recalculadas para el periodo 1990-2006, con los datos presentados en el inventario de emisiones del año 2006<sup>6</sup>.

*Tabla 60. Evolución de las Emisiones del 1990 al 2006*

AÑO DEL INVENTARIO	EMISIONES (TON/AÑO)					
	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	COT	COV
1990	41.358	70.436	4.730.297	242.471	1.016.651	876.608
1992	30.543	33.942	4.420.963	243.939	863.686	708.882
1994	30.212	26.676	3.820.866	234.872	859.108	674.195
1996	28.107	24.777	3.232.628	212.584	839.315	632.903
1998	32.520	14.780	1.792.964	185.013	737.419	513.127
2000	25.034	8.385	2.032.580	193.476	791.990	540.182
2002	23.473	8.548	1.941.656	188.262	821.014	542.572
2004	20.686	6.646	1.792.081	179.996	822.545	532.168
2006	22.951	6.913	1.990.336	191.262	894.203	574.618

Fuente: Secretaria del Medio Ambiente del GDF, Secretaria de Ecología del GEM y SEMARNAT (2006).

Con la información presentada en la tabla 60, se observa que las emisiones de los diferentes contaminantes tienen un comportamiento variable, ya que en algunos años se logra una disminución de la cantidad de emisiones, pero en el período siguiente se vuelve a incrementar. En general la tendencia es a la baja.

<sup>5</sup>GDF, GEM y SEMARNAT. "Inventarios de Emisiones: 1998, 2000, 2002, 2004 y 2006".

<sup>6</sup>GDF, GEM y SEMARNAT. "Inventarios de Emisiones, 2006 – versión preliminar".

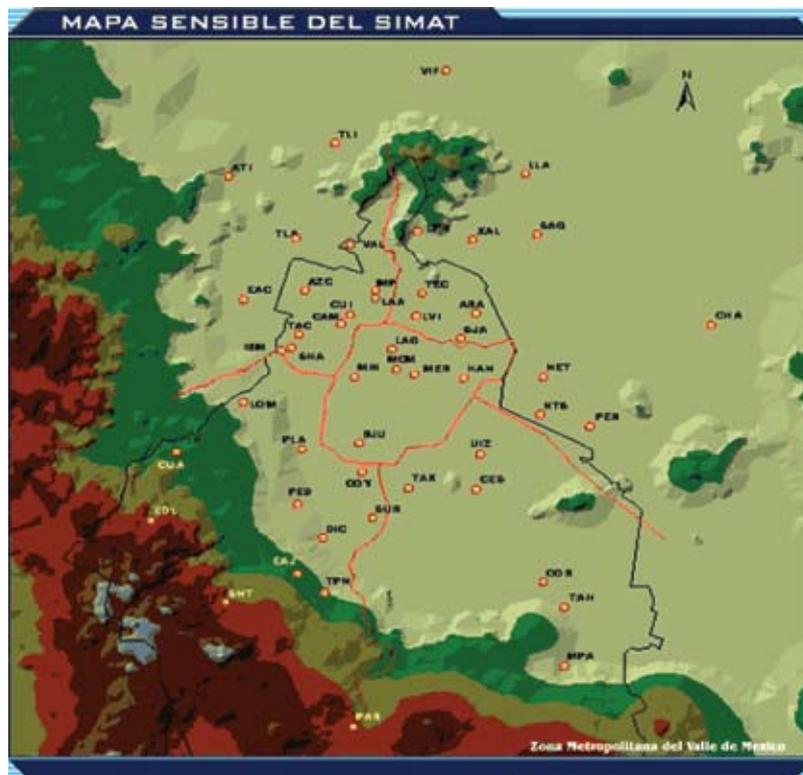
## ANEXO III.

### Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA)

La Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) es el subsistema del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT) que realiza mediciones continuas y permanentes minuto a minuto de ozono ( $O_3$ ), dióxido de azufre ( $SO_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), monóxido de carbono (CO), partículas menores a 10 micrómetros ( $PM_{10}$ ), partículas menores a 2.5 micrómetros ( $PM_{2.5}$ ) y ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ).

Esta red está integrada por 36 estaciones de monitoreo (Mapa 4), ubicadas en puntos estratégicos de la Ciudad de México, 24 están localizadas en el Distrito Federal y 12 en el Estado de México. Opera de manera continua las 24 horas del día, los 365 días del año, y se mantiene una vigilancia constante del comportamiento espacial y temporal de los contaminantes. Se aplica este criterio para informar de manera oportuna a la población sobre la situación prevaleciente de calidad del aire mediante el índice metropolitano de la calidad del aire. Asimismo se pone en marcha el programa de contingencia ambiental cuando los niveles de contaminación son críticos.

Mapa 4. Ubicación de las estaciones de la RAMA en la ZMCM



Fuente: Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT) .

El principio de operación de los equipos de medición con que trabaja la Red se muestran en la tabla 61, y en la tabla 62 se identifican los nombres y claves de las 36 estaciones de monitoreo.

*Tabla 61. Principio de operación de los equipos.*

CONTAMINANTE	PRINCIPIO DE OPERACIÓN
Ozono (O <sub>3</sub> )	Fotometría en el rango de ultravioleta
Óxidos de nitrógeno (NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> )	Quimiluminiscencia
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Fluorescencia pulsante
Monóxido de carbono (CO)	Espectroscopia no dispersiva por correlación de filtro gaseoso
Partículas menores a 10 micrómetros (PM <sub>10</sub> )	Atenuación de radiación beta y Balanza de Oscilación
Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM <sub>2,5</sub> )	Atenuación de radiación beta y Balanza de Oscilación
Ácido sulfhídrico (H <sub>2</sub> S)	Ionización de Flama

Fuente: Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT).

*Tabla 62. Nombres y claves de las estaciones de la RAMA.*

ESTACIONES DE MONITOREO DE LA RAMA EN EL DISTRITO FEDERAL			
CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE
LAG	Lagunilla	HAN	Hangares
VAL	Vallejo	UIZ	UAM – Iztapalapa
SUR	Santa Ursula	ARA	Aragón
TAC	Tacuba	IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
LVI	La Villa	BJU	Benito Juárez
AZC	Azcapotzalco	TAX	Taxqueña
MER	Merced	MIN	Metro Insurgentes
PED	Pedregal	CUI	Cuitláhuac
CES	Cerro de la Estrella	CUA	Cuajimalpa
PLA	Plateros	TPN	Tlalpan
TAH	Tláhuac	COY	Coyoacán
SJA	San Juan de Aragón	CAM	Camarones
ESTACIONES DE MONITOREO DE LA RAMA EN EL ESTADO DE MÉXICO			
CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE
EAC	ENEP Acatlán	NET	Nezahualcóyotl
LLA	Los Laureles	TLI	Tultitlán
LPR	La Presa	ATI	Atizapán
SAG	San Agustín	VIF	Villa de las Flores
TLA	Tlalnepantla	CHA	Chapingo
XAL	Xalostoc	PER	La Perla

Fuente: Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT).

La información histórica que ha proporcionado esta red es un elemento valioso para evaluar de manera indirecta, el impacto de las acciones de prevención y control que se han instrumentado para controlar fuentes específicas de contaminación y con ello mejorar la calidad del aire.

## ANEXO IV.

# Criterios para calcular las concentraciones de Ozono y PM<sub>10</sub>

---

El siguiente anexo tiene la finalidad de establecer los criterios para calcular las concentraciones de Ozono (O<sub>3</sub>) y las partículas micrométricas menores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>), establecidos en las normas oficiales NOM-020 y la NOM-025, actualmente vigentes.

En México, la Ley de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, menciona que la calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos, es por ello que se establece que la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) en coordinación con la Secretaría de Salud (SS) expedirán las normas oficiales mexicanas que indiquen los niveles permisibles de contaminación.

### Ozono

La presencia de Ozono en el aire se le atribuye a diversos procesos físicos – químicos; siendo la combinación de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos volátiles el proceso más importante para su formación. Los efectos del ozono sobre la salud humana se clasifican en función del tiempo de exposición; los daños a corto plazo, que comprende de una a tres horas; los daños prolongados, que abarca un periodo de exposición de seis a ocho horas; y finalmente los daños a largo plazo, en donde se agrupan las exposiciones durante meses o años.

En 1994 se publica la norma<sup>1</sup> NOM-020, que establece el criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al ozono y el valor normado permisible para la concentración del ozono; y es hasta el año 2002 se realizaron algunas modificaciones a la norma, referente a los criterios para calcular las concentraciones del ozono<sup>2</sup>.

### Criterios para Calcular las Concentraciones de Ozono

Para efectos de protección a la salud de la población más susceptible, se estableció en la norma dos valores.

La concentración de ozono, como contaminante atmosférico, debe ser menor o igual a 0,110 partes por millón (ppm) promedio horario, para no ser rebasado una vez al año, calculado como se especifica:

Cálculo del promedio de una hora para el límite de 0,110 ppm. Para cada sitio de monitoreo el valor de la concentración horaria de ozono se reportará en partes por millón; si se cuenta con valores de cuatro o más cifras decimales; el valor de la tercera cifra decimal será redondeado (del 1 al 5 no se

---

<sup>1</sup>SS, 1994. Norma Oficial Mexicana (NOM -020- SSA1- 1993).

<sup>2</sup>SS, 2002. Modificación a la Norma Oficial Mexicana (NOM -020- SSA1- 1993).

incrementara, del 6 al 9 se incrementará al inmediato superior). El valor del promedio horario se considerará como válido cuando se calcule con al menos el 75% de las horas (45 minutos).

Para determinar el cumplimiento del límite de 0,110 ppm en cada sitio de monitoreo ambiente, se tomará en cuenta los días que tengan al menos el 75% de los valores horarios (18 horas). Un sitio cumplirá con la norma cuando cada uno de los valores horarios sea menor o igual a 0,110 ppm. En el caso en que se cuente con menos del 75% de los valores horarios, se incumplirá la norma cuando uno de los valores horarios sea mayor a 0,110 ppm.

En el caso, de la concentración del promedio de ocho horas de ozono, como contaminante atmosférico, debe ser menor o igual a 0,080 ppm, tomando el quinto máximo, en un período de un año, calculando como se especifica:

Cálculo del promedio de ocho horas para el límite de 0,080 ppm. Para cada sitio de monitoreo el valor de la concentración horaria de ozono se reportará en partes por millón hasta la tercera cifra decimal. Si la concentración horaria se reporta con valores de cuatro o más cifras decimales, el valor será redondeado. Para obtener el valor de ocho horas se promediarán los valores horarios de las ocho horas previas continuas, registrando el resultado en la última hora promediada. Este cálculo se aplicará a cada una de las horas del día. Un promedio será considerado válido cuando se haya calculado con al menos 75% de los posibles valores horarios (6 horas). Cuando se tenga menos de ocho horas, el promedio se calculará usando como divisor seis o siete, según sea el caso.

Obtención del promedio máximo diario de ocho horas. Para cada día de muestreo se obtendrán 24 valores, uno por cada hora. Un día será considerado como válido cuando cuente con al menos 75% de los 24 valores posibles (18 valores). En caso de tener menos de 75% de los valores, cuando el promedio máximo de ocho horas sea mayor al límite de 0,080 ppm, el día se considerará como válido aún con que se cuente con menos del 75% de los valores. El promedio máximo diario será el valor promedio más alto registrado durante el día.

Para determinar el cumplimiento del límite de 0,080 ppm en cada sitio de monitoreo del aire ambiente se tomarán únicamente los promedios máximos diarios. Para un año calendario, se obtendrán 365 valores (366 para años bisiestos). Un sitio cumplirá con la norma cuando cuente con más del 75% de los datos válidos (274 datos) y el valor del quinto máximo del año sea menor o igual a 0,080 ppm.

### **Partículas Micrométricas**

Las partículas se encuentran suspendidas en el aire, su tamaño varía de 0,0005  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$  y su presencia puede ser en forma sólida o líquida. Las partículas son generadas por una variedad de fuentes naturales y antropogénicas, por la quema de combustibles fósiles de vehículos y procesos industriales. Se emiten a la atmósfera directamente o se forman por la transformación de emisiones gaseosas como son los óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles. El riesgo a la salud está en función de la concentración, tiempo de exposición y las características físicas; siendo susceptibles aquellas personas que tienen enfermedades respiratorias.

En el año de 1994 se publica la norma<sup>3</sup> NOM-025, que establece el valor permisible para la concentración de partículas menores a 10 micras (PM<sub>10</sub>) en el aire, para el año 2005 se realizaron modificaciones a la norma<sup>4</sup>. Entre los cambios, se destaca el establecimiento de los valores de concentración máxima de las partículas suspendidas totales (PST), las partículas menores de 2,5 micrómetros (PM<sub>2,5</sub>), y las PM<sub>10</sub>; así como los nuevos criterios para calcular las concentraciones.

### **Criterios para Calcular las Concentraciones de las PM<sub>10</sub>.**

Para efectos de protección a la salud de la población susceptible, se establecen los valores de concentración máxima para las partículas menores a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>), como contaminantes atmosférico, no deben rebasar el límite permisible de 120 µg/m<sup>3</sup> promedio de 24 horas y 50 µg/m<sup>3</sup> promedio anual.

En cada sitio de monitoreo, la concentración promedio de 24 horas de PM<sub>10</sub> se reportará en µg/m<sup>3</sup>, sin cifras decimales. Si se cuenta con valores de una o más cifras decimales, el valor será redondeado. Si el primer decimal es menor o igual a 5, el valor entero no se incrementa, si es mayor se incrementa al inmediato superior.

La concentración promedio anual o trimestral para PM<sub>10</sub> se reportará en µg/m<sup>3</sup>, tomando en cuenta una cifra decimal. Si se cuenta con valores de más de una cifra decimal, el valor será redondeado de acuerdo al criterio del párrafo anterior.

Para poder verificar la observancia de esta Norma se requerirá de un mínimo de datos en un año. Este mínimo se evalúa a partir de la cantidad de muestras de 24 horas válidas obtenidas en cada uno de los cuatro trimestres del año (ver tabla 63). Para cada trimestre se requerirá un mínimo de 75% de muestras válidas. Dato que con los sitios donde el monitoreo no se realice diariamente, se tomará como base el número de muestreos calendarizados para dicho periodo. Si la cantidad de muestras es menor se invalidará el trimestre correspondiente. Para la validación del año es necesario contar con al menos tres trimestres válidos que cumplan con el número de muestras válidas ya especificado, en caso contrario no podrá evaluarse el cumplimiento de la norma para ese año.

*Tabla 63. Criterio de Calidad de los Datos de Monitoreo.*

TRIMESTRE	MESES
1	enero, febrero, marzo
2	abril, mayo, junio
3	julio, agosto, septiembre
4	octubre, noviembre, diciembre

Un sitio cumple con la norma de PM<sub>10</sub> para el promedio de 24 horas cuando el valor del percentil 98, calculado como se indica en el siguiente párrafo, es menor o igual a 120 µg/m<sup>3</sup>.

<sup>3</sup>SS, 1994. Norma Oficial Mexicana (NOM -025- SSA1- 1993).

<sup>4</sup>SS, 2005. Modificación a la Norma Oficial Mexicana (NOM -025- SSA1- 1993).

El valor del percentil 98 se calcula como se indica a continuación.

- Se ordenan los valores diarios de concentración obtenidos durante un año en una serie ascendente  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  en la que cada valor es igual o mayor que el valor anterior  $x_n = x_{n-1}$ .
- Se multiplica el número total de valores,  $n$ , por 0,98. Se toma la parte entera del valor resultante,  $i$ , y el valor del percentil 98 se calcula con la ecuación:

$$P_{0,98} = x_{i+1} \quad (37)$$

donde:

$P_{0,98}$  = percentil 98.

$i$  = la parte entera del producto de 0,98 y  $n$

$x_{i+1}$  = es el número  $(i+1)$ -ésimo número en la serie ordenada.

- El percentil 98,  $P_{0,98}$ , es el valor de concentración con índice  $(i+1)$  en la serie ordenada de valores.

Un sitio cumple con la norma anual de  $PM_{10}$  cuando el promedio anual de los valores diarios, calculado como se indica, es menor o igual a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Se calcula el promedio trimestral aplicando la siguiente fórmula:

$$\bar{x}_t = \frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} x_{i,t} \quad (38)$$

donde:

$\bar{x}_t$  = promedio para el trimestre  $t$ .

$n_t$  = número de datos válidos en el trimestre  $t$ .

$x_{i,t}$  = valor de concentración correspondiente al día  $i$  dentro del trimestre  $t$ .

El promedio anual se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\bar{x}_a = \frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} x_t \quad (39)$$

$\bar{x}_a$  = promedio anual.

$n_t$  = número de trimestres válidos en el año.

## ANEXO V.

### Funciones Dosis - Respuesta

Las Funciones Dosis – Respuestas utilizadas en la estimación de los impactos, se presentan en las siguientes tablas.

*Tabla 64: Funciones exposición respuesta utilizadas para la estimación en los cambios en la mortalidad por la disminución en la contaminación por Ozono.*

EFEECTO	FUNCIÓN C-R	ESTUDIO
MORTALIDAD	$\Delta Mortalidad = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta O_3} - 1)] \cdot pop$ <p>donde:  <math>\Delta Mortalidad</math> = Cambio en la mortalidad  <math>y_0</math> = Tasa de mortalidad no accidental  <math>\beta</math> = Coeficiente ozono = 0,3 %  <math>\Delta O_3</math> = Cambio en la concentración anual 8 h de <math>O_3</math> en <math>\mu g/m^3</math>.  <math>pop</math> = población todas las edades</p>	Anderson et al (2004)
MORTALIDAD	$\Delta Mortalidad = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta O_3} - 1)] \cdot pop$ <p>donde:  <math>\Delta Mortalidad</math> = Cambio en la mortalidad  <math>y_0</math> = Tasa de mortalidad no accidental  <math>\beta</math> = Coeficiente ozono = 0,5 %  <math>\Delta O_3</math> = Cambio en la concentración anual 24 h de <math>O_3</math> en <math>\mu g/m^3</math>.  <math>pop</math> = población todas las edades</p>	Levy et al (2000)
MORTALIDAD	$\Delta Mortalidad = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta O_3} - 1)] \cdot pop$ <p>donde:  <math>\Delta Mortalidad</math> = Cambio en la mortalidad  <math>y_0</math> = Tasa de mortalidad no accidental  <math>\beta</math> = Coeficiente ozono = 0,4 %  <math>\Delta O_3</math> = Cambio en la concentración anual 24 h de <math>O_3</math> en <math>\mu g/m^3</math>.  <math>pop</math> = población todas las edades</p>	Borja Aburto (1998)

Tabla 65: Funciones exposición respuesta utilizadas para la para la estimación en los cambios en la mortalidad por la disminución en la contaminación por partículas.

EFEECTO	FUNCIÓN C-R	ESTUDIO
MORTALIDAD	$\Delta Mortalidad = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta PM_{10}} - 1)] \cdot pop$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta Mortalidad</math> = Cambio en la mortalidad  <math>y_0</math> = Tasa de mortalidad no accidental  <math>\beta</math> = Coeficiente <math>PM_{10} = 1 \%</math>  <math>\Delta PM_{10}</math> = Cambio en la concentración anual de <math>PM_{10}</math> en <math>\mu g/m^3</math>.  <math>pop</math> = población todas las edades</p>	Molina (2002)
MORTALIDAD	$\Delta Mortalidad = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta PM_{10}} - 1)] \cdot pop$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta Mortalidad</math> = Cambio en la mortalidad  <math>y_0</math> = Tasa de mortalidad no accidental  <math>\beta</math> = Coeficiente <math>PM_{10} = 0,104 \%</math>  <math>\Delta PM_{10}</math> = Cambio en la concentración anual de <math>PM_{10}</math> en <math>\mu g/m^3</math>.  <math>pop</math> = población todas las edades  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta = 0,0405</math></p>	Schwartz (1993)
MORTALIDAD	$\Delta Mortalidad = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta PM_{10}} - 1)] \cdot pop$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta Mortalidad</math> = Cambio en la mortalidad  <math>y_0</math> = Tasa de mortalidad no accidental  <math>\beta</math> = Coeficiente <math>PM_{10} = 0,386 \%</math>  <math>\Delta PM_{10}</math> = Cambio en la concentración anual de <math>PM_{10}</math> en <math>\mu g/m^3</math>.  <math>pop</math> = población &gt; 30 años  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta = 0,091</math></p>	Pope et al (1995)

Tabla 66: Funciones exposición respuesta utilizadas para la estimación en los cambios en la morbilidad por la disminución en la contaminación por Ozono.

EFECTO	FUNCIÓN C-R	ESTUDIO
<p><b>ADMISIÓN A HOSPITALES</b></p> <p><b>ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (NEUMONÍA)</b></p>	$\Delta \text{Admisión}(\text{neumonía}) = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta O_3} - 1)] \cdot \text{pop}$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta \text{Admisión}(\text{neumonía})</math> = Cambio en Admisión por neumonía.  <math>y_0</math> = Tasa de enfermedades respiratorias (neumonía).  <math>\beta</math> = Coeficiente ozono = 0,521 %  <math>\Delta O_3</math> = Cambio en la concentración anual 24 h de <math>O_3</math> (ppb).  <math>\text{pop}</math> = población todas las edades.  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta = 0,13</math></p>	Schwartz (1995)
<p><b>ADMISIÓN A HOSPITALES</b></p> <p><b>ENFERMEDADES RESPIRATORIAS</b></p>	$\Delta \text{Admisión}(\text{Enf - Resp}) = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta O_3} - 1)] \cdot \text{pop}$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta \text{Admisión}(\text{Enf - Resp})</math> = Cambio en Admisión Enf. Resp .  <math>y_0</math> = Tasa de enfermedades respiratorias.  <math>\beta</math> = Coeficiente ozono = 0,5 %  <math>\Delta O_3</math> = Cambio en la concentración anual 8 h de <math>O_3</math> (ppb).  <math>\text{pop}</math> = población &gt; 65 años.  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta = 0,70</math></p>	Anderson et al (2004)
<p><b>ADMISIÓN A HOSPITALES</b></p> <p><b>ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA (COPD)</b></p>	$\Delta \text{Admisión}(\text{COPD}) = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta O_3} - 1)] \cdot \text{pop}$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta \text{Admisión}(\text{COPD})</math> = Cambio en Admisión por COPD .  <math>y_0</math> = Tasa de COPD.  <math>\beta</math> = Coeficiente ozono = 0,6170  <math>\Delta O_3</math> = Cambio en la concentración anual 24 h de <math>O_3</math> (ppb).  <math>\text{pop}</math> = población todas las edades.  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta = 0,2305</math></p>	Schwartz (1995)
<p><b>ADMISIÓN A HOSPITALES</b></p> <p><b>ASMA</b></p>	$\Delta \text{Admisión}(\text{Asma}) = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta O_3} - 1)] \cdot \text{pop}$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta \text{ERV}'s(\text{Asma})</math> = Cambio en Admisión por Asma.  <math>y_0</math> = Tasa de Enfermedad - Asma  <math>\beta</math> = Coeficiente ozono = 0,00250  <math>\Delta O_3</math> = Cambio en la concentración anual 24 h de <math>O_3</math> (ppb).  <math>\text{pop}</math> = población todas las edades.  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta = 0,000718</math></p>	Burnett et al (1999)

Tabla 66: Funciones exposición respuesta utilizadas para la estimación en los cambios en la morbilidad por la disminución en la contaminación por Ozono (continuación).

EFECTO	FUNCIÓN C-R	ESTUDIO
<p>VISITAS A SALAS DE EMERGENCIA (ERV's)</p> <p>ASMA</p>	$\Delta ERV's(Asma) = \frac{\beta}{Basepop} \cdot \Delta O_3 \cdot pop$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta ERV's(Asma)</math> = Cambio ERV's por Asma.  <math>\beta</math> = Coeficiente ozono = 0,75 %  <math>Basepop</math> = Población línea base  <math>\Delta O_3</math> = Cambio en la concentración anual 1 h de O<sub>3</sub> (ppb).  <math>pop</math> = población todas las edades.  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta</math> = 0,26</p>	<p>Cody et al (1992)</p>
<p>DÍAS DE ACTIVIDAD RESTRINGIDA MENORES (MRAD's)</p>	$\Delta MRAD's = \Delta y \cdot pop = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta O_3} - 1)] \cdot pop$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta MRAD's</math> = Cambio en MRAD's.  <math>y_0</math> = Tasa de incidencia de MRAD  <math>\beta</math> = Coeficiente = 0,00220  <math>\Delta O_3</math> = Cambio en la concentración anual 1 h de O<sub>3</sub> (ppb).  <math>pop</math> = población &gt; 18 años &lt; 65 años  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta</math> = 0,000658</p>	<p>Ostro y Rothschild (1989)</p>
<p>ATAQUES DE ASMA</p> <p>ENFERMOS DE ASMA</p>	$\Delta Ataques - Asma = \left[ \frac{y_0}{(1 - y_0 \cdot e^{\Delta O_3 \beta} + y_0)} - y_0 \right] \cdot pop$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta Ataques - Asma</math> = Cambio en Ataques de Asma.  <math>y_0</math> = Tasa de incidencia de Ataques de Asma.  <math>\beta</math> = Coeficiente ozono = 0,00184  <math>\Delta O_3</math> = Cambio en la concentración anual 1 h de O<sub>3</sub> (ppb).  <math>pop</math> = población todas las edades  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta</math> = 0,000714</p>	<p>Whittemore and Korn (1980)</p>
<p>SÍNTOMAS</p>	$\Delta \text{sin tomas} = \beta \cdot \Delta O_3 \cdot pop$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta \text{sin tomas}</math> = Cambio en síntomas.  <math>\beta</math> = Coeficiente = 0,0001370  <math>\Delta O_3</math> = Cambio en la concentración anual 1 h de O<sub>3</sub> (ppb).  <math>pop</math> = población &gt; 18 años &lt; 65 años  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta</math> = 0,00007</p>	<p>Krupnick et al (1990)</p>

Tabla 67: Funciones exposición respuesta utilizadas para la estimación en los cambios en la morbilidad aguda por la disminución en la contaminación por  $PM_{10}$ .

EFEECTO	FUNCIÓN C-R	ESTUDIO
<b>ADMISIÓN A HOSPITALES</b>  <b>ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (NEUMONÍA)</b>	$\Delta \text{Admisión}(\text{neumonía}) = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta PM_{10}} - 1)] \cdot pop$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta \text{Admisión}(\text{neumonía})</math> = Cambio en Admisión por neumonía.  <math>y_0</math> = Tasa de enfermedades respiratorias (neumonía).  <math>\beta</math> = Coeficiente <math>PM_{10} = 0,00115</math>  <math>\Delta PM_{10}</math> = Cambio en la concentración anual de <math>PM_{10}</math> en <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>.  <math>pop</math> = población todas las edades.  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta = 0,00039</math></p>	Schwartz (1994)
<b>ADMISIÓN A HOSPITALES</b>  <b>ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (NEUMONÍA)</b>	$\Delta \text{Admisión}(\text{neumonía}) = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta PM_{10}} - 1)] \cdot pop$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta \text{Admisión}(\text{neumonía})</math> = Cambio en Admisión por neumonía.  <math>y_0</math> = Tasa de enfermedades respiratorias (neumonía).  <math>\beta</math> = Coeficiente <math>PM_{10} = 0,002049</math>  <math>\Delta PM_{10}</math> = Cambio en la concentración anual de <math>PM_{10}</math> en <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>.  <math>pop</math> = Ancianos &gt; 65 años.  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta = 0,000570</math></p>	Samet (2000)
<b>ADMISIÓN A HOSPITALES</b>  <b>ENFERMEDADES RESPIRATORIAS (NEUMONÍA)</b>	$\Delta \text{Admisión}(\text{neumonía}) = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta PM_{10}} - 1)] \cdot pop$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta \text{Admisión}(\text{neumonía})</math> = Cambio en Admisión por neumonía.  <math>y_0</math> = Tasa de enfermedades respiratorias (neumonía).  <math>\beta</math> = Coeficiente <math>PM_{10} = 0,00115</math>  <math>\Delta PM_{10}</math> = Cambio en la concentración anual de <math>PM_{10}</math> en <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>.  <math>pop</math> = población Ancianos &gt;65 años.  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta = 0,00039</math></p>	Schwartz (1994)
<b>ADMISIÓN A HOSPITALES</b>  <b>ENFERMEDAD PULMONAR OBSTRUCTIVA CRÓNICA (COPD)</b>	$\Delta \text{Admisión}(\text{COPD}) = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta O_3} - 1)] \cdot pop$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta \text{Admisión}(\text{COPD})</math> = Cambio en Admisión por COPD.  <math>y_0</math> = Tasa de COPD.  <math>\beta</math> = Coeficiente <math>PM_{10} = 0,227</math>  <math>\Delta PM_{10}</math> = Cambio en la concentración anual de <math>PM_{10}</math> en <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>.  <math>pop</math> = población todas las edades.  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta = 0,066</math></p>	Schwartz (1994) y Burnett <i>et al</i> (1994)

Tabla 67: Funciones exposición respuesta utilizadas para la estimación en los cambios en la morbilidad aguda por la disminución en la contaminación por  $PM_{10}$  (continuación).

EFFECTO	FUNCION C-R	ESTUDIO
<b>ADMISION A HOSPITALES</b>  <b>ASMA</b>	$\Delta ERV's(Asma) = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta PM_{10}} - 1)] \cdot pop$ <p>donde:  <math>\Delta Admisión(Asma)</math> = Cambio en Admisión por Asma.  <math>y_0</math> = Tasa de Enfermedad - Asma  <math>\beta</math> = Coeficiente <math>PM_{10}</math> = 0,00321  <math>\Delta PM_{10}</math> = Cambio en la concentración anual de <math>PM_{10}</math> en <math>\mu g/m^3</math>.  <math>pop</math> = población todas las edades.  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta</math> = 0,00106</p>	Burnett et al (1999)
<b>VISITAS A SALAS DE EMERGENCIA (ERV's)</b>  <b>ASMA</b>	$\Delta ERV's(Asma) = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta PM_{10}} - 1)] \cdot pop$ <p>donde:  <math>\Delta ERV's(Asma)</math> = Cambio ERV's por Asma.  <math>y_0</math> = Tasa de visitas a salas de emergencia por Asma  <math>\beta</math> = Coeficiente <math>PM_{10}</math> = 0,016527  <math>\Delta PM_{10}</math> = Cambio en la concentración anual de <math>PM_{10}</math> en <math>\mu g/m^3</math>.  <math>pop</math> = población &lt; 18 años.  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta</math> = 0,004139</p>	Norris (1999)
<b>VISITAS A SALAS DE EMERGENCIA (ERV's)</b>  <b>ASMA</b>	$\Delta ERV's(Asma) = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta PM_{10}} - 1)] \cdot pop$ <p>donde:  <math>\Delta ERV's(Asma)</math> = Cambio ERV's por Asma.  <math>y_0</math> = Tasa de visitas a salas de emergencia por Asma  <math>\beta</math> = Coeficiente <math>PM_{10}</math> = 0,00367  <math>\Delta PM_{10}</math> = Cambio en la concentración anual de <math>PM_{10}</math> en <math>\mu g/m^3</math>.  <math>pop</math> = población &lt; 65 años.  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta</math> = 0,00126</p>	Schwartz (1993)
<b>DÍAS DE ACTIVIDAD RESTRINGIDA (RAD's)</b>	$\Delta RAD's = \Delta y \cdot pop = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta PM_{10}} - 1)] \cdot pop$ <p>donde:  <math>\Delta RAD's</math> = Cambio en RAD's.  <math>y_0</math> = Tasa de incidencia de RAD  <math>\beta</math> = Coeficiente <math>PM_{10}</math> = 0,00475  <math>\Delta PM_{10}</math> = Cambio en la concentración anual de <math>PM_{10}</math> en <math>\mu g/m^3</math>.  <math>pop</math> = población &gt; 18 años &lt; 65 años  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta</math> = 0,00029</p>	Ostro (1987)

Tabla 67: Funciones exposición respuesta utilizadas para la estimación en los cambios en la morbilidad aguda por la disminución en la contaminación por  $PM_{10}$  (continuación).

EFECTO	FUNCIÓN C-R	ESTUDIO
<p><b>DÍAS DE TRABAJO PERDIDO (WLD)</b></p>	$\Delta WLD = \Delta y \cdot pop = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta PM_{10}} - 1)] \cdot pop$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta WLD</math> = Cambio en WLD.  <math>y_0</math> = Tasa de incidencia de WLD.  <math>\beta</math> = Coeficiente <math>PM_{10}</math> = 0,0046  <math>\Delta PM_{10}</math> = Cambio en la concentración anual de <math>PM_{10}</math> en <math>\mu g/m^3</math>.  <math>pop</math> = población &gt; 18 años &lt; 65 años  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta</math> = 0,00036</p>	<p>Ostro (1987)</p>
<p><b>DÍAS DE ACTIVIDAD RESTRINGIDA MENORES (MRAD's)</b></p>	$\Delta MRAD's = \Delta y \cdot pop = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta O_3} - 1)] \cdot pop$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta MRAD's</math> = Cambio en MRAD's.  <math>y_0</math> = Tasa de incidencia de MRAD  <math>\beta</math> = Coeficiente <math>PM_{10}</math> = 0,00741  <math>\Delta PM_{10}</math> = Cambio en la concentración anual de <math>PM_{10}</math> en <math>\mu g/m^3</math>.  <math>pop</math> = población &gt; 18 años &lt; 65 años  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta</math> = 0,0007</p>	<p>Ostro (1989)</p>
<p><b>SÍNTOMAS</b></p>	$\Delta \text{sin tomas} = \beta \cdot \Delta PM_{10} \cdot pop$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta \text{sin tomas}</math> = Cambio en síntomas.  <math>\beta</math> = Coeficiente <math>PM_{10}</math> = 0,000461  <math>\Delta PM_{10}</math> = Cambio en la concentración anual de <math>PM_{10}</math> en <math>\mu g/m^3</math>.  <math>pop</math> = población &gt; 18 años &lt; 65 años  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta</math> = 0,000239</p>	<p>Krupnick et al (1990)</p>

Tabla 68: Funciones exposición respuesta utilizadas para la estimación en los cambios en la morbilidad Crónica por la disminución en la contaminación por  $PM_{10}$ .

EFECTO	FUNCIÓN C-R	ESTUDIO
<p><b>BRONQUITIS CRÓNICA</b></p>	$\Delta Bronquitis - crónica = \left[ \frac{y_0}{(1 - y_0) \cdot e^{\beta \Delta PM_{10}} + y_0} - y_0 \right] \cdot \left[ \frac{z_0}{y_0} \right] \cdot pop$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta Bronquitis - crónica</math> = Cambio en Bronquitis-crónica.  <math>y_0</math> = Tasa nacional de incidencia de Bronquitis-crónica.  <math>z_0</math> = Tasa de incidencia de Bronquitis crónica  <math>\beta</math> = Coeficiente <math>PM_{10}</math> = 0,0123  <math>\Delta PM_{10}</math> = Cambio en la concentración anual de <math>PM_{10}</math> en <math>\mu g/m^3</math>.  <math>pop</math> = población &gt; 30 años.  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta</math> = 0,00434</p>	<p>Krupnick et al (1990)</p>
<p><b>PREVALENCIA ENFERMEADES RESPIRATORIAS</b></p>	$\Delta Enf - Re sp = -[y_0 \cdot (e^{-\beta \Delta PM_{10}} - 1)] \cdot pop$ <p>donde:</p> <p><math>\Delta Enf - Re sp</math> = Prevalencia de Enfermedades Respiratorias.  <math>y_0</math> = Tasa de incidencia de Enfermedades Respiratorias.  <math>\beta</math> = Coeficiente <math>PM_{10}</math> = 0,1060  <math>\Delta PM_{10}</math> = Cambio en la concentración anual de <math>PM_{10}</math> en <math>\mu g/m^3</math>.  <math>pop</math> = población &gt; 18 años.  <math>\sigma_{\beta}</math> = Error estándar de <math>\beta</math> = 0,045</p>	<p>Schwartz (1993)</p>

## ANEXO VI.

### Tamaño de la muestra

---

En un muestreo aleatorio simple, cada elemento de la población tiene la misma probabilidad de ser seleccionado para integrar la muestra. Además en la estimación del tamaño de una muestra se tiene que tener presente si es conocida o no la varianza poblacional.

Para determinar el tamaño de la muestra necesario, con un error máximo permisible  $d$  prefijado por el muestrista o el investigador y conocida la varianza poblacional ( $\sigma^2$ ), se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$n = \left[ \frac{\sigma Z_{1-\frac{\alpha}{2}}}{d} \right]^2 \quad (40)$$

$d$ , es el error estándar o error máximo prefijado y está dado por la expresión  $d = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$  para el nivel de confianza  $1 - \alpha$  y constituye una medida de la precisión de la estimación.

Cuando se desconoce la varianza población, que es lo más frecuente en la práctica, se recomienda utilizar la varianza poblacional de la muestra piloto. Por otro lado, en Vega *et al*, se recomienda utilizar la siguiente fórmula<sup>1</sup> cuando no se tienen antecedentes.

$$n = \frac{z^2(p * q)}{e^2} \quad (41)$$

donde:

$n$  = Tamaño de la muestra.

$Z$  = Valor de tablas (área bajo la distribución normal estandarizada).

$p$  = Antecedentes.

$q$  = 1- antecedentes.

$e$  = Error

En el caso de estudio de la ZMCM, a partir del número de habitantes mayores de 18 años de edad, quienes toman decisiones de consumo, se estimó el tamaño de la muestra, se consideró un muestreo aleatorio simple, se asumió que los datos tienen un comportamiento de distribución normal.

Si se considera la varianza de la prencuesta, como la varianza poblacional, con diferentes niveles de confianza y valores de  $d$ , se obtienen los diferentes tamaños de muestra que se muestran en la tabla 69.

---

<sup>1</sup>Vega R et al. "Aspectos prácticos sobre el tamaño de la muestra"

*Tabla 69. Estimación del tamaño de la muestra*

NIVEL DE CONFIANZA	VALOR DE Z	NIVEL DE ERROR	MUESTRA
0,95	1,96	0,10	1.395
0,95	1,96	0,05	5.581
0,95	1,96	0,03	15.503
0,95	1,96	0,02	34.882
0,95	1,96	0,01	139.526
0,96	2,06	0,05	6.165
0,96	2,06	0,04	9.633
0,97	2,17	0,04	10.689
0,97	2,17	0,03	19.003
0,97	2,17	0,01	171.027

Bajo el supuesto de que p y q son desconocidos, porque no se tiene antecedentes de estudios para estimar el Valor Estadístico de la Vida aplicados en la ZMCM, se otorga el valor de 50% o 0,5.

En la tabla 70 se presentan los diferentes tamaños de muestra con variaciones en el error y el nivel de confianza.

*Tabla 70. Estimación del tamaño de la muestra*

NIVEL DE CONFIANZA	VALOR DE Z	NIVEL DE ERROR	P	Q	MUESTRA
0,95	1,96	0,05	0,5	0,5	384
0,95	1,96	0,04	0,5	0,5	600
0,95	1,96	0,03	0,5	0,5	1067
0,95	1,96	0,02	0,5	0,5	2401
0,95	1,96	0,01	0,5	0,5	9604
0,96	2,06	0,05	0,5	0,5	424
0,96	2,06	0,04	0,5	0,5	663
0,97	2,17	0,04	0,5	0,5	736
0,97	2,17	0,03	0,5	0,5	1308
0,97	2,17	0,01	0,5	0,5	11772

Sin embargo, en los estudios de Valoración Contingente, dado que el tamaño total de la muestra, esta limitado principalmente por las restricciones presupuestarias del investigador, se recomienda trabajar por lo menos con 500 datos.

## ANEXO VII.

### Modelo DWEABS

---

En el método de Valoración Contingente el diseño de la encuesta es fundamental, debido a que se trabaja con una situación hipotética y respuestas subjetivas, se deben considerar: el tamaño de la muestra, niveles de pagos, distribución del tamaño de la muestra y la elección del tipo de formato a utilizar.

Dado que el tamaño total de la muestra, se ve limitado principalmente por las restricciones presupuestarias para el investigador, motivo por el cual se debe elegir el criterio que optimice el vector de pagos. Joseph Cooper (1993) diseñó una metodología de selección de pagos con distribución de áreas iguales (DWEABS<sup>1</sup>, por sus siglas en inglés), basada en la minimización del error cuadrado medio (ECM) de la disposición a pagar ( $DAP$ ). El error cuadrático medio se define como la suma entre la varianza de la  $DAP$  y el sesgo de la  $DAP$  al cuadrado:

$$ECM = Varianza + (sesgo\_DAP)^2$$
$$ECM(D\hat{A}P) = E[D\hat{A}P - E(D\hat{A}P)]^2 + [E(D\hat{A}P) - DAP]^2 \quad (42)$$

donde:

$D\hat{A}P$  = Es el estimador de la verdadera media poblacional de  $DAP$ .

Con el modelo se obtiene el valor óptimo de pagos  $b$ , el número óptimo de rangos de pago  $m$  y una distribución óptima del tamaño de la submuestra  $n$  entre los vectores de pago  $b$ . En la determinación de  $b$  y  $n$  se sigue un proceso iterativo de dos pasos.

1. Dado el tamaño total de la muestra  $N$ , el número máximo de rangos de pago  $m$  y la distribución de probabilidad de la  $DAP$  seleccionada a priori, el modelo divide el área bajo la función de densidad de probabilidad (f.d.p.) de  $DAP$  en áreas iguales, fijando los rangos de pagos en los límites entre las áreas.

En este proceso de selección la diferencia entre rangos aumenta a medida que aumenta la distancia de la mediana. Como  $m$  es finito, esta es una forma eficiente de distribuir  $b$ ; por tanto, en la región de más alta densidad dichas cantidades estarán cerca unas de otras; y más apartadas, en la región de menor densidad.

---

<sup>1</sup>Bid Distribution With Equal Area Bid Selection (DWEABS).

2. Para el conjunto de pagos seleccionados, se deriva la distribución de  $n$  entre los rangos de pagos minimizando el ECM:

$$\begin{aligned} & \text{Min}_{n_1..n_z} \left[ (DAP - \hat{DAP})^2 + \text{Var}(\hat{DAP}) \right] \\ & s / a \\ & \sum_{i=1}^z n_i = N \end{aligned} \tag{43}$$

donde  $n_i \geq 0$  para  $i = 1, \dots, n$ .

El modelo DWEABS es iterativo desde  $z = 1$  hasta  $N$ , examinando el diseño de los rangos de pago para cada valor de  $z$ .

Para el caso de estudio de la ZMCM, se estimó el valor óptimo de pago  $b$ , el número óptimo de rangos de pago  $m$  y una distribución óptima del tamaño de las submuestras  $n$  entre los vectores de pago  $b$  utilizando el modelo DWEABS<sup>2</sup> de Cooper. Para esto, se emplearon los datos obtenidos en la encuesta con formato de pregunta abierta, la cual otorga la máxima  $DAP$  que tienen de los individuos por disminuir el riesgo de mortalidad asociado a la contaminación del aire. En la estimación del valor óptimo de pago, bajo el supuesto de simetría se utilizó la distribución normal y la distribución logística. Con el software Gauss se corrieron los programas para estimar los valores óptimos.

En la tabla 71, se presenta la  $E(DAP)$  calculada para las dos distribuciones, se observa que la media entre las dos distribuciones varía muy poco.

Tabla 71. Media de la DAP

DISTRIBUCIÓN	E(WTP)
Logística	204,87
Normal	204,96

En la tabla 72, se presenta el valor óptimo de pago  $b$ , el número óptimo de rangos de pago  $m$ , utilizando un tamaño de muestra de  $N = 100$  para el estudio de VC con formato cerrado. Con la distribución logística y la distribución normal, el valor óptimo de  $m^*$  es de 27 y 11 respectivamente.

En la tabla 73, se presenta la sensibilidad en la estimación del ECM y el número de rangos de pago  $m$  óptimo para diferentes tamaños de la muestra desde 10 hasta 1000 considerando una distribución normal. Los resultados muestran que ECM decrece cuando  $N$  se incrementa.

---

<sup>2</sup>En el modelo de DWEABS, se trabaja con los datos de DAP de una encuesta (la media y la varianza de la disposición a pagar), el tamaño total de la encuesta ( $N$ ) y con un supuesto de la distribución de probabilidad de la DAP.

Dada la restricción de presupuesto, para el estudio de Valoración Contingente en la ZMCM se trabajó con una muestra de 500 observaciones. Aplicando el modelo DWEABS para un tamaño  $N=500$  con distribución normal se obtiene que  $m=28$ , con valores de  $b$  de \$10 hasta \$556. Debido a que no es usual en los estudios de VC utilizar un valor de  $m=28$ , se estimaron los valores de  $b$  y  $n$  considerando a  $m=11$ , dato que se obtuvo del promedio del rango de valores de  $m$  desde  $N=10$  a  $N=400$  y presentados en la tabla 73.

Los resultados de las estimaciones de  $b$ ,  $m$  y  $n$  para los dos casos, se presentan en la tabla 74, lo cual nos indica dos opciones de vectores de pagos con su respectivo tamaño de submuestra a utilizarse en el estudio de VC con formato cerrado.

*Tabla 72. Estimación de los valores óptimos con  $N=100$*

LOGÍSTICA		NORMAL	
b	n	b	n
10	1	10	4
25	3	58	10
48	4	103	10
69	4	142	10
87	4	180	10
104	4	217	9
120	3	254	10
135	3	294	10
150	3	339	11
164	3	393	12
178	3	470	5
192	3		
205	3		101
219	3		
232	3		
247	3		
261	3		
276	3		
292	4		
309	4		
328	4		
348	4		
372	4		
399	5		
433	6		
479	7		
556	3		
	97		

Tabla 73. Relación entre Error Cuadrático Medio (ECM), el número de rangos de pago ( $m$ ) y el tamaño de la muestra ( $N$ )

DISTRIBUCIÓN NORMAL		
N	ECM	m
10	3.744,89	5
20	2.177,58	6
30	1.545,40	6
40	1.199,39	7
50	981,04	8
100	517,19	11
200	267,79	16
300	181,10	20
400	136,92	24
500	110,18	28
1000	55,88	44

Tabla 74. Diseño Óptimo para  $b$  y  $n$

VECTORES DE PAGO CON DWEABS		VECTORES DE PAGO CON $m=11$	
$b$	$n$	$b$	$n$
10	6	10	22
25	16	58	50
46	19	103	49
65	18	142	48
83	18	180	48
100	18	217	47
116	17	254	48
132	17	294	50
147	17	339	53
162	17	393	60
177	17	470	25
191	17		
206	17		
220	17		
235	17		
250	17		
265	17		
280	17		
297	18		
314	18		
331	18		
351	19		
371	20		
395	21		
421	22		
453	24		
494	28		
556	12		

Para el estudio de Valoración Contingente en la ZMCM, se utilizaron los vectores de pago  $b$  con sus respectivos tamaños de submuestra  $n$  considerando  $m = 11$ .

# ANEXO VIII.

## Cuestionario

Fecha: \_\_\_\_\_

Folio \_\_\_\_\_

### ENCUESTA SOBRE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y LA SALUD

Agradecemos de antemano la atención y apoyo en la contestación de esta encuesta. En estos momentos estamos realizando un estudio de carácter académico, para conocer la opinión de los efectos sobre la salud y mortalidad asociados a la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Por tal motivo le pediría me respondiera algunas preguntas. Quiero aclararle que sus respuestas son confidenciales y se usan solo para análisis estadístico.

Podría contestar las siguientes preguntas:

1) Delegación o Municipio donde vive el encuestado \_\_\_\_\_  
(pregunta para encuestador).

2) ¿Cuánto tiempo tiene de residir en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México?  
\_\_\_\_\_ años

3) En su opinión ¿Cuáles son los principales problemas que tiene la Zona Metropolitana de la Ciudad de México?, enumere del 1 al 8 por orden de importancia.

Medio Ambiente     Calidad Serv. Salud     Falta Servicios públicos     Desempleo   
Educación     Inseguridad     Distribución de la riqueza     Corrupción

4) ¿Cuál es el principal medio que utiliza para transportarse cotidianamente? (puede seleccionar más de una opción)

Metro      Colectivo      Taxi      Autobús      Automóvil      Otro (especificar)

5) ¿Cuántos automóviles que tienen en su familia?

0	1	2	3	4	5	Más _____
---	---	---	---	---	---	-----------

6) Año o modelo de los automóviles:

anteriores a 1980      anteriores a 1990      entre 1990 a 1995      entre 1996 a 2000      entre 2001 a 2004      entre 2005 a 2007

7) ¿Qué combustibles utiliza en su(s) automóvil(es)?

Premium

Magna SIN

Diesel

8) Tiempo utilizado para trasladarse de su domicilio a su trabajo o escuela

menos de 30min    45 min.    1h.    1h - 15 min.    1h - 30 min.    1h - 45 min.    2 h.    más de 2 h

La contaminación del aire consiste en la presencia en el ambiente de partículas sólidas o gases ajenos a la composición natural del aire, que en cantidades grandes afecta a la salud humana.

Los contaminantes son generados por fuentes naturales o artificiales, las fuentes naturales de contaminación son las que se generan en el medio ambiente sin que el hombre intervenga y las fuentes artificiales son aquellas en las que las actividades del hombre son las responsables.

En la Ciudad de México, los niveles de contaminación por partículas ( $PM_{10}$ ) son elevados y se espera que se incremente las concentraciones en el futuro.

9) Sabía que en los últimos años en la Ciudad de México los niveles de contaminación del aire por partículas son elevados

si    no

10) ¿Ha pensado cambiarse de domicilio fuera de la Ciudad de México por motivos de la contaminación del aire?

si    no

11) ¿Qué importancia tiene para usted la calidad del aire?

Nada

Poco

Importante

Muy importante

La contaminación del aire de una gran variedad de fuentes provoca que el horizonte se vea borroso, irritan los ojos, provocan e intensifican enfermedades respiratorias y aumentan los riesgos de enfermedad, disminuye la esperanza de vida e incluso provoca muerte prematura, sobre todo en la población más susceptible, como son los niños y ancianos, a causa de las infecciones respiratorias.

12) Sabía eso, que los niños y los ancianos es la población más afectada por la contaminación del aire

si    no

13) ¿Ha tenido algún tipo de molestias asociadas a la contaminación del aire? (puede seleccionar más de una opción)

Ninguna

Efectos sobre tu salud

Restricciones de actividades deportivas y recreativas

Otras (especificar)

14) ¿Qué tan necesario le parece que haya políticas ambientales relacionadas con la contaminación del aire?

nada necesario      poco necesario      necesario      muy necesario      no sabe

15) ¿Considera que las políticas y programas ambientales han contribuido a mejorar la calidad del aire de la Cd. México?

nada      poco      bastante      mucho      no sabe

16) ¿Qué tipo de mejoras?, (puede seleccionar más de una opción)

Ninguna	<input type="radio"/>	En la salud	<input type="radio"/>
En la visibilidad	<input type="radio"/>	En el tráfico vehicular	<input type="radio"/>
En posibilidad de realizar actividades deportivas y recreativas	<input type="radio"/>	Otras (especificar)	<input type="radio"/>

---

La exposición diaria a contaminantes atmosférica daña gradualmente nuestro cuerpo, tiende a acelerar el proceso natural de envejecimiento, siendo más susceptibles aquellas personas que sufren de enfermedades respiratorias y del corazón, reduciendo su esperanza de vida y aumentando riesgo de una muerte prematura. La esperanza de vida, es el promedio en años que usted todavía puede esperar vivir, de acuerdo con su edad.

La muerte prematura y la esperanza de vida dependen de:

- Sus antecedentes familiares, como son los factores genéticos.
- De su modo de vida, de su nivel de vida, de sus hábitos o comportamiento, si es usted fumador o práctica algún deporte, alimentación.
- De las enfermedades que usted pueda padecer, por ejemplo (diabetes, cardíacas, etc.)
- De factores medioambientales (reside o trabaja en lugares contaminados)

En este estudio nos concentraremos en los factores medioambientales, pero recuerde que los otros factores también afectan a la esperanza de vida y a la muerte prematura.

Ahora permítame mostrarle la siguiente figura donde usted puede observar el riesgo anual de mortalidad en la ZMCM por diferentes causas.

**Nota para el entrevistador:** Explicar que en la figura se puede observar en forma gráfica las estadísticas oficiales y su traducción en términos de frecuencia acumulada por 100.000 habitantes, explicar al encuestado y con ayuda de figura como se interpretaría por ejemplo un riesgo 5 por cada 100.000.

Como le mencioné anteriormente en la Ciudad de México, los niveles de contaminación por partículas son elevados, el gobierno está implantando el Programa de Mejoramiento de la Calidad del Aire (PROAIRE), para disminuir las concentraciones de las partículas, obteniéndose como beneficio una disminución en el riesgo de mortalidad.

El PROAIRE es un programa donde participan el gobierno del Distrito Federal, el gobierno del Estado de México, varias instituciones públicas, universidades y otros organismos. Este programa se llevará a cabo hasta el 2010 con la intención de ampliarlo hasta el 2020 y para ello se necesita dinero para invertir en este programa.

Quiero mencionarle que entre las medidas que contempla el PROAIRE para disminuir las concentraciones, se encuentra cambio de la flota vehicular de taxis y autobuses, cambio en los combustibles y otras medidas. Se propone que el programa se financiará de ahora en adelante y hasta que dure el programa con PAGOS ANUALES por parte de todos los ciudadanos, fondos que serían administrados por una fundación creada para este fin y que ofrecerá todas las garantías.

La cantidad de dinero que se destine al programa será decidida por Usted y las demás personas que realicen la encuesta. El pago se llevará a cabo a través de un cargo adicional en su recibo de la luz una vez al año. Según cual sea la cantidad de dinero que se recabe, las concentraciones de los contaminantes serán unos u otros. En caso de que ustedes decidan no pagar nada, el programa no se llevará a cabo.

Con la aplicación del PROAIRE se obtendría una disminución del 18% de las concentraciones de partículas (PM10), con esto se reduciría el riesgo de mortalidad, se pasaría de una reducción de 41 en 100.000 a un riesgo de 34 en 100.000 (es decir, Usted como habitante de la ZMCM se encontraría en una nueva situación, donde en lugar de la muerte prematura de 41 personas morirían 34 por cada 100.000).

17) Considerando sus restricciones presupuestarias ¿Estaría Usted dispuesto a pagar \_\_\_\_\_ \$\_\_\_\_\_ pesos anualmente para obtener la disminución del riesgo de mortalidad de 41 a 34 por cada 100.000?.

Sí - pasar pregunta (17a)

No - pasar a pregunta (17b)

17a) ¿Y si fueran \_\_\_\_\_ \$\_\_\_\_\_ anualmente, estaría dispuesto a pagar por reducir el riesgo de mortalidad?

Sí

No

17b) ¿Y si fueran \_\_\_\_\_ \$\_\_\_\_\_ anualmente, estaría dispuesto a pagar por reducir el riesgo de mortalidad?

Sí

No

En caso del encuestado responda que no está dispuesto a pagar en todas las preguntas del inciso 17, se le preguntará: (nota para el encuestador).

18) ¿Por qué motivos usted no está dispuesto a pagar?

Económicos

No le interesa el proyecto

No cree que el proyecto se realice

No cree que sea usted el que debe pagar

Otros

- 19) ¿Si se obtuviera como resultado una disminución del riesgo de 41 a 38 por cada 100.000 cambiaría su respuesta? si no
- 20) ¿Si por el contrario se obtuviera como resultado una disminución del riesgo de 41 a 31 por cada 100.000 cambiaría su respuesta? si no
- 21) ¿Al responder las preguntas anteriores tuvo en cuenta su nivel de ingresos? si no
- 22) También, ¿tuvo en cuenta que deberían pasar 13 años para que se alcance los resultados propuestos en el programa? si no
- 23) Y si los resultados se alcanzaran ANTES, por ejemplo, en 5 años, ¿modificaría su respuesta? si no
- 24) Y si los resultados se alcanzaran DESPUES, por ejemplo, en 20 años, ¿modificaría su respuesta? si no

Ahora, permítame hacerle unas preguntas relacionadas con su salud:

- 25) Considerando su edad, piensa que su salud es:  
 mala poco saludable buena muy buena
- 26) Con qué frecuencia al mes realiza alguna actividad física/deportiva:  
 nunca pocas veces regularmente siempre
- 27) ¿Fuma algún tipo de tabaco como cigarrillos, puros o pipa?:  
 no fuma fuma ocasionalmente fuma diariamente es usted ex – fumador
- 28) ¿Convive cotidianamente con fumadores? si no

29) ¿Cuáles de los siguientes síntomas y/o enfermedades, que considere que están asociados a la contaminación del aire, ha sufrido usted o algún familiar?

Encuestado (Enc.) \_\_\_\_ Esposo (a) \_\_\_\_ Hijos (as) \_\_\_\_ Padre/Madre \_\_\_\_ Hermanos(as) \_\_\_\_

	ENCUESTADO O FAMILIAR						ESTADO DE SALUD				
	Enc.	Esp.	Hijo	Padre	Madre	Herm	Ninguna	Leve	Moderado	Severo	Crónico
<b>DOLOR DE CABEZA</b>											
<b>IRRITACIÓN DE PIEL</b>											
<b>IRRITACIÓN DE LOS OJOS</b>											
<b>DOLOR DE GARGANTA / NARIZ / OÍDOS</b>											
<b>TOS SECA</b>											
<b>BRONQUITIS</b>											
<b>ASMA</b>											
<b>ALERGIAS</b>											
<b>CONJUNTIVITIS</b>											
<b>ENFERMEDADES RESPIRATORIAS</b>											
<b>ENFERMEDADES CARDIOVASCULARES</b>											
<b>CÁNCER DE PULMÓN</b>											
<b>ALGUNA OTRA ENFERMEDAD ____</b>											

30) ¿Cuántos días de ausencia laboral tuvo en el año a causada de los síntomas o enfermedades mencionadas?

0      1      2      3      4      5      6      7      más

31) ¿Qué cantidad de dinero gasta o ha gastado en el último año por los siguientes conceptos a causada de los síntomas o enfermedades mencionadas?

Atención médica y medicamentos      Hospitalización      Aparatos  
 \$ \_\_\_\_\_      \$ \_\_\_\_\_      \$ \_\_\_\_\_

Ahora, quiero realizarle unas preguntas de datos generales:

32) Marque el sexo, según corresponda      Masculino       Femenino   
 (pregunta para el encuestador)

33) ¿En qué año nació?                       

34) ¿Cuál es su Estado civil?

Soltero(a)       Casado(a)       Divorciado(a)       Viudo(a)       Unión libre

35) ¿Cuál es su ocupación principal?

Empleado	<input type="radio"/>	Obrero	<input type="radio"/>	Profesionista Independiente
Trabajador por comisión	<input type="radio"/>	Trabajador por su cuenta en establecimiento (no contrata trabajadores)	<input type="radio"/>	Trabajador por su cuenta en vía pública (lugar fijo o ambulante)
Patrón, socio o empleador (contrata trabajadores)	<input type="radio"/>	Trabajador en el negocio familiar	<input type="radio"/>	Otro (especificar) _____

36) ¿Cuántos hijos tiene? 0 1 2 3 4 5 6 7 más \_\_\_\_\_

37) ¿En cuántos años estudio?

Años	Nivel	Años	Nivel
_____	Primaria	_____	Licenciatura
_____	Secundaria	_____	Maestría
_____	Preparatoria o media superior	_____	Doctorado
_____	Carrera Técnica	_____	Otro (especificar) _____

38) ¿Cuál es su Ingreso familiar mensual?

Menos de 3 000	<input type="radio"/>	Entre 15 001 y 17 000	<input type="radio"/>	Entre 29 001 y 31 000	<input type="radio"/>
Entre 3 001 y 5 000	<input type="radio"/>	Entre 17 001 y 19 000	<input type="radio"/>	Entre 31 001 y 33 000	<input type="radio"/>
Entre 5 001 y 7 000	<input type="radio"/>	Entre 19 001 y 21 000	<input type="radio"/>	Entre 33 001 y 35 000	<input type="radio"/>
Entre 7 001 y 9 000	<input type="radio"/>	Entre 21 001 y 23 000	<input type="radio"/>	Entre 35 001 y 40 000	<input type="radio"/>
Entre 9 001 y 11 000	<input type="radio"/>	Entre 23 001 y 25 000	<input type="radio"/>	Entre 40 001 y 45 000	<input type="radio"/>
Entre 11 001 y 13 000	<input type="radio"/>	Entre 25 001 y 27 000	<input type="radio"/>	45001 y más	<input type="radio"/>
Entre 13 001 y 15 000	<input type="radio"/>	Entre 27 001 y 29 000	<input type="radio"/>	Otro _____	<input type="radio"/>

39) ¿Cuántas personas dependen de su ingreso, incluyendo usted mismo?

1 2 3 4 5 6 7 más \_\_\_\_\_

Termine la encuesta agradeciendo a la persona encuestada su participación.

**Preguntas para el encuestador**

La persona encuestada estaba:

muy distraída

poco atenta

atenta

muy atenta

La persona encuestada comprendió el cuestionario:

no lo comprendió

lo comprendió poco

lo comprendió

Lo comprendió muy  
bien

Observaciones y/o comentarios:

---

---

---

Lugar de la Encuesta: \_\_\_\_\_

Nombre y Firma del Encuestador: \_\_\_\_\_

# ANEXO IX.

## Cuestionario

Fecha: \_\_\_\_\_

Folio \_\_\_\_\_

### ENCUESTA SOBRE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y LA SALUD

Agradecemos de antemano la atención y apoyo en la contestación de esta encuesta. En estos momentos estamos realizando un estudio de carácter académico, para conocer la opinión de los efectos sobre la salud y mortalidad asociados a la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Por tal motivo le pediría me respondiera algunas preguntas. Quiero aclararle que sus respuestas son confidenciales y se usan solo para análisis estadístico.

Podría contestar las siguientes preguntas:

1) Delegación o Municipio donde vive el encuestado \_\_\_\_\_  
(pregunta para encuestador).

2) ¿Cuánto tiempo tiene de residir en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México?  
\_\_\_\_\_ años

3) En su opinión ¿Cuáles son los principales problemas que tiene la Zona Metropolitana de la Ciudad de México?, enumere del 1 al 8 por orden de importancia.

Medio Ambiente     Calidad Serv. Salud     Falta Servicios públicos     Desempleo   
Educación     Inseguridad     Distribución de la riqueza     Corrupción

4) ¿Cuál es el principal medio que utiliza para transportarse cotidianamente? (puede seleccionar más de una opción)

Metro      Colectivo      Taxi      Autobús      Automóvil      Otro (especificar)

5) ¿Cuántos automóviles que tienen en su familia?

0	1	2	3	4	5	Más _____
---	---	---	---	---	---	-----------

6) Año o modelo de los automóviles:

anteriores a 1980      anteriores a 1990      entre 1990 a 1995      entre 1996 a 2000      entre 2001 a 2004      entre 2005 a 2007

7) ¿Qué combustibles utiliza en su(s) automóvil(es)?

Premium

Magna SIN

Diesel

8) Tiempo utilizado para trasladarse de su domicilio a su trabajo o escuela

menos de 30min    45 min.    1h.    1h - 15 min.    1h - 30 min.    1h - 45 min.    2 h.    más de 2 h

La contaminación del aire consiste en la presencia en el ambiente de partículas sólidas o gases ajenos a la composición natural del aire, que en cantidades grandes afecta a la salud humana.

Los contaminantes son generados por fuentes naturales o artificiales, las fuentes naturales de contaminación son las que se generan en el medio ambiente sin que el hombre intervenga y las fuentes artificiales son aquellas en las que las actividades del hombre son las responsables.

En la Ciudad de México, los niveles de contaminación por Ozono (O<sub>3</sub>) son elevados y se espera que se incremente las concentraciones en el futuro.

9) Sabía que en los últimos años en la Ciudad de México los niveles de contaminación del aire por Ozono son elevados

si    no

10) ¿Ha pensado cambiarse de domicilio fuera de la Ciudad de México por motivos de la contaminación del aire?

si    no

11) ¿Qué importancia tiene para usted la calidad del aire?

Nada

Poco

Importante

Muy importante

La contaminación del aire de una gran variedad de fuentes provoca que el horizonte se vea borroso, irritan los ojos, provocan e intensifican enfermedades respiratorias y aumentan los riesgos de enfermedad, disminuye la esperanza de vida e incluso provoca muerte prematura, sobre todo en la población más susceptible, como son los niños y ancianos, a causa de las infecciones respiratorias.

12) Sabía eso, que los niños y los ancianos es la población más afectada por la contaminación del aire

si    no

13) ¿Ha tenido algún tipo de molestias asociadas a la contaminación del aire? (puede seleccionar más de una opción)

Ninguna

Efectos sobre tu salud

Restricciones de actividades deportivas y recreativas

Otras (especificar)

14) ¿Qué tan necesario le parece que haya políticas ambientales relacionadas con la contaminación del aire?

nada necesario      poco necesario      necesario      muy necesario      no sabe

15) ¿Considera que las políticas y programas ambientales han contribuido a mejorar la calidad del aire de la Cd. México?

nada      poco      bastante      mucho      no sabe

16) ¿Qué tipo de mejoras?, (puede seleccionar más de una opción)

Ninguna	<input type="radio"/>	En la salud	<input type="radio"/>
En la visibilidad	<input type="radio"/>	En el tráfico vehicular	<input type="radio"/>
En posibilidad de realizar actividades deportivas y recreativas	<input type="radio"/>	Otras (especificar)	<input type="radio"/>

---

La exposición diaria a contaminantes atmosférica daña gradualmente nuestro cuerpo, tiende a acelerar el proceso natural de envejecimiento, siendo más susceptibles aquellas personas que sufren de enfermedades respiratorias y del corazón, reduciendo su esperanza de vida y aumentando riesgo de una muerte prematura. La esperanza de vida, es el promedio en años que usted todavía puede esperar vivir, de acuerdo con su edad.

La muerte prematura y la esperanza de vida dependen de:

- Sus antecedentes familiares, como son los factores genéticos.
- De su modo de vida, de su nivel de vida, de sus hábitos o comportamiento, si es usted fumador o práctica algún deporte, alimentación.
- De las enfermedades que usted pueda padecer, por ejemplo (diabetes, cardíacas, etc.)
- De factores medioambientales (reside o trabaja en lugares contaminados)

En este estudio nos concentraremos en los factores medioambientales, pero recuerde que los otros factores también afectan a la esperanza de vida y a la muerte prematura.

Ahora permítame mostrarle la siguiente figura donde usted puede observar el riesgo anual de mortalidad en la ZMCM por diferentes causas.

**Nota para el entrevistador:** Explicar que en la figura se puede observar en forma gráfica las estadísticas oficiales y su traducción en términos de frecuencia acumulada por 100.000 habitantes, explicar al encuestado y con ayuda de figura como se interpretaría por ejemplo un riesgo 5 por cada 100.000.

Como le mencioné anteriormente en la Ciudad de México, los niveles de contaminación por Ozono son elevados, el gobierno esta implantando el Programa de Mejoramiento de la Calidad del Aire (PROAIRE), para disminuir las concentraciones de Ozono, obteniéndose como beneficio una disminución en el riesgo de mortalidad.

El PROAIRE es un programa donde participan el gobierno del Distrito Federal, el gobierno del Estado de México, varias instituciones públicas, universidades y otros organismos. Este programa se llevará a cabo hasta el 2010 con la intención de ampliarlo hasta el 2020 y para ello se necesita dinero para invertir en este programa.

Quiero mencionarle que entre las medidas que contempla el PROAIRE para disminuir las concentraciones, se encuentra cambio de la flota vehicular de taxis y autobuses, cambio en los combustibles y otras medidas. Se propone que el programa se financiará de ahora en adelante y hasta que dure el programa con PAGOS ANUALES por parte de todos los ciudadanos, fondos que serían administrados por una fundación creada para este fin y que ofrecerá todas las garantías.

La cantidad de dinero que se destine al programa será decidida por Usted y las demás personas que realicen la encuesta. El pago se llevará a cabo a través de un cargo adicional en su recibo de la luz una vez al año. Según cual sea la cantidad de dinero que se recabe, las concentraciones de los contaminantes serán unos u otros. En caso de que ustedes decidan no pagar nada, el programa no se llevará a cabo.

Con la aplicación del PROAIRE se obtendría una disminución del 17% de las concentraciones de Ozono ( $O_3$ ), con esto se reduciría el riesgo de mortalidad, se pasaría de una reducción de 19 en 100.000 a un riesgo de 16 en 100.000 (es decir, usted como habitante de la ZMCM se encontraría en una nueva situación, donde en lugar de la muerte prematura 19 personas morirían 16 por cada 100.000).

17) Considerando sus restricciones presupuestarias ¿Cuál es la máxima cantidad de dinero que estaría dispuesto a pagar anualmente para obtener la disminución del riesgo de mortalidad de 19 a 16 por cada 100.000? (mostrar el cartón de pagos)

- |        |                       |        |                       |        |                       |        |                       |                |                       |        |                       |        |                       |
|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|----------------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|
| \$ 0   | <input type="radio"/> | \$ 5   | <input type="radio"/> | \$ 10  | <input type="radio"/> | \$ 20  | <input type="radio"/> | \$ 50          | <input type="radio"/> | \$ 100 | <input type="radio"/> | \$ 150 | <input type="radio"/> |
| \$ 200 | <input type="radio"/> | \$ 250 | <input type="radio"/> | \$ 300 | <input type="radio"/> | \$ 350 | <input type="radio"/> | \$ 400         | <input type="radio"/> | \$ 450 | <input type="radio"/> | \$ 500 | <input type="radio"/> |
| \$ 600 | <input type="radio"/> | \$ 700 | <input type="radio"/> | \$ 800 | <input type="radio"/> | \$ 900 | <input type="radio"/> | \$ 1.000 o más | <input type="radio"/> |        |                       |        |                       |

En caso del encuestado responda que \_\_\$ 0\_\_ a la pregunta 17 pasar a la pregunta 18. (nota para el encuestador)

18) ¿Por qué motivos usted no está dispuesto a pagar?

- |                                    |                       |   |                       |
|------------------------------------|-----------------------|---|-----------------------|
| Económicos                         | <input type="radio"/> | No le interesa el proyecto              | <input type="radio"/> |
| No cree que el proyecto se realice | <input type="radio"/> | No cree que sea usted el que debe pagar | <input type="radio"/> |
| Otros                              | <input type="radio"/> |   |                       |

19) ¿Si se obtuviera como resultado una disminución del riesgo de 19 a 17 por cada 100.000 cambiaría su respuesta? si    no

20) ¿Si por el contrario se obtuviera como resultado una disminución del riesgo de 19 a 15 por cada 100.000 cambiaría su respuesta? si    no

- 21) ¿Al responder las preguntas anteriores tuvo en cuenta su nivel de ingresos? si no
- 22) También, ¿tuvo en cuenta que deberían pasar 13 años para que se alcance los resultados propuestos en el programa? si no
- 23) Y si los resultados se alcanzaran ANTES, por ejemplo, en 5 años, ¿modificaría su respuesta? si no
- 24) Y si los resultados se alcanzaran DESPUES, por ejemplo, en 20 años, ¿modificaría su respuesta? si no

Ahora, permítame hacerle unas preguntas relacionadas con su salud:

25) Considerando su edad, piensa que su salud es:

mala poco saludable buena muy buena

26) Con qué frecuencia al mes realiza alguna actividad física/deportiva:

nunca pocas veces regularmente siempre

27) ¿Fuma algún tipo de tabaco como cigarrillos, puros o pipa?:

No Fuma Fuma ocasionalmente Fuma diariamente es usted Ex – Fumador

28) ¿Convive cotidianamente con fumadores? si no

29) ¿Cuáles de los siguientes síntomas y/o enfermedades, que considere que están asociados a la contaminación del aire, ha sufrido usted o algún familiar?

Encuestado (Enc.) \_\_\_\_ Esposo (a) \_\_\_\_ Hijos (as) \_\_\_\_ Padre/Madre \_\_\_\_ Hermanos(as) \_\_\_\_

	ENCUESTADO O FAMILIAR						ESTADO DE SALUD				
	Enc.	Esp.	Hijo	Padre	Madre	Herm	Ninguna	Leve	Moderado	Severo	Crónico
DOLOR DE CABEZA											
IRRITACIÓN DE PIEL											
IRRITACIÓN DE LOS OJOS											
DOLOR DE GARGANTA / NARIZ / OÍDOS											
TOS SECA											
BRONQUITIS											
ASMA											
ALERGIAS											
CONJUNTIVITIS											
ENFERMEDADES RESPIRATORIAS											
ENFERMEDADES CARDIOVASCULARES											
CÁNCER DE PULMÓN											
ALGUNA OTRA ENFERMEDAD _____											

30) ¿Cuántos días de ausencia laboral tuvo en el año a causada de los síntomas o enfermedades mencionadas?

0            1            2            3            4            5            6            7            más \_\_\_\_\_

31) ¿Qué cantidad de dinero gasta o ha gastado en el último año por los siguientes conceptos a causada de los síntomas o enfermedades mencionadas?

Atención médica y medicamentos            Hospitalización            Aparatos  
\$ \_\_\_\_\_            \$ \_\_\_\_\_            \$ \_\_\_\_\_

Ahora, quiero realizarle unas preguntas de datos generales:

32) Marque el sexo, según corresponda            Masculino             Femenino   
(pregunta para encuestador)

33) ¿En qué año nació?    

1	9		
---	---	--	--

34) ¿Cuál es su Estado civil?

Soltero(a)     Casado(a)     Divorciado(a)     Viudo(a)     Unión libre

35) ¿Cuál es su ocupación principal?

Empleado     Obrero     Profesionista Independiente   
Trabajador por comisión     Trabajador por su cuenta en establecimiento (no contrata trabajadores)     Trabajador por su cuenta en vía pública (lugar fijo o ambulante)   
Patrón, socio o empleador (contrata trabajadores)     Trabajador en el negocio familiar     Otro (especificar)  \_\_\_\_\_

36) ¿Cuántos hijos tiene?    0    1    2    3    4    5    6    7    más \_\_\_\_\_

37) ¿En cuántos años estudio?

Años	Nivel	Años	Nivel
_____	Primaria	_____	Licenciatura
_____	Secundaria	_____	Maestría
_____	Preparatoria o media superior	_____	Doctorado
_____	Carrera Técnica	_____	Otro (especificar) _____

38) ¿Cuál es su Ingreso familiar mensual?

- |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Menos de 3 000        | <input type="radio"/> | Entre 15 001 y 17 000 | <input type="radio"/> | Entre 29 001 y 31 000 | <input type="radio"/> |
| Entre 3 001 y 5 000   | <input type="radio"/> | Entre 17 001 y 19 000 | <input type="radio"/> | Entre 31 001 y 33 000 | <input type="radio"/> |
| Entre 5 001 y 7 000   | <input type="radio"/> | Entre 19 001 y 21 000 | <input type="radio"/> | Entre 33 001 y 35 000 | <input type="radio"/> |
| Entre 7 001 y 9 000   | <input type="radio"/> | Entre 21 001 y 23 000 | <input type="radio"/> | Entre 35 001 y 40 000 | <input type="radio"/> |
| Entre 9 001 y 11 000  | <input type="radio"/> | Entre 23 001 y 25 000 | <input type="radio"/> | Entre 40 001 y 45 000 | <input type="radio"/> |
| Entre 11 001 y 13 000 | <input type="radio"/> | Entre 25 001 y 27 000 | <input type="radio"/> | 45001 y más           | <input type="radio"/> |
| Entre 13 001 y 15 000 | <input type="radio"/> | Entre 27 001 y 29 000 | <input type="radio"/> | Otro _____            | <input type="radio"/> |

39) ¿Cuántas personas dependen de su ingreso, incluyendo usted mismo?

- 1            2            3            4            5            6            7            más \_\_\_\_\_

Termine la encuesta agradeciendo a la persona encuestada su participación.

**(Preguntas para el encuestador)**

La persona encuestada estaba:

muy distraída            poco atenta            atenta            muy atenta

La persona encuestada comprendió el cuestionario:

no lo comprendió            lo comprendió poco            lo comprendió            lo comprendió muy bien

Observaciones y/o comentarios:

---

---

---

---

Lugar de la Encuesta: \_\_\_\_\_

Nombre y Firma del Encuestador: \_\_\_\_\_

## ANEXO X.

### Densidad de Viajes

---

En este anexo se presenta la estimación de la densidad de viajes en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) durante el año 1994<sup>1</sup>; el motivo porque se presenta únicamente este año es debido a que no se consiguió la base fuente de datos de la Encuesta de Origen y Destino de los Viajes de los Residentes de la ZMCM (EOD 2007).

Como se mencionó anteriormente de acuerdo a la estructura del sector transporte son los autos particulares, quienes tienen la mayor importancia dado su número, no así, en cuanto al movimiento de personas, pues es el transporte público masivo el que realiza el 82% de los viajes/persona/día en la ZMCM. Dentro de esta modalidad, los colectivos con ruta fija son los que poseen la mayor demanda, casi el 60% de los tramos de viaje, que representan la movilidad de alrededor de 15.2 millones de viajeros.

En adición a esos, se encuentran los asociados a las características socioeconómicas de los individuos (edad, sexo, tipo de actividad, ingreso, etc.) y de las familias (tamaño, ingreso familiar, estilo de vida, preferencias y valores). Lo anterior sirve de base para conocer cual es el destino del viaje<sup>2</sup>.

En primer lugar se obtuvo los puntos geográficos con mayor atracción de población, en función de sus actividades cotidianas tanto productivas como de consumo. Posteriormente la estimación de la densidad de viajes atraídos<sup>3</sup>. El cálculo se llevó a cabo estableciendo algunas consideraciones tales como:

1. La base de datos se subdivide en tres partes: *Hogares, Viajeros y Viajes*, la sub-base correspondiente a Viajes cuenta con una serie de datos tales como: los viajes-persona-día<sup>4</sup> para las 16 delegaciones del Distrito Federal y 34 municipios del Estado de México, mismos que se desagregan a un nivel menor de análisis como son los distritos<sup>5</sup> -la ZMCM se conforma por 135 distritos-; otro elemento son los propósitos por los cuales viajan las personas; la modalidad y tipo de transporte que emplean, el horario en que se realizan; el número de ocupantes por vehículo, la distancia-tiempo de recorrido y el costo derivado de tales movimientos.
2. La información que conforma la base de viajes, esta se encuentra agrupada en una matriz, misma que fue seleccionada y depurada hasta sólo obtener las variables necesarias para los fines y objetivos esperados de este ejercicio. A partir de la base fue posible estimar el índice de densidad de viajes, utilizando los datos del número de viajes por distrito, horario y modo de transporte utilizado; así como el empleo de información cartográfica.

---

<sup>1</sup>Fue elaborada por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática en 1994, en colaboración con el Gobierno del Distrito Federal y el Gobierno del Estado de México.

<sup>2</sup>Significa un movimiento con un propósito específico.

<sup>3</sup>El cálculo de la densidad de viajes se obtiene al dividir el número de viajes de cada distrito entre la superficie urbana de cada uno de ellos.

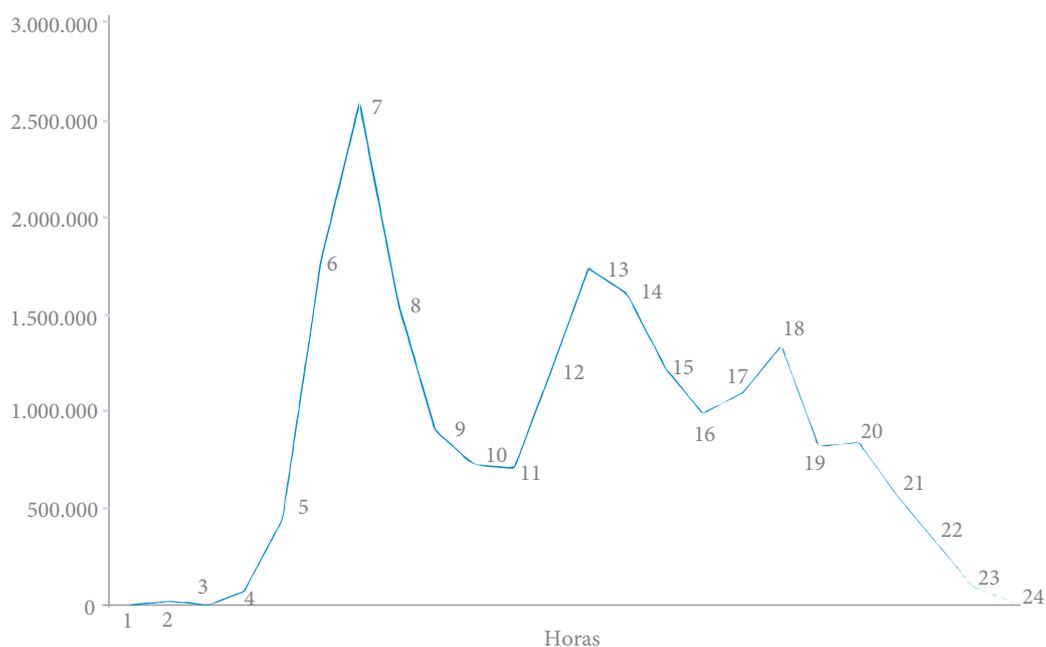
<sup>4</sup>Es la cantidad total de viajes que se realizan tomando como período un día.

<sup>5</sup>Es la unión de varias Areas Geo Estadísticas Básicas, o una sola. Se delimita tomando en cuenta homogeneidad en uso del suelo, características socioeconómicas y barreras físicas (naturales o artificiales).

3. a distribución de viajes a lo largo de las 24 horas del día y los picos importantes que se presentan durante ciertos intervalos de tiempo. El horario diurno se conforma de tres fases: matutino de 6 a 9 horas, mediodía de 12 a 15 horas y vespertino de 17 a 20 horas, marcados por la propia estructura de la encuesta y representativos del mayor número de viajes, por ende, de la demanda máxima del uso de corredores viales que comunican e interrelacionan al Distrito Federal con el Estado de México y viceversa. Cabe mencionar la existencia de un horario adicional denominado “otro”, que incluye las horas no consideradas en los horarios ya citados.
4. Por otra parte, se obtuvo de acuerdo a información del Observatorio de la Ciudad de México AC. (OCIM), el área urbana que corresponde a cada demarcación, esto con el fin de omitir las áreas verdes, de reserva ecológica, etcétera y considerar solamente el lugar donde se asientan las personas.

Entre los principales resultados, se encuentra que el total de viajes<sup>6</sup> realizados en 1994 por los residentes de la ZMCM fue de 20.645.725 viajes al día, distribuidos a lo largo de las 24 horas del día en los cuatro períodos, matutino de 6 a 9 horas, mediodía de 12 a 15 horas, vespertino de 17 a 20 horas y “otro” que incluye las horas no consideradas en los períodos anteriores, como se muestra en la gráfica 7.

*Gráfica 7. Distribución de Viajes para las 24 Horas del Día en la ZMCM*



Fuente: Elaboración propia con base en cifras de la Encuesta Origen Destino del INEGI, GDF y Gobierno del Estado de México, 1994.

Respecto a los propósitos, éstos se clasifican en nueve motivos, siendo los más representativos el Ir al trabajo (22%) e Ir a la escuela (14%), después del regreso a casa (46%). Como se observa en la tabla 75.

<sup>6</sup>Significa un movimiento motorizado con un propósito específico: Cuando una persona utiliza una serie de diferentes modos de transporte para llegar a un destino con un propósito definido, las series de modos de transporte es considerada como un viaje.

Tabla No. 75. Viajes Efectuado por Horarios y Motivos, en la ZMCM 1994

MOTIVOS	HORARIO				NÚMERO TOTAL DE VIAJES
	MATUTINO	MEDIODÍA	VESPERTINO	OTROS 1/	
Ir al trabajo	2.910.272	356.857	97.879	1.263.978	4.628.986
Regreso a casa	256.859	2.768.907	2.696.903	3.658.158	9.380.827
Compras	91.485	280.479	87.492	495.052	954.508
Ir a la Escuela	1.878.583	470.769	85.464	417.445	2.852.261
Social y Diversión	75.415	108.308	105.243	273.960	562.926
Relacionado con el trabajo	67.594	95.508	30.962	188.433	382.497
Llevar a recoger a alguien	388.217	268.862	64.654	140.794	862.527
Ir a comer	6.175	92.119	5.430	58.853	162.577
Otro	212.075	171.692	81.960	392.889	858.616
Total	5.886.675	4.613.501	3.255.987	6.889.562	20.645.725

1/ Incluye los viajes realizados en horas diferentes a los horarios señalados, con lo cual se conforman las 24 horas del día.  
Fuente: Elaboración propia con base en cifras de la Encuesta Origen Destino del INEGI, GDF y Gobierno del Estado de México, 1994.

La totalidad de viajes, se realizó ocupando alguna modalidad de transporte, que se integran por tres tipos: público, privado y mixto, con un peso relativo en la movilidad cotidiana de 82 %, 17% y 1.0% respectivamente.

Resulta interesante observar que, de acuerdo a la cobertura por modalidad ya descrita, los dos tipos de vehículo que tienen el mayor porcentaje, sin lugar a dudas, son el automóvil (16,7%) y el colectivo (55.3%). Ambos posibilitan un importante movimiento de personas dentro de la ZMCM, además cada uno ha jugado un papel importante en el crecimiento de la ciudad, es decir, en el uso de la tierra y potencialidad de desarrollo. Situación en la que también esta presente el costo de los viajes medidos en términos monetarios y de tiempo denominados costos generalizados.

Debe destacarse la importancia, del horario matutino, movimientos motivados por ir al trabajo. Además del peso relativo tan significativo que tienen los colectivos comparados con el resto de tipos de transporte. Aunque en el caso del automóvil es innegable su participación y creciente incremento en número.

En la tabla 76 se muestra los tramos de viajes entre las diferentes entidades y los diferentes modos de transporte, no se debe perder de vista la situación que guardan los diferentes modos de transporte y los tramos de viaje, ya que los propósitos de viaje marcan el comportamiento de la población, es decir, determinan la facilidad y disposición a trasladarse hacia los distintos distritos que conforman la ZMCM, en particular hacia aquellos que concentran los servicios educacionales y actividades económicas; siendo justamente este proceso de interrelación entre vehículos automotores, personas y usos del suelo lo que favorece la exposición humana.

Se estimó el índice de densidad de viajes atraídos<sup>7</sup>, los resultados obtenidos por el cálculo de este índice se muestran en la tabla 77.

<sup>7</sup>El cálculo de la densidad de viajes se obtiene al dividir el número de viajes de cada distrito entre la superficie urbana de cada uno de ellos.

Tabla 76. Modalidad de Transporte en la ZMCM 1994

MODALIDAD/ MEDIO	DF - DF		DF - EDO. MÉXICO		EDO. MÉXICO - EDO. MÉXICO		EDO. MÉXICO - EDO. MÉXICO		TOTAL	
	TRAMOS DE VIAJE	% TOTAL	TRAMOS DE VIAJE	% TOTAL	TRAMOS DE VIAJE	% TOTAL	TRAMOS DE VIAJE	% TOTAL	TRAMOS DE VIAJE	% TOTAL
TOTAL	15.744.015	100	7.513.763	25,8	5.752.939	100	113.525	100	29.124.242	100
TRANSPORTE PÚBLICO	12.545.077	79,9	6.708.879	27,9	4.671.287	81,2	86.264	76,0	24.011.507	82,4
RUTA 100	1.380.975	8,8	474.372	24,3	94.252	1,6	2.700	2,4	1.952.299	6,7
TROLEBÚS	147.529	0,9	19.918	11,9	320	0,0	-	-	167.767	0,6
METRO	2.110.731	13,4	1.585.824	41,9	83.566	1,5	8.801	7,8	3.788.922	13,0
COLECTIVO	8.174.023	51,9	4.043.577	25,1	3.849.479	66,9	39.915	35,2	16.106.994	55,3
TAXI	615.138	3,9	72.937	9,8	50.185	0,9	5.273	4,6	743.533	2,6
SUBURBANO	35.168	0,2	472.601	46,0	497.930	8,7	21.182	18,7	1.026.881	3,5
OTROS	81.513	0,5	39.650	17,6	95.555	1,7	8.393	7,4	225.111	0,8
TRANSPORTE PRIVADO	3.198.938	20,3	804.884	15,7	1.081.652	18,8	27.261	24,0	5.112.735	17,6
BICICLETA	89.131	0,6	8.891	4,0	121.166	2,1	978	0,9	220.166	0,8
AUTOMÓVIL	3.096.544	19,7	792.984	16,3	955.750	16,6	26.283	23,2	4.871.561	16,7
MOTOCICLETA	13.263	0,1	3.009	14,3	4.736	0,1	-	-	21.008	0,1

Fuente: Elaboración propia con base en cifras de la Encuesta Origen Destino del INEGI, GDF y Gobierno del Estado de México, 1994.

Tabla No. 77. Densidad de Viajes Atraídos en la ZMCM

<b>NOMBRE</b>	<b>VIAJES MOTIVO TRABAJO</b>	<b>SUPERFICIE (KM²)</b>	<b>DENSIDAD</b>
<b>D.F.</b>	<b>3.896.046</b>	<b>661,90</b>	<b>5.886,13</b>
Alvaro Obregón	220.864	56,15	3.933,53
Azcapotzalco	210.649	33,30	6.325,80
Benito Juárez	381.597	26,63	14.329,59
Coyoacán	250.622	53,89	4.650,62
Cuajimalpa de Morelos	28.374	21,81	1.300,96
Cuauhtémoc	931.987	32,44	28.729,56
Gustavo A. Madero	400.045	82,76	4.833,76
Iztacalco	153.886	22,90	6.719,91
Iztapalapa	336.704	101,74	3.309,56
Magdalena Contreras, La	40.687	15,50	2.624,70
Miguel Hidalgo	418.124	46,40	9.011,29
Milpa Alta	5.653	6,43	878,55
Tláhuac	39.523	28,14	1.404,29
Tlalpan	153.974	61,71	2.495,05
Venustiano Carranza	261.747	34,42	7.604,50
Xochimilco	61.610	37,67	1.635,33
México	1.271.324	690,14	1.842,12
Acolman	3.536	12,35	286,39
Atenco	352	3,13	112,43
Atizapán de Zaragoza	59.449	46,56	1.276,81
Chalco	17.795	29,45	604,33
Chiautla	169	6,65	25,41
Chicoloapan	5.266	6,55	803,99
Chiconcuac	1.217	6,84	177,92
Chimalhuacán	20.665	24,25	852,21
Coacalco De Berriozábal	23.845	10,82	2.203,93
Cuautitlán	16.328	5,07	3.222,23
Cuautitlán Izcalli	71.078	44,92	1.582,21
Ecatepec de Morelos	201.909	92,92	2.172,86
Huixquilucan	19.879	12,52	1.587,88
Ixtapaluca	18.043	16,57	1.088,61
Jaltenco	132	3,42	38,64
Melchor Ocampo	1.039	3,55	292,72
Naucalpan de Juárez	260.203	65,89	3.949,23
Nextlalpan	270	2,28	118,67
Nezahualcóyotl	144.293	51,20	2.818,39
Nicolás Romero	23.781	22,81	1.042,40
Paz, La	26.562	3,49	7.610,89
Papalotla	---	15,56	---
Tecámac	17.632	19,46	906,02
Teoloyucan	1981	5,50	360,48
Teotihuacan	336	5,60	60,00
Tepetlaoxtoc		8,39	
Tepotztlán	11.180	8,29	1.349,07
Texcoco	33.033	21,25	1.554,45

NOMBRE	VIAJES MOTIVO TRABAJO	SUPERFICIE (KM <sup>2</sup> )	DENSIDAD
Tezoyuca	---	10,90	---
Tlalnepantla de baz	216.649	60,24	3.596,45
Tultepec	9.144	6,86	1.332,21
Tultitlán	42.003	27,72	1.515,17
Valle de Chalco Solidaridad	11.780	15,15	777,56
Zumpango	11.775	14,00	841,15

1/ La ZMCM estaba integrada por las 16 delegaciones del Distrito Federal y 34 Municipios conurbanos del Estado de México.

2/ Se consideró solamente los motivos de ir al trabajo y relacionado con el trabajo de los 9 motivos por el cual la población se moviliza dentro de la ZMCM.

Fuente: Elaboración propia con base en la información Encuesta Origen Destino, 1994 y del Observatorio de La Ciudad de México, 1999

Las unidades político-administrativas<sup>8</sup> con la mayor atracción por motivos de trabajo son: Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo, Benito Juárez, Gustavo A. Madero, Iztapalapa, Naucalpan, Venustiano Carranza y Coyoacán.

En términos espaciales, los viajes que se realizan por motivo de trabajo considerando los modos de transporte motorizado responden, en este caso, a una centralidad, situación que puede ser resultado de los niveles de accesibilidad de estas zonas

De los viajes derivados por el motivo de trabajo, se puede observar lo siguiente:

Los distritos pertenecientes a la Delegación Cuauhtémoc mantiene constante su centralidad; comportamiento al cual se suman los distritos de las delegaciones Miguel Hidalgo y Benito Juárez.

Las personas se concentran en estos puntos buena parte del día, dependiendo de las actividades que realizan en el caso de los que acuden al trabajo permanecen por lo menos 8 horas

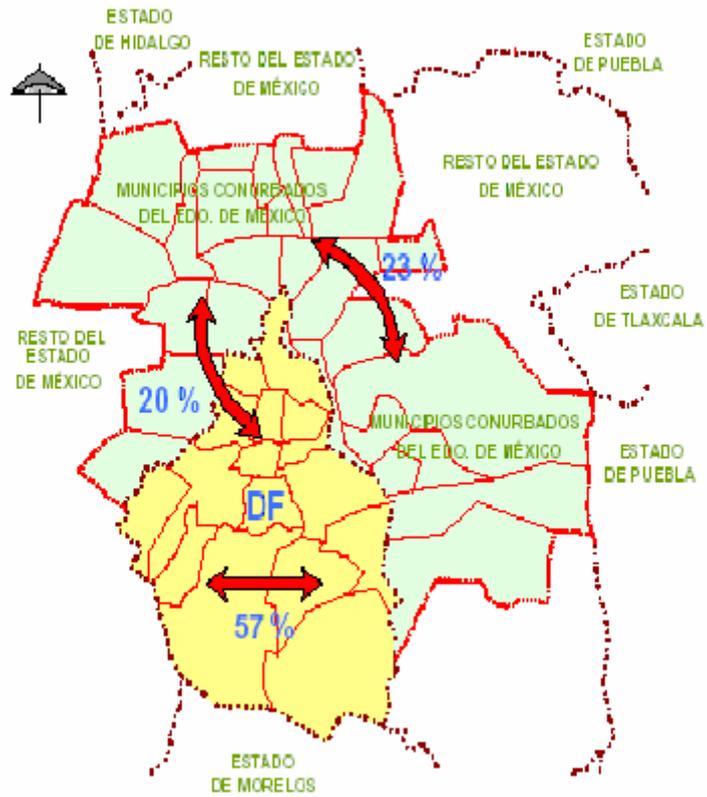
- Con relación a lo expuesto, podemos señalar como el uso del suelo -en el sentido de posicionamiento o ubicación física de actividades económicas-, está en función de las decisiones de localización privadas que aprovechan economías de escala, de aglomeración o búsqueda de competitividad y, de una planeación no adecuada, lo que ha fomentado y determinado la necesidad de movilidad de la población, cubierta principalmente a través del uso de vehículos automotores de baja capacidad de transportación. El empleo de estos vehículos, ha auspiciado mayor consumo de energía -combustibles fósiles- y el aumento de distancias recorridas, que se ha traducido sin lugar a dudas en emisiones contaminantes a la atmósfera de considerable magnitud, que se da de manera diferenciada.

A partir de este indicador se observa el papel tan importante que juegan las delegaciones Centrales como atractoras de viajes, Cuauhtémoc (28.729,56 viajes/km<sup>2</sup>), Benito Juárez (14.329,59 viajes/km<sup>2</sup>), Miguel Hidalgo (9.011,29 viajes/km<sup>2</sup>) y Venustiano Carranza (7.604,50 viajes/km<sup>2</sup>). Asimismo el municipio de La Paz (7.610,89 viajes/km<sup>2</sup>), lo anterior responde, a que son centros concentradores de empleo en comercio y servicios, en el caso del Cuauhtémoc, la existencia aún de empleos de la industria textil. Como se observa en el mapa 5, que muestra la movilidad que existe entre el Distrito Federal y el Estado de México en el año de 1994.

---

<sup>8</sup>Para fines de la encuesta, se refiere a un municipio conurbado o una delegación.

Mapa 5. Movilidad en la ZMCM, 1994



Fuente: SETRAVI, 2001. Programa Integral de Transporte y Vialidad 2001, 2006

# ANEXO XI.

## Características de los Autobuses Articulado, Autobuses y Minibuses<sup>1</sup>

---

### Autobuses Articulado.

Vehículo automotor, formado por dos carros, un tractor y otro movido, unidos a través de una articulación que posibilita maniobrar giros, permitiendo así la circulación por vialidades, con capacidad para transportar de 101 a 170 pasajeros, de los cuales 56 pasajeros o más van sentados, se integra y desplaza sobre vialidades de superficie; tienen una longitud de 16.500 a 18.500 mm, ancho de 2.450 a 2.600 mm, con entrevías mínimas: trasera de 1.800 mm y delantera de 1.950 mm; con un peso bruto vehicular entre 18,43 a 28,50 toneladas.



Figura 3. Bus Articulado

---

<sup>1</sup>Fuente: a).Gaceta Oficial del Distrito Federal. “Acuerdo por el que se expide el Manual de Lineamientos Técnicos, para Vehículos del Servicio Público de Transporte de Pasajeros en el Distrito Federal”. 25 de Febrero de 2000.

b) Gaceta Oficial del Distrito Federal. “Acuerdo por el que se reforma el Manual de Lineamientos Técnicos, de Seguridad, Comodidad y Ambientales, que deben cumplir los Autobuses, Minibuses y Vagonetas, que presten el Servicio Público de Transporte de Pasajeros en el Distrito Federal”. 29 de Septiembre de 1997.

c) Gaceta Oficial del Distrito Federal. “Manual de Lineamientos Técnicos, de Seguridad, Comodidad y Ambientales, que deben cumplir los Autobuses, Minibuses y Vagonetas, que prestan el Servicio Público de Transporte de Pasajeros en el Distrito Federal”. 24 de Septiembre de 1996.

## **Autobús**

Vehículo automotor, generalmente para 28 pasajeros sentados y un total máximo de pasajeros de pie y sentados entre 71 a 100, el cual se integra y desplaza en la circulación general sobre las vialidades de superficie, con pesos brutos vehiculares de entre 13,10 y 18,42 toneladas y un largo que va desde 10.251 a 12.500 mm, un ancho de 2.450 a 2.600 mm y entrevías mínimas: trasera de 1.800 mm y delantera 1.950 mm.



Figura 4. Autobús

## **Minibús.**

Vehículo automotor para el servicio público de transporte de pasajeros, en su modalidad de colectivo, con capacidad de solo 20 a 32 pasajeros sentados, con peso bruto vehicular de entre 4.530 y 9.950 kilogramos, un largo no mayor de a 8500 mm., un ancho máximo de 2.420 mm. Y entre vías mínimas: trasera de 1700 a 1780 mm, y delantera de 1.650 a 2.040 mm.



Figura 5. Microbús

En la tabla 78 se resumen las características técnicas de los Autobuses Articulados, Autobuses y Microbuses.

Tabla 78. Características Técnicas de los Autobuses Articulados, Autobuses y Microbuses

ESPECIFICACIONES	AUTOBÚS ARTICULADO	AUTOBÚS	MINIBÚS
<b>PESO BRUTO VEHICULAR</b>	18,43 a 28, 50 toneladas	13,1 a 18,42 toneladas	4,53 a 9,95 toneladas
<b>ÁNGULO DE ENTRADA</b>	8° mínimo	8° mínimo	9° mínimo
<b>ÁNGULO DE SALIDA</b>	8° mínimo	8° mínimo	9° mínimo
<b>VOLADO TRASERO</b>	3.550 mm. Máximo	Con distancia entre ejes mayor a 5.200 mm. el volado trasero máximo será de 0,6 de la distancia entre ejes, si es menor o igual que 5.200 mm. de distancia entre ejes el volado trasero no excederá los 3.350 mm. máximo.	2.900 mm máximo
<b>VOLADO DELANTERO</b>	0,5 máximo de la distancia entre ejes		2.050 mm máximo
<b>DISTANCIA ENTRE EJES</b>	Sera aceptada siempre y cuando las disposición de los ejes permita la distribución adecuada de las cargas así como la maniobrabilidad adecuada de la unidad y dimensiones interiores y exteriores especificadas en cada vehículo.	Sera aceptada siempre y cuando las disposición de los ejes permita la distribución adecuada de las cargas así como la maniobrabilidad adecuada de la unidad y dimensiones interiores y exteriores especificadas en cada vehículo.	Sera aceptada siempre y cuando las disposición de los ejes permita la distribución adecuada de las cargas así como la maniobrabilidad adecuada de la unidad y dimensiones interiores y exteriores especificadas en cada vehículo
<b>ALTURA TOTAL INCLUYENDO ELEMENTOS EXTERNOS SOBRE EL TOLDO</b>	4.150 mm. máximo	4.150 mm. máximo	2.900 mm máximo
<b>ENTREVÍA DELANTERA MÍNIMA</b>	1.950 mm. mínima	1.950 mm. mínima	1.650 a 2.040 mm
<b>ENTREVÍA TRASERA MÍNIMA</b>	1.800 mm. mínima	1.800 mm. mínima	1.640 a 1.780 mm
<b>LARGO TOTAL</b>	16.500 mm. a 18.500 mm.	10.251 mm. a 12.500 mm	8.500 mm. Máximo
<b>ANCHO TOTAL SIN ESPEJOS Y CON PUERTAS CERRADAS</b>	2.450 mm. a 2.600 mm	2.450 mm. a 2.600 mm	* 2.350 mm. Máximo con entrevía trasera de 1.704 a 1.728 mm. * 2.420 mm. Máximo con entrevía trasera de 1.730 a 1.778 mm
<b>ALTURA DE SUELO A PISO CON EL VEHÍCULO VACÍO MEDIDO EN</b>	Medida en la zona de ascenso de los pasajeros 960 mm. máximo.	Medida en la zona de ascenso de los pasajeros 960 mm. máximo.	En la zona de ascenso de los pasajeros 800 mm. máximo
<b>CAPACIDAD NOMINAL</b>	101 a 170 pasajeros	71 a 100 pasajeros	20 a 32 pasajeros
<b>RADIO DE GIRO MÁXIMO EXTERIOR</b>	12.500 mm. Máximo	12.500 mm. Máximo	
<b>VIDA ÚTIL</b>	8 años	8 años	6 años

## ANEXO XII.

### Proceso de Fabricación de los Autobuses<sup>1</sup>

---

#### Proceso de Armadura

**Desguace.** Se comienza realizando el desguace del chasis que se recibe del fabricante, para lo cual se realiza un vaciado de los líquidos de automoción que contiene y se cortan todos los cables y tuberías que unen la parte delantera y trasera. A continuación se corta el chasis, para adecuarlo a la longitud del autobús.

**Armadura.** Una vez desguazado, las dos partes se fijan sobre una bancada para asegurar su alineación. Después se posiciona la estructura premontada y se van soldando las diferentes partes al chasis, reforzándose los puntos críticos. A continuación se van soldando otras piezas estructurales que conforman el armazón del autobús.

**Pintado de estructuras.** Una vez unidos los dos conjuntos (chasis y estructuras), y soldadas el resto de piezas, el autocar se introduce en una cabina de pintura, donde, en primer lugar, se procede a la limpieza de la estructura, aplicando agua con sosa cáustica, para, seguidamente, aplicar un tratamiento anticorrosivo mediante pintura de base epoxi.

#### Proceso de Chapa y Mecánica

En este proceso se procede a la colocación de elementos de chapa y poliéster reforzado con fibra de vidrio, utilizando soldadura, remaches y colas a base de poliuretano.

Los productos incorporados son adquiridos en su mayoría de proveedores, requiriéndose, en algunos casos, la realización de una operación de corte y conformado de las chapas mediante máquinas y herramientas de corte y plegado de chapa. Estos procesos no requieren de la utilización de refrigerantes. En algunos casos también se requiere de soldadura de chapas.

Al mismo tiempo, se procede a conectar los tubos hidráulicos y neumáticos así como el cableado eléctrico que compone el autobús.

#### Colocación de Suelo y Aislamientos

Los suelos de madera y los aislamientos acústicos son colocados y adheridos con colas de poliuretano y otros adhesivos.

---

<sup>1</sup>Entrevista al Ing. Eduardo Gómez Marquez de Hidromex, S.A. de C.V., la compañía fabricante de minibuses.

## Proceso de Pintado de Bajos, Bodega y Carrozado

El proceso de pintura se divide en varias fases, desde el tratamiento de las zonas con posibilidad de deterioro, hasta la conclusión de las diferentes capas para el correcto acabado y la decoración exterior del mismo.

## Proceso de Montaje

En esta fase de montaje se forran los interiores del autocar mediante productos adhesivos, y se incorporan los subconjuntos interiores del autobús, tales como salpicaderos, butacas, espejos, elementos de iluminación, etc. Al mismo tiempo se procede a conectar la instalación eléctrica y los automatismos, y comprobar su correcto funcionamiento.

El proceso de pintura consta de cuatro etapas, como se muestra en la tabla 79.

Tabla 79. Proceso de Pintado

ETAPA	ACTIVIDADES
Pintura de Estructuras	Aplicación de Dinitrol - Desengrase de estructura - Secado de estructura - Encintado y empapelado - Catalizado pintura - Pintado estructura - Secado imprimación - Limpieza de equipos
Pintado Primer Día	Encintado y empapelado - Pintado bajos - Masillado - Lijado - Limpieza equipos
Pintado Segundo Día	Encintado y empapelado - Imprimación epoxi - Pintado aparejo - Secado - Lijado - Esmaltado - Secado - Lacado - Secado - Limpieza equipos
Pintado Tercer Día	- Corte de pintura - Secado - Lacado completo - Secado - Pintura maleteros - Secado - Limpieza equipos

## ANEXO XIII.

### Cuestionario

Fecha: \_\_\_\_\_

Folio \_\_\_\_\_

Agradecemos de antemano la atención y apoyo en la contestación de esta encuesta. En estos momentos estamos realizando un estudio de carácter académico. Por tal motivo le pediría me respondiera algunas preguntas. Quiero aclararle que sus respuestas son confidenciales y se usan solo para análisis estadístico.

Podría contestarme las siguientes preguntas:

1. Tipo de Vehículo:    a) Microbús                      b) Microbús – Autobús                      c) Taxi
2. ¿Cuántos años tiene de conducir su microbús? \_\_\_\_\_
3. ¿A qué ruta pertenece su microbús?: \_\_\_\_\_
4. ¿Qué modelo es su microbús? (año): \_\_\_\_\_
5. ¿En qué año compro su microbús?: \_\_\_\_\_
6. ¿Cuál fue el precio de compra?: \_\_\_\_\_
7. ¿Qué combustible utiliza su microbús?: \_\_\_\_\_ (gasolina magna, gasolina premium, diesel, gas natural).
8. ¿Cuánto gasta por los siguientes conceptos, todo relacionado con su microbús?

CONCEPTO	CANTIDAD (LITROS, PIEZAS, HORAS, DÍAS)	COSTO (\$/DÍA, \$/SEM, \$/MES, \$/AÑO)	FRECUENCIA DE CAMBIO (DÍAS, SEMANAS, AÑO)
Cambio de aceite.			
Engrasamiento			
Cambio de motor			
Mantenimiento en general			
Llantas y bandas			
Combustible			
Estacionamiento			
Tenencia			
Verificación			
Seguro microbús			
Seguro de vida y/o accidente conductor			
Multas			
Accidente			
Salario Mecánico			
Cambio de catalizador (si procede)			
Sueldos y salarios a conductores (si procede)			

9) Me podría indicar algún otro gasto, que tenga y que no haya mencionado: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

10) Si procede (en caso de que la persona tenga una flota de microbuses):

¿Cuánto gasta? por:

- Sueldos y salarios a conductores \_\_\_\_\_ \$/\_\_\_\_\_
- Sueldos y salarios a personal administrativo \_\_\_\_\_ \$/\_\_\_\_\_

11) ¿Cuáles son sus ingresos por manejar su microbús? \_\_\_\_\_ \$/día, \$/ semana,  
\$/mes o \$/año.

12) Si tuviera que vender su microbús ¿A qué precio lo vendería? \$ \_\_\_\_\_

13) ¿Qué opina de la sustitución de microbuses por autobús?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

14) ¿Qué opina de la sustitución de microbuses por el metrobús?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

15) ¿Qué opina del programa de chatarrización de microbuses?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

16) Comentarios y Observaciones

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Muchas Gracias por su atención

# ANEXO XIV.

## Valores Actuales Desagregados

*Tabla 80. Valores Actuales Desagregados Escenario 1, con tasa de actualización 5%*

ESCENARIO 1. SIN METROBÚS										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>MICROBUSES Y AUTOBUSES</b>										
<b>INVERSIÓN INICIAL</b>	211,14									
<b>COSTO DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA:</b>	99,62	95,34	98,38	112,62	105,18	108,11	122,30	114,22	117,40	132,82
<b>SUELDOS Y SALARIOS</b>	15,32	16,10	16,61	17,28	17,76	18,25	18,76	19,29	19,82	20,38
<b>CAMBIO DE ACEITE</b>	1,97	2,07	2,14	2,22	2,29	2,35	2,42	2,48	2,55	2,62
<b>ENGRASAMIENTO</b>	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31	0,32	0,33
<b>CAMBIO DE MOTOR</b>	8,88			10,30			11,18			12,14
<b>MANTENIMIENTO EN GRAL</b>	8,55	8,98	9,27	9,64	9,91	10,19	10,47	10,76	11,06	11,37
<b>LLANTAS</b>	2,21	2,32	2,40	2,49	2,56	2,63	2,71	2,78	2,86	2,94
<b>CONBUSTIBLE</b>	73,13	76,84	79,29	82,47	84,77	87,13	89,56	92,06	94,62	97,26
<b>SEGURO</b>	1,87	1,96	2,02	2,11	2,16	2,23	2,29	2,35	2,42	2,48
<b>SEGURO DE VIDA</b>										
<b>CONDUCTOR</b>	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,59	0,61	0,63	0,64	0,66
<b>TENENCIA</b>	1,12	1,18	1,21	1,26	1,30	1,34	1,37	1,41	1,45	1,49
<b>VERIFICACIÓN</b>	0,22	0,23	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29
<b>DERECHOS</b>	0,55	0,58	0,59	0,62	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,73
<b>CONSESIONES</b>	0,37	0,39	0,40	0,42	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,50
<b>COSTO PRIVADOS</b>	310,75	95,34	98,38	112,62	105,18	108,11	122,30	114,22	117,40	132,82
<b>COSTOS EXTERNOS (IMPACTOS A LA SALUD)</b>	917,17	963,64	994,36	1.034,28	1.063,11	1.092,74	1.123,20	1.154,51	1.186,69	1.219,77
<b>COSTOS TOTALES</b>	1.227,93	1.058,98	1.092,74	1.146,90	1.168,28	1.200,85	1.245,50	1.268,73	1.304,09	1.352,58
<b>INGRESOS BRUTOS</b>	187,90	197,42	203,71	211,89	217,80	223,87	230,11	236,52	243,11	249,89
<b>VÀ DE BENEFICIOS NETOS DESAGREGADO (AL 5%)</b>	187,90	188,02	184,77	183,04	179,18	175,41	171,71	168,09	164,55	161,08
<b>VÀ DE BENEFICIOS AL (5%)</b>	3.326,63									
<b>CONSIDERANDO COSTOS EXTERNOS:</b>										
<b>VÀ DE COSTOS DESAGREGADO (AL 5%)</b>	1.227,93	1.008,55	991,15	990,73	961,15	940,90	929,41	901,66	882,66	871,89
<b>VÀ DE COSTOS AL (5%)</b>	18.110,19									
<b>SIN CONSIDERANDO COSTOS EXTERNOS:</b>										
<b>VÀ DE COSTOS DESAGREGADO (AL 5%)</b>	310,75	90,80	89,23	97,29	86,53	84,71	91,26	81,17	79,46	85,62
<b>VÀ DE COSTOS AL (5%)</b>	1.872,24									

Tabla 80. Valores Actuales Desagregados Escenario 1, con tasa de actualización 5% (Continuación).

ESCENARIO 1. SIN METROBÚS										
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<b>MICROBUSES Y AUTOBUSES</b>										
<b>INVERSIÓN INICIAL</b>										
<b>COSTO DE</b>										
<b>MANTENIMIENTO DEL SISTEMA:</b>										
<b>SUELDOS Y SALARIOS</b>	124,04	127,50	144,24	134,70	138,46	156,64	146,28	150,36	170,10	158,86
<b>CAMBIO DE ACEITE</b>	20,94	21,53	22,13	22,74	23,38	24,03	24,70	25,39	26,10	26,82
<b>ENGRASAMIENTO</b>	2,70	2,77	2,85	2,93	3,01	3,09	3,18	3,27	3,36	3,45
<b>CAMBIO DE MOTOR</b>	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,44
<b>MANTENIMIENTO EN GRAL</b>			13,19			14,32			15,55	
<b>LLANTAS</b>	11,69	12,01	12,35	12,69	13,05	13,41	13,78	14,17	14,56	14,97
<b>CONBUSTIBLE</b>	3,02	3,11	3,19	3,28	3,37	3,47	3,56	3,66	3,76	3,87
<b>SEGURO</b>	99,97	102,76	105,62	108,57	111,59	114,71	117,90	121,19	124,57	128,04
<b>SEGURO DE VIDA CONDUCTOR</b>	2,55	2,62	2,70	2,77	2,85	2,93	3,01	3,09	3,18	3,27
<b>TENENCIA</b>	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80	0,83	0,85	0,87
<b>VERIFICACIÓN</b>	1,53	1,57	1,62	1,66	1,71	1,76	1,81	1,86	1,91	1,96
<b>DERECHOS</b>	0,30	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38
<b>CONSESIONES</b>	0,75	0,77	0,79	0,81	0,84	0,86	0,88	0,91	0,93	0,96
	0,51	0,52	0,54	0,55	0,57	0,59	0,60	0,62	0,64	0,65
<b>COSTO PRIVADOS</b>	124,04	127,50	144,24	134,70	138,46	156,64	146,28	150,36	170,10	158,86
<b>COSTOS EXTERNOS (IMPACTOS A LA SALUD)</b>	1.253,77	1.288,71	1.324,63	1.361,56	1.399,51	1.438,52	1.478,62	1.519,83	1.562,19	1.605,74
<b>COSTOS TOTALES</b>	1.377,80	1.416,21	1.468,87	1.496,26	1.537,97	1.595,15	1.624,90	1.670,19	1.732,30	1.764,60
<b>INGRESOS BRUTOS</b>	256,86	264,02	271,37	278,94	286,71	294,71	302,92	311,36	320,04	328,96
<b>VÀ DE BENEFICIOS NETOS DESAGREGADO (AL 5%)</b>	157,69	154,36	151,11	147,93	144,81	141,76	138,77	135,85	132,98	130,18
<b>VÀ DE BENEFICIOS AL (5%)</b>										
<b>CONSIDERANDO COSTOS EXTERNOS:</b>										
<b>VÀ DE COSTOS DESAGREGADO (AL 5%)</b>	845,85	828,03	817,92	793,50	776,78	767,30	744,38	728,70	719,81	698,31
<b>VÀ DE COSTOS AL (5%)</b>										
<b>SIN CONSIDERANDO COSTOS EXTERNOS:</b>										
<b>VÀ DE COSTOS DESAGREGADO (AL 5%)</b>	76,15	74,54	80,32	71,44	69,93	75,34	67,01	65,60	70,68	62,87
<b>VÀ DE COSTOS AL (5%)</b>										

Tabla 81. Valores Actuales Desagregados Escenario 2, con tasa de actualización 5%

ESCENARIO 2. CON METROBÚS										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>INVERSIÓN TOTAL:</b>	791,00			403,50						
<b>PARQUE VEHICULAR: AUTOBUSES</b>		42,82								
<b>ESTUDIOS Y PROYECTOS</b>										
<b>INFRAESTRUCTURA</b>										
<b>ESTACIONES Y TERMINALES</b>										
<b>PASOS A DESNIVEL</b>										
<b>CARRIL CONFINADO</b>										
<b>SEMAFORIZACIÓN Y</b>										
<b>SEÑALAMIENTO</b>										
<b>OBRAS INDUCIDAS</b>										
<b>SISTEMA DE PEAJE</b>										
<b>COSTO DE OPERACIÓN Y</b>										
<b>MANTENIMIENTO DEL SISTEMA:</b>	15,37	79,02	81,54	83,81	86,15	88,55	91,02	93,56	96,16	98,85
<b>COSTOS DE OPERACIÓN:</b>	15,37	79,02	81,54	83,81	86,15	88,55	91,02	93,56	96,16	98,85
<b>SALARIOS</b>										
<b>COMBUSTIBLES</b>										
<b>OTROS GASTOS</b>										
<b>LIMPIEZA</b>										
<b>VIGILANCIA</b>										
<b>REPARACIONES</b>										
<b>MANTENIMIENTO EN GENERAL</b>										
<b>COSTO PRIVADOS TOTALES</b>	806,37	79,02	81,54	487,31	86,15	88,55	91,02	93,56	96,16	98,85
<b>INGRESOS</b>	14,88	78,75	80,73	82,98	85,29	87,67	90,11	92,62	95,20	97,86
<b>BENEFICIO POR</b>										
<b>CHATARRIZACIÓN DE</b>	1,86			0,80						
<b>MICROBUSES</b>										
<b>BENEFICIOS EXTERNOS</b>	953,99	1.002,32	1.034,28	1.063,11	1.092,74	1.123,20	1.154,51	1.186,69	1.219,77	1.253,77
<b>BENEFICIOS TOTALES</b>	987,47	1.159,83	1.195,73	1.230,66	1.263,32	1.298,53	1.334,73	1.371,93	1.410,17	1.449,48
<b>VÀ DE COSTOS DESAGREGADO</b>										
<b>(AL 5%)</b>	806,37	75,26	73,96	420,96	70,88	69,38	67,92	66,49	65,09	63,72
<b>VÀ DE COSTOS AL (5%)</b>	2.398,23									
<b>CONSIDERANDO EXTERNALIDADES:</b>										
<b>VÀ DE BENEFICIOS</b>										
<b>DESAGREGADO (AL 5%)</b>	987,47	1.104,60	1.084,56	1.063,09	1.039,34	1.017,44	996,00	975,01	954,46	934,35
<b>VÀ DE BENEFICIOS AL (5%)</b>	19.221,75									
<b>SIN CONSIDERAR EXTERNALIDADES</b>										
<b>VÀ DE BENEFICIOS</b>										
<b>DESAGREGADO (AL 5%)</b>	16,74	75,00	73,22	72,37	70,17	68,69	67,24	65,82	64,44	63,08
<b>VÀ DE BENEFICIOS AL (5%)</b>	1.248,80									

Tabla 81. Valores Actuales Desagregados Escenario 2, con tasa de actualización 5% (Continuación).

Escenario 2. Con Metrobús										
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<b>INVERSIÓN TOTAL</b>										
<b>PARQUE VEHICULAR:</b>										
<b>AUTOBUSES</b>										
<b>ESTUDIOS Y PROYECTOS</b>										
<b>INFRAESTRUCTURA</b>										
<b>ESTACIONES Y TERMINALES</b>										
<b>PASOS A DESNIVEL</b>										
<b>CARRIL CONFINADO</b>										
<b>SEMAFORIZACIÓN Y</b>										
<b>SEÑALAMIENTO</b>										
<b>OBRAS INDUCIDAS</b>										
<b>SISTEMA DE PEAJE</b>										
<b>COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA</b>	101,60	104,43	107,34	110,34	113,41	116,57	119,82	123,16	126,59	130,12
<b>COSTOS DE OPERACIÓN:</b>	101,60	104,43	107,34	110,34	113,41	116,57	119,82	123,16	126,59	130,12
<b>SALARIOS</b>										
<b>COMBUSTIBLES</b>										
<b>OTROS GASTOS</b>										
<b>LIMPIEZA</b>										
<b>VIGILANCIA</b>										
<b>REPARACIONES</b>										
<b>MANTENIMIENTO EN GENERAL</b>										
<b>COSTO PRIVADOS TOTALES</b>	101,60	104,43	107,34	110,34	113,41	116,57	119,82	123,16	126,59	130,12
<b>INGRESOS</b>	100,59	103,39	106,27	109,23	112,28	115,41	118,62	121,93	125,33	128,82
<b>BENEFICIO POR CHATARRIZACIÓN DE MICROBUSES</b>										
<b>BENEFICIOS EXTERNOS</b>	1.288,71	1.324,63	1.361,56	1.399,51	1.438,52	1.478,62	1.519,83	1.562,19	1.605,74	1.650,50
<b>BENEFICIOS TOTALES</b>	1.489,88	1.531,41	1.574,10	1.617,97	1.663,07	1.709,43	1.757,08	1.806,05	1.856,40	1.908,14
<b>V.A. DE COSTOS DESAGREGADO (AL 5%)</b>	62,37	61,06	59,77	58,51	57,28	56,07	54,89	53,73	52,60	51,49
<b>V.A. DE COSTOS AL (5%)</b>										
<b>CONSIDERANDO EXTERNALIDADES:</b>										
<b>V.A. DE BENEFICIOS DESAGREGADO (AL 5%)</b>	914,66	895,38	876,52	858,05	839,97	822,27	804,94	787,98	771,37	755,12
<b>V.A. DE BENEFICIOS AL (5%)</b>										
<b>SIN CONSIDERAR EXTERNALIDADES</b>										
<b>V.A. DE BENEFICIOS DESAGREGADO (AL 5%)</b>	61,75	60,45	59,18	57,93	56,71	55,51	54,34	53,20	52,08	50,98
<b>V.A. DE BENEFICIOS AL (5%)</b>										

Tabla 82. Valores Actuales Desagregados Escenario 1, con tasa de actualización 7%.

ESCENARIO 1. SIN METROBÚS										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>MICROBUSES Y AUTOBUSES</b>										
<b>INVERSIÓN INICIAL</b>	211,14									
<b>COSTO DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA:</b>	99,62	95,34	98,38	112,62	105,18	108,11	122,30	114,22	117,40	132,82
<b>SUELDOS Y SALARIOS</b>	15,32	16,10	16,61	17,28	17,76	18,25	18,76	19,29	19,82	20,38
<b>CAMBIO DE ACEITE</b>	1,97	2,07	2,14	2,22	2,29	2,35	2,42	2,48	2,55	2,62
<b>ENGRASAMIENTO</b>	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31	0,32	0,33
<b>CAMBIO DE MOTOR</b>	8,88			10,30			11,18			12,14
<b>MANTENIMIENTO EN GRAL</b>	8,55	8,98	9,27	9,64	9,91	10,19	10,47	10,76	11,06	11,37
<b>LLANTAS</b>	2,21	2,32	2,40	2,49	2,56	2,63	2,71	2,78	2,86	2,94
<b>COMBUSTIBLE</b>	73,13	76,84	79,29	82,47	84,77	87,13	89,56	92,06	94,62	97,26
<b>SEGURO</b>	1,87	1,96	2,02	2,11	2,16	2,23	2,29	2,35	2,42	2,48
<b>SEGURO DE VIDA</b>										
<b>CONDUCTOR</b>	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,59	0,61	0,63	0,64	0,66
<b>TENENCIA</b>	1,12	1,18	1,21	1,26	1,30	1,34	1,37	1,41	1,45	1,49
<b>VERIFICACIÓN</b>	0,22	0,23	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29
<b>DERECHOS</b>	0,55	0,58	0,59	0,62	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,73
<b>CONSESIONES</b>	0,37	0,39	0,40	0,42	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,50
<b>COSTO PRIVADOS</b>	310,75	95,34	98,38	112,62	105,18	108,11	122,30	114,22	117,40	132,82
<b>COSTOS EXTERNOS (IMPACTOS A LA SALUD)</b>	917,17	963,64	994,36	1.034,28	1.063,11	1.092,74	1.123,20	1.154,51	1.186,69	1.219,77
<b>COSTOS TOTALES</b>	1.227,93	1.058,98	1.092,74	1.146,90	1.168,28	1.200,85	1.245,50	1.268,73	1.304,09	1.352,58
<b>INGRESOS BRUTOS</b>	187,90	197,42	203,71	211,89	217,80	223,87	230,11	236,52	243,11	249,89
<b>VA DE BENEFICIOS NETOS DESAGREGADO (AL 7%)</b>	187,90	184,50	177,93	172,97	166,16	159,61	153,33	147,29	141,49	135,92
<b>VA DE BENEFICIOS AL (7%)</b>	2.811,58									
<b>CONSIDERANDO COSTOS EXTERNOS:</b>										
<b>VA DE COSTOS DESAGREGADO (AL 7%)</b>	1.227,93	989,70	954,44	936,21	891,28	856,19	829,93	790,10	758,99	735,72
<b>VA DE COSTOS AL (7%)</b>	15.339,73									
<b>SIN CONSIDERAR COSTOS EXTERNOS:</b>										
<b>VA DE COSTOS DESAGREGADO (AL 7%)</b>	310,75	89,10	85,92	91,93	80,24	77,08	81,50	71,13	68,33	72,24
<b>VA DE COSTOS AL (7%)</b>	1.615,86									

Tabla 82. Valores Actuales Desagregados Escenario 1, con tasa de actualización 7%.

<b>ESCENARIO 1. SIN METROBÚS</b>										
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<b>MICROBUSES Y AUTOBUSES</b>										
<b>INVERSIÓN INICIAL</b>										
<b>COSTO DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA</b>	124,04	127,50	144,24	134,70	138,46	156,64	146,28	150,36	170,10	158,86
<b>SUELDOS Y SALARIOS</b>	20,94	21,53	22,13	22,74	23,38	24,03	24,70	25,39	26,10	26,82
<b>CAMBIO DE ACEITE</b>	2,70	2,77	2,85	2,93	3,01	3,09	3,18	3,27	3,36	3,45
<b>ENGRASAMIENTO</b>	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,44
<b>CAMBIO DE MOTOR</b>			13,19			14,32			15,55	
<b>MANTENIMIENTO EN GRAL</b>	11,69	12,01	12,35	12,69	13,05	13,41	13,78	14,17	14,56	14,97
<b>LLANTAS</b>	3,02	3,11	3,19	3,28	3,37	3,47	3,56	3,66	3,76	3,87
<b>COMBUSTIBLE</b>	99,97	102,76	105,62	108,57	111,59	114,71	117,90	121,19	124,57	128,04
<b>SEGURO</b>	2,55	2,62	2,70	2,77	2,85	2,93	3,01	3,09	3,18	3,27
<b>SEGURO DE VIDA CONDUCTOR</b>	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80	0,83	0,85	0,87
<b>TENENCIA</b>	1,53	1,57	1,62	1,66	1,71	1,76	1,81	1,86	1,91	1,96
<b>VERIFICACION</b>	0,30	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38
<b>DERECHOS</b>	0,75	0,77	0,79	0,81	0,84	0,86	0,88	0,91	0,93	0,96
<b>CONSESIONES</b>	0,51	0,52	0,54	0,55	0,57	0,59	0,60	0,62	0,64	0,65
<b>COSTO PRIVADOS</b>	124,04	127,50	144,24	134,70	138,46	156,64	146,28	150,36	170,10	158,86
<b>COSTOS EXTERNOS (IMPACTOS A LA SALUD)</b>	1.253,77	1.288,71	1.324,63	1.361,56	1.399,51	1.438,52	1.478,62	1.519,83	1.562,19	1.605,74
<b>COSTOS TOTALES</b>	1.377,80	1.416,21	1.468,87	1.496,26	1.537,97	1.595,15	1.624,90	1.670,19	1.732,30	1.764,60
<b>INGRESOS BRUTOS</b>	256,86	264,02	271,37	278,94	286,71	294,71	302,92	311,36	320,04	328,96
<b>VÀ DE BENEFICIOS NETOS DESAGREGADO (AL 7%)</b>	130,57	125,43	120,49	115,75	111,19	106,81	102,61	98,57	94,69	90,96
<b>VÀ DE BENEFICIOS AL (7%)</b>										
<b>CONSIDERANDO COSTOS EXTERNOS:</b>										
<b>VÀ DE COSTOS DESAGREGADO (AL 7%)</b>	700,41	672,83	652,20	620,89	596,45	578,16	550,41	528,74	512,52	487,93
<b>VÀ DE COSTOS AL (7%)</b>										
<b>SIN CONSIDERAR COSTOS EXTERNOS:</b>										
<b>VÀ DE COSTOS DESAGREGADO (AL 7%)</b>	63,05	60,57	64,04	55,90	53,70	56,77	49,55	47,60	50,33	43,93
<b>VÀ DE COSTOS AL (7%)</b>										

Tabla 83. Valores Actuales Desagregados Escenario 2, con tasa de actualización 7%.

ESCENARIO 2. CON METROBÚS										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>INVERSIÓN TOTAL</b>	791,00			403,50						
<b>PARQUE VEHICULAR:</b>		42,82								
<b>AUTOBUSES</b>										
<b>ESTUDIOS Y PROYECTOS</b>										
<b>INFRAESTRUCTURA</b>										
<b>ESTACIONES Y TERMINALES</b>										
<b>PASOS A DESNIVEL</b>										
<b>CARRIL CONFINADO</b>										
<b>SEMAFORIZACIÓN</b>										
<b>Y SEÑALAMIENTO</b>										
<b>OBRAS INDUCIDAS</b>										
<b>SISTEMA DE PEAJE</b>										
<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>										
<b>Y MANTENIMIENTO</b>	15,37	79,02	81,54	83,81	86,15	88,55	91,02	93,56	96,16	98,85
<b>DEL SISTEMA:</b>										
<b>COSTOS DE OPERACIÓN:</b>	15,37	79,02	81,54	83,81	86,15	88,55	91,02	93,56	96,16	98,85
<b>SALARIOS</b>										
<b>COMBUSTIBLES</b>										
<b>OTROS GASTOS</b>										
<b>LIMPIEZA</b>										
<b>VIGILANCIA</b>										
<b>REPARACIONES</b>										
<b>MANTENIMIENTO</b>										
<b>EN GENERAL</b>										
<b>COSTO PRIVADOS TOTALES</b>	806,37	79,02	81,54	487,31	86,15	88,55	91,02	93,56	96,16	98,85
<b>INGRESOS</b>	14,88	78,75	80,73	82,98	85,29	87,67	90,11	92,62	95,20	97,86
<b>BENEFICIO POR</b>										
<b>CHATARRIZACIÓN</b>	1,86			0,80						
<b>DE MICROBUSES</b>										
<b>BENEFICIOS EXTERNOS</b>	953,99	1.002,32	1.034,28	1.063,11	1.092,74	1.123,20	1.154,51	1.186,69	1.219,77	1.253,77
<b>BENEFICIOS TOTALES</b>	987,47	1.159,83	1.195,73	1.230,66	1.263,32	1.298,53	1.334,73	1.371,93	1.410,17	1.449,48
<b>VA DE COSTOS</b>										
<b>DESAGREGADO (AL 7%)</b>	806,37	73,85	71,22	397,79	65,72	63,14	60,65	58,26	55,97	53,77
<b>VA DE COSTOS AL (7%)</b>	2.175,27									
<b>CONSIDERANDO EXTERNALIDADES:</b>										
<b>VA DE BENEFICIOS</b>										
<b>DESAGREGADO (AL 7%)</b>	987,47	1.083,95	1.044,40	1.004,59	963,78	925,84	889,39	854,37	820,73	788,42
<b>VA DE BENEFICIOS AL (7%)</b>	16.233,38									
<b>SIN CONSIDERANDO EXTERNALIDADES:</b>										
<b>VA DE BENEFICIOS</b>										
<b>DESAGREGADO (AL 7%)</b>	16,74	73,60	70,51	68,39	65,07	62,51	60,04	57,68	55,41	53,23
<b>VA DE BENEFICIOS AL (7%)</b>	1.047,01									

Tabla 83. Valores Actuales Desagregados Escenario 2, con tasa de actualización 7% (Continuación).

<b>ESCENARIO 2. CON METROBÚS</b>										
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<b>INVERSIÓN TOTAL</b>										
<b>PARQUE VEHICULAR:</b>										
<b>AUTOBUSES</b>										
<b>ESTUDIOS Y PROYECTOS</b>										
<b>INFRAESTRUCTURA</b>										
<b>ESTACIONES Y TERMINALES</b>										
<b>PASOS A DESNIVEL</b>										
<b>CARRIL CONFINADO</b>										
<b>SEMAFORIZACIÓN Y</b>										
<b>SEÑALAMIENTO</b>										
<b>OBRAS INDUCIDAS</b>										
<b>SISTEMA DE PEAJE</b>										
<b>COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA.</b>	101,60	104,43	107,34	110,34	113,41	116,57	119,82	123,16	126,59	130,12
<b>COSTOS DE OPERACIÓN:</b>	101,60	104,43	107,34	110,34	113,41	116,57	119,82	123,16	126,59	130,12
<b>SALARIOS</b>										
<b>COMBUSTIBLES</b>										
<b>OTROS GASTOS</b>										
<b>LIMPIEZA</b>										
<b>VIGILANCIA</b>										
<b>REPARACIONES</b>										
<b>MANTENIMIENTO EN GENERAL</b>										
<b>COSTO PRIVADOS TOTALES</b>	101,60	104,43	107,34	110,34	113,41	116,57	119,82	123,16	126,59	130,12
<b>INGRESOS</b>	100,59	103,39	106,27	109,23	112,28	115,41	118,62	121,93	125,33	128,82
<b>BENEFICIO POR CHATARRIZACIÓN DE MICROBUSES</b>										
<b>BENEFICIOS EXTERNOS</b>	1.288,71	1.324,63	1.361,56	1.399,51	1.438,52	1.478,62	1.519,83	1.562,19	1.605,74	1.650,50
<b>BENEFICIOS TOTALES</b>	1.489,88	1.531,41	1.574,10	1.617,97	1.663,07	1.709,43	1.757,08	1.806,05	1.856,40	1.908,14
<b>VÀ DE COSTOS DESAGREGADO (AL 7%)</b>	51,65	49,62	47,66	45,79	43,98	42,25	40,59	38,99	37,45	35,98
<b>VÀ DE COSTOS AL (7%)</b>										
<b>CONSIDERANDO EXTERNALIDADES:</b>										
<b>VÀ DE BENEFICIOS DESAGREGADO (AL 7%)</b>	757,38	727,56	698,92	671,40	644,97	619,58	595,18	571,75	549,24	527,62
<b>VÀ DE BENEFICIOS AL (7%)</b>										
<b>SIN CONSIDERANDO EXTERNALIDADES:</b>										
<b>VÀ DE BENEFICIOS DESAGREGADO (AL 7%)</b>	51,13	49,12	47,19	45,33	43,54	41,83	40,18	38,60	37,08	35,62
<b>VÀ DE BENEFICIOS AL (7%)</b>										

Tabla 84. Valores Actuales Desagregados Escenario 1, con tasa de actualización 12%.

<b>ESCENARIO 1. SIN METROBÚS</b>										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>MICROBUSES Y AUTOBUSES</b>										
<b>INVERSIÓN INICIAL</b>	211,14									
<b>COSTO DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA</b>	99,62	95,34	98,38	112,62	105,18	108,11	122,30	114,22	117,40	132,82
<b>SUELDOS Y SALARIOS</b>	15,32	16,10	16,61	17,28	17,76	18,25	18,76	19,29	19,82	20,38
<b>CAMBIO DE ACEITE</b>	1,97	2,07	2,14	2,22	2,29	2,35	2,42	2,48	2,55	2,62
<b>ENGRASAMIENTO</b>	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31	0,32	0,33
<b>CAMBIO DE MOTOR</b>	8,88			10,30			11,18			12,14
<b>MANTENIMIENTO EN GRAL</b>	8,55	8,98	9,27	9,64	9,91	10,19	10,47	10,76	11,06	11,37
<b>LLANTAS</b>	2,21	2,32	2,40	2,49	2,56	2,63	2,71	2,78	2,86	2,94
<b>COMBUSTIBLE</b>	73,13	76,84	79,29	82,47	84,77	87,13	89,56	92,06	94,62	97,26
<b>SEGURO</b>	1,87	1,96	2,02	2,11	2,16	2,23	2,29	2,35	2,42	2,48
<b>SEGURO DE VIDA CONDUCTOR</b>	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,59	0,61	0,63	0,64	0,66
<b>TENENCIA</b>	1,12	1,18	1,21	1,26	1,30	1,34	1,37	1,41	1,45	1,49
<b>VERIFICACIÓN</b>	0,22	0,23	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29
<b>DERECHOS</b>	0,55	0,58	0,59	0,62	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,73
<b>CONSESIONES</b>	0,37	0,39	0,40	0,42	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,50
<b>COSTO PRIVADOS</b>	310,75	95,34	98,38	112,62	105,18	108,11	122,30	114,22	117,40	132,82
<b>COSTOS EXTERNOS (IMPACTOS A LA SALUD)</b>	917,17	963,64	994,36	1.034,28	1.063,11	1.092,74	1.123,20	1.154,51	1.186,69	1.219,77
<b>COSTOS TOTALES</b>	1.227,93	1.058,98	1.092,74	1.146,90	1.168,28	1.200,85	1.245,50	1.268,73	1.304,09	1.352,58
<b>INGRESOS BRUTOS</b>	187,90	197,42	203,71	211,89	217,80	223,87	230,11	236,52	243,11	249,89
<b>VÀ DE BENEFICIOS NETOS DESAGREGADO (AL 12%)</b>	187,90	176,27	162,40	150,82	138,41	127,03	116,58	106,99	98,19	90,11
<b>VÀ DE BENEFICIOS AL (12%)</b>	1.969,02									
<b>CONSIDERANDO COSTOS EXTERNOS:</b>										
<b>VÀ DE COSTOS DESAGREGADO (AL 12%)</b>	1.227,93	945,51	871,13	816,34	742,47	681,39	631,01	573,91	526,70	487,76
<b>VÀ DE COSTOS AL (12%)</b>	10.807,42									
<b>SIN CONSIDERANDO COSTOS EXTERNOS:</b>										
<b>VÀ DE COSTOS DESAGREGADO (AL 12%)</b>	310,75	85,12	78,42	80,16	66,84	61,34	61,96	51,67	47,42	47,90
<b>VÀ DE COSTOS AL (12%)</b>	1.196,27									

Tabla 84. Valores Actuales Desagregados Escenario 1, con tasa de actualización 12% (Continuación).

<b>ESCENARIO 1. SIN METROBÚS</b>										
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<b>MICROBUSES Y AUTOBUSES</b>										
<b>INVERSIÓN INICIAL</b>										
<b>COSTO DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA</b>	124,04	127,50	144,24	134,70	138,46	156,64	146,28	150,36	170,10	158,86
<b>SUELDOS Y SALARIOS</b>	20,94	21,53	22,13	22,74	23,38	24,03	24,70	25,39	26,10	26,82
<b>CAMBIO DE ACEITE</b>	2,70	2,77	2,85	2,93	3,01	3,09	3,18	3,27	3,36	3,45
<b>ENGRASAMIENTO</b>	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,44
<b>CAMBIO DE MOTOR</b>			13,19			14,32			15,55	
<b>MANTENIMIENTO EN GRAL</b>	11,69	12,01	12,35	12,69	13,05	13,41	13,78	14,17	14,56	14,97
<b>LLANTAS</b>	3,02	3,11	3,19	3,28	3,37	3,47	3,56	3,66	3,76	3,87
<b>COMBUSTIBLE</b>	99,97	102,76	105,62	108,57	111,59	114,71	117,90	121,19	124,57	128,04
<b>SEGURO</b>	2,55	2,62	2,70	2,77	2,85	2,93	3,01	3,09	3,18	3,27
<b>SEGURO DE VIDA CONDUCTOR</b>	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80	0,83	0,85	0,87
<b>TENENCIA</b>	1,53	1,57	1,62	1,66	1,71	1,76	1,81	1,86	1,91	1,96
<b>VERIFICACIÓN</b>	0,30	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38
<b>DERECHOS</b>	0,75	0,77	0,79	0,81	0,84	0,86	0,88	0,91	0,93	0,96
<b>CONSESIONES</b>	0,51	0,52	0,54	0,55	0,57	0,59	0,60	0,62	0,64	0,65
<b>COSTO PRIVADOS</b>	124,04	127,50	144,24	134,70	138,46	156,64	146,28	150,36	170,10	158,86
<b>COSTOS EXTERNOS (IMPACTOS A LA SALUD)</b>	1.253,77	1.288,71	1.324,63	1.361,56	1.399,51	1.438,52	1.478,62	1.519,83	1.562,19	1.605,74
<b>COSTOS TOTALES</b>	1.377,80	1.416,21	1.468,87	1.496,26	1.537,97	1.595,15	1.624,90	1.670,19	1.732,30	1.764,60
<b>INGRESOS BRUTOS</b>	256,86	264,02	271,37	278,94	286,71	294,71	302,92	311,36	320,04	328,96
<b>VÀ DE BENEFICIOS NETOS DESAGREGADO (AL 12%)</b>	82,70	75,90	69,66	63,93	58,67	53,84	49,41	45,35	41,62	38,19
<b>VÀ DE BENEFICIOS AL (12%)</b>										
<b>CONSIDERANDO COSTOS EXTERNOS:</b>										
<b>VÀ DE COSTOS DESAGREGADO (AL 12%)</b>	443,62	407,13	377,02	342,90	314,70	291,43	265,06	243,25	225,27	204,88
<b>VÀ DE COSTOS AL (12%)</b>										
<b>SIN CONSIDERANDO COSTOS EXTERNOS:</b>										
<b>VÀ DE COSTOS DESAGREGADO (AL 12%)</b>	39,94	36,65	37,02	30,87	28,33	28,62	23,86	21,90	22,12	18,44
<b>VÀ DE COSTOS AL (12%)</b>										

Tabla 85. Valores Actuales Desagregados Escenario 2, con tasa de actualización 12%.

ESCENARIO 2. CON METROBÚS										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>INVERSIÓN TOTAL</b>	791,00			403,50						
<b>PARQUE VEHICULAR: AUTOBUSES</b>		42,82								
<b>ESTUDIOS Y PROYECTOS</b>										
<b>INFRAESTRUCTURA</b>										
<b>ESTACIONES Y TERMINALES</b>										
<b>PASOS A DESNIVEL</b>										
<b>CARRIL CONFINADO</b>										
<b>SEMAFORIZACIÓN Y</b>										
<b>SEÑALAMIENTO</b>										
<b>OBRAS INDUCIDAS</b>										
<b>SISTEMA DE PEAJE</b>										
<b>COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA:</b>	15,37	79,02	81,54	83,81	86,15	88,55	91,02	93,56	96,16	98,85
<b>COSTOS DE OPERACIÓN:</b>	15,37	79,02	81,54	83,81	86,15	88,55	91,02	93,56	96,16	98,85
<b>SALARIOS</b>										
<b>COMBUSTIBLES</b>										
<b>OTROS GASTOS</b>										
<b>LIMPIEZA</b>										
<b>VIGILANCIA</b>										
<b>REPARACIONES</b>										
<b>MANTENIMIENTO EN GENERAL</b>										
<b>COSTO PRIVADOS TOTALES</b>	806,37	79,02	81,54	487,31	86,15	88,55	91,02	93,56	96,16	98,85
<b>INGRESOS</b>	14,88	78,75	80,73	82,98	85,29	87,67	90,11	92,62	95,20	97,86
<b>BENEFICIO POR CHATARRIZACIÓN DE MICROBUSES</b>	1,86			0,80						
<b>BENEFICIOS EXTERNOS</b>	953,99	1.002,32	1.034,28	1.063,11	1.092,74	1.123,20	1.154,51	1.186,69	1.219,77	1.253,77
<b>BENEFICIOS TOTALES</b>	987,47	1.159,83	1.195,73	1.230,66	1.263,32	1.298,53	1.334,73	1.371,93	1.410,17	1.449,48
<b>VÁ DE COSTOS DESAGREGADO (AL 7%)</b>	806,37	73,85	71,22	397,79	65,72	63,14	60,65	58,26	55,97	53,77
<b>VÁ DE COSTOS AL (7%)</b>	2.175,27									
<b>CONSIDERANDO EXTERNALIDADES:</b>										
<b>VÁ DE BENEFICIOS DESAGREGADO (AL 7%)</b>	987,47	1.083,95	1.044,40	1.004,59	963,78	925,84	889,39	854,37	820,73	788,42
<b>VÁ DE BENEFICIOS AL (7%)</b>	16.233,38									
<b>SIN CONSIDERANDO EXTERNALIDADES:</b>										
<b>VÁ DE BENEFICIOS DESAGREGADO (AL 7%)</b>	16,74	73,60	70,51	68,39	65,07	62,51	60,04	57,68	55,41	53,23
<b>VÁ DE BENEFICIOS AL (7%)</b>	1.047,01									

Tabla 85. Valores Actuales Desagregados Escenario 2, con tasa de actualización 12% (Continuación).

ESCENARIO 2. CON METROBÚS										
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<b>INVERSIÓN TOTAL</b>										
<b>PARQUE VEHICULAR:</b>										
<b>AUTOBUSES</b>										
<b>ESTUDIOS Y PROYECTOS</b>										
<b>INFRAESTRUCTURA</b>										
<b>ESTACIONES Y TERMINALES</b>										
<b>PASOS A DESNIVEL</b>										
<b>CARRIL CONFINADO</b>										
<b>SEMAFORIZACIÓN</b>										
<b>Y SEÑALAMIENTO</b>										
<b>OBRAS INDUCIDAS</b>										
<b>SISTEMA DE PEAJE</b>										
<b>COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA:</b>	101,60	104,43	107,34	110,34	113,41	116,57	119,82	123,16	126,59	130,12
<b>COSTOS DE OPERACIÓN:</b>	101,60	104,43	107,34	110,34	113,41	116,57	119,82	123,16	126,59	130,12
<b>SALARIOS</b>										
<b>COMBUSTIBLES</b>										
<b>OTROS GASTOS</b>										
<b>LIMPIEZA</b>										
<b>VIGILANCIA</b>										
<b>REPARACIONES</b>										
<b>MANTENIMIENTO EN GENERAL</b>										
<b>COSTO PRIVADOS TOTALES</b>	101,60	104,43	107,34	110,34	113,41	116,57	119,82	123,16	126,59	130,12
<b>INGRESOS</b>	100,59	103,39	106,27	109,23	112,28	115,41	118,62	121,93	125,33	128,82
<b>BENEFICIO POR CHATARRIZACIÓN DE MICROBUSES</b>										
<b>BENEFICIOS EXTERNOS</b>	1.288,71	1.324,63	1.361,56	1.399,51	1.438,52	1.478,62	1.519,83	1.562,19	1.605,74	1.650,50
<b>BENEFICIOS TOTALES</b>	1.489,88	1.531,41	1.574,10	1.617,97	1.663,07	1.709,43	1.757,08	1.806,05	1.856,40	1.908,14
<b>VÀ DE COSTOS DESAGREGADO (AL 7%)</b>	51,65	49,62	47,66	45,79	43,98	42,25	40,59	38,99	37,45	35,98
<b>VÀ DE COSTOS AL (7%)</b>										
<b>CONSIDERANDO EXTERNALIDADES:</b>										
<b>VÀ DE BENEFICIOS DESAGREGADO (AL 7%)</b>	757,38	727,56	698,92	671,40	644,97	619,58	595,18	571,75	549,24	527,62
<b>VÀ DE BENEFICIOS AL (7%)</b>										
<b>SIN CONSIDERANDO EXTERNALIDADES:</b>										
<b>VÀ DE BENEFICIOS DESAGREGADO (AL 7%)</b>	51,13	49,12	47,19	45,33	43,54	41,83	40,18	38,60	37,08	35,62
<b>VÀ DE BENEFICIOS AL (7%)</b>										