

01167

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

---

---

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**TESIS:**

**ANALISIS DE LA RELACION COSTO/BENEFICIO DEL PROYECTO DE  
NATURACION EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO**

PRESENTADA POR:

**ING. EDUARDO VILLASEÑOR GONZALEZ**

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERIA  
(PLANEACION)**

DIRIGIDA POR:

**DRA. MA. ELBA ORTIZ ROMERO VARGAS  
M. I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ**

ABRIL DE 2000



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

### III.- Agradecimientos

**A mi familia, por brindarme el apoyo, educación y recursos que me llevaron por el camino académico**

**Al Dr. Gustavo Viniegra González por haberme infundido el coraje para realizar la maestría.**

**A mis maestros de la maestría, en especial al M.I. Arturo Fuentes Zenón y al Dr. Gabriel de las Nieves Sánchez Guerrero por las lecciones, no sólo académicas, sino de vida que me han dado.**

**Al M.I. Rubén Téllez por su paciencia en la asesoría brindada y por apoyar la idea de evaluación de un proyecto tan grande.**

**Al CONACYT y al IMP por su constante labor de patrocinio a la educación y por los apoyos recibidos, sin los cuales no hubiera sido posible la realización de mi maestría.**

**A la Dra. Elba Ortiz, por su paciente labor en el asesoramiento de mi tesis y por brindarme la oportunidad de colaborar con su equipo.**

**Al Dr. Gilberto Angel Navas por la valiosa información aportada para este proyecto**

**A todos mis compañeros que me dieron palabras de aliento cuando sentí que no lograría culminar este proyecto.**

I.- Indice	I
II.- Indice general, de figuras, gráficas y tablas	II
III.- Agradecimientos	III
IV.- Resumen	IV
<b>CAPITULO 1. – Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. La contaminación atmosférica en el Valle de México	1
1.2. Los esfuerzos en el control y mejora de la calidad del aire realizados en la ciudad de México y antecedentes mundiales	4
1.3. La geografía, meteorología, las emisiones y las actividades en la ZMCM	9
1.4. Hipótesis	14
1.5. Objetivos	15
1.6. Metodología	16
<b>CAPITULO 2.- Daños a la salud por causa de los contaminantes</b>	<b>19</b>
2.1. Efectos de los contaminantes en la salud	19
2.1.1. Ozono	20
2.1.2. Partículas suspendidas totales	22
2.1.3. Oxidos de nitrógeno	26
2.1.4. Oxidos de azufre	27
2.1.5. Hidrocarburos	29
<b>CAPITULO 3.- La planeación y la evaluación de proyectos</b>	<b>33</b>
3.1. Metodología de la planeación	34
3.2. La evaluación de proyectos	37
3.3. Estimación del valor de los daños producidos a la salud por la contaminación	40
3.4. El proyecto de naturación: Antecedentes, consistencia y propósitos	41
<b>CAPITULO 4.- El Análisis de costo-beneficio</b>	<b>46</b>
4.1. Análisis de costos	47
4.1.1. Estimación del costo por la superficie a naturar	48
4.2. Análisis de beneficios	50
4.2.1. Determinar la calidad del aire	52
4.2.2. Medir los impactos	53
4.2.2.1. Mortalidad	54
4.2.2.2. Morbilidad	55
4.2.2.3. Bronquitis crónica	56
4.3. Evaluación económica de los efectos en la salud	56

CAPITULO 5.- Aplicación del análisis costo-beneficio	59
5.1. Resultados	59
5.1.1 Cálculo del valor presente neto de los costos en diferentes plazos de ejecución del proyecto de naturación	61
5.1.2. Cálculo del valor presente neto de los beneficios en diferentes plazos de ejecución del proyecto de naturación	64
5.1.3. Las relaciones costo/beneficio	69
5.1.4. Tasa interna de retorno	71
5.2. Análisis de sensibilidad	72
5.3. Análisis de riesgo	75
5.3. Comparación contra otros proyectos de gobierno	79
 CAPITULO 6.- Conclusiones y recomendaciones	 81
6.1. Discusión	81
6.2. Conclusiones	83
6.3. Trabajo a Futuro	85
 Apéndice 1	 i
Apéndice 2-	iii
Apéndice 3	v
Apéndice 4	x
Apéndice 5	xxxi
Apéndice 6	xxxv
 REFERENCIAS	 xxxvii

## II.- Índice General de figuras y tablas

Figuras	Página
Figura 1.- Crecimiento espacial de la mancha urbana	3
Figura 2.- Esquema de planeación estratégica y táctica del PROAIRE	7
Figura 3.- Imagen de relieve sombreado con color para representar la altura	10
Figura 4.- Estructura representativo de una situación problemática y cómo intervenir	35
Figura 5.- Ejemplo de una capa multifuncional	41
Figura 6.- Esquema de la instalación de una naturación de una azotea	43
Figura 7.- Esquema del perfil de temperaturas de una isla de calor urbana	44
Figura 8.- Esquema del diseño espacial de la naturación en la ZMCM	49
Figura 9.- Plazo mínimo para llevar a cabo el proyecto	70
Figura 10.- Relación entre diferentes curvas de costos y beneficios	71
Figura 11.- Análisis de sensibilidad por costo del metro cuadrado de naturación	74
Figura 12.- Análisis de sensibilidad por retención de partículas	74

### Tablas

Tabla 1.- Inventario de emisiones en la ZMCM (porcentaje)	12
Tabla 2.- Principales resultados en México de investigaciones sobre contaminación y salud	32
Tabla 3.- Cálculo del Valor Presente de los costos a 15 años	62
Tabla 4.- Cálculo del Valor Presente de los costos a 10 años	63
Tabla 5.- Cálculo del Valor Presente de los costos a 20 años	64
Tabla 6.- Cálculo del Valor Presente de los beneficios a 10 años	66
Tabla 7.- Cálculo del Valor Presente de los beneficios a 15 años	67
Tabla 8.- Cálculo del Valor Presente de los beneficios a 20 años	68
Tabla 9.- Relación costo/beneficio para diferentes tiempo de ejecución del proyecto	69
Tabla 10.- Análisis de sensibilidad. Costos vs. beneficios	73
Tabla 11.- Datos de flujo de efectivo para el análisis de riesgo para el periodo de 20 años	76
Tabla 12.- Resultados del análisis de riesgo para el periodo de 20 años	77
Tabla 13.- Datos de flujo de efectivo para el análisis de riesgo para el periodo de 30 años	78
Tabla 14.- Resultados del análisis de riesgo para el periodo de 20 años	79

#### IV Resumen

En este trabajo se realiza una evaluación de la relación costo / beneficio del proyecto de naturación de inmuebles y otras superficies sin vegetación dentro del área de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). La idea, concebida en Alemania y otros países europeos como una forma de mejorar la calidad del ambiente en las grandes ciudades, es ahora analizada como una propuesta para mejorar la calidad del aire en la ZMCM. En Europa, el concepto ha surgido como empresas cuyos servicios son contratados por quien desee naturar su casa. En el caso de este trabajo, se analiza una opción según la cual el gobierno, en primera instancia, invertiría dinero para naturar el 20% de la superficie de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, lo cual lo convierte en el proyecto más ambicioso en su tipo en todo el mundo.

Dada la inversión monetaria tan elevada y el impacto tan grande que tendría este proyecto sobre la población de la ciudad, se ha optado por realizar una evaluación de los beneficios que el proyecto pueda brindar a la ciudadanía y compararlo contra la inversión requerida para su puesta en marcha y los costos sociales derivados de canalizar el dinero para naturar, en lugar de construir otras obras que requiere la ciudad y que aportarían beneficios muy grandes a la población, determinando así la viabilidad del proyecto. El costo total, que es la suma de la inversión más los costos sociales, se analiza en tres escenarios diferentes y un caso base según el precio de la obra.

Puesto que son demasiados los aspectos que se pueden considerar para evaluar la relación costo/beneficio, se consideró el problema que las investigaciones sobre contaminación y calidad del aire han demostrado ser el más grave en la ZMCM: Los daños en la salud y las pérdidas económicas que estos producen año tras año, las cuales suman más de 1000 millones de dólares.

En el trabajo se estima el impacto que tendría el proyecto sobre los niveles de contaminación, asociando la modificación de dichos niveles con la disminución de casos de mortalidad y morbilidad, cuantificándose los beneficios directos que para el caso de este trabajo, fueron de 623.57 millones de dólares anuales, con base en 1999.

Tomando el criterio de comparación de costos y beneficios a valor presente, y realizando un análisis de sensibilidad, se concluye que el proyecto de naturación es una medida eficaz, pero costosa, de mejorar la calidad del aire en la ZMCM. El horizonte de planeación se plantea a 30 años, en este periodo se tiene un 82% de probabilidad de obtener ganancias, con un valor esperado de 414.64 millones de dólares a valor presente de 1999. El periodo de recuperación de la inversión del proyecto se ubica a los 25 años de iniciado, sin embargo, se busca que existan ganancias, y alcanzar el punto de equilibrio no implica que realmente exista una posibilidad de obtener ganancias bajo la perspectiva de un análisis de riesgo.

Para llevar a cabo el análisis de riesgo se estimaron los valores de retención de partículas para tres escenarios, uno optimista, uno pesimista y uno más probable. De esta manera, el rango analizado varió del 10 al 20 % de retención sobre los niveles actuales de concentración de  $PM_{10}$ , con un valor medio del 15%.

Se estimaron precios y beneficios sombra para el proyecto, expresados en términos sociales y con una gran generalidad. El propósito de esto fue incorporar al análisis el hecho de que en proyectos sociales a gran escala existe una amplia gama de posibilidades en las cuales se pueden utilizar los recursos; conviene entonces incorporar una medida de los costos y beneficios sombra con la finalidad de tener información representativa de la realidad, aun cuando no sea exacta, y permitir un proceso de toma de decisiones con más elementos de juicio, ya sea que se adopte el criterio sugerido o se amplíen las investigaciones para calcular con mejor precisión dichos costos y beneficios.

Se recomienda para el proyecto realizar investigaciones adicionales en abaratamiento de costos de construcción y calcular con precisión a nivel piloto la retención de partículas por parte de las azoteas naturadas, pues estos dos factores son críticos para el éxito del proyecto.

Esta tesis toma en cuenta los métodos y técnicas de diversas disciplinas, como la epidemiología, la economía, las ciencias del ambiente y los amalgama en el marco de la planeación, bajo la metodología de la evaluación de proyectos, se hace un breve y modesto análisis de los aspectos sociales, con el fin de determinar la viabilidad del proyecto y emitir las recomendaciones pertinentes. Es necesario realizar más investigación para refinar u obtener datos sobre retención de contaminantes por parte de las superficies naturadas, relaciones de dosis-respuesta a la exposición a contaminantes en la ZMCM, pues prácticamente toda la información relacionada con la cuantificación de impactos se basa en estudios efectuados en el extranjero. Se requiere realizar investigación en materiales empleados para la ejecución del proyecto con la finalidad de abaratar costos.

## V.- Prólogo

En esta tesis, análisis de la relación costo/beneficio del proyecto de naturación en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México se discuten, en el primer capítulo, los antecedentes que explican al lector cuáles son las causas más importantes que han llevado a la ciudad de México a ser una de las más contaminadas del orbe. Se presentan también algunos programas y proyectos desarrollados para tratar de controlar el problema, y se da una idea del esquema de planeación estratégica del PROAIRE, con el fin de mostrar el desglose del programa y el qué línea de acción se apoya la idea de naturar la ciudad.

Dado que el principal impacto en el ambiente de un sistema con plantas herbáceas se manifiesta con una reducción en los niveles de partículas suspendidas en la atmósfera, se mencionan en el segundo capítulo algunos episodios graves de contaminación durante el siglo XX, los principales contaminantes atmosféricos, entre ellos las partículas suspendidas y las investigaciones de vanguardia que se han realizado en México en esta materia. El propósito de este capítulo es exponer los efectos nocivos de los contaminantes atmosféricos (Ozono, partículas suspendidas, óxidos de nitrógeno y azufre e hidrocarburos) y mostrar que la naturación es una alternativa para abatir los niveles de partículas en la atmósfera.

En el capítulo 3 se menciona el proceso de planeación y la evaluación de proyectos, se indica en qué parte queda comprendida la evaluación de alternativas, lo que da lugar a la discusión sobre la evaluación de proyectos y aspectos de evaluación social de proyectos, mencionando después el proyecto de naturación, sus características, consistencia y propósitos, de manera que en esta etapa se ubica al proyecto dentro del contexto de la evaluación de proyectos como un subsistema del proceso de planeación que apoya la toma de decisiones.

Posteriormente, en el capítulo 4, se describe una metodología para estimar los costos y beneficios. En este capítulo se toma el apoyo de algunos aspectos teóricos de la agronomía y edafología (Apéndices 5 y 6) para estimar el impacto de la superficie naturada sobre la disminución de índices de partículas suspendidas, completándose dicho análisis con datos empíricos obtenidos para la ciudad de México a través de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) y para superficies naturadas en Europa.

Se describe también el área a naturar, la forma en que esto se llevaría a cabo y el costo neto de inversión. Se explica como obtener el costo social de una forma un tanto generalizada, propia de utilizarse cuando no se dispone de recursos suficientes que permitan conocer estos con mayor detalle. Se hace uso de datos estadísticos, estimados en trabajos del Banco Mundial sobre el valor estadístico de una vida y salarios promedio. Sin estos datos sería imposible llevar a cabo una estimación de beneficios. Mediante la aplicación de funciones de dosis-respuesta, se obtiene un estimado sobre el número de casos teórico de enfermos y muertos por causa de la contaminación que pueden evitarse al disminuir los niveles de contaminantes. Al relacionar la

disminución de mortalidad y morbilidad contra sus repercusiones económicas (monetarias en los términos de este análisis) se calcula un estimado de los beneficios.

En el capítulo 5 se valoran los costos y beneficios a través de diferentes escenarios del horizonte de planeación, los costos de construcción y los índices de retención de partículas. Se generan flujos de efectivo y se analizan a valor presente neto, se realiza un análisis de sensibilidad para determinar, entre la variación de la retención de partículas suspendidas y los costos de construcción, cual se debe controlar para disminuir el costo del proyecto. Se realiza un análisis de riesgo sobre los flujos de efectivo pesimista, más probable y optimista utilizando una distribución estadística triangular sobre dichos flujos. Por último, se calcula una tasa interna de retorno. De esta manera, se da un panorama financiero general del proyecto con el fin de determinar que horizonte de planeación es el más apropiado para el proyecto.

El capítulo 6 contiene las discusiones, conclusiones y recomendaciones sobre el proyecto con base en el análisis efectuado. También se presentan propuestas para dar continuidad y seguimiento al proyecto y a los resultados de este trabajo.

# CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN

## 1.1 La Contaminación Atmosférica en el Valle de México.

La creciente concentración de la población en los grandes centros urbanos en México ocasiona una serie de demandas de servicios y bienes, así como el consumo irracional y la degradación de los recursos naturales, modificando el medio ambiente que rodea a dichos centros de población. Esta modificación está asociada a los procesos de deforestación y erosión de suelos, a la pérdida de recursos acuícolas, (por ejemplo, la desecación del lago de Texcoco); al uso no sostenible de los recursos energéticos, y la creciente densidad urbana e industrial, así como a la contaminación ambiental.

Al mismo tiempo, esta modificación del entorno ha contribuido a agravar los problemas de calidad del aire (SEMARNAP, 1999). En efecto, por una parte la erosión del suelo incorpora a la atmósfera gran cantidad de partículas suspendidas, por otra parte cerca de tres millones de automóviles en circulación aportan a la atmósfera importantes cantidades de compuestos precursores del ozono<sup>1</sup>; mientras que la intensa actividad de la planta industrial vierte a la atmósfera cantidades importantes de gases tales como los óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno.

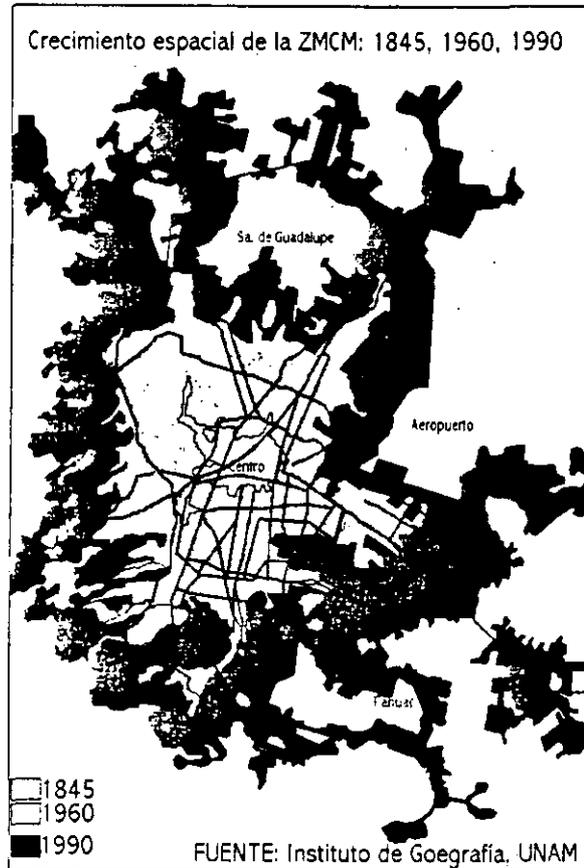
Se puede decir entonces que la contaminación del aire forma parte de la vida moderna, consecuencia de la manera como se construyen las ciudades, siendo un resultado de los métodos que se emplean para producir las mercancías que consumimos, mover nuestros medios de transporte y producir la energía que utilizamos para vivir, trabajar y divertirnos.

Una importante causa de la contaminación es el proceso de combustión, necesario para poder llevar a cabo las actividades enunciadas anteriormente. Cuando la combustión es perfecta, el hidrógeno y el carbono del combustible se

combinan con el oxígeno para formar agua y bióxido de carbono, liberándose una gran cantidad de energía. Sin embargo, las impurezas del combustible, una relación incorrecta de carburación o temperaturas de combustión demasiado altas o bajas son causa de formación de productos secundarios, tales como monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, cenizas finas e hidrocarburos no quemados, todos ellos contaminantes del aire. ( Kenneth, 1998)

La ZMCM es una de las más grandes metrópolis del mundo con 15 millones de habitantes, repartidos el 56% en el D.F. y el 44% en el Estado de México (censo 1990), con una extensión de 3,230 km<sup>2</sup> (incluye áreas rurales) con graves problemas de contaminación. La dispersión de los contaminantes atmosféricos se ve obstaculizada por las condiciones geográficas en las que se ubica la ciudad, ya que esta se asienta en un valle rodeado de montañas que impiden la dispersión de los contaminantes y acentúan los efectos de las inversiones térmicas, lo que aunado a los elevados índices de radiación solar que incide sobre el Valle y la deforestación y desecación de cuerpos lacustres, convierten a la ciudad en un almacén de contaminantes dañinos como el ozono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y partículas suspendidas totales. En la figura 1 se grafica el crecimiento espacial de la ZMCM en tres momentos de tiempo.

Fig. 1.- Crecimiento espacial de la mancha urbana



En diversos estudios (Romieu, 1992, Meneses, 1995, Castillejos, 1995, Avila, 1993), se ha detectado que uno de los problemas más graves de estos contaminantes es el impacto que tienen en la salud de la población, particularmente en niños y ancianos, pues está demostrado que a altos niveles de contaminación se provocan problemas de salud desde molestias menores, hasta la mortalidad en personas muy sensibles (Castillejos op cit, Romieu op cit, Ostro, 1994, 1995). A estos daños pueden asociarse una serie de pérdidas económicas individuales, que sumadas alcanzan cifras notables (Margulis, 1992). Adicionalmente, estudios recientes indican que la contaminación del aire no sólo produce efectos directos en la salud, sino que una persona expuesta durante gran tiempo a una mala calidad del aire tiene mayor riesgo de desarrollar cáncer y padecer problemas respiratorios crónicos. (Ostro, op cit). De aquí la preocupación y el compromiso por parte de las autoridades ambientales y la población en general en mejorar la calidad del aire en la ZMCM.

A continuación, se mencionan algunas acciones que se han llevado a cabo en materia de reducción de emisiones y mejorar la calidad ambiental en México y el mundo.

## 1.2. Los Esfuerzos en el Control y Mejora de la Calidad del Aire Realizados en la Ciudad de México y Antecedentes Mundiales

En los últimos años, el problema de la contaminación atmosférica ha tomado gran importancia en la conciencia política de todas las naciones del mundo. En años recientes se han llevado a cabo reuniones cumbre<sup>1</sup> con la finalidad de hallar soluciones a los problemas que plantea remediar el deterioro del medio ambiente.

En estas reuniones México ha manifestado la voluntad del gobierno federal de atender prioritariamente la problemática existente en la calidad de aire para contribuir a mejorar la calidad de vida mediante acciones dirigidas a la reducción y control de emisiones contaminantes.

A lo largo de los años, distintas personas y organizaciones han intentado diseñar medidas para mejorar esta situación; por ejemplo, las acciones de las autoridades ambientales en la ciudad de México por atender el deterioro ambiental y de calidad de aire esta documentada desde la década de los ochenta.

En 1986 se implantó por primera vez una serie de 21 medidas tendientes a reducir el impacto de la contaminación. En 1987, se presentan 100 acciones necesarias en materia de ecología (Apéndice 6). En 1989 se implantó como una forma de mejorar la calidad del aire durante el invierno, el programa Hoy No

---

<sup>1</sup> Entre tales reuniones se puede citar: la "Declaración de Toronto" de 1991 que busca impulsar nuevos métodos de desarrollo urbano sustentable, así como de administración urbana; la Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo en Río de Janeiro de junio 1992; y la reunión "Hábitat II" en Estambul 1996 y Kyoto 1998. En varios de los programas señalados y las cumbres por el medio ambiente, se señala, además de la reducción de emisiones, tema en el que se ha hecho mucho énfasis en México, otras medidas como la descentralización y la reforestación, entre muchas otras.

Circula. Durante la década de los noventa surge una serie de programas y se adoptan medidas cada vez más rigurosas en cuanto a reducción de emisiones. (Nava, 1999)

En 1990, las autoridades ambientales conjuntaron una serie de medidas para ser aplicadas en el transporte, en la industria, los servicios y las actividades de producción de energéticos. Estas acciones en la lucha contra la contaminación atmosférica se presentaron en el Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA, 1990)

Si se evalúa el PICCA agrupando sus medidas de acuerdo a la siguiente clasificación: Información, transporte y tecnologías, puede constatarse que la mayor cantidad de recursos se concentraron en la esfera del mejoramiento y cambio de combustibles. Con el PICCA se consiguieron reducciones significativas en las emisiones de bióxido de azufre, plomo, partículas y monóxido de carbono, mientras que en el caso del ozono se freno su tendencia ascendente. (PICCA, 1990). Uno de los principales logros de este programa fue haber contribuido a disminuir casi en su totalidad las emisiones de plomo a la atmósfera, al sustituir el tetraetilo de plomo en las gasolinas con otros compuestos.

*El programa Hoy no circula* fue concebido como una medida regulatoria por los grupos ecologistas para controlar la demanda de gasolinas y reducir las emisiones vehiculares. Durante el primer año de aplicación, el programa permitió agilizar sensiblemente el tránsito en la ciudad de México y se ahorraron 420 mil litros diarios de consumo de combustibles, sin embargo, en cuanto se decidió convertirlo en un programa permanente, *en 1992*, los habitantes de la ZMCM se enfrentaron a un esquema muy diferente de incentivos que modifico radicalmente sus decisiones toda vez que la estabilidad económica que se vivió de 1990 a 1994 propició un incremento notable en el número de vehículos en circulación y la

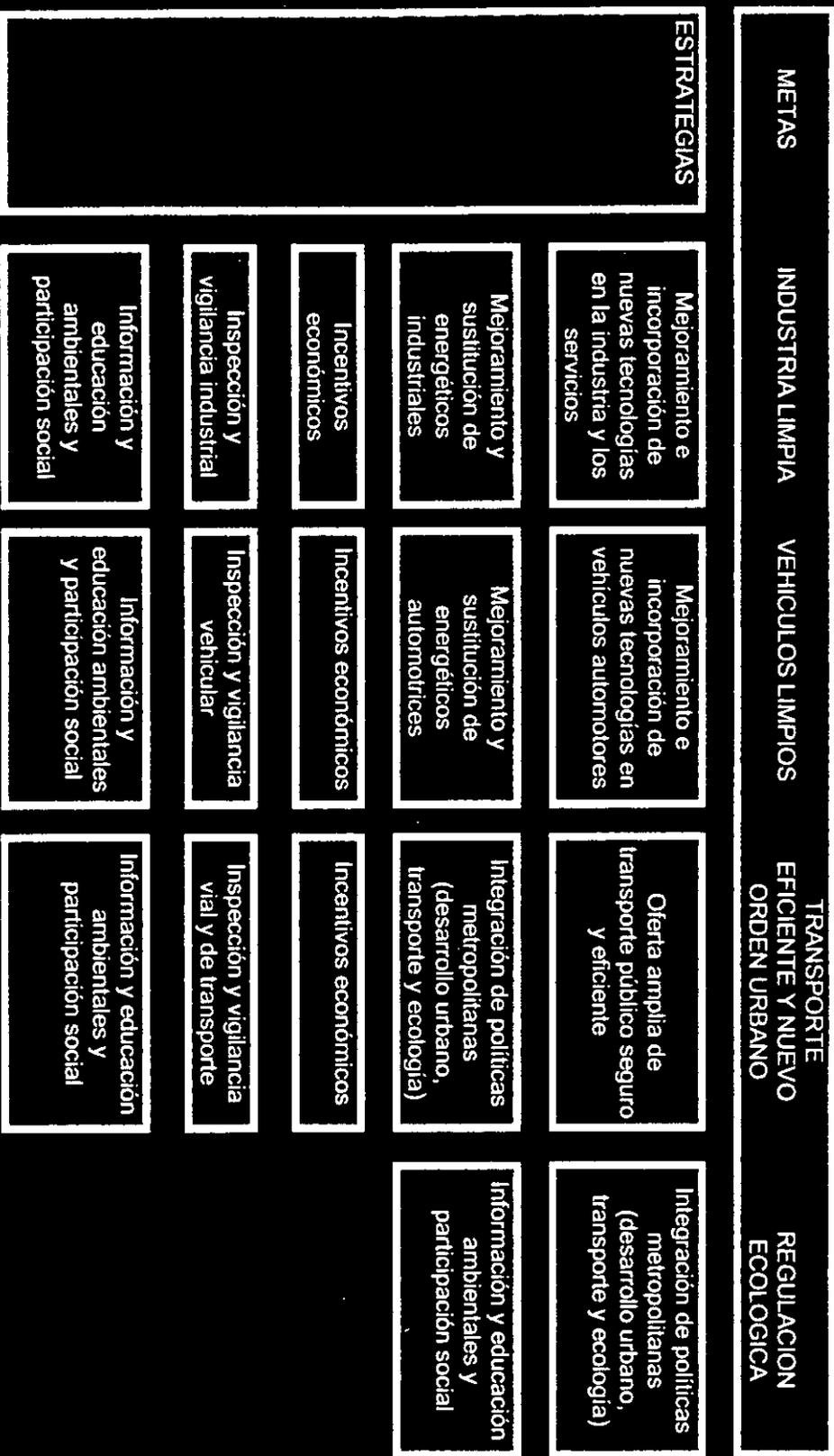
permanencia de modelos anteriores, siendo el ahorro en 1994 de sólo 132 mil litros diarios. ( CESPEDES, 1999)

En 1995 se pone en marcha el programa para mejorar la calidad del aire en el Valle de México (PROAIRE, 1995), en el que se definen cuatro metas:

- Industria limpia: Reducción de emisiones por unidad de valor agregado en la industria y establecimientos de servicios
- Vehículos limpios: Disminución de emisiones por kilómetro recorrido
- Nuevo orden urbano y transporte limpio: regulación del total de kilómetros recorridos por los vehículos automotores
- Recuperación ecológica: Abatimiento de la erosión.

Su propósito es proteger la salud de la población que habita en la ZMCM abatiendo de manera gradual y permanente los niveles de contaminantes, buscando lograr gradualmente menores niveles de contaminación durante el día y tener menos contingencias al año, como resultado de un abatimiento del 50% de las emisiones hidrocarburos, 40% de óxidos de nitrógeno y 45% de partículas suspendidas de origen antropogénico, para el año 2000. Se definieron las estrategias adecuadas para el logro de cada una de las metas que se muestran en la figura 2

Fig. 2 Esquema mostrando la planeación estratégica y táctica del PROAIRE



FUENTE: (PROAIRE, 1995)

Fig. 2 Esquema mostrando la planeación estratégica y táctica del PROAIRE

METAS	INDUSTRIA LIMPIA	VEHICULOS LIMPIOS	TRANSPORTE EFICIENTE Y NUEVO ORDEN URBANO	REGULACION ECOLOGICA
<b>ESTRATEGIAS</b>	Mejoramiento e incorporación de nuevas tecnologías en la industria y los servicios	Mejoramiento e incorporación de nuevas tecnologías en vehículos automotores	Oferta amplia de transporte público seguro y eficiente	Integración de políticas metropolitanas (desarrollo urbano, transporte y ecología)
	Mejoramiento y sustitución de energéticos industriales	Mejoramiento y sustitución de energéticos automotrices	Integración de políticas metropolitanas (desarrollo urbano, transporte y ecología)	Información y educación ambientales y participación social
	Incentivos económicos	Incentivos económicos	Incentivos económicos	
	Inspección y vigilancia industrial	Inspección y vigilancia vehicular	Inspección y vigilancia vial y de transporte	
	Información y educación ambientales y participación social	Información y educación ambientales y participación social	Información y educación ambientales y participación social	

FUENTE: (PROAIRE, 1995)

Recuperación de vapores: Las actividades de almacenamiento y distribución de gasolina generan emisiones importantes de hidrocarburos volátiles, los cuales son precursores en la formación de ozono y altamente tóxicos, por lo que es necesario controlar permanentemente la emisión a la atmósfera de este tipo de contaminantes, con la finalidad de asegurar la calidad del aire en beneficio de la salud de la población y el equilibrio ecológico. Con este fin se procedió a la instalación de dispositivos que permiten la recuperación de vapores en los equipos de almacenamiento, transporte y venta de gasolina. La "eficiencia en sitio" del sistema de recuperación de vapores de gasolina es superior al 80% (ochenta por ciento) en promedio, lo cual permite estimar que al menos en ese porcentaje se reducen las emisiones de hidrocarburos a la atmósfera. La instalación de los equipos se inició en julio de 1996 y actualmente casi todas las gasolineras del Valle de México cuentan con dichos sistemas. Para su financiamiento se usan recursos del sobreprecio de un centavo por litro de gasolina vendida, autorizado a partir de enero de 1997, los cuales ingresan a un fideicomiso ambiental creado en 1992. (CÉSPEDES, 1999)

Autoridades y grupos científicos y académicos siguen trabajando en medidas que permitan disminuir los niveles de partículas suspendidas, ozono y óxidos de nitrógeno y otros contaminantes dañinos como los Compuestos orgánicos volátiles (COV's), que son precursores de la formación de ozono y los peróxi-acil-nitratos (PAN), los cuales son compuestos cuyos efectos y formación aun no se conocen totalmente.

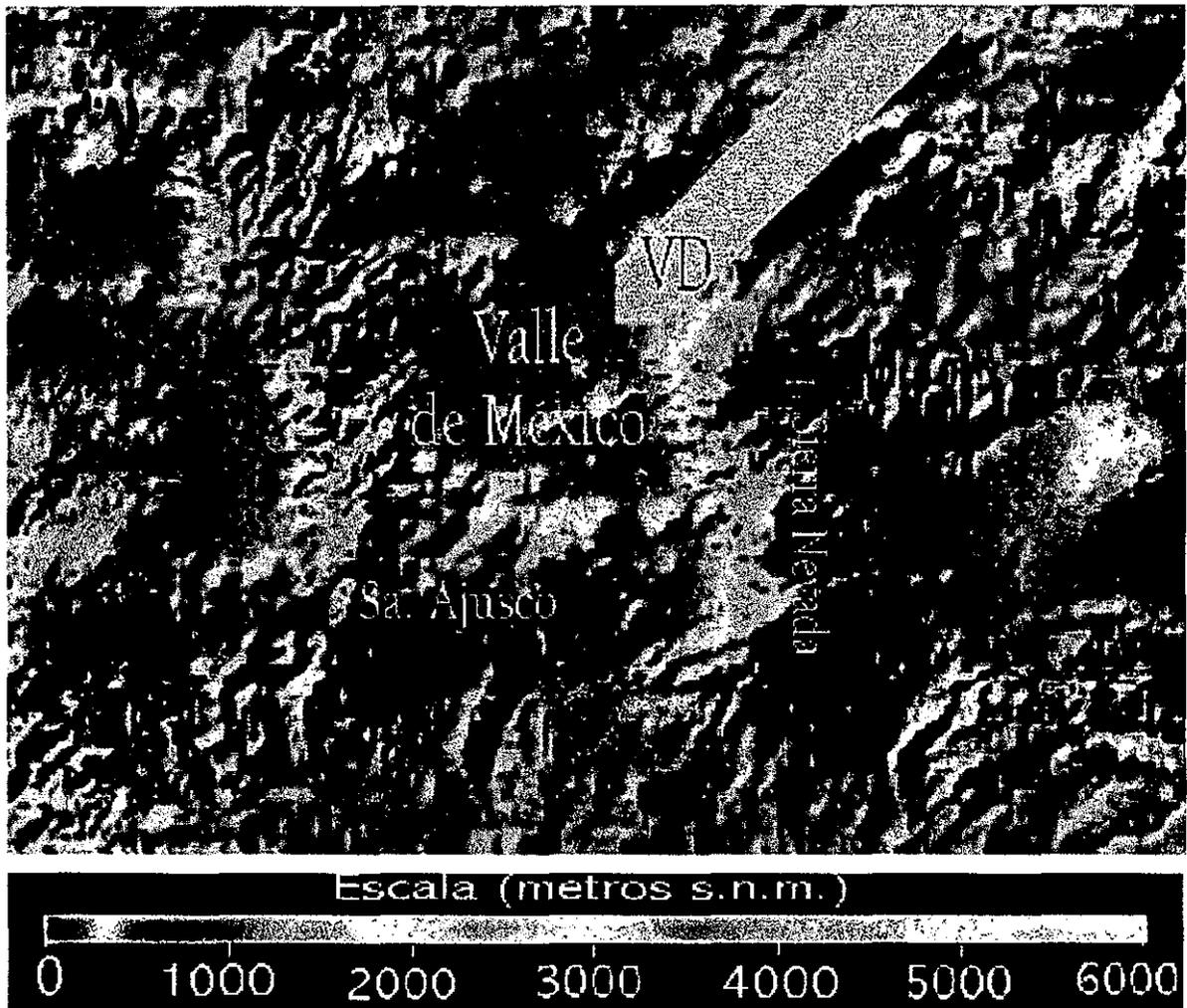
Sobre la reforestación, la ZMCM ha perdido gran parte de su vegetación original. Estudios llevados a cabo en Estados Unidos (Akbari, American Forests) y Europa han demostrado que las plantas tienen la capacidad de regular los cambios de temperatura en las ciudades y reducir los índices de contaminantes metropolitanos, ya sea por modificación de las cinéticas de formación o por retención de estos en sus hojas y otras estructuras.

Recientemente, científicos y técnicos alemanes (Dürr, 1995; Briz, 1999) desarrollaron una forma de mejorar la calidad del aire incrementando las áreas verdes de las grandes ciudades. Se trata de adaptar superficies vegetales a los sitios construidos con la finalidad de mejorar la calidad del aire y el microclima de una ciudad. A esto se le conoce como naturación, tema sobre el cual recientemente se ha sugerido trabajar en México y que da lugar a la realización de esta tesis, con la finalidad de evaluar en un marco teórico la viabilidad del proyecto. Se definirá y explicará con mayor detalle, en la sección 3.4, el proyecto de naturación.

### 1.3. La Geografía, Meteorología, las Emisiones y las Actividades en la ZMCM

La ZMCM se encuentra en una cuenca a 2240 m sobre el nivel del mar. Al norte es abierta (Ver fig. 3), con colinas y cordilleras relativamente bajas, las cuales permiten el paso de los vientos dominantes, que son de noreste. Al oriente se localiza la Sierra Nevada, cuya altura varía de los 3500 m en su parte norte, a los 4100 en el centro y culmina al sur en las cumbres del Iztaccíhuatl (5286 m) y Popocatepetl (5452 m). Al sur el relieve baja a 2700 m de altura, formando un canal de circulación atmosférica llamado Paso de Chalco, que en algunas ocasiones, dependiendo de la dirección del viento, permite la salida de contaminantes hacia Cuautla. En la parte central nuevamente se eleva, en la Sierra del Ajusco, hasta alcanzar alturas de 3600 m en promedio, prosiguiendo de esta manera hacia el sudoeste de la Cuenca, avanzando hacia el norte por la sierra de Chichinautzin y Las Cruces, hasta llegar a la parte noroccidental de la cuenca, la cual comprende una superficie de 9600 km<sup>2</sup>. De esta, el área urbana abarca 1498 km<sup>2</sup>, correspondiente al 16% de la Cuenca de México y de esta área 111 km<sup>2</sup> corresponden a zonas industriales.

Fig. 3. - Imagen de relieve sombreado con color para representar la altura



En la figura 3 se aprecia como las montañas al norte de la ciudad, las cuales no son muy altas sobre el nivel que ésta tiene, permiten el paso de los vientos del Noreste (VD, Vientos Dominantes), los cuales encuentran un gran obstáculo en la Sierra del Ajusco, que es muy alta, favoreciendo la acumulación de contaminantes en la ZMCM. (Cortesía de Ray Sterner, John Hopkins University Applied Physics Laboratory, 1999).

El clima de la ciudad es templado, con lluvias de Mayo a Septiembre, el resto del año está dominado por sistemas anticiclónicos que favorecen estabilidad atmosférica y poca dispersión de los contaminantes. Esta estabilidad impide que

las capas más bajas de la atmósfera circulen en zonas montañosas, produciéndose su estancamiento.

Debido a la barrera que forman las sierras al sur y poniente de la cuenca, los vientos dominantes se quedan estancados en ésta y se favorece la notable acumulación de contaminantes en la ciudad y sus precursores, como se describe a continuación:

El ozono se forma por reacciones químicas entre los óxidos de nitrógeno, emitidos principalmente por los automóviles y aparatos de combustión a muy altas temperaturas, y los hidrocarburos provenientes de fugas en el gas doméstico, uso de barnices y pinturas y otros materiales con solventes (Strauss, 1995); la reacción se lleva a cabo en presencia de radiación ultravioleta del Sol, de la cual se tienen altos índices a lo largo del año en la ZMCM. (Inventario de emisiones de la ZMCM). La gran cantidad de automóviles e industrias emiten cantidades enormes de óxidos de nitrógeno, la industria también aporta emisiones de disolventes cuya composición son hidrocarburos, así como las obras de pintado y bacheo. El enorme número de estufas y tanques de gas en mal estado o con fugas contribuye notablemente a las emisiones de hidrocarburos.

En la siguiente tabla se muestra el inventario de emisiones para la ZMCM en 1994

Tabla 1. - Inventario de emisiones en la ZMCM

SECTOR	CIFRAS EN POR CIENTO DEL TOTAL				
	PST	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	HC
Industria	1.4	57.3	0.4	24.5	3.2
Servicios	0.2	15.9	0.1	4.2	38.9
Transporte	4.2	26.8	99.5	71.3	54.1
Vegetación y suelos	94.2	0.0	0.0	0.0	3.8
Total	100	100	100	100	100

Fuente: PROAIRE, 1995.

Las emisiones de partículas a la atmósfera son ocasionadas por la erosión del suelo (suelos sin cubierta vegetal) o por la acción de los vientos al suspender polvos provenientes de áreas pavimentadas y sin pavimentar, y especialmente las zonas lacustres desecadas en la parte oriental de la cuenca. En las emisiones de partículas, una pequeña cantidad (5-10%) corresponde a emisiones antropogénicas, relacionadas con el hollín de chimeneas, uso de aerosoles y sprays y vehículos en circulación en vías sin pavimentar.

El resto de las emisiones (dióxido de azufre, monóxido de carbono) son generadas por las actividades antropogénicas como son: los procesos de transformación industrial, la quema de combustibles fósiles en industrias, servicios, transporte y hogares, así como la quema de residuos. (PROAIRE op cit)

El proceso de urbanización, que saturó la cuenca de México de gente, automóviles e industrias hizo desaparecer gran parte de las áreas verdes naturales en la ciudad, siendo que las superficies vegetales juegan un papel muy importante para la conservación de una buena calidad del aire, así como para

alcanzar condiciones climáticas. El proyecto de naturación, tiene como uno de sus propósitos fundamentales recuperar áreas verdes en la ciudad, solucionando el problema de la falta de espacio al hacer uso de las azoteas como superficies para cubrir con vegetación, compensando la pérdida de dichas superficies por efecto de la urbanización, creando una geometría de forma espiral o radial que enlace los espacios centrales de la ciudad densamente urbanizados, con las áreas verdes periféricas y conurbadas.

#### 1.4. Hipótesis

El proyecto de naturación involucra una serie de procesos multifactorial y compleja que tiene que ver con el microclima urbano y su impacto en la población susceptible de enfermarse por los altos niveles de contaminantes en la atmósfera. El análisis de costo-beneficio permite simplificar el análisis de dichos procesos y obtener una evaluación en un plazo determinado de las pérdidas o ganancias del proyecto.

La disminución de los niveles de contaminantes del tipo partículas suspendidas debida al proyecto producirá beneficios cuantificables a largo plazo.

El proyecto de naturación es predominantemente de carácter social. Su puesta en marcha es muy costosa, por lo cual se espera obtener beneficios superiores a los costos en un horizonte de planeación a largo plazo.

Se espera que la relación Costo/Beneficio sea mayor a uno durante los primeros años del proyecto y disminuya conforme el horizonte de planeación se amplíe.

## 1.5. Objetivos

### General:

Evaluar la viabilidad a nivel de prefactibilidad de un proyecto de naturación de construcciones en la ZMCM mediante la aplicación del análisis costo-beneficio.

### Particulares:

- Estimar los costos y beneficios directos e indirectos asociados con el proyecto de naturación.
- Describir los beneficios en términos de mejoras en la salud humana por reducir la contaminación de partículas  $PM_{10}$
- Definir que variables del proyecto impactan más en los costos.
- Plantear un horizonte de planeación para la ejecución del proyecto.
- Obtener posibilidades de ganancias o pérdidas monetarias al final del horizonte de planeación.
- Comparar brevemente los resultados contra la alternativa de reforestación.

## 1.6. METODOLOGIA

Para la evaluación de la relación costo-beneficio del proyecto de naturación se siguieron los pasos que se enlistan a continuación:

Se jerarquizó y ubicó el proceso de evaluación de proyectos y análisis de costo beneficio dentro del proceso de planeación. (Fuentes, 1990, Van Gich, 1987, Buendía, 1996, González, 1995, Kerzner, 1998, PROAIRE, 1995, IMP, 1998)

Se considera naturar el 20% de la mancha urbana de la ZMCM (299.6 km<sup>2</sup>).

Se estudian los efectos del proyecto sobre los niveles de Partículas Suspendidas Totales (PST), los cuales son proporcionales a la concentración de Partículas Suspendidas menores a 10 micras de diámetro (PM<sub>10</sub>), cuya variación permite estimar los beneficios en materia de salud pública. Se omite el estudio de otros contaminantes debido a que se requiere tener más datos a nivel piloto y utilizar modelos complejos de química atmosférica para evaluar el comportamiento de sus concentraciones en la atmósfera. Adicionalmente, está demostrado que la vegetación que se empleará en el sistema retiene principalmente partículas suspendidas (Briz, 1999)

Los montos de la inversión, costos sociales y beneficios se estimaron para cada año usando precios en dólares, actualizando con tasas de inflación en pesos para la inversión, insumos para la salud (beneficios) y transporte (costos sociales o precios sombra), convirtiendo la inflación a inflación en dólares al considerar la variación del tipo de cambio para cada periodo. Los costos y beneficios se convirtieron a Valor Presente utilizando una tasa de descuento del 8% anual (Prime rate, E.U.) (Datos obtenidos de la reserva federal de los E.U. a través de la base de datos economagica)

La evaluación de los costos sociales se realizó al comparar las pérdidas que sufre la población por dejar de construir obras de gran impacto social, como el metro, para construir superficies naturadas en la ZMCM

La estimación de la mejoría en los índices de la calidad del aire se determinó por medio de la ecuación de erodabilidad (Woodruff, 1965), la cual se anexa como apéndice. También se usaron medios empíricos, como la relación retención de partículas suspendidas contra superficie foliar. La tercera opción fue comparar la disminución promedio de los niveles de partículas suspendidas en la ZMCM durante la estación lluviosa, suponiendo que la capa vegetal que cubre gran parte del valle de México en esa época simula bien a la naturación. (RAMA, 1999) Las primeras dos formas de estimar la disminución de concentración de partículas suspendidas se basan en que la mayor parte de estas se depositan homogéneamente sobre la ciudad y se resuspenden cuando hay un incremento en la velocidad del viento si no existe una barrera que las retenga, la tercera combina el arrastre por lluvia junto con la retención de superficies vegetales. Su valor estriba en ser de utilidad para establecer cotas para el análisis de riesgo que se sigue posteriormente y por medio del cual se podrán fijar criterios de viabilidad a aplicarse sobre los resultados que a nivel de cámara de confinamiento o sistemas piloto se obtengan posteriormente.

Los beneficios en la salud se estimaron utilizando metodología de salud pública y epidemiología simplificada en forma de funciones dosis-respuesta, las cuales correlacionan niveles de contaminantes en el aire contra número de casos de un padecimiento por millón de habitantes. Las fórmulas están adaptadas para la población de la ZMCM. (Avila, 1996, Burchard, 1974, Castillejos, 1995, Dockery, 1992, Environment Canada, 1998, Flores, 1995, Meneses, 1995, Ozkaynak, 1992, Pope, 1987, Romieu, 1996, Téllez, 1997)

Estos beneficios en salud se determinan como casos de enfermedad o mortalidad en términos monetarios utilizando estadísticas sobre el valor de una vida en

México, horas hombre perdidas por enfermedad contra salario promedio y en algunos casos, con estimaciones de lo que cuesta un enfermo con un padecimiento crónico asociado a la contaminación. Aun cuando esta forma de evaluar los beneficios deja de lado el análisis de costos intangibles como el dolor humano, en esta primera etapa de valuación se utilizan los criterios monetarios, dada la dificultad, el costo y el extenso análisis que deben seguirse para estimar los beneficios intangibles. (Margulis, 1992, Ostro, 1994, Ostro, 1995)

Los costos y beneficios se comparan a valor presente neto; los cocientes de costos sobre beneficios para los periodos que se analizan determinan la relación.

Se realiza un análisis de sensibilidad para determinar que variables impactan con mayor medida al proyecto en caso de cambios. (Sapag, 1995, Coss Bu, 1987)

Se realiza un análisis de riesgo, utilizando una distribución estadística triangular sobre los flujos de efectivo para cada año, con la finalidad de estimar la probabilidad de tener pérdidas o ganancias entre dos plazos diferentes de planeación (Coss Bu, 1987). Se utilizó para estos cálculos el paquete CASH, diseñado por el profesor Chan S. Park de la Universidad de Alabama.

Se calculó la Tasa Interna de Retorno (TIR), para el horizonte de planeación que representa ganancias (30 años, este plazo se determinó como resultado de los cálculos en el capítulo 5, no se podía saber *a priori* el tiempo).

Se compara el proyecto contra la alternativa de reforestar en áreas rurales utilizando los costos de inversión y beneficios esperados para establecer las ventajas y desventajas de cada uno.

## **CAPITULO 2. - DAÑOS A LA SALUD POR CAUSA DE LOS CONTAMINANTES**

### **2.1. Efectos de los Contaminantes en la Salud**

Algunos de los daños más importantes ocasionados por la contaminación ambiental, son los relacionados con la salud humana. Se ha demostrado que la contaminación del aire incrementa la morbilidad y mortalidad de las personas que se exponen a ella, no sólo por exposiciones esporádicas de contaminantes tóxicos, sino por exposición a largo plazo a contaminantes como el SO<sub>2</sub>, el ozono, los óxidos de nitrógeno, etc. (Ostro, 1994)

Mediante correlaciones entre concentración de contaminantes y morbilidad y mortalidad, es posible predecir el cambio en los índices de estas últimas debido a variaciones en la calidad del aire; y de ahí, estimar los beneficios en salud que se obtendrían por mejorar dicha calidad mediante la puesta en marcha de un proyecto.

Durante mucho tiempo no hubo ninguna preocupación por los efectos que tendría emitir residuos al aire. Durante este siglo, una serie de fenómenos asociados con baja dispersión de contaminantes llevaron a recapacitar sobre el riesgo potencial que conlleva la contaminación del aire.

En Diciembre de 1930, una región altamente industrializada del valle de Mosa, en Bélgica, se cubrió durante tres días con una espesa niebla, a consecuencia de ello enfermaron cientos de personas y 60 murieron, más de 10 veces el número normal para el mismo periodo de tiempo. En 1931, una espesa niebla cubrió el área de Manchester y Salford en Inglaterra durante 9 días, muriendo 592 personas. En 1948 en Donora, Pennsylvania, un pueblo con abundantes industrias químicas y siderúrgicas se cubrió por la niebla durante 4

días. Enfermaron 14000 personas y 20 murieron. Diez años después, los habitantes que enfermaron gravemente presentaron frecuencias de mortalidad y morbilidad mayores al resto de la población. En 1952, Londres tuvo 4 días de niebla y 10 días después se confirmó que el número de muertes sobrepasó en 4000 al promedio. (Kenneth, 1990)

A continuación se discuten los principales resultados obtenidos en investigaciones sobre salud y contaminación en México

### 2.1.1. Ozono

La exposición al ozono produce irritación ocular, irritación de la mucosa nasal y orofaríngea, tos, dificultad para respiración profunda, opresión en el pecho, náusea y cafolea. A concentraciones entre 0.12 y 0.20 ppm la función respiratoria en niños disminuye de manera reversible (Castillejos, 1995, Romieu 1995), las crisis de los pacientes asmáticos se exacerban y la respuesta al tratamiento disminuye.

Resultados de numerosos estudios indican que la exposición a ozono puede ocasionar inflamación pulmonar, depresión del sistema inmunológico frente a infecciones pulmonares, cambios agudos en la función, estructura y metabolismo pulmonar, y efectos sistémicos en órganos blancos distantes al pulmón, como por ejemplo el hígado . Las investigaciones toxicológicas con animales son sumamente útiles pues permiten conocer el espectro completo de los efectos y condiciones de exposición que no pueden investigarse en seres humanos. La mayoría de los expertos acepta una extrapolación cualitativa entre animales y humanos, o sea que los efectos que causa el ozono en animales pueden presentarse en humanos bajo ciertas condiciones de exposición (dependiendo de la concentración, duración y actividad física realizada). Sin

embargo, hay mucho menos consenso con relación a las extrapolaciones cuantitativas (e.g., los niveles de exposición en los que los efectos observados en animales también aparecen en humanos).

Los estudios de exposición en seres humanos se realizan utilizando concentraciones fijas de ozono bajo condiciones cuidadosamente controladas. El propósito fundamental de este tipo de estudios es obtener datos sobre la respuesta a cierto nivel de exposición. Los efectos pulmonares observados en seres humanos saludables expuestos a concentraciones urbanas típicas de ozono consisten en un decremento de la capacidad inspiratoria, una broncoconstrucción moderada y síntomas subjetivos de tos y dolor al inspirar prolongadamente. La reducción de la capacidad inspiratoria da como resultado una reducción en la capacidad vital forzada (CVF) y en la capacidad pulmonar total (CPT), y en combinación con la broncoconstrucción contribuye a una reducción en el volumen expiratorio forzado en un segundo (VEF1) (Castillejos op cit, Romieu op cit).

En los últimos ocho años se ha publicado un considerable número de artículos informando sobre los efectos en la salud causados por ozono y otros oxidantes fotoquímicos a niveles muy cercanos a la norma actual de calidad del aire (0.11 ppm en 1 hora de exposición cada tres años). Algunos de los estudios recientes en los que se expone a individuos por períodos de 1 a 2 horas indican que pueden presentarse decrementos en la función pulmonar de niños y adultos jóvenes cuando se exponen a concentraciones de 0.12 a 0.16 ppm, mientras llevan a cabo diferentes niveles de ejercicio. (Meneses op cit, Romieu op cit)

Otros estudios sobre exposición prolongada (de hasta 7 horas) a concentraciones bajas de ozono en el intervalo de 0.08 a 0.12 ppm, indican que existe un decremento progresivo de la función pulmonar, así como un incremento

en los síntomas respiratorios en situaciones de ejercicio moderado (Castillejos, 1995).

Desde una perspectiva de análisis de riesgo, el hecho de que en la ZMVM se rebasa prácticamente todos los días del año la norma de ozono y que estas excedencias a la norma ocurren en toda la zona urbana, nos permite afirmar que el 100% de la población de la ciudad se ve expuesta con frecuencia y por períodos de una o más horas, a concentraciones de ozono superiores a 0.11 ppm (norma actual). Adicionalmente, un porcentaje importante de la población (aquellos que trabajan o se ejercitan al aire libre, y quienes viven en la zona suroeste de la ciudad) se ve expuesto con frecuencia a concentraciones de por lo menos dos veces la norma actual. Con estos niveles de exposición, aun los individuos adultos sanos experimentan efectos como irritación severa de las mucosas, resequedad y cefaleas. En individuos asmáticos y con otros padecimientos respiratorios se puede presentar una disminución significativa de la capacidad pulmonar

#### 2.1.2. Partículas Suspendidas Totales (PST)

Las partículas suspendidas en el aire, solas o en combinación con otros contaminantes representan un peligro muy grave para la salud. Los daños al aparato respiratorio son directos, ya que un estudio estima que el 50% de las partículas entre 1 y 100  $\mu$  que penetran a las cavidades pulmonares se depositarán ahí. (Burchard, 1974)

Las partículas pueden ocasionar daños a las vías respiratorias debido a que sus características químicas y/o físicas pueden aumentar su toxicidad, por ejemplo, las partículas de hollín de una chimenea donde se quema combustóleo, pueden variar en su toxicidad, dependiendo de la cantidad de azufre en ese combustible, difiriendo en toxicidad respecto a las partículas alcalinas que se emiten en el lecho seco del lago de Texcoco, o las partículas de polen o tierra

provenientes de zonas agrícolas y silvestres de las sierras o de erupciones volcánicas.

Las partículas pueden tener un origen natural o bien formarse por reacciones fotoquímicas en la atmósfera. Estas últimas pueden estar constituidas por sulfatos y nitratos (y sus ácidos correspondientes), o por carbón orgánico. Por ejemplo, estudios realizados en Ciudad Universitaria en 1992, mostraron que durante el día, muestras de aerosoles de diámetro menor a 2.5 micras, tenían un contenido de 15% de sulfatos, 16% de nitratos, 20% de carbono orgánico y un 49% de otros compuestos. También existen partículas y aerosoles en estado líquido, que contienen compuestos orgánicos. Más adelante, en 1997, en el estudio IMADA (Ortiz, et al., 1997), se identificó que en el área de la Merced y Pedregal la composición de las partículas es aproximadamente 40% de materia orgánica, 10% de nitratos, 15 % de sulfatos y el 35% de otros compuestos, mientras que en Ciudad Nezahualcóyotl, la composición de las partículas consiste en un 25% de materia orgánica, 25 % de nitratos, 10 % de sulfatos y el 50% son otros materiales.

El origen de los aerosoles y partículas puede deberse a la emisión de polvos, gases y vapores provenientes de vehículos automotores y fábricas; asimismo, se pueden formar en la atmósfera a partir de gases y vapores producidos por alguno de los siguientes procesos: Reacciones químicas entre contaminantes gaseosos; reacciones químicas entre contaminantes gaseosos en la superficie de partículas ya existentes; aglomeración de aerosoles; o reacciones fotoquímicas en las que intervienen compuestos orgánicos. En la ciudad de México se tiene un aporte muy grande de partículas provenientes de las áreas rurales y agrícolas de temporal, las sierras de Guadalupe y Santa Catarina, además de zonas vecinas al lago de Texcoco y zonas industriales y el aporte vehicular

La exposición a las partículas suspendidas puede causar reducción en las funciones pulmonares, lo cual contribuye a aumentar la frecuencia de las enfermedades respiratorias. En concentraciones muy elevadas, ciertas partículas (como el asbesto) puede provocar cáncer de pulmón y muerte prematura.

Específicamente, las partículas pueden tener cualquiera de los siguientes efectos:

- Consecuencias tóxicas debido a sus inherentes características físicas, químicas o ambas.
- Interferir con uno o más mecanismos del aparato respiratorio.
- Actuar como vehículo de una sustancia tóxica absorbida o adherida a su superficie.

Las partículas en conjunción con el bióxido de azufre provocan respiración agitada, disminución del volumen de las vías respiratorias, dificultad para respirar e irritación en las vías respiratorias, de leve a severa. Adicionalmente, las partículas muestran efectos sobre la visibilidad, sobre todo las menores a 2.5 micras, dado que interfieren con la luz visible. La disminución de la visibilidad se debe a la dispersión y en algunos casos, por absorción de la luz por los aerosoles o partículas. (Ortiz, 1997)

Las partículas suspendidas menores a 10 micras de diámetro aerodinámico pueden ser inhaladas y llegar a los pulmones, causando daños a la salud. Actualmente, se considera que esta clase de partículas representa un mejor indicador de la calidad del aire que las partículas suspendidas totales, que anteriormente se utilizaban como contaminante criterio. Actualmente, la norma de calidad del aire para  $PM_{10}$  adoptada en México y en los Estados Unidos es de 150

$\mu\text{g}/\text{m}^3$  (PROAIRE, 1995). En promedio se miden  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , a lo largo del año (Red Automática de Monitoreo Atmosférico [RAMA], 1995)

La exposición a  $\text{PM}_{10}$  ha generado una creciente preocupación en los últimos años, pues día a día aparecen estudios que demuestran una asociación significativa entre la concentración ambiental de partículas de la fracción respirable y la mortalidad y morbilidad de las poblaciones. En forma sorprendentemente consistente, a través de muchos estudios se ha encontrado un 3% de incremento en la mortalidad normal diaria por cada  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de incremento en  $\text{PM}_{10}$  a partir del valor de la norma, siendo la asociación más significativa con cánceres cardiopulmonares y de pulmón. Es de especial preocupación el hecho de que no parece existir una concentración mínima en la cual ya no se detecten impactos en la salud.

Tomando en cuenta las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  que se presentan cotidianamente en la ZMVM se puede concluir que más de la mitad de la población de la ciudad se ve expuesta diariamente a concentraciones superiores a  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (norma actual), y que un número considerable de individuos están expuestos a concentraciones mucho mayores. En un mes (Marzo de 1997), se excedió siete veces la norma mencionada en la ZMCM (Ortiz, et al, 1997), midiéndose un máximo de  $542 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , contando en dicho mes con lluvias extraordinarias que contribuyeron a disminuir los índices de PST. Normalmente no sucede así. A pesar de que no existen estudios completos realizados en México, los datos arriba mencionados nos sugieren que la contaminación por partículas suspendidas debe contribuir de manera significativa a la incidencia de enfermedades respiratorias así como a un incremento en la mortalidad por encima de los niveles atribuibles a otros factores.

Hasta la fecha ha sido necesario depender de los datos estadísticos, tales como aumento en las admisiones hospitalarias, ausentismo escolar y laboral y la mortalidad para estimar el impacto que tienen diferentes niveles de partículas suspendidas en la salud. (Ostro, 1994; Margulis, 1992)

Diversos estudios ( Ostro op cit, Margulis op cit, Romieu op cit, Oskaynak), han demostrado una relación entre los aumentos en la concentración de partículas y el incremento en el número de visitas a hospitales, ausentismo, incremento del número de casos de enfermedades respiratorias, afecciones cardíacas, asma, pulmonía, enfisema y muertes.

### 2. 1. 3. Oxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)

De los seis o siete óxidos de nitrógeno que comúnmente se hallan en la atmósfera, sólo en óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) son importantes contaminantes del aire. Ninguno de los dos causa daños directamente a los materiales o vías respiratorias, sin embargo, cuando reaccionan con la humedad presente en la atmósfera forman ácido nítrico.

El monóxido y el bióxido de nitrógeno son potencialmente dañinos para la salud humana, estimándose que el bióxido es aproximadamente 4 veces más tóxico que el monóxido (PROAIRE, 1995). A la concentración que se encuentra en la atmósfera el óxido nítrico no es irritante y no se le considera como un peligro para la salud, sin embargo, al oxidarse se convierte en bióxido de nitrógeno que sí representa un riesgo para la salud. El óxido nítrico se deriva de los procesos de combustión; es un contaminante primario y juega un doble papel en materia ambiental, ya que se le reconocen efectos potencialmente dañinos de manera directa, al mismo tiempo que es uno de los precursores del ozono y otros oxidantes fotoquímicos.

La acumulación de bióxido de nitrógeno en el cuerpo humano constituye un riesgo para las vías respiratorias ya que se ha comprobado que puede alterar la capacidad de respuesta de las células en el proceso inflamatorio, como sucede con las células polimorfonucleares, macrófagos alveolares y los linfocitos, siendo más frecuente en casos de bronquitis crónica.

La mayor parte de la información disponible en cuanto a pruebas con concentraciones reducidas, procede de estudios de laboratorio con personas voluntarias, y con animales cuando se trata de concentraciones elevadas. El aumento de las dosis desemboca en una secuencia de efectos: problemas de percepción olfativa, molestias respiratorias, dolores respiratorios agudos, edema pulmonar (acumulación de fluido) y, finalmente, la muerte.

#### 2. 1. 4. Oxidos de Azufre ( $SO_x$ )

Estos contaminantes se presentan en los mismos tipos de atmósfera contaminada por partículas y con alta humedad relativa, por lo que pocos estudios epidemiológicos han sido capaces de diferenciar adecuadamente los efectos de dichos contaminantes.

Varias especies de animales, incluyendo el hombre, reaccionan con broncoconstricción ante el  $SO_2$ , pudiéndose evaluar este efecto como un ligero aumento en la resistencia en el conducto de aire.

El bióxido de azufre, que puede ser oxidado en la atmósfera a trióxido de azufre, se genera tanto en fuentes naturales como en la combustión de materiales, principalmente combustibles fósiles, que contienen azufre. Los óxidos de azufre son solubles en agua y al hidratarse dan lugar a la formación de ácidos sumamente agresivos. Aquéllos se hidratan con la humedad de las mucosas

conjuntiva y respiratoria y constituyen un riesgo por producir irritación e inflamación aguda o crónica y suelen adsorberse en las partículas suspendidas, lo que da lugar a un riesgo superior, puesto que su acción conjunta es sinérgica.

La magnitud de la respuesta de un individuo asmático es típicamente la broncoconstricción, misma que es variable y diferente para cada persona; aunque dicha respuesta es inducida por la exposición a cualquier concentración de bióxido de azufre, la realización de una actividad moderada a exposiciones de 0.4 a 0.5 ppm o mayores, implica un riesgo importante para la salud de la persona; puede que sea necesario no sólo detener su actividad, sino recibir atención médica. (PROAIRE, 1995)

La combinación del bióxido de azufre con partículas suspendidas, en condiciones favorables para su acumulación y oxidación (la presencia de metales en las partículas cataliza la oxidación), ha sido la responsable de episodios poblacionales, así como del incremento de la morbilidad y la mortalidad en enfermos crónicos del corazón y vías respiratorias.

Los óxidos de azufre penetran en los pulmones y se convierten en un agente irritante del tracto respiratorio inferior, cuando se adsorben en la superficie de las partículas respirables que se inhalan o al disolverse en las gotas de agua que penetran por la misma vía. Tanto la adsorción como la conversión a sulfato tienen lugar en la atmósfera. Los aerosoles sulfatados son agentes irritantes de tres a cuatro veces más potentes que el bióxido de azufre. Estas pequeñas partículas penetran hasta los pulmones, donde se depositan y, si el bióxido de azufre no está ya en forma de sulfato, el ambiente húmedo de los pulmones proporciona las condiciones apropiadas para su oxidación.

Los sulfatos constituyen un peligro serio para la salud, habiéndose demostrado que concentraciones muy bajas de sulfatos (de 8 a 10 microgramos por metro cúbico) ejercen efectos adversos sobre los asmáticos, los ancianos y otras personas susceptibles con problemas respiratorios crónicos.

#### 2. 1. 5. HC (hidrocarburos)

La mayoría de los hidrocarburos reaccionan en la atmósfera para producir contaminantes fotoquímicos, como el ozono, pero son inofensivos para la salud, a excepción de los compuestos aromáticos, tales como el benceno en las gasolinas, los cuales se ha demostrado que causan leucemia y cáncer (Flores, 1995).

Además de su función como precursores de la formación de ozono y otros oxidantes, los compuestos orgánicos volátiles (COV) son motivo de especial preocupación debido a su alta toxicidad en los seres humanos. En México, aún no se implanta un programa continuo y de amplia cobertura de análisis atmosférico de COV, ni tampoco se ha establecido una norma de calidad del aire para estos compuestos. En los Estados Unidos, a pesar de que se realizan mediciones de COV en muchas ciudades, no constituyen por sí mismos un parámetro de calidad del aire, debido a la diversidad de sus especies, de sus propiedades tóxicas y de su alta reactividad. A pesar de las dificultades para el establecimiento de normas para COV, algunos de estos tóxicos como el benceno, el formaldehído, el acetaldehído o el 1,3-butadieno deberían analizarse periódicamente para identificar y prevenir problemas potenciales de salud ambiental (PROAIRE, 1995).

- Benceno

El benceno es un compuesto clasificado por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer como carcinógeno del Grupo 1, lo que significa que existe suficiente evidencia científica para probar una relación positiva entre la

exposición al tóxico y el desarrollo de cáncer. Más específicamente, se ha encontrado que los trabajadores expuestos al benceno tienen una mayor probabilidad de desarrollar leucemia aguda que la población en general. Asimismo, se sabe que el benceno tiene efectos hematológicos, inmunológicos y sobre el sistema nervioso central. (PROAIRE, 1995)

En estudios de exposición realizados en Los Angeles se encontró que la principal fuente de exposición al benceno es el cigarro (39%) y la principal fuente de benceno en la atmósfera son las emisiones de los vehículos automotores (82%), así como las pérdidas evaporativas de hidrocarburos durante el manejo, distribución, almacenamiento y abastecimiento de gasolina. A pesar de que el contenido de benceno en la gasolina en México es relativamente bajo (menos del 2%), debido a su toxicidad y al alto consumo de combustible en la ZMVM, es necesario aumentar las estaciones de medición y realizar estudios de exposición para poder llevar a cabo un análisis de riesgo que indique el porcentaje de la población que se encuentra expuesta a niveles inaceptables de este hidrocarburo.

- Formaldehído

El formaldehído puede ser emitido por vehículos automotores o ser producido por reacciones fotoquímicas en la atmósfera. Las emisiones de formaldehído de origen vehicular se incrementan con el uso de gasolinas oxigenadas. La presencia de formaldehído en la atmósfera de la ZMVM fue detectada en estudios del Centro de Ciencias de la Atmósfera en 1990 y en las campañas de muestreo de la RAMA y del Estudio Global de la Calidad del Aire, coordinados por el Instituto Mexicano del Petróleo. (EGCA, 1992)

Está bien documentado el hecho de que el formaldehído ocasiona irritación ocular y olfatoria, irritación de las membranas mucosas, tos, náusea, y alteraciones en la respiración. El formaldehído ha sido asociado con cáncer nasal

y nasofaríngeo, principalmente en ambientes ocupacionales. La exposición al formaldehído debe reducirse no sólo por su probable efecto carcinógeno, sino también por su potencial para causar daño tisular. Algunos estudios epidemiológicos recientes sobre el formaldehído sugieren que el umbral para daño tisular es  $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sin embargo es muy difícil hacer una evaluación de riesgo formal del efecto como carcinógeno debido al limitado número de datos disponibles actualmente. (PROAIRE, 1995)

- Hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA)

Los HPA son un grupo de compuestos químicos que se forman durante la combustión incompleta de madera y combustible fósil. Las concentraciones de estos compuestos pueden ser bastante altas en las emisiones de los vehículos que usan diesel. Uno de los HPA más conocidos es el benzo -a-pireno. Estos compuestos pueden ser absorbidos en el intestino y los pulmones.

Existe bastante evidencia experimental que indica que los HPA son mutagénicos y carcinogénicos. Estudios específicos indican un riesgo mayor de desarrollar cáncer en personas ocupacionalmente expuestas a los HPA. Más específicamente, se ha encontrado que individuos que trabajan como conductores de camiones o mensajeros tienen un riesgo significativamente mayor de contraer cáncer de vejiga (PROAIRE, 1995).

Se puede concluir que a pesar de que se cuenta con un sistema de análisis continuo adecuado para los contaminantes que tradicionalmente se miden en un centro urbano, es recomendable llevar a cabo un seguimiento de las concentraciones de algunos tóxicos aun no incluidos entre los contaminantes tradicionalmente analizados en la ZMVM.

Tabla 2. - Principales resultados en México en investigación sobre contaminación y salud

AREA	CONTAMINANTE	AUTOR	PROPÓSITO	RESULTADOS
Modelos de exposición	PM <sub>10</sub>	Grupo del INSP	Estudio de correlación	La exposición personal está ligada a fuentes internas
Efectos de exposición al plomo	Plomo	Rothemberg	Estudio de cohorte	El nivel de plomo afecta el CI
Mortalidad debido a contaminantes	Plomo	Estudio de seguimiento	Efecto positivo de las medidas para reducir plomo en gasolina en los niveles en sangre	Mortalidad debido a contaminantes
	CO, O <sub>3</sub>	Secretaría de salud	Análisis de correlación	Relación significativa entre mortalidad, O <sub>3</sub> y CO
Exposición al ozono	SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , partículas	Borja Aburto et al. (INSP)	Correlación mediante series de tiempo	Riesgo de muerte significativamente mayor a concentraciones altas de PM <sub>10</sub>
Exposición al ozono	O <sub>3</sub>	I.N. de Pediatría	Estudio clínico	Daño a las células lubricantes de la nariz de acuerdo con la exposición
Exposición al ozono	O <sub>3</sub>	Castillejos	Estudio clínico	Función pulmonar disminuida de acuerdo con la exposición
Exposición al ozono	O <sub>3</sub>	Romieu	Seguimiento	Riesgo alto de ausentismo escolar (14 al 21%) debido a la exposición
Exposición al ozono	O <sub>3</sub>	Romieu	Retrospectiva	Se incrementa el riesgo (43%) de ataques severos de asma debido a la exposición
Exposición a contaminantes	CO, SO <sub>2</sub> , partículas	INSP	Seguimiento	El SO <sub>2</sub> duplica el riesgo de hospitalización de emergencia. El riesgo de enfermedad respiratoria se incrementa en un 80%

FUENTE: Marfinez, A.P. Recopilación de estudios sobre contaminación y salud en México. En proceso de publicación.

Tabla 2. - Principales resultados en México en investigación sobre contaminación y salud

AREA	CONTAMINANTE	AUTOR	PROPÓSITO	RESULTADOS
Modelos de exposición	PM <sub>10</sub>	Grupo del INSP	Estudio de correlación	La exposición personal está ligada a fuentes internas
Efectos de exposición al plomo	Plomo	Rottemberg	Estudio de cohorte	El nivel de plomo afecta el CI
Mortalidad debido a contaminantes	Plomo	Estudio de seguimiento	Efecto positivo de las medidas para reducir plomo en gasolina en los niveles en sangre	Mortalidad debido a contaminantes
	CO, O <sub>3</sub>	Secretaría de salud	Análisis de correlación	Relación significativa entre mortalidad, O <sub>3</sub> y CO
Exposición al ozono	SO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , partículas	Borja Aburto et al. (INSP)	Correlación mediante series de tiempo	Riesgo de muerte significativamente mayor a concentraciones altas de PM <sub>10</sub>
Exposición al ozono	O <sub>3</sub>	I.N. de Pediatría	Estudio clínico	Daño a las células lubricantes de la nariz de acuerdo con la exposición
Exposición al ozono	O <sub>3</sub>	Castillejos	Estudio clínico	Función pulmonar disminuida de acuerdo con la exposición
Exposición al ozono	O <sub>3</sub>	Romieu	Seguimiento	Riesgo alto de ausentismo escolar (14 al 21%) debido a la exposición
Exposición al ozono	O <sub>3</sub>	Romieu	Retrospectiva	Se incrementa el riesgo (43%) de ataques severos de asma debido a la exposición
Exposición a contaminantes	CO, SO <sub>2</sub> , partículas	INSP	Seguimiento	El SO <sub>2</sub> duplica el riesgo de hospitalización de emergencia. El riesgo de enfermedad respiratoria se incrementa en un 80%

FUENTE: Martínez, A.P. Recopilación de estudios sobre contaminación y salud en México. En proceso de publicación.

### **CAPITULO 3. - LA PLANEACIÓN Y LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS**

La planeación es un proceso compuesto por múltiples actividades que pueden estar interrelacionadas, completa o parcialmente, su objetivo es actuar sobre un sistema, definiendo los cursos de acción necesarios para cambiarlo con ciertos propósitos. Los cursos de acción deben ser coherentes con el logro de los objetivos.

En el marco de un modelo general de planeación, se observa que ésta existe en diferentes niveles. El primero de ellos, se define qué propósitos se tienen para el futuro, se define el porqué de esos propósitos y se estudian las interacciones entre el sistema y su medio ambiente. Este tipo de planeación se extiende por un plazo indefinido. En este nivel se define el problema y sus alcances.

En un segundo nivel, se encuentra la planeación estratégica, la cual determina lo que podrá ser hecho dado un horizonte de planeación, y la situación existente entre fuerzas afines y contrarias con los propósitos perseguidos. Este tipo de planeación tiende a ser a largo plazo. En este nivel se generan alternativas posibles en el marco de la situación prevaleciente o programas.

En un tercer nivel se encuentra la planeación táctica, la cual se enfoca en las interacciones dentro del sistema como un todo, su perspectiva es a mediano plazo. En este nivel se generan los proyectos, derivados de las alternativas, que ayudarán a dar cumplimiento a los programas. También se evalúan los proyectos para seleccionar los más apropiados.

Por último, se encuentra la planeación operacional y de recursos, en donde la tarea principal consiste en seleccionar los medios para dar cumplimiento a los programas o proyectos formulados en fases anteriores y en

especificar los recursos necesarios para cumplirlos satisfactoriamente. (Buendía, 1995)

De acuerdo con lo anterior, la evaluación de proyectos forma parte de la planeación táctica, la cual se utiliza como apoyo a las estrategias, de manera que se evaluará la viabilidad de la táctica y no se discutirá, a este nivel, la bondad o perversidad de las estrategias o planes desde su origen.

### 3.1. Metodología de la Planeación.

Lo que se busca a través del proceso de planeación es producir una serie de medidas o acciones a través de las cuales se logre una interacción entre los componentes de un proyecto y su entorno, de manera que los resultados de dicha interacción produzcan una salida o resultado acorde con los fines que se desean.

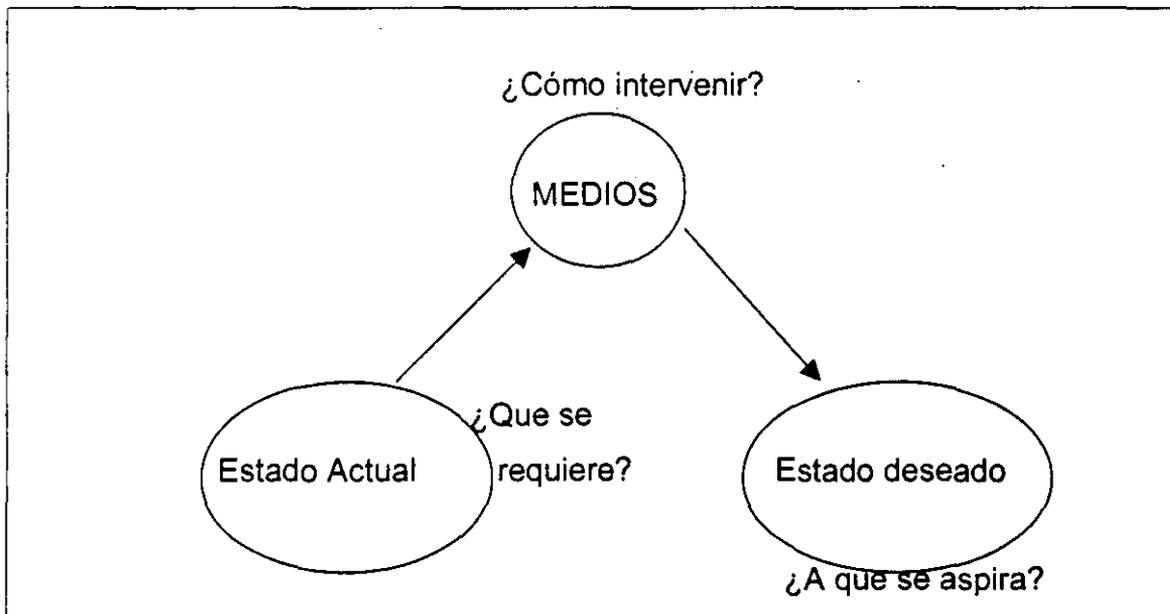
En la parte más general del proceso, se busca atender toda la problemática, dándosele el nombre de planeación comprensiva, teniendo en cuenta los distintos tipos de objetivos, plantear el número más amplio de alternativas y predecir las diferentes consecuencias de cada opción. El proceso es lineal, pues se estructura paso a paso, hasta la estructuración total de un plan.

El proyecto de naturación es una medida comprendida dentro del PROAIRE, el cual en la escala jerárquica representa el proceso de planeación normativa, ya se han diseñado las estrategias del programa y cada estrategia cubre un amplio rango de propuestas y proyectos, dentro de los cuales se encuentra el proyecto de naturación, como una medida con metas, alcances y marco de acción bien definidos, requiriéndose saber en el contexto del presente trabajo únicamente si las ventajas que la naturación aporta a la población al mejorar la calidad del aire, son mayores a las desventajas, básicamente costos de inversión que serán pagados con dinero proveniente de impuestos. El problema se reduce a evaluar un proyecto, que es social, para

En los problemas prácticos la planeación o la toma de decisiones se lleva a cabo bajo condiciones muy alejadas del ideal, ya que por diversas razones no es posible tener la totalidad del conocimiento requerido. La imposibilidad en ciertos casos de contar con mediciones o desarrollar modelos complejos para situaciones poco conocidas conllevan al uso de tácticas que simplifiquen los problemas, apartándose de la realidad entre mayor es la complejidad del proceso de planeación. Cuando el número de variables interconexas es amplio y malentendido, se requiere usar métodos de alta generalidad, dejando el uso de los métodos más específicos para los problemas más fácilmente dimensionables y mejor entendidos. (Van Gich, 1987)

En la planeación se pueden dar una gran variedad de situaciones particulares, sin embargo, se han identificado ocho tipos de problemas relacionados con la planeación (Fuentes, 1990), de los cuales se presenta la estructura general (Fig. 4) y se discute brevemente cada uno de ellos.

Fig. 4. - Esquema representativo de una situación problemática y cómo intervenir



(Fuentes, 1991)

En situaciones donde se conoce muy bien la situación actual y se conocen los medios para actuar, se tienen problemas de programación y presupuestación, es decir, se fijan detalles y reglas de operación precisos, se optimiza el uso de los recursos para la obtención de los resultados previstos en los plazos, cantidad y calidad deseados. Por ejemplo, si el proyecto de naturación se lleva a cabo, se define quienes participan en su ejecución, los civiles, o el ejército, en lo que a mano de obra se refiere. Se realiza los fines de semana o la construcción es ininterrumpida, los insumos como son impermeabilizantes, tierra, quienes serán los proveedores y cuánto pueden surtir en un tiempo determinado, qué colonias se naturan primero y cuáles después, todo este tipo de detalles, que responden al qué, dónde, cuánto y quiénes se toman en cuenta en esta situación.

Si los medios para lograr los resultados son diversos y no se sabe bien con cual se cuenta, se tienen los problemas de evaluación. El trabajo que se desarrolla en esta tesis trata sobre un caso particular de este tipo de problemas, al evaluar un solo curso de acción que después se comparará contra otros que ya han sido evaluados, como la reforestación, en este caso no para decidir cual se queda como única opción, pero sí para saber si la naturación es una medida aceptable o se rechaza.

Existen situaciones, por ejemplo, a mediados de los ochenta, cuando la contaminación amenazaba la vida en la ciudad y no se conocían maneras de actuar sobre ella, en que se requiere identificar iniciativas de cambio. Debido a la complejidad del problema se identificaron primero bajo el nombre de 100 acciones para prevenir la contaminación, con el tiempo han tenido que cambiar, desapareciendo unas y apareciendo otras. Este tipo de problemas tratan de responder a los cómo y hacia dónde.

Los problemas operacionales, de competencia y cambio normativo impactan con mayor frecuencia a las organizaciones, al factor humano y el desarrollo de soluciones donde existe competencia por ganar una posición política o de mercado, por ello, no se discutirán en este trabajo.

Los otros dos problemas los constituyen los problemas de alta complejidad o problemas plurales. Aun cuando este tipo de problemas se presentarán al comunicarle a la ciudadanía, en caso de ser aprobado, el proyecto de naturación, no se discutirán, pues el objetivo de este trabajo es ayudar a tomar una decisión desde un punto de vista operacional, dejando de lado por el momento los factores sociales que son muy complejos y difíciles de estudiar.

### 3.2. La Evaluación de Proyectos.

Un proyecto es un plan de acción prospectiva que tiende a resolver una necesidad humana. Normalmente (Buendía, 1995) se diseña un plan, conforme a los objetivos de ese plan se establecen programas que tienden a apoyar las estrategias y tácticas y en el nivel más bajo se encuentran los proyectos, los cuales son cursos de acción planificadas de acuerdo con las necesidades que desean satisfacer, con un tiempo de vida finito y unas metas y propósitos bien definidos.

Los proyectos se evalúan basándose en estimaciones de lo que se espera sean en el futuro los beneficios y costos asociados al proyecto. El horizonte de tiempo en que se evalúa el proyecto normalmente es de diez años, sin conocer la fecha en que el inversionista, en este caso la sociedad, puede estar en condiciones de llevarlo a cabo. Por lo tanto es necesario pronosticar el comportamiento de las variables que servirán para medir dichos costos y beneficios. En el caso de proyectos de inversión se estima el comportamiento de precios, disponibilidad de insumos, avance tecnológico, evolución de demanda, comportamiento de competencia, etc. (Kerzner, 1998)

En el caso de el proyecto de naturación, las variables que afectan su viabilidad son el costo del sistema por unidad de superficie, la población, el valor estadístico de una vida humana, los costos de insumos para la salud, la

tasa de crecimiento demográfico, el comportamiento de las tasas de inflación y las tasas reales de interés.

La evaluación de proyectos pretende medir objetivamente algunas magnitudes cuantitativas que resultan del estudio del proyecto y dan origen a operaciones matemáticas que permiten obtener diferentes coeficientes de evaluación. Dada la naturaleza del proyecto de naturaleza, se requiere utilizar los criterios de evaluación social de proyectos.

Existen tres niveles de toma de decisiones en un estudio de evaluación de un proyecto o programa: El nivel de prefactibilidad, de factibilidad y el definitivo.(Fontaine, 1997)

Realizar un estudio de evaluación completo de manera que se tenga absoluta certeza y medición de todos los parámetros que afectan el desempeño de un proyecto representa una inversión notable, solamente en la adquisición de la información.

En un nivel de prefactibilidad se utilizan documentos e información secundaria, producto de otras investigaciones y publicaciones en la materia que existen para su consulta en diferentes acervos de información, incluyendo internet en los últimos años, llamándosele a esta etapa "estudio de gabinete". En este tipo de estudio la incertidumbre puede ser hasta de un 100% en las estimaciones y sirve como apoyo preliminar a la toma de decisiones.

En un nivel de factibilidad, se cuenta con fuentes adicionales específicas, las cuales generan un mejor conocimiento sobre los requerimientos del proyecto, pero aun se recurre con frecuencia al estudio de gabinete y se refinan y actualizan datos sobre los parámetros de interés, pudiéndose trabajar con bases de datos, elaborar encuestas o comprar la información a organismos especializados con la finalidad de disminuir la incertidumbre de las predicciones. Usualmente la incertidumbre en el estudio de factibilidad se ubica entre un 30 a 50%.

En el nivel de estudio definitivo se recurre a información exacta obtenida para los fines de un sistema en particular, con el propósito de saber casi con exactitud cómo se comportará el mismo o qué efectos tendrá sobre un medio particular o colectivo su implantación.

Con frecuencia se puede recurrir al uso de modelos complejos que permitan manejar la información obtenida a través de encuestas, y se prueba a nivel piloto, es decir, en pequeña escala, una parte funcional del proyecto con el fin de obtener datos reales de operación que permitan estimar las ventajas y problemas particulares del proyecto. El nivel de incertidumbre máximo en este tipo de estudios es del 5%. Del resultado de este estudio depende la decisión final de poner en marcha o cancelar un proyecto.

El nivel en que se evaluará el proyecto en la presente tesis corresponde a un nivel de prefactibilidad, ya que se utilizan documentos en materia de contaminación y salud pública así como la evaluación de daños en los cuales las diferencias en las relaciones de medición de causas y efectos se encuentran dentro del mismo orden de magnitud. Además se hace uso de bases de datos de contaminación muy completas (RAMA) para estimar el promedio de concentración de contaminantes en la ZMCM

La evaluación social de proyectos compara los beneficios y costos que una determinada inversión puede tener para la comunidad de un país o región en su conjunto. No siempre la rentabilidad de un proyecto para un particular representa rentabilidad para la comunidad y viceversa. La evaluación privada trabaja con precios de mercado, la evaluación social (Sapag, 1995) lo hace con precios sombra o sociales (Fontaine, 1997). Estos últimos, con el objeto de medir el efecto de implantar un proyecto sobre la comunidad, deben tener en cuenta los efectos indirectos que los proyectos generan sobre el bienestar de la comunidad, por ejemplo, la redistribución de los ingresos o la disminución de la contaminación ambiental.

### 3.3. - Estimación del Valor de los Daños Producidos a la Salud por la Contaminación.

Con la finalidad de estimar el valor de los daños producidos a la salud, primero debe conocerse un factor que permita medir la magnitud de los daños. Durante mucho tiempo y a través de muchos estudios epidemiológicos, se llegó a establecer una relación lineal denominada función de dosis-respuesta (D-R).

Una dosis es la cantidad de una sustancia administrada a un organismo o absorbida por él. En el caso de las funciones de D-R la dosis es la concentración del contaminante en estudio.

La estimación de los coeficientes de la función forma parte de la metodología epidemiológica ( Oskaynak, Pope) la cual no será discutida en detalles y origen en el contexto de este trabajo.

La respuesta mide el número de casos de mortalidad o morbilidad, así como visitas hospitalarias o ausentismo que se producen como consecuencia del aumento en las concentraciones de contaminantes dentro de un rango, el cual normalmente comprende las concentraciones comunes en las ciudades. Para cada efecto, se presenta un rango estimado en el cual se puede presentar un caso asociado al contaminante asociado.

Las investigaciones epidemiológicas reportadas involucran dos diseños de estudio principalmente: Inferencia estadística basada en series de tiempo y conjuntos de datos en análisis cruzados.

Dado que el proyecto de naturación puede tener un impacto sobre la concentración de Partículas Suspendidas, las funciones de dosis-respuesta que se estudiarán serán las que corresponden a este tipo de contaminantes, quedando fuera de estudio las que relacionan los demás contaminantes discutidos en esta sección.

### 3.4. - El Proyecto de Naturación: Antecedentes, Consistencia y Propósitos.

El desarrollo natural de la ZMCM ha creado crecientes necesidades para la población de la ciudad, tales como: mayor número de áreas urbanas, abasto de alimentos, transporte, luz, drenaje; entre otros.

En el marco de la planeación táctica, se manifiesta en este trabajo el propósito de realizar una evaluación de costo-beneficio, para determinar la viabilidad del incremento de la superficie de áreas verdes en una zona densamente urbanizada

La "Naturación de Edificaciones" es el tratamiento técnico de superficies verticales, horizontales e inclinadas de construcciones con vegetación adaptada al sitio particular. Con ello, se pretende crear una capa de vegetación multifuncional sobre azoteas, muros, balastados de vías, superficies selectas de tránsito vehicular y taludes. (IMP, 1997)

Fig. 5 Ejemplo de una capa multifuncional



#### Efectos positivos de la naturación

Mediante superficies naturadas de construcciones pueden lograrse una serie de efectos positivos:

- ◆ Peinado mecánico de polvos dañinos en el aire por medio de la superficie de las plantas;
- ◆ Deposición de partículas suspendidas en el aire;
- ◆ Amortiguamiento substancial de la temperatura y absorción de la radiación de calor de la construcción;
- ◆ Almacenamiento del agua de lluvia en el sistema, conducción retardada a la canalización, infiltración y evaporación, elevando la humedad relativa en el ambiente.

#### Beneficios que brinda la capa vegetativa multifuncional

La capa vegetativa multifuncional tiene dentro del sistema "Construcción – Naturación", además de su auto conservación, una función dirigida al interior de la construcción y otra hacia el exterior; las que se presentan como generadoras de beneficios para el propietario, el usuario y la comunidad.

#### Ventajas de la Naturación hacia el interior del inmueble naturado

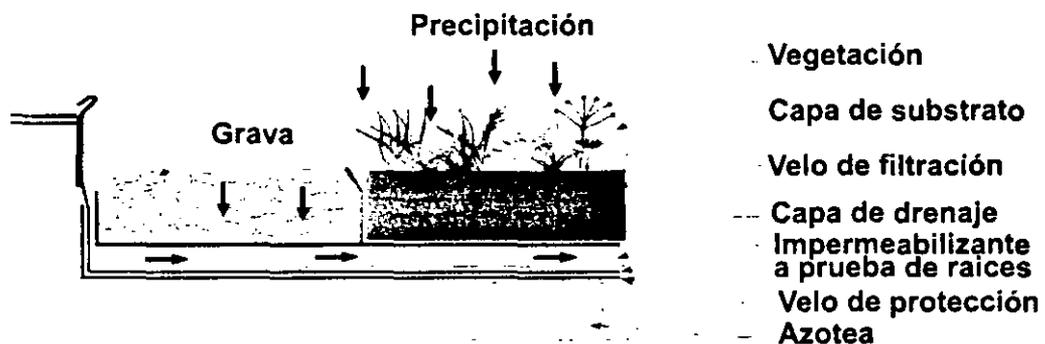
- ◆ Reducción de la oscilación térmica
- ◆ Aislamiento térmico y ahorro consecuente de energía.
- ◆ Reducción del ruido

#### Ventajas de la naturación hacia el exterior:

- ◆ Reducción de la frecuencia de restauración de la azotea debido a la eliminación de los principales factores de corrosión (disminución de la diferencia diaria de temperatura y efectos de los rayos ultravioleta en la superficie de la azotea, entre otros)
- ◆ Inmovilización de partículas suspendidas en el aire y reducción de la resuspensión de partículas,
- ◆ Reducción de la reflexión del ruido
- ◆ Optimización de la humedad relativa del aire respirable

- ◆ Generación sobre la superficie de construcciones de comunidades de vegetación estable (biotipos citadinos) parecidas a los naturales
- ◆ Modificación de la meteorología urbana
- ◆ Almacenamiento de precipitaciones y devolución paulatina al medio ambiente
- ◆ Disminución del escurrimiento y presión de carga al sistema de drenaje originado por el agua de lluvia
- ◆ Disminución del volumen de agua en las plantas tratadoras,
- ◆ Mejora de la calidad del agua a tratar en la fase biológica
- ◆ Aumento de efecto estético de una construcción

Fig. 6. - Esquema de la instalación de una naturación en una azotea



#### Ventajas económicas de la naturación

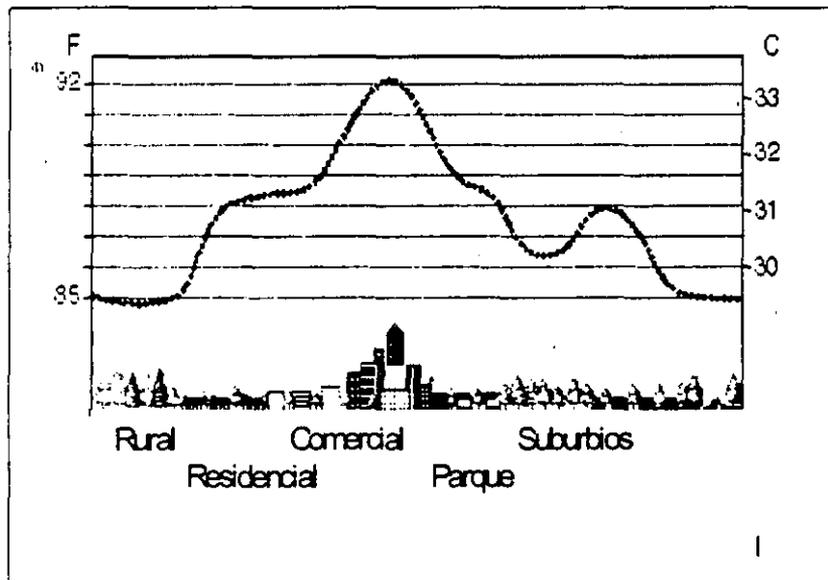
Los efectos benéficos de una azotea naturada para el bolsillo del propietario, son extraordinariamente variados y sus resultados monetarios dependen, tanto de la estación del año y condición del tiempo, como de la naturación seleccionada.

- ◆ Incremento del precio de venta de los inmuebles
- ◆ Duración del impermeabilizante. Debido a que las plantas captan los rayos ultravioleta del sol, la geomembrana impermeabilizante es protegida con el consecuente alargamiento de la vida útil del impermeabilizante, adicionalmente se alarga la vida útil de la azotea.

- ◆ Ahorro de energía en inmuebles con clima controlado ya que el sistema aísla los espacios interiores de la temperatura exterior.
- ◆ El mejoramiento de la calidad de vivienda para aquellos con vista a azoteas planas o que viven debajo de ellas, así como de quienes trabajan o viven en sus cercanías es notable.

De los beneficios mencionados, cabe hacer énfasis en el ahorro en el consumo de energía que se puede obtener en un conglomerado urbano, como consecuencia del amortiguamiento en las oscilaciones térmicas intra y extramuros, así como la disminución del efecto de la "isla de calor"; frase con que se denomina el incremento en la temperatura en los núcleos urbanos respecto al medio circundante.

Fig. 7. - Esquema del perfil de temperaturas de una isla de calor urbana (Datos de Akbari)



Otro beneficio, mucho muy importante, por las consecuencias que puede tener a largo plazo, es el que se puede obtener por medio de la disminución de la concentración de contaminantes en la atmósfera, por estar ligado a daños en la salud de la población. En este trabajo se busca la integración de la planeación con problemas relacionados con el medio ambiente, no por el medio ambiente mismo, el cual representa una riqueza muy grande, sino tomando en

cuenta el impacto que tiene sobre personas y su manifestación en términos monetarios, como una medida de apoyo a la toma de decisiones en este rubro.

## CAPITULO 4 EL ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO

El análisis de costo-beneficio representa para el sector público lo que un estado de pérdidas y ganancias para una compañía de negocios. La diferencia estriba en que este análisis es una herramienta para ayudar a tomar decisiones públicas, realizadas desde el punto de vista de la sociedad en general y no desde el criterio de una sola empresa con ánimo de lucro; con frecuencia este análisis se aplica a políticas y programas que tienen tipos de productos fuera del mercado, como son los mejoramientos en la calidad ambiental. (Field, 1995)

Actualmente se encuentran en desarrollo nuevas metodologías para mejorar los análisis costo-beneficio, los cuales constituyen una herramienta de gran utilidad para la evaluación económica de programas públicos en:

- la administración de recursos naturales
- programas y proyectos de control
- proceso de análisis de impacto ambiental de los desarrollos públicos y privados

Por ejemplo, en los Estados Unidos la *Environmental Protection Agency* (EPA) ha buscado desarrollar mejores métodos para calcular los beneficios y los costos de programas ambientales.(Field op cit). Sin embargo, este tipo de análisis no se lleva a cabo en todos los proyectos reguladores. Esto es debido en parte a que la legislación no lo requiere y la dificultad intrínseca en la determinación de beneficios.

Básicamente, para llevar a cabo el análisis (Barrera, 1997), se requiere:

- Describir en forma cuantitativa las entradas y salidas del proyecto
- Calcular los costos asociados a esas entradas y salidas
- Comparar esos costos y beneficios

#### 4.1. Análisis de costos

Calcular costos a escala regional o mesoescala, implica usar datos de carácter macroeconómico y con frecuencia, se requiere el uso de modelos bastante complejos. (Bauer, et al., 1995)

El uso de modelos macroeconómicos se lleva a cabo cuando un programa o propuesta pueden afectar el consumo y oferta de bienes en sectores amplios o considerables de la economía. Por ejemplo, las regulaciones ambientales que en un determinado período de tiempo un país impone, o querría imponer, tienen una carga de costos macroeconómicos asociados. Algunas regulaciones, tales como un programa para disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>, impactarían en forma considerable a la economía de una nación. Considerada en su totalidad, la economía tiene disponible en cualquier momento determinada cantidad de insumos. Si las empresas deben cumplir con gran variedad de regulaciones ambientales, la producción mercadeable debe disminuir, dado que se están utilizando insumos para cumplir con las regulaciones.

El gobierno, como entidad recaudadora de recursos monetarios y distribuidora de esos recursos hacia obras de beneficio colectivo, se aparta un poco de la dinámica mencionada anteriormente. Ciertamente, está sujeto a las restricciones que los programas y obras en ejecución determinen, mas al no ser una entidad de productores o consumidores, la forma en que canalice sus insumos no altera la economía en un sentido perjudicial, siempre y cuando no se emita circulante o se recurra a un endeudamiento excesivo para sufragar los costos de un programa. Sin embargo, el porcentaje del presupuesto que destine a una determinada obra, impactará necesariamente en la ejecución de otras obras que también son de gran importancia para la ciudadanía, como más vías rápidas, el metro, clínicas, centros de atención a la mujer, etc.

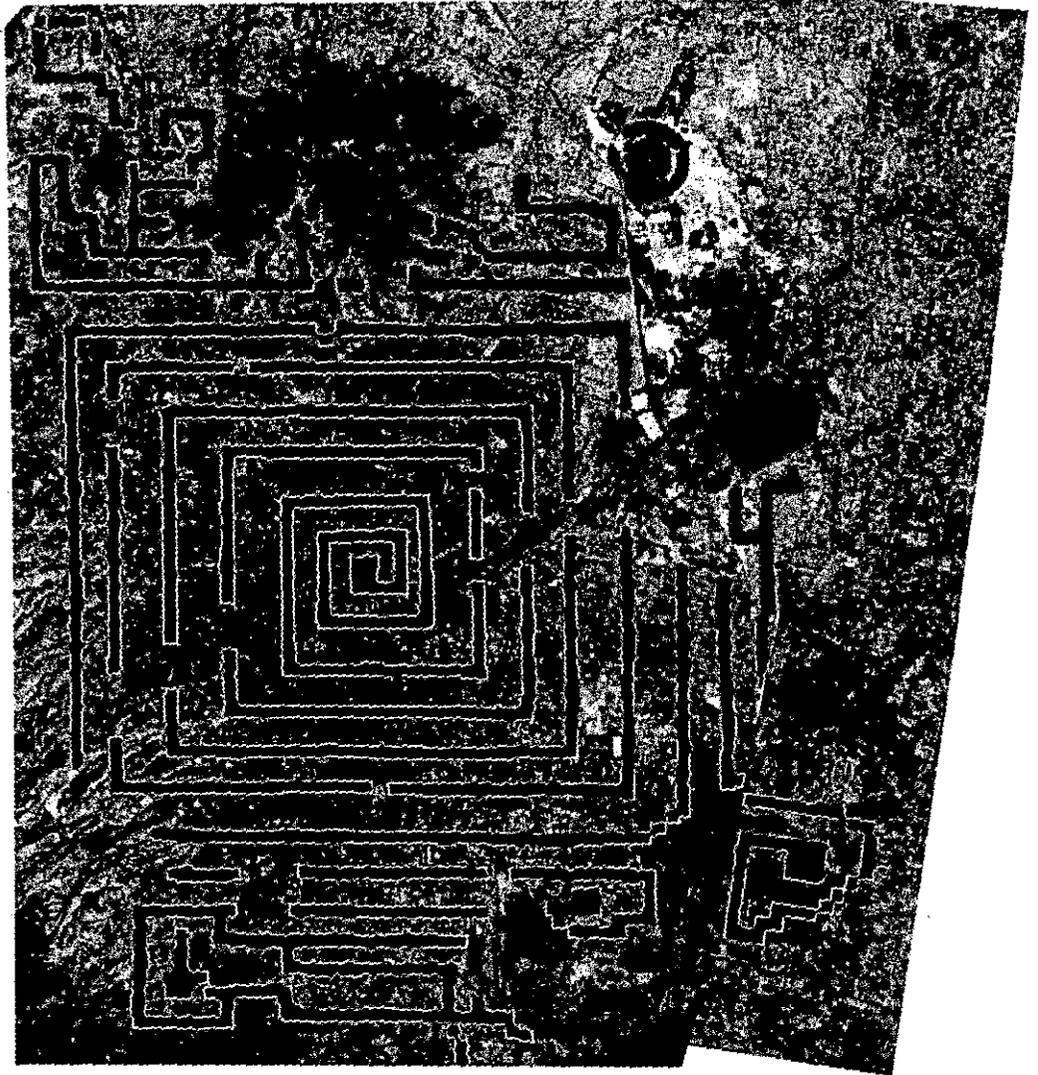
El enfoque del estudio en esta tesis se orienta al estudio teórico dentro del área metropolitana de la ciudad de México, cuya superficie comparada

contra el resto del país es más bien pequeña, no así el papel que desempeña en la economía de la nación, pues en ella se genera el 60% de los servicios y productos en el ámbito nacional y concentra aproximadamente al 20% de la población. Con la finalidad de simplificar el estudio, la evaluación del costo beneficio en este proyecto omite el uso de precios sombra. Los costos se estiman a partir de la inversión necesaria para construir la naturación de la ciudad y los beneficios están representados por la evaluación monetaria de los ahorros que se consiguen al reducir el número de padecimientos respiratorios y mortalidad en la ZMCM.

#### 4.1.1. Estimación del costo por la superficie a naturar

En todos los escenarios a evaluar se considera naturar con herbáceas el 20% de la mancha urbana. La extensión y ubicación de la superficie se determina a partir de los registros de los Sistemas de Información Geográfica desarrollados en el Instituto Mexicano del Petróleo. En un caso se propone formar una espiral (Fig. 8) de edificaciones naturadas que conecte las zonas densamente edificadas con las forestales. En otro caso se conectan las áreas urbanas con las forestales mediante radios naturados que nacen en el centro de la ciudad y desembocan fuera de ella.

Fig. 8 - Esquema de la forma en que se vería la ciudad desde el espacio si se lleva a cabo el proyecto. (La imagen se obtuvo de dibujar el esquema sobre una foto del satélite SPOT)



La ZMCM ocupa una extensión de 3,230<sup>3</sup> áreas rurales). El área urbana de la ciudad alcanza una superficie en m<sup>2</sup> del 20% de dicha área es 299'600,000<sup>n2</sup>. La equivalencia lado (Navas, 1998) que los costos del proyecto alcanzan los 27<sup>or metro cuadrado,</sup> incluyendo la mano de obra, de ahí que turar el 20% de la mancha urbana alcanzaría un total de 8,240<sup>ares.</sup>

El presupuesto anual en 1998 para Distrito Federal fue de aproximadamente 35,000 millones de informe de trabajo,

Fig. 8 – Esquema de la forma en que se vería la ciudad desde el espacio si se lleva a cabo el proyecto. (La imagen se obtuvo de dibujar el esquema sobre una foto del satélite SPOT)



La ZMCM ocupa una extensión de 3,230 km<sup>2</sup> (incluye áreas rurales). El área urbana de la ciudad alcanza una superficie de 1498 km<sup>2</sup>. La equivalencia en m<sup>2</sup> del 20% de dicha área es 299'600,000. Se ha estimado (Navas, 1998) que los costos del proyecto alcanzan los 27.50 dólares por metro cuadrado, incluyendo la mano de obra, de ahí que el costo de naturar el 20% de la mancha urbana alcanzaría un total de 8,240 millones de dólares.

El presupuesto anual en 1998 para el Gobierno del Distrito Federal fue de aproximadamente 35,000 millones de pesos (GDF, 2º informe de trabajo,

1998). Tomando la tasa de cambio interbancario promedio de 9.50 pesos/dólar, el presupuesto del GDF anualmente no excede 4,000 millones de dólares. Suponiendo que por su enorme costo el proyecto se divida en etapas similares para estar terminado en 15 años, se utilizarían 549 millones de dólares anuales, es decir, el 13.72 por ciento del presupuesto anual en términos del año 1998 para llevar a cabo el proyecto. Para dar una idea de lo que esto representa, la línea B del metro tendrá un costo total de 600 millones de dólares. (<http://www.ddf.gob.mx/noticias/octubre99/20.html>). Dicho costo será cubierto en un periodo de 4 años. Los beneficios de esa obra son para 300 mil personas que ahorrarán diariamente \$4 pesos en transporte en promedio. Tomando nuevamente la tasa de cambio peso/dólar mencionada anteriormente, los beneficios de esta obra serán aproximadamente 46 millones de dólares para los usuarios. Se considera el costo social en referencia a los beneficios del metro por ser una de las obras que más impacto tiene en la economía de la ciudad por el número de pasajeros transportados y los ahorros en transporte que genera al requerirse menos uso del microbús. Desde luego, los beneficios que representan al costo social incluyen clínicas, infraestructura hidráulica, pavimentación y muchas otras obras que el gobierno de la ciudad lleva a cabo con el presupuesto que tiene asignado. Conseguir la información completa sobre los beneficios que estas aportan a la población es difícil, por lo que se limita el análisis de precios sombra realizado en este trabajo, considerando dichos precios como un beneficio potencial que podría obtenerse si el dinero que se necesita invertir para natural se empleara en construir una obra para la cual se tiene información sobre inversión y beneficios, como es el metro.

#### 4. 2. Análisis de beneficios

El beneficio que un proyecto o programa produce a la sociedad es la disminución de gastos que las personas o la sociedad tienen que pagar por enfrentar las consecuencias adversas de un fenómeno físico o social determinado.

Los beneficios directos tienen que ver con la reducción de los daños causados por los mismos fenómenos, como son malestar, enfermedades, mortalidad, crímenes, ciudades feas, etc. Se han estudiado las relaciones causa-efecto a partir de estudios en epidemiológicos, (Dockery, Ozkaynak, Téllez, 1997, Romieu op cit, Meneses op cit) mediante el empleo de técnicas estadísticas que han permitido obtener expresiones matemáticas que relacionen la concentración de un contaminante determinado con daños a la salud poblacional y estimar la magnitud monetaria de los daños. Este tipo de estudios se llevan a cabo con frecuencia (Fontaine, 1997) para permitir a entidades privadas y gubernamentales jerarquizar entre sus múltiples programas y proyectos los que presenten la mayor eficiencia y eficacia en el uso de recursos para minimizar los impactos de situaciones adversas, tales como las descargas de materia orgánica a los mantos freáticos o la contaminación del aire en las grandes ciudades.

Los beneficios indirectos, o intangibles, son lo que las personas están dispuestas a pagar por algo, en este caso mejorar la calidad del aire, si ello se les puede ofrecer. Debido a que son subjetivos, siempre cabe la incertidumbre en estas estimaciones, las cuales requieren un considerable gasto por parte de quien efectúa el análisis para que se obtengan muestras representativas de la sociedad. Por ejemplo; algunos estudios llevados a cabo en el área metropolitana de la ciudad de Los Angeles (Trijonis, 1978), han demostrado que el precio de los inmuebles en un mismo tipo de zona aumenta hasta en un 10% si la visibilidad mejora.

Puesto que un 50% de las personas enfermas u hospitalizadas son acompañadas por algún familiar o persona cercana (Avila, 1993), se producen un 50% más de días perdidos en trabajo y labores. Este costo social se vería disminuido si mejora la calidad del aire y se considera dicha reducción como un beneficio indirecto para el análisis realizado en esta tesis.

El proyecto de naturación, al modificar la calidad del aire en el medio ambiente urbano, produce beneficios directos e indirectos. Actualmente no se

dispone de una fuente de información confiable sobre el valor estimado de los beneficios indirectos en la ciudad de México. Para evaluar el proyecto de naturación, se considerarán los costos directos asociados a su implantación, para ello es necesario llevar a cabo tres pasos:

- Determinar la calidad del aire
- Medir impactos
- Evaluar los impactos

La determinación de la calidad del aire se lleva a cabo mediante dos pasos:

Se utiliza la teoría de la depositación de materia particulada debida al transporte por convección y difusión en las superficies a utilizar. Estudios realizados en 1990 (Rusell), simplificaron estos cálculos y generaron tablas con valores de rugosidad superficial para diferentes tipos de suelo, con y sin cubierta vegetal, las cuales permiten estimar el porcentaje de retención de partículas suspendidas en los sistemas naturados. (Apéndice 5)

#### 4.2.1. Determinar la calidad del aire

La reducción o aumento de concentraciones de especies contaminantes en la atmósfera es el cambio potencial en la calidad del aire asociado al proyecto de naturación y debido al cambio de emisiones

Dado que no se dispone de datos experimentales que estimen el decaimiento en los niveles de PM10 mediante sistemas compuestos con plantas herbáceas, como en este caso, se utilizaron tres formas de estimar la posible retención de partículas por parte del proyecto de naturación:

- a).- Depositación por tipo rugosidad del suelo
- b).- Vegetación herbácea en Europa
- c).- Datos de calidad del aire en temporada de sequía y húmeda,

Para una cubierta vegetal de aproximadamente 10 cm. de altura, el cual es el asociado con las superficies naturadas, se obtiene una disminución esperada de 10% en los niveles de partículas suspendidas en la ciudad de México, dado que el área se distribuiría homogéneamente por toda la ciudad, de acuerdo con lo mencionado en la geometría del sistema (Apéndice 5).

Por otra parte, al comparar la temporada de lluvias con la de sequía, utilizando los datos de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), (Apéndice 1), se observa una disminución de un 20% en las concentraciones promedio de dicha clase de partículas  $PM_{10}$ . Considerando que en la época húmeda una parte de las áreas que rodean a la ZMCM se cubren con vegetación del tipo que se desea utilizar para la naturación, se estima que el proyecto puede producir una reducción equivalente en los índices de PST y  $PM_{10}$ , aun cuando en este caso puede existir arrastre y depositación adicional por fenómenos como las lluvias.

Datos de ciudades europeas (Dürr, op cit), estiman que cada metro cuadrado de superficie naturada con vegetación del tipo herbáceo sin mantenimiento, retiene 0.2 Kg de  $PM_{10}$  por metro cuadrado por año. Tomando en cuenta la superficie a naturar, se tiene una remoción de 59920 Ton/año de  $PM_{10}$ , lo cual equivale al 14 % de disminución en las concentraciones de partículas anualmente si se considera que el total de emisiones de partículas, que asciende a 425000 toneladas según el inventario de emisiones de 1994 (PROAIRE, 1995), permanece en la ciudad y sólo una fracción muy pequeña posee el tamaño requerido para ser arrastrada por el aire más allá de la Cuenca de México.

Dado que se dispone de tres valores, 10%, 14% y 20%; para los fines de los cálculos de estimación, se tomará el valor de 10% como el estimado pesimista, 15% como el valor esperado, y el 20% como el valor optimista de disminución de concentración de partículas suspendidas.

#### 4.2.2. Medir los impactos

En estudios de salud poblacional (Romieu op cit, Meneses op cit, Avila, 1996, Castillejos op cit) se han correlacionado las concentraciones de contaminantes en el aire contra padecimientos agudos o crónicos en la población, derivándose de estos las funciones de dosis-respuesta, que permiten medir el impacto en la salud de los principales contaminantes expresado como una variación proporcional en los casos de morbilidad, mortalidad y síntomas menores contra las concentraciones de un contaminante en el aire. En México, dichos estudios se han realizado con comunidades aisladas de población con determinadas características, como lo son niños de un jardín de niños en el suroeste de la ciudad (Romieu, 1992), disminución de la función respiratoria en niños con asma (Castillejos, 1995) y aumento en la frecuencia de padecimientos respiratorios en enfermos y personas susceptibles (Meneses, et al. 1995).

Los datos obtenidos a través de estos estudios no pueden extrapolarse con facilidad al contexto de toda la población en la ZMCM. Estudios realizados para el Banco Mundial en las ciudades de Jakarta (Ostro, 1994), Santiago de Chile (Ostro, 1995), y Ciudad de México (Margulis, 1992), utilizan funciones de dosis-respuesta que correlacionan directamente el número de casos de morbilidad y mortalidad por habitante en dichas áreas urbanas. De estos estudios se toman las funciones de dosis-respuesta que servirán para estimar la disminución de casos en la ZMCM debido a la disminución de la contaminación por efecto de las superficies naturadas.

##### 4.2. 2. 1. Mortalidad

Ostro encontró la siguiente relación para la ciudad de Yakarta, Indonesia

$$\Delta \text{ mortalidad} = 0.096 * \Delta \text{ PM}_{10} * \% \text{ mortalidad neta} * \text{ población expuesta}$$

Donde  $\Delta PM_{10}$  es la disminución en la concentración de partículas suspendidas con diámetro menor a  $10 \mu$  en la atmósfera. Esta ecuación es válida en áreas urbanas hasta 6 millones de habitantes. El coeficiente puede variar al incrementarse la población.

Margulis utilizó la siguiente relación para la ciudad de México, con una población de 16 millones de personas:

$$\Delta \text{mortalidad} = 0.5 b * \Delta \text{PST}$$

donde b es un coeficiente de regresión, al cual se le asignó un valor de 1.69/millón de personas (Margulis op cit), 0.5 es la relación  $PM_{10}/PST$ . PST, partículas suspendidas totales, considera todas las partículas de cualquier tamaño.

La mortalidad neta en la ZMCM es de 5 por mil habitantes/año, según datos del INEGI (1994) y la población del área metropolitana es cercana a los 20 millones de habitantes.

Por lo tanto la ecuación de Margulis es la que mejor representa el fenómeno de mortalidad asociado a partículas  $PM_{10}$  en la ZMCM. Utilizando los datos de Margulis, se llega a la expresión:

$$\Delta \text{mortalidad (número de casos)} = 0.5 * 1.69 * 20 * \Delta PM_{10}$$

#### 4.2. 2. 2. Morbilidad

Admisiones hospitalarias respiratorias (AHR):

Con base en dos estudios, los cuales sugieren además que las partículas suspendidas son el principal factor para este tipo de admisiones, se tiene la siguiente ecuación (Ostro, 1994):

$$\Delta \text{AHR (por persona)} = 1.2 * 10^{-5} * \Delta \text{PM}_{10}$$

el cual en este estudio se relaciona con las visitas de emergencia a consultorios (VEC) y los días de actividad restringida (DAR). Debido a la carencia de datos para valorar monetariamente las AHR y VEC, se consideran como DAR, en los cuales el beneficio se mide por el dinero que deja de perderse, expresado en términos del salario promedio por día en la ZMCM.

$$\text{VEC} = 2.35 * 10^{-4} * \Delta \text{PM}_{10}$$

$$\text{DAR} = 0.0575 * \Delta \text{PM}_{10}, \text{ por persona, por año.}$$

#### 4. 2. 2. 3. Bronquitis crónica

En el estudio de Ostro, llevado a cabo en Los Angeles, California, durante 10 años , se encontró la siguiente relación:

$$\Delta \text{BC} = 6.12 * 10^{-5} * \Delta \text{PM}_{10} \text{ (por persona al año)}$$

Otros estudios en salud poblacional y para el banco mundial (Margulis op cit, Ostro op cit) han desarrollado fórmulas y métodos para la valuación económica de los casos de morbilidad, mortalidad y síntomas menores. Estos estudios se han llevado a cabo principalmente en el sur de California, y algunos otros se han realizado en Jakarta, Indonesia, Santiago de Chile y los Grandes Lagos.

#### 4.3. Evaluación económica de los efectos en la salud.

Los índices promedio de partículas  $\text{PM}_{10}$  en la ZMCM se sitúan en  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  al año. Aplicando un 15% de disminución en dichos niveles se obtendrían concentraciones promedio de  $153 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , es decir, un  $\Delta \text{PM}_{10}$  de -27

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sustituyendo estos valores en la ecuación para mortalidad, se tiene una reducción de 456 casos por año.

El valor estadístico de una vida en México, es de 75,000 dólares (Margulis, 1992), sin embargo, la mayoría de las aseguradoras han puesto un valor de 200,000 a 600,000 dólares a la vida humana (GNP). No se cuenta con un buen estimado de la población económicamente activa que puede haber adquirido un seguro de vida, por lo cual la estimación de Margullis (75000 dólares) se considerará como la única válida en este estudio. El beneficio es de 34.2 millones de dólares anuales.

Para los DAR, se toman las expresiones de AHR, VEC y DAR, las cuales conducen, a una reducción de 6,480 AHR, 126,900 VEC y 31'050,000 DAR, lo cual, sumado, nos da 31'183,380 DAR.

La población adulta en la ciudad de México es el 55% del total, y aproximadamente una de cada dos personas se presenta a trabajar aún teniendo Días con actividad restringida. Esto quiere decir que 8'575,430 DAR se producen anualmente.

En México se tuvo un salario promedio de 1.4 dólares la hora (INEGI, datos para 1995). En 1992 (Margulis, 1992), en un trabajo para el banco mundial se estimó que el salario promedio en la ZMCM era de 4 dólares la hora (Promedio). Dado que en la ZMCM los salarios en general son más altos que en provincia, parece consistente que se tenga un salario promedio mayor para la ZMCM que para todo el país en su conjunto. Datos extraídos a partir del INEGI por el INE (Vega, 1997) muestran un salario promedio nacional de 1.98 dólares la hora para 1992. Tomando las proporciones del salario nacional contra salario en la ZMCM, se estima que en 1995 el salario promedio en esta última fue de 2.82 dólares por hora. Por otra parte, entre 1995 y 1999 los salarios aumentaron en promedio 96.67% y el tipo de cambio peso/dólar varió en un 47.31%, por lo tanto los salarios expresados en dólares variaron un 33.51% (ver apéndice 3), resultando así un salario promedio para la ZMCM de

3.765 dólares por hora, que en jornadas de ocho horas, representa un beneficio de 258.3 millones de dólares al año (Ver memoria de cálculo en apéndice 3). Los costos intangibles asociados son de 129.15 millones de dólares adicionales, que se calculan a partir del 50% de población [ver página 50] (Avila, 1993) que se estima acompaña a los enfermos a consultas o al hospital.

En el caso de la bronquitis crónica, el número de casos anuales evitados es de 33,048, siendo el costo de cada uno de ellos, en dólares de 1993 de \$4454 por año (Avila). Tomando una tasa de interés del 5.41% (ver página 58), equivalen a 6110 dólares de 1999. El beneficio es de 201.92 millones de dólares por año.

Los beneficios totales en materia de salud pública alcanzan los 495.42 millones de dólares anuales, más 129.15 millones de los intangibles. (Memoria de cálculo en apéndice 3)

Los beneficios así calculados se comparan contra los costos bajo un horizonte de planeación determinado, el cual se considera, de manera que se apoye la toma de decisiones respecto al proyecto. Dado que el proyecto para naturar la ciudad no es una medida que este pensada a corto plazo, se requiere utilizar herramientas de cálculo financiero que tomen los costos y beneficios a futuro y los comparen a valor presente (Apéndice 2). También se requiere de pronósticos sobre crecimiento demográfico e índices de inflación y tasas de descuento a grandes periodos (apéndice 3).

En el siguiente capítulo se hace el análisis de la relación costo/beneficio a 10, 15 y 20 años, y se considera aparte un periodo de 30 años ya que, como se verá más adelante, el tiempo en el cual los beneficios superan a los costos considerando el punto de equilibrio y probabilidades bajo un análisis de riesgo, se encuentra entre el año 20 y el 30.

## **CAPITULO 5.- APLICACIÓN DEL ANÁLISIS COSTO- BENEFICIO**

### **5.1.Resultados.**

Por la magnitud de la inversión y sus costos sociales asociados, el alcance de este proyecto debe considerarse a largo plazo, y su primera etapa podría estar terminada, si las condiciones resultan muy favorecedoras, en un plazo de 10 años. Aun así, los recortes presupuestarios que se realizan en crisis financieras, como la ocurrida en 1998 por la caída de los precios del petróleo, podrían retrasar el avance del proyecto y estar terminado en veinte años. Por ello, se consideran para la evaluación plazos de 10, 15 y 20 años. El caso base se tomará un tiempo de 15 años para finalizar la obra y los periodos de 10 y 20 años como dos escenarios distintos. Se supone un avance en la construcción anual homogéneo para todos los casos. Es decir, para el plazo de 15 años se considera un avance del 6.67% anual.

Los costos sociales potenciales se consideran vigentes durante el plazo de construcción de la obra. Una vez terminada, se dejan de considerar, suponiendo que entonces quedan liberados fondos del presupuesto que ya no serán utilizados para costear la naturación. Debido a que se considera el costo social en función del gasto en microbuses que se ahorraría si existieran más líneas del metro, se calculó (Apéndice 3, sección final) un incremento el términos de dólares del 13.41% anual, de manera que este será considerado para actualizar los costos sociales. Por otra parte, los costos de inversión se actualizan utilizando datos de inflación en México, dado que no se ha determinado, por el tipo de materiales a utilizar, un índice para representar su evolución. Dicha inflación se ajusta a una variación en dólares (Apéndice 3, tabla 7), que da un promedio anual del 5.19%

Para llevar a cabo el análisis de beneficios se considera la inflación promedio de los insumos para la salud en México, dividiendo la variación anual de este indicador sobre la variación en el tipo de cambio, obteniéndose una tasa de

inflación promedio en dólares del 5.41% anual en los últimos 10 años. Esta tasa se utilizará para actualizar el valor de los beneficios. La tasa líder en los mercados internacionales en dólares, la *prime rate* se ha mantenido en niveles del 8% promedio (Obtenidos de la base de datos de el departamento de la tesorería de los E.U. a través de <http://economagic.com>. Ver resumen en apéndice 3). Esta tasa aplica a grandes capitales, como la inversión proyectada para naturar tiene un monto muy alto, se considera apropiado utilizar esta tasa como la tasa de descuento aplicable al proyecto. Esta tasa se utiliza para traer a valor presente los flujos de efectivo del proyecto, por lo tanto se aplica a costos y beneficios.

### 5.1.1. Cálculo del valor presente neto de los costos en diferentes plazos de ejecución de la obra.

Para el cálculo de los costos se siguen los siguientes pasos:

Se divide el monto de la inversión total entre el número de años que se consideran. De acuerdo con la cantidad resultante, se estiman los costos sociales linealmente, sabiendo que 600 millones de dólares en gastos representan 46 millones de dólares de costo social, de acuerdo con la estimación hecha en el Capítulo 4, al analizar los costos del proyecto de naturación.

El valor de los costos totales es la suma del costo de inversión más el costo social, actualizados para cada año con sus tasas correspondientes (Pág. 58), por estar el proyecto de dólares y ser la tasa de inflación promedio para los E.U. Se actualiza a Valor Presente (VP) la suma para cada año, mediante la fórmula:

$$VP_C = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i},$$

donde VPC es el Valor Presente de los Costos,  $C_i$  es el costo para cada año,  $n$  es el número de años que comprende el periodo de análisis y  $r$  es la tasa de descuento aplicada al cálculo. Se suman todos los VP a lo largo del periodo analizado y se obtiene el Valor Presente (VP) de los costos.

La tasa de descuento, para traer a valor presente los flujos de efectivo futuros, que equivale a una tasa de rendimiento mínimo aceptable (TREMA), se fijará al 8% anual, equivalente a la *prime rate* internacional. Estas tasas se toman así por corresponder a una primera evaluación del proyecto. Posteriormente se habrá de definir si es conveniente considerar una tasa de descuento y de interés diferentes.

Así, a 15 años, la inversión por cada año sería de US \$8,240'000,000/15, lo que equivale a US \$549 millones por año. Aplicando las tasas de inflación mencionadas, se obtiene la tabla 3 para la inversión total. No se consideran costos de mantenimiento por la razón de que una de las características de este sistema es que está diseñado (al menos teóricamente) para mantenerse por sí mismo en condiciones óptimas, sin intervención de las personas que habitan los inmuebles, de acuerdo con la información proporcionada por los encargados de desarrollar las especies vegetales que habrán de utilizarse.

Tabla 3.- Cálculo del Valor Presente de los costos a 15 años

AÑO	INVERSIÓN ACTUALIZADA AL AÑO CORRESPONDIENTE (IJ)	COSTO SOCIAL ACTUALIZADO AL AÑO CORRESPONDIENTE (CJ)	COSTOS ACTUALIZADOS AL AÑO CORRESPONDIENTE (IJ + CJ)	VALOR PRESENTE DE LOS COSTOS CON BASE AL AÑO CERO (VPN)
1	549,00	42,11	591,11	591,11
2	577,49	47,76	625,25	578,94
3	607,46	54,16	661,63	567,24
4	638,99	61,42	700,42	556,01
5	672,16	69,66	741,82	545,26
6	707,04	79,00	786,04	534,97
7	743,74	89,60	833,33	525,14
8	782,34	101,61	883,95	515,78
9	822,94	115,24	938,18	506,87
10	865,65	130,69	996,34	498,42
11	910,58	148,22	1058,79	490,43
12	957,84	168,09	1125,93	482,89
13	1007,55	190,63	1198,18	475,81
14	1059,84	216,20	1276,04	469,20
15	1114,85	245,19	1360,04	463,04
			Valor Presente Total de los costos	7801,10

Cálculo del valor futuro de los costos con un costo de 27,50 dólares por m2

Inversión en obra base al año cero (1999) = 549

Costos sociales estimados al año cero = 42,11

Tasa de inflación = 5,19% anual

Tasa de inflación costos sociales = 13.41% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

El Valor presente de los costos a 15 años, es de US \$ 7,801.10 millones, este valor se usa más adelante como el numerador de la relación costo/beneficio.

Si el plazo de ejecución de la obra demora 10 años, el VPN de los costos asciende a US \$ 8,133.98 millones, como se muestra en la tabla 4

Tabla 4.- Cálculo del Valor Presente de los costos a 10 años

AÑO	INVERSIÓN ACTUALIZADA AL AÑO CORRESPONDIENTE (IJ)	COSTO SOCIAL ACTUALIZADO AL AÑO CORRESPONDIENTE (CJ)	COSTOS ACTUALIZADOS AL AÑO CORRESPONDIENTE (IJ + CJ)	VALOR PRESENTE DE LOS COSTOS CON BASE AL AÑO CERO (VPN)
1	824,00	63,16	887,16	887,16
2	866,77	71,63	938,40	868,88
3	911,75	81,24	992,99	851,33
4	959,07	92,13	1051,20	834,48
5	1008,85	104,48	1113,33	818,33
6	1061,21	118,49	1179,70	802,88
7	1116,28	134,38	1250,67	788,13
8	1174,22	152,41	1326,62	774,07
9	1235,16	172,84	1408,00	760,70
10	1299,26	196,02	1495,29	748,02
			Valor Presente Total de los costos	8133,98

Cálculo del valor futuro de los costos con un costo de 27,50 dólares por m<sup>2</sup>

Inversión en obra base al año cero (1999) = 824

Costos sociales estimados al año cero = 63.16

Tasa de inflación = 5,19% anual

Tasa de inflación costos sociales = 13.41%

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Si el plazo demora 20 años, el VPN de los costos asciende a US \$7,534.06 millones, como se aprecia en la tabla 5.

Tabla 5.- Cálculo del Valor Presente de los costos a 20 años

AÑO	INVERSIÓN ACTUALIZADA AL AÑO CORRESPONDIENTE (IJ)	COSTO SOCIAL ACTUALIZADO AL AÑO CORRESPONDIENTE (CJ)	COSTOS ACTUALIZADOS AL AÑO CORRESPONDIENTE (IJ + CJ)	VALOR PRESENTE DE LOS COSTOS CON BASE AL AÑO CERO (VPN)
1	412,00	31,58	443,58	443,58
2	433,38	35,81	469,20	434,44
3	455,88	40,62	496,49	425,66
4	479,54	46,06	525,60	417,24
5	504,42	52,24	556,66	409,17
6	530,60	59,25	589,85	401,44
7	558,14	67,19	625,33	394,07
8	587,11	76,20	663,31	387,04
9	617,58	86,42	704,00	380,35
10	649,63	98,01	747,64	374,01
11	683,35	111,15	794,50	368,01
12	718,81	126,06	844,87	362,35
13	756,12	142,96	899,08	357,04
14	795,36	162,14	957,50	352,07
15	836,64	183,88	1020,52	347,45
16	880,06	208,54	1088,60	343,17
17	925,74	236,50	1162,24	339,25
18	973,78	268,22	1242,00	335,67
19	1024,32	304,18	1328,51	332,46
20	1077,49	344,98	1422,46	329,60
			Valor Presente Total de los costos	7534,06

Cálculo del valor futuro de los costos con un costo de 27,50 dólares por m<sup>2</sup>

Inversión en obra base al año cero (1999) = 412

Costos sociales estimados al año cero = 31.58

Tasa de inflación = 5,19% anual

Tasa de inflación costos sociales = 13.41% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

### 5.1.2. Cálculo del valor presente neto de los beneficios en diferentes plazos de ejecución de la obra

En el cálculo del valor presente de los beneficios, se utilizó la fórmula:

$$VP_B = \sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+r)^i}$$

donde  $B_i$  es el beneficio real para cada año en el periodo analizado.

Para el cálculo de los beneficios reales se realizan los siguientes pasos:

- Se actualiza el valor de los costos sociales directos e indirectos siguiendo la metodología indicada en el capítulo 4
- Se ajustan por una tasa de interés, que se considera del 5.41% por estar el análisis en dólares y de acuerdo con lo mencionado en la pág. 58. Se ajustan los beneficios, además, por el índice de crecimiento demográfico, que es del 1.8% anual para la ZMCM (INEGI, 1995)
- Se suman los beneficios directos e indirectos y se traen a valor presente
- Se multiplica el VP por el avance en la obra, puesto que los beneficios totales solo se obtendrán hasta que la obra este concluida al 100%
- Se suman todos los VP en el periodo de análisis, obteniéndose el Valor Presente Neto de los beneficios.

A continuación, se presenta el cálculo de beneficios para 10, 15 y 20 años, suponiendo una disminución del 16% en la concentración de PM<sub>10</sub>

Tabla 6.- Cálculo del Valor Presente de los beneficios a 10 años

AÑO	BENEFICIOS ACTUALIZADOS AL AÑO CORRESPONDIENTE (Bj)	BENEFICIO SOCIAL ADICIONAL ACTUALIZADO AL AÑO CORRESPONDIENTE (BSj)	BENEFICIOS TOTALES ACTUALIZADOS AL AÑO CORRESPONDIENTE (Bj + BSj)	VALOR PRESENTE DE LOS BENEFICIOS TOTALES CON BASE AL AÑO CERO (VP)	AVANCE EN LA OBRA (%)	VALOR PRESENTE DE LOS BENEFICIOS REALES CON BASE AL AÑO CERO (VP)*(AVANCE OBRA/100)
1	494,42	129,15	623,57	623,57	10	62,36
2	530,55	138,59	669,14	619,57	20	123,91
3	569,32	148,71	718,03	615,60	30	184,68
4	610,92	159,58	770,50	611,65	40	244,66
5	656,56	171,24	826,81	607,73	50	303,86
6	703,47	183,76	887,22	603,83	60	362,30
7	754,87	197,18	952,06	599,96	70	419,97
8	810,03	211,59	1021,63	596,11	80	476,89
9	869,23	227,06	1096,28	592,29	90	533,06
10	932,74	243,65	1176,39	588,49	100	588,49
					Valor Presente Total de los costos	3300,18

Cálculo del valor futuro de los beneficios con una retención de Partículas suspendidas del 15%

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 494,42

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero = 129,15

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

A continuación, se presenta el cálculo de beneficios para 10, 15 y 20 años, suponiendo una disminución del 16% en la concentración de PM<sub>10</sub>

Tabla 6.- Cálculo del Valor Presente de los beneficios a 10 años

AÑO	BENEFICIOS ACTUALIZADOS AL AÑO CORRESPONDIENTE (BJ)	BENEFICIO SOCIAL ADICIONAL ACTUALIZADO AL AÑO CORRESPONDIENTE (BSJ)	BENEFICIOS TOTALES ACTUALIZADOS AL AÑO CORRESPONDIENTE (BJ + BSJ)	VALOR PRESENTE DE LOS BENEFICIOS TOTALES CON BASE AL AÑO CERO (VP)	AVANCE EN LA OBRA (%)	VALOR PRESENTE DE LOS BENEFICIOS REALES CON BASE AL AÑO CERO (VP)*(AVANCE OBRA/100)
1	494,42	129,15	623,57	623,57	10	62,36
2	530,55	138,59	669,14	619,57	20	123,91
3	569,32	148,71	718,03	615,60	30	184,68
4	610,92	159,58	770,50	611,65	40	244,66
5	655,56	171,24	826,81	607,73	50	303,86
6	703,47	183,76	887,22	603,83	60	362,30
7	754,87	197,18	952,06	599,96	70	419,97
8	810,03	211,59	1021,63	596,11	80	476,89
9	869,23	227,06	1096,28	592,29	90	533,06
10	932,74	243,65	1176,39	588,49	100	588,49
					Valor Presente Total de los costos	3300,18

Cálculo del valor futuro de los beneficios con una retención de Partículas suspendidas del 15%

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 494,42

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero = 129,15

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Tabla 7.- Cálculo del Valor Presente de los beneficios a 15 años

AÑO	BENEFICIOS ACTUALIZADOS AL AÑO CORRESPONDIENTE (Bj)	BENEFICIO SOCIAL ADICIONAL ACTUALIZADO AL AÑO CORRESPONDIENTE (BSj)	BENEFICIOS TOTALES ACTUALIZADOS AL AÑO CORRESPONDIENTE (Bj + BSj)	VALOR PRESENTE DE LOS BENEFICIOS TOTALES CON BASE AL AÑO CERO (VP)	AVANCE EN LA OBRA (%)	VALOR PRESENTE DE LOS BENEFICIOS REALES CON BASE AL AÑO CERO (VP)*(AVANCE OBRA/100)
1	494,42	129,15	623,57	623,57	6,67	41,57
2	530,55	138,59	669,14	619,57	13,33	82,61
3	569,32	148,71	718,03	615,60	20,00	123,12
4	610,92	159,58	770,50	611,65	26,67	163,11
5	655,56	171,24	826,81	607,73	33,33	202,58
11	1000,90	261,45	1262,35	584,71	73,33	428,79
12	1074,04	280,56	1354,60	580,96	80,00	464,77
13	1152,53	301,06	1453,58	577,24	86,67	500,27
14	1236,75	323,06	1559,80	573,54	93,33	535,30
15	1327,12	346,66	1673,78	569,86	100,00	569,86
					Valor Presente Total de los beneficios	4699,11

Cálculo del valor futuro de los beneficios con una retención de Particularias suspendidas del 15%

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 494,42

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero = 129,15

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Se ocultan los datos del años 6 hasta el 10, por motivos de formato y espacio. Ver apéndices con memorias de cálculo para mayor detalle.

Tabla 7.- Cálculo del Valor Presente de los beneficios a 15 años

AÑO	BENEFICIOS ACTUALIZADOS AL AÑO CORRESPONDIENTE (BJ)	BENEFICIO SOCIAL ADICIONAL ACTUALIZADO AL AÑO CORRESPONDIENTE (BSJ)	BENEFICIOS TOTALES ACTUALIZADOS AL AÑO CORRESPONDIENTE (BJ + BSJ)	VALOR PRESENTE DE LOS BENEFICIOS TOTALES CON BASE AL AÑO CERO (VP)	AVANCE EN LA OBRA (%)	VALOR PRESENTE DE LOS BENEFICIOS REALES CON BASE AL AÑO CERO (VP)*(AVANCE OBRA/100)
1	494,42	129,15	623,57	623,57	6,67	41,57
2	530,55	138,59	669,14	619,57	13,33	82,61
3	569,32	148,71	718,03	615,60	20,00	123,12
4	610,92	159,58	770,50	611,65	26,67	163,11
5	655,56	171,24	826,81	607,73	33,33	202,58
11	1000,90	261,45	1262,35	584,71	73,33	428,79
12	1074,04	280,56	1354,60	580,96	80,00	464,77
13	1152,53	301,06	1453,58	577,24	86,67	500,27
14	1236,75	323,06	1559,80	573,54	93,33	535,30
15	1327,12	346,66	1673,78	569,86	100,00	569,86
					Valor Presente Total de los beneficios	4699,11

Cálculo del valor futuro de los beneficios con una retención de Partículas suspendidas del 15%

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 494,42

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero = 129,15

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Se ocultan los datos del años 6 hasta el 10, por motivos de formato y espacio. Ver apéndices con memorias de cálculo para mayor detalle.

Tabla 8. - Cálculo del Valor Presente de los beneficios a 20 años

AÑO	BENEFICIOS ACTUALIZADOS AL AÑO CORRESPONDIENTE (Bj)	BENEFICIO SOCIAL ADICIONAL ACTUALIZADO AL AÑO CORRESPONDIENTE (BSj)	BENEFICIOS TOTALES ACTUALIZADOS AL AÑO CORRESPONDIENTE (Bj + BSj)	VALOR PRESENTE DE LOS BENEFICIOS TOTALES CON BASE AL AÑO CERO (VP)	AVANCE EN LA OBRA (%)	VALOR PRESENTE DE LOS BENEFICIOS REALES CON BASE AL AÑO CERO (VP)*(AVANCE OBRA/100)
1	494,42	129,15	623,57	623,57	5	31,18
2	530,55	138,59	669,14	619,57	10	61,96
3	569,32	148,71	718,03	615,60	15	92,34
4	610,92	159,58	770,50	611,65	20	122,33
5	655,56	171,24	826,81	607,73	25	151,93
6	1424,10	372,00	1796,09	566,20	80	452,96
7	1528,16	399,18	1927,34	562,57	85	478,19
8	1639,83	428,35	2068,18	558,96	90	503,07
19	1759,66	459,65	2219,31	555,38	95	527,61
20	1888,24	493,24	2381,48	551,82	100	551,82
					Valor Presente Total de los beneficios	6037,98

Cálculo del valor futuro de los beneficios con una retención de Partículas suspendidas del 13%

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 494,42

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero = 129,15

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Se ocultan los datos del años 6 hasta el 15, por motivos de formato y espacio. Ver apéndices con memorias de cálculo para mayor detalle.

Tabla 8.- Cálculo del Valor Presente de los beneficios a 20 años

AÑO	BENEFICIOS ACTUALIZADOS AL AÑO CORRESPONDIENTE (BJ)	BENEFICIO SOCIAL ADICIONAL ACTUALIZADO AL AÑO CORRESPONDIENTE (BSJ)	BENEFICIOS TOTALES ACTUALIZADOS AL AÑO CORRESPONDIENTE (BJ + BSJ)	VALOR PRESENTE DE LOS BENEFICIOS TOTALES CON BASE AL AÑO CERO (VP)	AVANCE EN LA OBRA (%)	VALOR PRESENTE DE LOS BENEFICIOS REALES CON BASE AL AÑO CERO (VP)*(AVANCE OBRA/100)
1	494,42	129,15	623,57	623,57	5	31,18
2	530,55	138,59	669,14	619,57	10	61,96
3	569,32	148,71	718,03	615,60	15	92,34
4	610,92	159,58	770,50	611,65	20	122,33
5	655,56	171,24	826,81	607,73	25	151,93
16	1424,10	372,00	1796,09	566,20	80	452,96
17	1528,16	399,18	1927,34	562,57	85	478,19
18	1639,83	428,35	2068,18	558,96	90	503,07
19	1759,66	459,65	2219,31	555,38	95	527,61
20	1888,24	493,24	2381,48	551,82	100	551,82
					Valor Presente Total de los beneficios	6037,98

Cálculo del valor futuro de los beneficios con una retención de Partículas suspendidas del 15%

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 494,42

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero = 129,15

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Se ocultan los datos del años 6 hasta el 15, por motivos de formato y espacio. Ver apéndices con memorias de cálculo para mayor detalle.

### 5.1.3. Las relaciones costo/beneficio.

Las relaciones costo/beneficio se calculan dividiendo el valor presente neto de los costos en un periodo de tiempo sobre el valor presente neto de los beneficios en el mismo periodo.

En las memorias de cálculo se encuentran extensas tablas con los datos y cálculos del análisis. En esta sección se presentan las relaciones calculadas y el plazo que requiere el proyecto para llevarse a cabo igualando los costos a los beneficios. Se hizo un análisis adicional a 30 años considerando una retención del 15 % en los niveles de  $PM_{10}$  y un costo de 27.50 dólares por  $m^2$ .

Tabla 9.- Relación Costo/Beneficio para diferentes tiempos de ejecución del proyecto de naturación

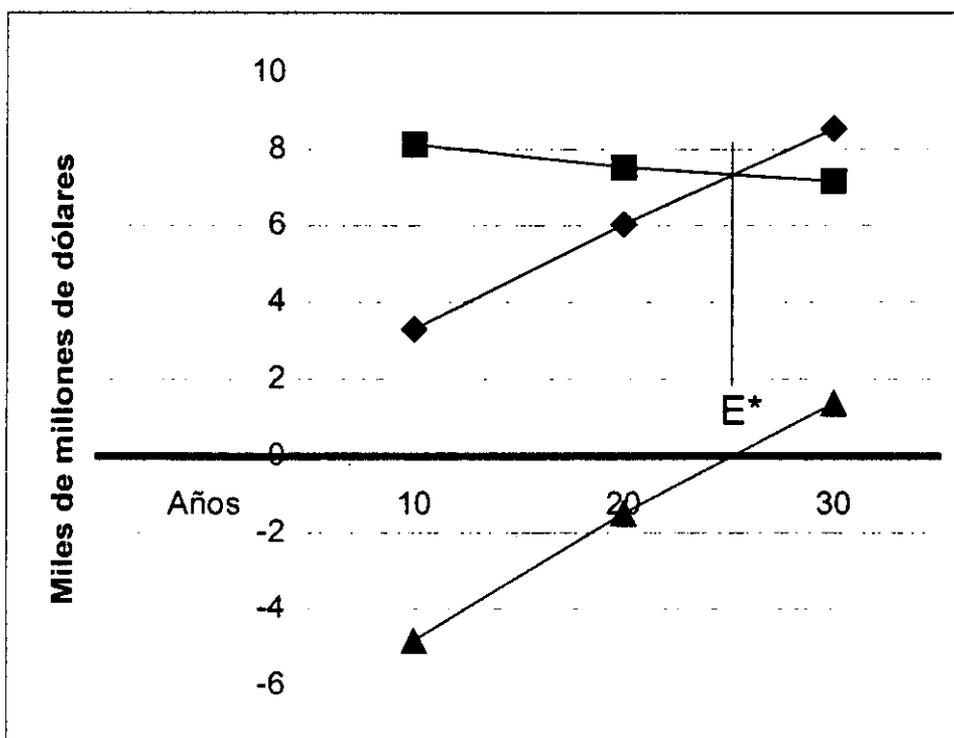
ANOS	VP BENEFICIOS	VP COSTOS	VPN	RELACIÓN C/B
10	3300	8134	-4834	2.46
20	6038	7534	-1496	1.25
30	8544	7171	1373	0.84

Cifras en millones de dólares

En la tabla 9 se muestran los diferentes valores de valor presente para costos, beneficios y como resultado de restar los costos a los beneficios, el valor presente neto del proyecto y la relación costo/beneficio para 10, 20 y 30 años.

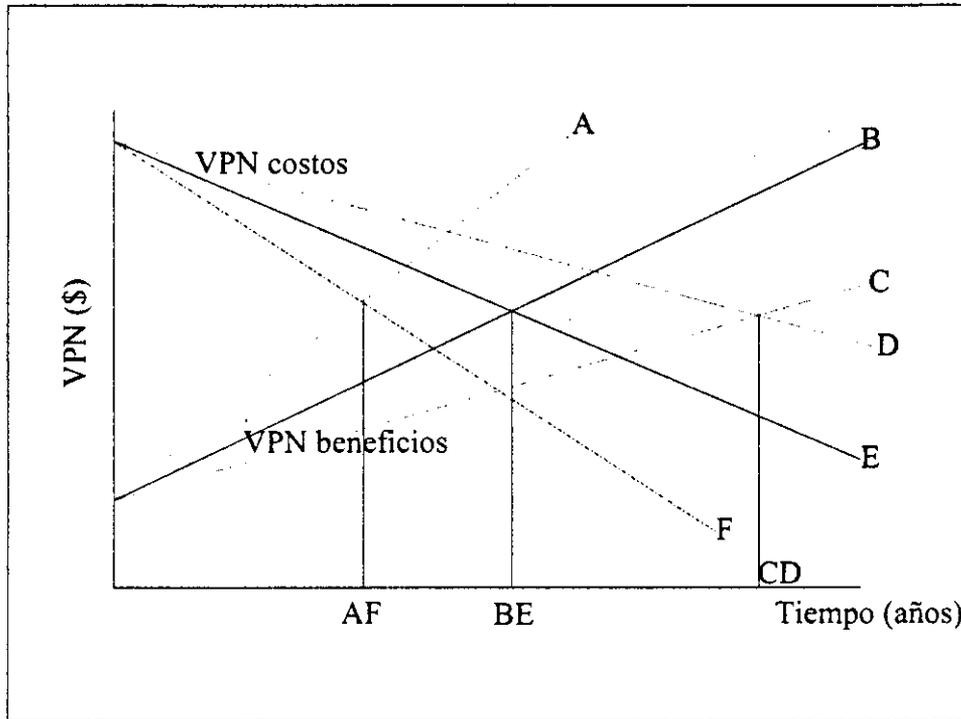
El valor presente se muestra como la magnitud que alcanzan las pérdidas y ganancias, en tanto que la relación costo/beneficio nos da una proporción de los costos contra beneficios en el tiempo especificado. Así, por ejemplo, si el criterio de toma de decisiones es que el VPN sea mayor que cero, se tomará un plazo superior a 20 años.

Fig.9 .- Plazo mínimo para llevar a cabo el proyecto.



En la figura 9 se presenta el plazo mínimo para llevar a cabo el proyecto con las condiciones establecidas en este punto. El punto que representa dicho plazo es E\*, que equivale a 25 años. Desde luego, un aumento en los beneficios por mayores retenciones de  $PM_{10}$  o por abaratamiento de costos de construcción, modificarían la ordenada al origen y la pendiente de las curvas de VPN, con lo cual el punto E\* se recorre hacia la izquierda, disminuyendo el plazo mínimo. Un aumento en el costo del proyecto o una disminución en la retención modificarán las curvas de manera que el punto E\* se desplaza hacia la derecha, aumentando el tiempo mínimo requerido para llevar a cabo el proyecto.

Fig.10 .- Relación entre diferentes curvas de costos y beneficios



En la figura 10 se describe gráficamente lo que sucede con la modificación de los costos y beneficios. Si los costos disminuyen y la retención de partículas aumenta, el punto  $E^*$ , representado por la intersección BE en la figura se mueve hacia el punto AF, y representa la combinación de costos y beneficios que producen la máxima ganancia a la sociedad. Si por el contrario, los costos son grandes y la retención de partículas, pequeña; se puede llegar al punto CD, que representa las menores ganancias para la sociedad. Las otras intersecciones representan los puntos donde se empiezan a obtener ganancias si cambian solo los costos y la retención permanece sin cambios o viceversa. Todas las intersecciones representan una relación C/B igual a uno.

#### 5.1.4. Tasa interna de retorno

El cálculo de la tasa interna de retorno (TIR), se realizó igualando el valor presente neto del proyecto a cero y resolviendo la ecuación resultante, mediante un método de ensayo y error en hoja de cálculo, hasta encontrar la TIR que hace el VPN igual a cero. El periodo de cálculo comprende 30 años. Dicha TIR es igual al 11.3765% anual.

Esto indica que la tasa de descuento asociada al interés social se puede mover incluso 3 puntos porcentuales arriba de la *prime rate* y el proyecto tendría ganancias al cabo de esos 30 años. También indica que en caso de existir algún conflicto o situación que haga subir los intereses internacionales arriba del 11.4% pondría en riesgo de sufrir pérdidas al proyecto. Esto si la tasa de interés queda sin modificar.

Desde luego, cuando las tasas líderes de interés de cualquier tipo suben, es de esperarse que la inflación y otras tasas de interés sigan el mismo comportamiento alcista, tendiendo a compensar la situación.

## 5.2 Análisis de sensibilidad

En la evaluación de la propuesta para naturalizar la ZMCM, se ha considerado un 15% de disminución de PST y un costo de 27.50 dólares por metro cuadrado de superficie naturalizada.

Debido a las características del sistema, el porcentaje de disminución de partículas puede variar, pues no se dispone de datos de campo que estimen el efecto que otras superficies vegetales (árboles) ni de las plantas que se utilizarán en la ciudad de México y su área metropolitana.

La cota más baja según se mencionó antes, es el 10% correspondiente a la determinación teórica de la retención de partículas por parte de la superficie que se desea naturalizar. La cota más alta, que se estima de suponer que el efecto que tiene sobre los índices de PST la cubierta vegetal en los meses lluviosos, equivale al que tendrán las superficies naturalizadas dentro de la mancha urbana, es del 20%

Los precios de la obra pueden variar y situarse entre 20 y 35 dólares por metro cuadrado. Se van a considerar las posibilidades de que el precio se sitúe en 20, 27.50 y 35 dólares por metro cuadrado. A un precio de 20 dólares por m<sup>2</sup>, el costo de inversión es de 5,992 millones de dólares. Para 27.50 dólares por m<sup>2</sup>, el costo de inversión se eleva 8,240 millones de dólares anuales y para

el precio de 35 dólares por m<sup>2</sup>, dicho costo alcanza los 10486 millones de dólares. Se presentan las gráficas con la información más esencial. Para mayores detalles, consultar las memorias de cálculo.

El análisis se realiza para un horizonte de planeación de 15 años.

En la tabla 10 se presentan relaciones costo/beneficio para un rango de variación del 25% en los costos y un 33% en la retención de partículas por la superficie naturada en un horizonte de planeación de 15 años (Ver apéndice 4 para las memorias de cálculo). Las relaciones se calculan considerando que los costos a valor presente son de 9770.81 millones de dólares para una inversión por m<sup>2</sup> de 35 dólares, 7801.10 millones para una inversión de 27.50 dólares por m<sup>2</sup> y 5570.76 millones para una inversión de 20 dólares por m<sup>2</sup>.

Por otra parte, los beneficios son de 3126.67 millones a valor presente para una retención de partículas del 10 %, 4699.11 millones para una retención del 15% y 6249.46 para una retención del 20%.

Tabla 10.- Análisis de sensibilidad. Costos vs. Beneficios

		RETENCION DE PARTICULAS (%)		
		10	15	20
COSTOS	35	3.12	2.08	1.56
	27.50	2.49	1.66	1.25
	20	1.78	1.18	0,89

Fig. 11 Análisis de sensibilidad por disminución en la concentración de partículas

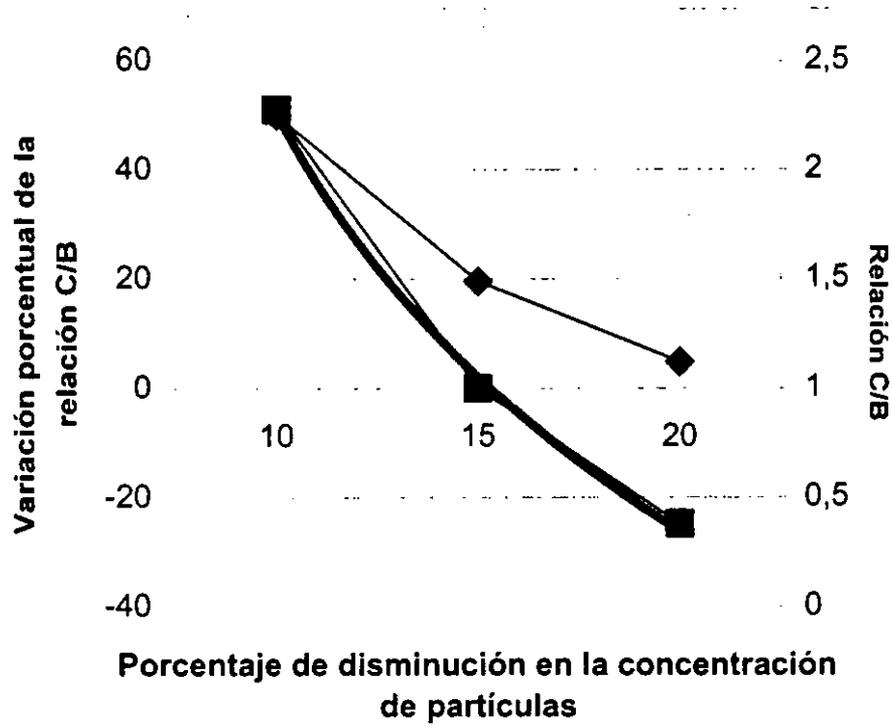
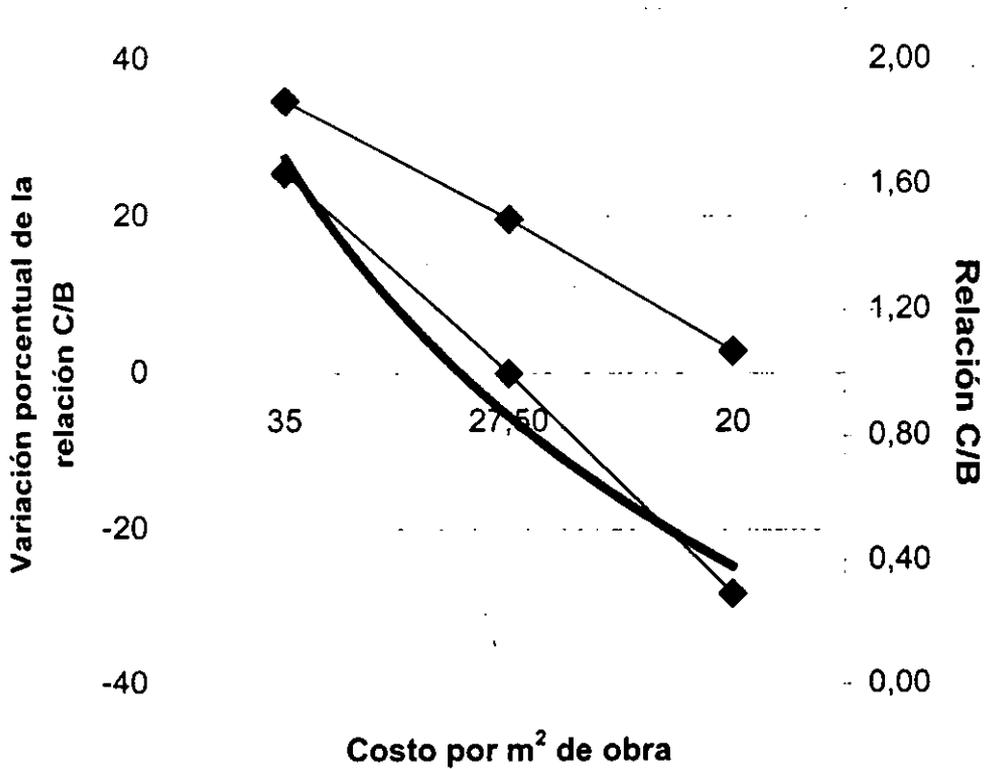


Fig. 12 Análisis de sensibilidad por costo de inversión



De acuerdo con los datos mostrados en las figuras 11 y 12, la relación costo beneficio se incrementa notablemente por disminución de retención de partículas que por aumento de precios

### 5.3. Análisis de riesgo

Con la finalidad tener un estimado de qué tan confiable es el proyecto de naturación dado el gran plazo en que se llevara a cabo y las condiciones de incertidumbre que existen en torno a este, como es la capacidad real de retención de partículas por parte del sistema y los precios de construcción por metro cuadrado de obra, se ha considerado realizar un análisis de riesgo en el cual se consideran los escenarios con extremos optimistas y pesimistas en los cálculos de flujos de efectivo (FE) y el escenario más probable.

El escenario optimista se calculó considerando un precio de 20 dólares por metro cuadrado y 20% de retención de partículas, lo cual da las ganancias más altas.

El escenario pesimista se calculó considerando un precio de 35 dólares por metro cuadrado y una retención de 10% en partículas, que da las ganancias más bajas.

El escenario más probable resulta de considerar el precio de 27.50 dólares por metro cuadrado y 15% de retención de partículas.

Las tablas con los cálculos se incluyen en el apéndice 4. Para realizar el análisis se consideró el valor del FE pesimista, más probable y optimista para cada año del análisis, asignándoles una distribución estadística triangular.

El proceso consiste en seleccionar un valor aleatorio entre 0 y 1 con el cual se calcula un valor presente comprendido en el rango antes mencionado (estimado pesimista, estimado optimista) para cada año y se llega a un valor

presente neto al sumar todos los años. El proceso se repite tantas veces como se desee (se recomienda al menos 250 veces) (Coss Bu, 1982), y se obtiene una distribución de valores de VPN los cuales permiten obtener una distribución estadística que permite calcular el VPN más probable, el optimista, pesimista y las probabilidades de alcanzar un determinado valor al final del periodo.

Aunque existen otros métodos para realizar el análisis de riesgo, este es el más recomendable cuando no pueden asignarse desde un principio distribuciones estadísticas a los resultados que se espera obtener debido a la incertidumbre, como es el caso del proyecto de naturación, en el cual no existen datos que permitan justificar el uso de una determinada distribución estadística.

La simulación se llevó a cabo utilizando el paquete CASH para 20 y 30 años. Los cálculos de los escenarios se encuentran en las memorias de cálculo.

Tabla 11.- Datos de flujos de efectivo para el análisis de riesgo a 20 años

ANO	PESIMISTA	MÁS PROBABLE	OPTIMISTA
1	-543,70	-412,40	-283,51
2	-552,48	-402,28	-254,79
3	-555,42	-385,17	-217,60
4	-558,42	-365,44	-175,28
5	-559,12	-340,94	-125,74
6	-557,18	-311,11	-68,17
7	-552,22	-275,28	-1,65
8	-543,83	-232,77	74,80
9	-531,54	-182,80	162,27
10	-514,84	-124,51	261,96
11	-493,18	-56,97	375,17
12	-465,92	20,86	503,33
13	-432,40	110,09	648,03
14	-391,84	211,96	810,98
15	-343,44	327,83	994,06
16	-286,27	459,19	1199,34
17	-219,34	607,66	1429,06
18	-141,54	775,03	1685,70
19	-51,68	963,24	1971,94
20	51,57	1174,43	2290,73

Cifras en millones de dólares

En las memorias de cálculo se describe el proceso de obtención de estos datos.

En la tabla 11 se muestran los flujos de efectivo para cada año del análisis. Los valores de VPN estimado, máximo, mínimo, desviación estándar y los escenarios más probable, pesimista y optimista son calculados con el paquete CASH (Park, 1993) Ver tabla 12. Entre el valor mínimo (-2118.23) y el máximo (53.40), el programa calcula 10 intervalos con cotas de valor. La simulación se corrió con 500 iteraciones, siendo el valor de frecuencia el número de veces que un intervalo determinado comprende a un valor calculado en cada iteración.

Tabla 12.- Resultados del análisis de riesgo a 20 años

VPN ESTIMADO	-1084.37	INTERVALO	FRECUENCIA
Desv. estándar	361.56	-2118.23 hasta -1901.07	6
VPN mínimo	-2118.23	hasta -1683.90	13
VPN máximo	53.40	hasta -1466.74	54
VPN por escenarios		hasta -1249.58	94
Optimista	-5028.29	hasta -1032.41	131
Más probable	-1076.45	hasta -815.25	87
Pesimista	2834.74	hasta -598.09	67
		hasta -380.93	32
		hasta -163.76	14
		hasta 53.40	2

Cifras en millones de dólares

La probabilidad de que VPN sea menor de cero es 0.99902.

En las tablas 13 y 14 se procede de la misma manera, con un horizonte de 30 años

Tabla 13.- Datos de flujos de efectivo para el análisis de riesgo a 30 años

ANO	PESIMISTA	MAS PROBABLE	OPTIMISTA
1	-362,25	-274,93	-187,33
2	-368,09	-268,19	-167,98
3	-373,11	-259,19	-144,95
4	-377,17	-247,67	-117,82
5	-380,13	-233,31	-86,13
6	-381,84	-215,79	-49,36
7	-382,12	-194,75	-6,95
8	-380,80	-169,78	41,68
9	-377,67	-140,46	97,23
10	-372,51	-106,31	160,40
11	-365,09	-66,82	231,99
12	-355,15	-21,42	312,87
13	-342,42	30,48	403,99
14	-326,60	89,55	506,37
15	-307,39	156,52	621,13
16	-284,43	232,15	749,49
17	-257,38	317,30	892,78
18	-225,84	412,87	1052,45
19	-189,43	519,84	1230,05
20	-147,70	639,29	1427,29
21	-100,21	772,36	1646,02
22	-46,50	920,28	1888,24
23	13,94	1084,39	2156,12
24	81,60	1266,11	2452,00
25	157,01	1466,98	2778,43
26	240,70	1688,62	3138,16
27	333,22	1932,81	3534,15
28	435,10	2201,40	3969,62
29	546,87	2496,40	4448,02
30	669,06	2819,93	4973,09

Cifras en millones de dólares

En las memorias de cálculo se describe el proceso de obtención de estos datos.

Los resultados del análisis se describen en la tabla 14.

Tabla 14.- Resultados del análisis de riesgo a 30 años

VPN ESTIMADO	414.64	INTERVALO	FRECUENCIA
Desv. estándar	268.82	-643 hasta -463.29	6
VPN mínimo	-643	hasta -283.57	13
VPN máximo	1154.16	hasta -103.86	54
VPN por escenarios		hasta 75.86	94
Optimista	-3423.2	hasta 255.58	131
Más probable	1372.77	hasta 435.29	87
Pesimista	3362.89	hasta 615.01	67
		hasta 794.72	32
		hasta 974.44	14
		hasta 1154.16	2

Cifras en millones de dólares

La probabilidad de que VPN sea menor de cero es 0.17977.

#### 5.4. Comparación con otros proyectos del gobierno

Como se mencionó, el sistema de naturación produce básicamente mejoras notables en la calidad del aire al disminuir los índices de Partículas Suspendidas Totales, sin embargo no impacta en la reducción de los niveles de ozono y otros contaminantes de manera significativa. Margulis en su estudio sobre los efectos de la contaminación en la ZMCM estima que el 85% de los daños se deben a partículas y un 10% de estos son originados a causa del ozono.

En 1992 el IMP en colaboración con *Los Alamos National Laboratory* publicó un documento en el que se analizan 58 programas para el mejoramiento de la calidad del aire en la ZMCM (EGCA, 1992). El único programa comparable a la naturación por sus efectos sobre la disminución de PST es el de reforestación, la cual incluye áreas del Lago de Texcoco, la Sierra de Guadalupe y de Santa Catarina, así como en la zona urbana. Con un costo anual calculado en US\$35 millones y un potencial de remoción de la atmósfera del 66% de sus índices, es con mucho el mejor programa disponible por los

ESTA TESIS NO DEBE  
 SER DE LA BIBLIOTECA

enormes beneficios que generará con un costo social muy bajo. Si se calculan los beneficios en materia de salud pública usando este nuevo valor, se obtiene  $180 * 0.66 = 118.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  menos. El valor esperado de los beneficios es de US \$2932.64 millones por año, por sólo US \$ 35 millones anuales.

Sin embargo, se recuerda que uno de los propósitos del proyecto de naturación, que no fue evaluado en esta tesis por requerir una investigación de campo exhaustiva y compleja, es producir beneficios a la ciudad por el mejoramiento de la situación ecológica, crecimiento de áreas verdes y aislamiento contra ruido y calor; además de modificar marginalmente el microclima en algunas áreas de la ciudad. En este sentido, la reforestación tiene limitantes dado que en muchas ocasiones no se pueden sembrar los árboles más adecuados por falta de espacio en las banquetas y calles. Dichas limitantes dejan el bosque fuera de la ciudad y los problemas como la isla de calor continuarán, puesto que en varias decenas de kilómetros no hay ni una sola superficie que amortigüe los efectos del calentamiento solar y en episodios de altas concentraciones de partículas en la atmósfera, no existirá un sistema que permita una baja rápida en éstas.

La reforestación puede quedar como un complemento a la naturación, con la finalidad de reducir emisiones de polvo y partículas en las sierras y campos, en donde además, contribuye a aumentar la captación de agua de lluvia. En el medio ambiente citadino, saturado de concreto y asfalto, crear superficies vegetales, como en la naturación, logrará con mayor eficiencia su propósito, que es amortiguar el efecto de la isla de calor, el cual es particularmente molesto en el mes de Mayo (Temperatura de  $33.8^\circ \text{C}$  en Mayo de 1988. SMN, 1999) y reducir índices de PST.

## **CAPITULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 Discusión**

El proyecto de naturación de construcciones en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México es una alternativa viable, aunque resulta cara y con pérdidas económicas comparada con programas de reforestación y con un horizonte de planeación a 15 años. Es una medida que requiere un gran uso de recursos monetarios para llevarla a un nivel funcional y necesitará del apoyo de las autoridades, incluyéndola en los programas sectoriales.

Puesto que se requiere mejorar la situación ecológica urbana, tal como se menciona en el PROAIRE, la naturación maximiza la superficie con cubierta vegetal sin requerir demoliciones o reordenamientos urbanos, cuyo costo económico y social puede ser mucho mayor, dada la situación de sobrepoblación que se vive en la ciudad de México.

Esto no quiere decir que deje de contemplarse la descentralización como una medida efectiva de lograr una mejor calidad del ambiente en la ZMCM. El tiempo requerido para lograr dicha descentralización y la cantidad de recursos que deberán destinarse para llevarla a cabo dan cabida al proyecto de naturación como una medida de bienestar ecológico y social que perdurará durante mucho tiempo en la ZMCM.

Los costos sociales tan grandes y el porcentaje (16%) del presupuesto anual en términos de 1998 para el GDF que requiere anualmente el proyecto de naturación, hacen pensar en la posibilidad de buscar otras vías de financiamiento que no sean exclusivamente gubernamentales, sino involucrando a la Iniciativa Privada o a esquemas tripartitas. Este tipo de proyectos se manejan en otros países como cuestiones ecológico-decorativas, en donde cada dueño de un inmueble decide o no naturar su techo, asumiendo él los costos que esto genera.

A diferencia de otras ciudades donde se han implantado este tipo de programas, el mayor impacto del proyecto se manifiesta en la reducción de partículas suspendidas, aunque la modificación en las propiedades físicas de los techos naturados puede generar beneficios adicionales en materia de uso de energía y consumo de agua (por modificación de la humedad relativa local), valor estético de inmuebles y en la ecología de la región que requieren ser estudiados.

El valor estimado para la disminución de partículas, que se toma del 15%, obedece a que se tiene un estimado teórico que arroja una disminución de 10% en los índices promedio de estas, se tiene una estimación, tal vez exagerada, de un 20% de disminución tomando como base datos de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). El tercer estimado, realizado para superficies naturadas con vegetación que se ajusta en sus características a la que se piensa utilizar en México, arroja un valor del 14%. Con el fin de simplificar y tomar en cuenta las dos cotas de retención de partículas (10 % y 20 %), se toma el valor medio de 15% que no difiere en gran medida del valor de 14%.

Las pérdidas de material particulado se consideran despreciables para los fines de este análisis. Un problema consistió en determinar si las emisiones de partículas que se evitan representan linealmente la disminución de los índices de concentración de partículas en el aire. Tal vez convenga modificar la geometría de naturación, y en lugar de la espiral que se muestra en la figura 8 de la página 48, se ubique la superficie a naturar en las zonas donde se presentan los problemas más agudos de emisión de partículas. Si el 75% de las partículas provienen de emisiones naturales, conviene, desde el punto de vista de PST, reforestar las sierras y utilizar variedades de plantas halófitas y con micorrizas para terrenos con alta alcalinidad (Lago de Texcoco) y alta erosión, respectivamente.

Si se toma el punto de vista de control de la humedad relativa y ahorros energéticos por abatimiento del efecto de la isla de calor, se requiere complementar este análisis con aspectos de ingeniería en energía

## 6.2. Conclusiones

Las concentraciones en el aire de Partículas Suspendidas Totales y PM<sub>10</sub> se estima disminuirán en un 15%, con una variación del 33.3 % sobre dicho estimado. Esto propiciará una disminución en los casos que se presentan de mortalidad y morbilidad, así como ausentismo laboral por problemas relacionados con la salud.

Con un costo de 27.50 dólares por metro cuadrado y la retención de partículas del 15%, se necesita un horizonte de planeación mínimo de 25 años, de tal manera que los costos sociales iguallen al beneficio que se obtenga. El análisis de sensibilidad indica que la relación costo/beneficio disminuye en mayor medida si se abaratan los costos de construcción, aunque dicha disminución es marginal. El aspecto fundamental en estos dos factores es que resultará mucho más fácil abaratar los costos de construcción que lograr que el sistema incremente más allá de un cierto límite su capacidad de hacer disminuir de las concentraciones de partículas suspendidas. Por ello, el éxito de la naturación desde el punto de vista monetario depende en gran medida de los costos de construcción

El análisis de riesgo, por otra parte, fundamenta un horizonte de planeación a 30 años, dado que la probabilidad de perder dinero a valor presente a 20 años es de 99.902%, en tanto que a 30 años el proyecto tendrá ganancias con una probabilidad del 82.013%, al menos desde la perspectiva este análisis, aunque los impactos futuros debidos a políticas y crisis económicas son impredecibles en este momento.

Desde el punto de vista financiero y dado que el proyecto perdurará aun muchos años después de terminada su ejecución, entre menor sea el costo de inversión y

en la medida que se logre involucrar a diversas instancias en su financiamiento y desarrollo, se podrá tener un esquema de financiamiento amplio que evite que los costos recaigan sobre una sola entidad haciendo imposible la puesta en marcha del proyecto.

Al compararlo con el proyecto de reforestación, se concluye que es un complemento a ésta, maximizando las áreas verdes en la mancha urbana de la ZMCM sin requerir de demoliciones o reordenamientos que involucran un gasto millonario, aun cuando estas últimas medidas si se llevarán a cabo en algunas áreas de la ciudad.

### 6.3 Trabajo a futuro

Es necesario llevar a cabo un estudio de aceptación por parte de la ciudadanía, existen comentarios claros por parte de muchas personas sobre la negación de ver transformadas sus azoteas en portadoras de vegetación. Es posible que en un proyecto de esta magnitud, que modificará el espacio físico de millones de personas, requiera como medidas de implantación cursos de sensibilización y adaptación desde primaria.

Los beneficios en materia de ahorro energético y aumento de precios de bienes inmuebles por vistas más bonitas y mejora de visibilidad en México deben ser estudiados. La evaluación en detalle de costos sociales es un tema muy extenso y con fuentes de información muy diversas. Es necesario investigar este tema, con la finalidad de mejorar el análisis y reducir la incertidumbre en la toma de decisiones.

En cuestión de materiales e insumos para la obra, si se lleva a cabo, conviene investigar sobre soportes más livianos para el sistema, dado que el peso actual, de 70 kg/m<sup>2</sup> podría ocasionar dificultades para su implantación en algunas construcciones y áreas habitacionales de la ZMCM

El estimado de  $15 \pm 5\%$  de retención de partículas habrá de refinarse en cuanto al número y las cotas que correspondan, a partir de la puesta en marcha de la primera naturación piloto a fines de 1999. Convendría realizar un estudio sobre este detalle.

Tal como se aprecia en la sección 5.1.2., los costos sociales se incrementan al incrementarse el costo de la obra. Los profesionistas involucrados en la elección de materiales para la obra deben buscar reducir el costo al mínimo nivel posible.

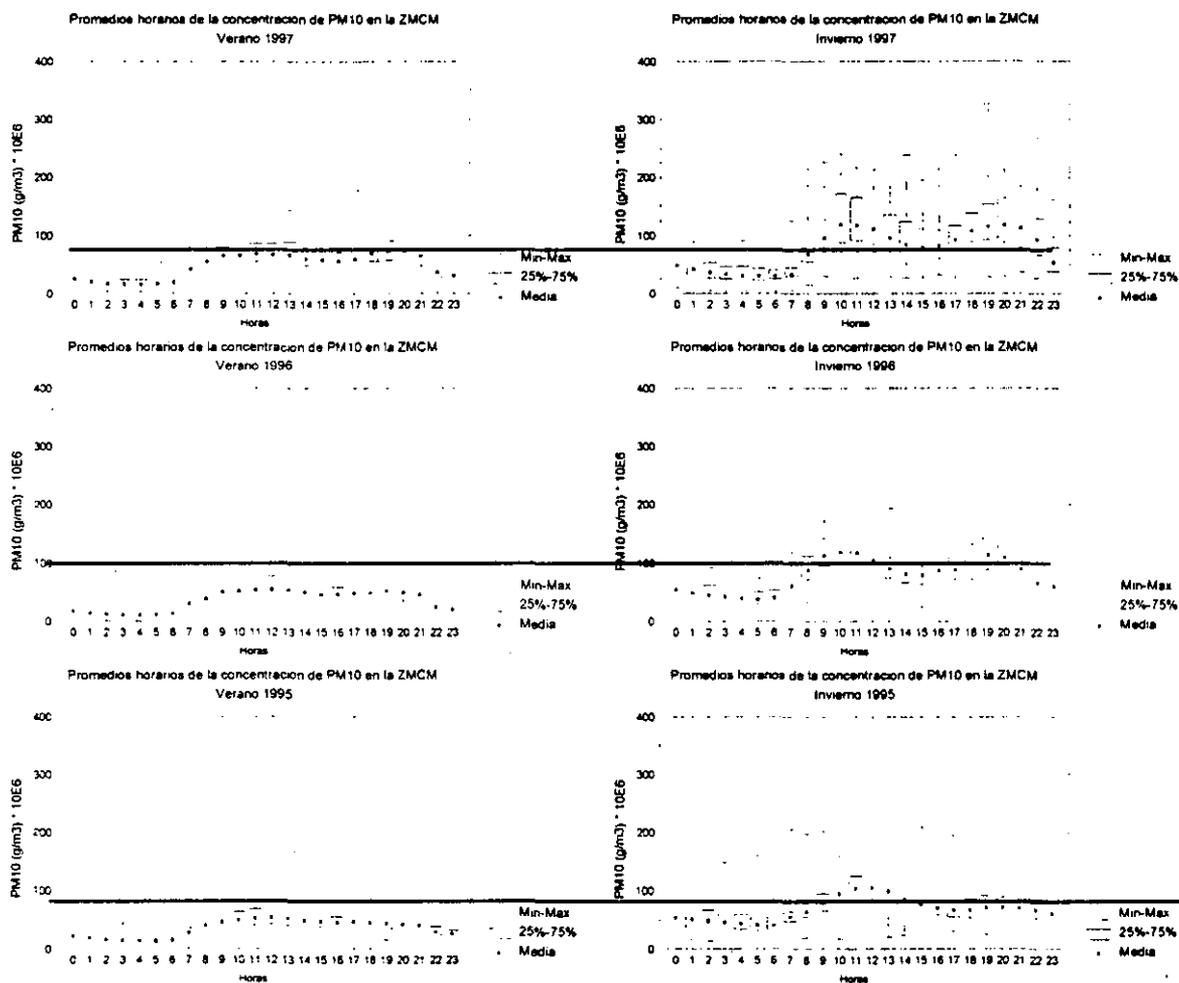
Sólo así se podrá reducir el tiempo de recuperación de la inversión y hacer más rentable en términos sociales el proyecto.

Con la finalidad de refinar este tipo de estudios, se recomienda a los profesionistas en el área de salud pública a ampliar sus poblaciones de estudio en el caso de la Ciudad de México, ya que actualmente se limitan a ciertos sectores de la población que no representan a la mayoría de la población.

Esto es con fines de valuación y apoyar la toma de decisiones. La ciudad de México, por sus características geográficas y meteorológicas, difiere en forma considerable de otras ciudades donde se han llevado a cabo los estudios de mortalidad y morbilidad en los que se basa esta tesis.

Un estudio de relación costo/beneficio del proyecto de reforestación es necesario para poder tomar una decisión mejor fundamentada, que tome en cuenta la totalidad del entorno ecológico de la ZMCM.

# APENDICE 1.- COMPARACIÓN ENTRE LOS ÍNDICES PROMEDIO DE PM10 EN DIFERENTES ÉPOCAS DEL AÑOS EN LA ZMCM



Comparación de los meses húmedos(Verano=Jul-Sep), en los que se propicia el desarrollo de hierbas silvestres y humedad en la ZMCM y los meses secos(Invierno=Ene-Mar) y los niveles promedio horarios.

Datos de las estaciones TLA, XAL, MER, PED, CES, TLI, VIF, TAH, NET, LVI

En estas gráficas se aprecia el promedio horario (en punto rojo) para los 180 días de cada estación. El Verano, que es lluvioso y propicia el crecimiento de grandes áreas de vegetación silvestre, tipo la empleada para natural, en la ZMCM,

muestra niveles promedio de PST 20% menores, en promedio, a los que se tienen en el invierno, cuando todo el valle está seco y hay muchas partículas suspendidas. En las gráficas se muestran los datos del percentil 25 al 75 y los valores mínimos y máximos por hora. En general, la variación más grande de estos indicadores corresponde a la estación de sequía, cuando la sequedad del suelo y los vientos pueden suspender con facilidad las partículas que se hallan en el suelo. Dicha situación, sería contrarrestada por las superficies naturadas, al actuar como filtros que impiden la resuspensión de partículas.

## APÉNDICE 2.- CÁLCULO DEL VALOR PRESENTE NETO

Si se invierten \$ 1000 con un rendimiento del 10% anual neto, la cantidad disponible al cabo de un año son esos \$1000 mas \$100 de ganancia, la cual es el interés sobre la inversión. Si se reinvierte por un segundo periodo el dinero, la cantidad al término de este será \$1100 más \$ 110 de interés, lo cual nos da \$1210.

Lo anterior puede explicarse mediante las operaciones:

$$\text{Primer año:} \quad \$1000 * (1 + 0.10) = \$1100$$

$$\text{Segundo año:} \quad \$1100 * (1 + 0.10) = \$1210$$

Sustituyendo la primera ecuación en la segunda:

$$\$1000 * (1 + 0.10) * (1 + 0.10) = \$1000 * (1 + 0.10)^2 = \$1210$$

Generalizando esta operación, se deduce que el monto de la inversión al término del n-ésimo periodo ( Valor futuro) será igual a:

$$VF = \$1000 * (1 + 0.10)^n$$

Para una inversión (VP = valor presente) y tasa de rendimiento (  $i$  ) cualquiera, la fórmula se convierte en:

$$VF = VP * (1 + i)^n$$

Si se desea conocer el valor presente de un valor futuro, la ecuación queda como:

$$VP = VF / (1 + i)^n$$

Considérese ahora que en vez de un solo valor inicial de inversión, se tienen valores que cambian con cada periodo, en el caso del proyecto de naturación, se destinarán diferentes cantidades anuales debido al incremento de los costos de materiales y los beneficios cambian de magnitud por el crecimiento demográfico, es decir, aumento de la población susceptible y por la inflación, dado que los beneficios se consideran directos y reflejan ahorro en gastos debidos a consumo de material médico-quirúrgico, uso de instalaciones hospitalarias y pérdida de productividad laboral, siendo el valor de estos bienes y servicios incrementado conforme a los índices inflacionarios.

Si se denomina  $G_i$ ,  $i = 1, \dots, n$  a los gastos o inversión en cada periodo, el valor presente esta dado por la expresión:

$$VP = G_1 (1/(1+i)^1) + G_2 (1/(1+i)^2) + \dots + G_n (1/(1+i)^n)$$

Que de manera general se escribe:

$$VPN = \sum_{i=1}^n \frac{G_i}{(1+r)^i}$$

## APÉNDICE 3.- INDICADORES ECONÓMICOS DE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Tabla 1.- Tasas de interés en México y Norteamérica

ANO	MEXICO	CANADA	ESTADOS UNIDOS
1985	76.17	9.56	7.95
1986	102.98	9.16	6.50
1987	123.49	8.39	6.81
1988	55.39	9.66	7.66
1989	48.69	12.21	8.99
1990	38.12	13.03	8.06
1991	24.89	8.90	5.87
1992	22.56	6.73	3.75
1993	21.00	4.97	3.22
1994	18.89	5.66	4.66
1995	57.41	7.50	5.96

Elaborado con datos del INEGI.  
Tomado de Vega López et al. Economía ambiental: Lecciones de América Latina. INE. 1997

Tabla 2.- Relación Tipo de cambio/Índice de Precios al Consumidor en México

ANO	RELACION TIPO DE CAMBIO/IPC
1980	0.92
1981	1.04
1982	2.97
1983	2.22
1984	1.64
1985	1.97
1986	3.01
1987	3.53
1988	1.41
1989	1.07
1990	1.00
1991	0.88
1992	0.80
1993	0.73
1994	1.18

Elaborado con datos del INEGI.  
Tomado de Vega López et al. Economía ambiental: Lecciones de América Latina. INE. 1997

Tabla 3.- Salario mínimo general y remuneraciones nominales promedio de los asalariados en grupos de actividad seleccionados (pesos/día)

AÑO	SALARIO MÍNIMO	INDUSTRIA MANUFACTURERA	INDUSTRIA MAQUILADORA	INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN	COMERCIO
1995	16.42	118.85	68.40	50.14	63.35
1999	31.91	238.67	152.21	86.94	121.83
Var. %	94.33	100.82	122.53	73.39	92.31
				Promedio %	96.67

FUENTE: Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Estadísticas laborales. Capítulo 3.-Remuneraciones.

Tabla 4.- Tipo de cambio peso/dólar. Extracto de información para 1995 y 1999

	BANCARIO	INTERBANCARIO	
1995/01	6,20	5,58	
1995/02	6,20	6,65	
1995/03	6,80	6,69	
1995/04	6,10	6,20	
1995/05	6,20	5,94	
1995/06	6,28	6,20	
1995/07	6,20	6,12	
1995/08	6,30	6,19	
1995/09	6,40	6,30	
1995/10	7,20	6,71	
1995/11	7,60	7,66	Promedio 1995
1995/12	7,75	7,65	6,49
1999/01	10,30	10,17	
1999/02	10,11	9,94	
1999/03	9,65	9,52	
1999/04	9,45	9,30	
1999/05	9,91	9,74	
1999/06	9,55	9,37	
1999/07	9,55	9,41	
1999/08	9,52	9,37	
1999/09	9,50	9,36	
1999/10	9,75	9,63	Promedio 1999
1999/11	9,53	9,41	9,5681
		Var. % 1995-1999	47.31%

FUENTE: Banco de México. Indicadores Económicos.  
Relación de cambio peso-dólar.  
Promedios calculados con la tasa interbancaria.

Tabla 5.- Diferentes tasas de interés en los Estados Unidos.

AÑO	PRIME RATE	TASA DE INTERÉS A UN AÑO	TASA DE DESCUENTO	INFLACIÓN*
1990	10,01	7,88	6,98	3,70
1991	8,46	5,86	5,45	2,90
1992	6,25	3,89	3,25	3,10
1993	6,00	3,43	3,00	4,20
1994	7,14	5,31	3,60	2,40
1995	8,83	5,95	5,21	1,90
1996	8,27	5,51	5,02	2,30
1997	8,44	5,63	5,00	2,80
1998	8,35	5,05	4,92	3,10
1999	7,99	5,08	4,62	2,70
Promedio	7,98	5,36	4,70	2,91

FUENTE: Bases de datos del departamento del tesoro de los EU disponibles a través de [economagic](http://www.economagic.com), <http://www.economagic.com>. Promedios calculados con datos para cada año. Unidades porcentuales

\*Datos del departamento del tesoro de los EU. <http://www.ustreas.gov>

Tabla 6.- Variación en dólares de los insumos a la salud

MES/AÑO	INDICE	INFLACIÓN DE INSUMOS A LA SALUD	VARIACIÓN TIPO DE CAMBIO	VARIACIÓN EN DÓLARES DE INSUMOS A LA SALUD
01/1991	65,13	26,94	13,45	11,89
01/1992	76,43	17,35	6,14	10,56
01/1993	87,96	15,09	2,16	12,65
01/1994	95,36	8,42	0,75	7,61
01/1995	107,48	12,70	14,30	-1,39
01/1996	170,22	58,38	84,75	-14,27
01/1997	211,28	24,12	15,76	7,22
01/1998	246,18	16,52	5,06	10,91
01/1999	296,97	20,63	16,54	3,51
			Promedio anual	5,41

Calculado a partir de los datos de indicadores económicos del Banco de México en <http://www.banxico.org.mx>

La variación del tipo de cambio desde Enero de 1990 hasta Enero de 1999 fue del 270.94%

La variación de las tarifas de microbuses entre Enero de 1990 y Enero de 1999 fue del 570%. La variación en dólares de las tarifas fue del 210.37%. Esto equivale a un incremento del 13.41% anual.  $(1 + 2.1037)^{-9}$

Tabla 7.- Inflación mexicana en términos de dólares

AÑO/MES	INFLACIÓN	VARIACIÓN DEL TIPO DE CAMBIO	VARIACIÓN EN TÉRMINOS DE DÓLARES
1991/01	29,69	13,45	14,32
1992/01	12,51	6,14	6,00
1993/01	11,29	2,16	8,93
1994/01	5,58	0,75	4,79
1995/01	17,52	14,30	2,82
1996/01	64,03	84,75	-11,21
1997/01	27,67	15,76	10,29
1998/01 p/	12,72	5,06	7,30
1999/01	20,56	16,54	3,45
		Promedio anual	5,19

Calculado utilizando datos del Banco de México en <http://www.banxico.org.mx>

Cálculos de impactos económicos:

Mortalidad.- Se sustituye en la ecuación

$$\Delta \text{ mortalidad} = 0.5 * 1.69 * 20 * \Delta \text{ PM}_{10}$$

el valor de  $\Delta \text{ PM}_{10}$  igual a  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , obteniéndose 456.3, se redondea a 456 casos. Puesto que cada caso representa 75,000 dólares en términos del valor estadístico de una vida,  $456 * 75000$  nos da 34'200,000 dólares.

Morbilidad.- El mismo valor de  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  se sustituye en las ecuaciones:

$$\Delta \text{ AHR (por persona por año)} = 1.2 * 10^{-5} * \Delta \text{ PM}_{10}$$

$$\text{VEC (por persona por año)} = 2.35 * 10^{-4} * \Delta \text{ PM}_{10}$$

$$\text{DAR (por persona, por año)} = 0.0575 * \Delta \text{ PM}_{10}$$

Como las ecuaciones son por persona, los valores obtenidos para cada una se multiplican por 20'000,000, así se representa el total de casos presentados en la ciudad. Así,  $\Delta \text{ AHR}$  nos da  $3.24 * 10^{-4}$ , multiplicado por  $2 * 10^7$  se obtiene 6,480. Procediendo de la misma manera para cada ecuación, se obtienen los 126,900 VEC y 31'050,000 DAR. Como no se dispone de datos para evaluar el costo de las admisiones hospitalarias respiratorias ni las visitas de emergencia a consultorios, se toman como días con actividad restringida, de manera que se suman y se obtiene el valor de 31'183,380 días de actividad restringida. Como estos DAR se

evalúan con base en la pérdida en términos del salario de un día de actividad restringida, se toma en cuenta sólo la población adulta, la cual alcanza un 55% en la ZMCM (Margulis, 1992). Además, se ha estimado (mismo autor) que sólo un 50% de la población atiende la recomendación de descansar cuando tiene un día con actividad restringida, por lo cual el número de DAR que se considera se obtiene de multiplicar 31'183,380 por 0.55 y por 0.5, obteniéndose los 8'575,430 DAR que se consideran en el estudio.

Como ya se vio más atrás, el salario promedio estimado para la ZMCM es de 3.765 dólares por hora. Cada DAR tiene 8 horas (jornada laboral), por lo tanto, al multiplicar 8'575,430 por 3.765 y por 8 se obtiene 258'291,195.16 dólares al año, que se redondean a 258.3 millones y representan el beneficio estimado. Por otra parte, un estudio de 1993 (Avila, 1993), señala que el 50% de las personas con días de actividad restringida son apoyadas, acompañadas o visitadas por al menos una persona cercana, por lo cual se considera agregar el 50% del beneficio estimado como un beneficio sombra o beneficio indirecto, que alcanza el valor de 129'145,597.68 dólares al año, se redondea a 129.15 millones de dólares anuales.

Bronquitis crónica.- El valor  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de se sustituye en la ecuación

$$\Delta \text{BC} = 6.12 \cdot 10^{-5} * \Delta \text{PM}_{10} \text{ (por persona al año)}$$

de donde se obtiene un valor de  $1.6524 \cdot 10^{-3}$  que multiplicado por 20'000,000 nos da 33,048 casos. Dado que cada caso costaba 4454 dólares en 1993, se actualiza a 1999 multiplicando  $4454 \cdot (1+0.0541)^6$  que nos da  $4454 \cdot 1.3718$  que equivale a 6,109.9983 dólares, que se redondean a 6,110. Multiplicando 6,110 por 33,048 se obtiene 201'923,280 dólares anuales, que se redondean a 201.92 millones.

La suma de 34.2 millones asociada a la mortalidad más los 258.3 millones asociados a morbilidad más los 201.92 millones asociados a bronquitis crónica nos dan los 494.42 millones de dólares de beneficios directos al año y por morbilidad se obtienen 129.15 millones de dólares de beneficios indirectos.

## APENDICE 4.- MEMORIAS DE CALCULO

### 1.- Cálculo del Valor Presente de los costos a 20 años

Tabla 1.- Costo de inversión de 27. 50 dólares por metro cuadrado

Año	Inversión actualizada al año correspondiente (Ij)	Costo social actualizado al año correspondiente (Cj)	Costos actualizados al año correspondiente (Ij + Cj)	Valor presente de los costos con base al año cero (VPN)
1	412,00	31,58	443,58	443,58
2	433,38	35,81	469,20	434,44
3	455,88	40,62	496,49	425,66
4	479,54	46,06	525,60	417,24
5	504,42	52,24	556,66	409,17
6	530,60	59,25	589,85	401,44
7	558,14	67,19	625,33	394,07
8	587,11	76,20	663,31	387,04
9	617,58	86,42	704,00	380,35
10	649,63	98,01	747,64	374,01
11	683,35	111,15	794,50	368,01
12	718,81	126,06	844,87	362,35
13	756,12	142,96	899,08	357,04
14	795,36	162,14	957,50	352,07
15	836,64	183,88	1020,52	347,45
16	880,06	208,54	1088,60	343,17
17	925,74	236,50	1162,24	339,25
18	973,78	268,22	1242,00	335,67
19	1024,32	304,18	1328,51	332,46
20	1077,49	344,98	1422,46	329,60
			Valor Presente Total de los costos	7534,06

Inversión en obra base al año cero (1999) = 412

Costos sociales estimados al año cero = 31.58

Tasa de inflación = 5,19% anual

Tasa de inflación costos sociales = 13.41% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Tabla 2.- Costo de inversión de 20 dólares por metro cuadrado

Año	Inversión actualizada al año correspondiente (Ij)	Costo social actualizado al año correspondiente (Cj)	Costos actualizados al año correspondiente (Ij + Cj)	Valor presente de los costos con base al año cero (VPN)
1	300,00	25,08	325,08	325,08
2	315,57	28,44	344,01	318,53
3	331,95	32,26	364,21	312,25
4	349,18	36,58	385,76	306,23
5	367,30	41,49	408,79	300,47
6	386,36	47,05	433,41	294,97
7	406,41	53,36	459,78	289,74
8	427,51	60,52	488,02	284,76
9	449,69	68,63	518,33	280,04
10	473,03	77,84	550,87	275,57
11	497,58	88,28	585,86	271,37
12	523,41	100,11	623,52	267,42
13	550,57	113,54	664,11	263,73
14	579,15	128,76	707,91	260,30
15	609,21	146,03	755,24	257,13
16	640,82	165,61	806,44	254,22
17	674,08	187,82	861,90	251,58
18	709,07	213,01	922,08	249,21
19	745,87	241,57	987,44	247,11
20	784,58	273,97	1058,55	245,28
		Valor Presente Total de los costos		5554,97

Inversión en obra base al año cero (1999) = 300

Costos sociales estimados al año cero = 25.08

Tasa de inflación = 5,19% anual

Tasa de inflación costos sociales = 13.41% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Tabla 3.- Costo de inversión de 35 dólares por metro cuadrado

Año	Inversión actualizada al año correspondiente (Ij)	Costo social actualizado al año correspondiente (Cj)	Costos actualizados al año correspondiente (Ij + Cj)	Valor presente de los costos con base al año cero (VPN)
1	524,30	40,19	564,49	590,71
2	551,51	45,58	597,09	552,86
3	580,13	51,69	631,83	541,69
4	610,24	58,62	668,87	530,97
5	641,92	66,48	708,40	520,70
6	675,23	75,40	750,63	510,87
7	710,28	85,51	795,79	501,48
8	747,14	96,98	844,12	492,53
9	785,91	109,98	895,90	484,03
10	826,70	124,73	951,44	475,96
11	869,61	141,46	1011,07	468,32
12	914,74	160,43	1075,17	461,12
13	962,22	181,94	1144,16	454,36
14	1012,16	206,34	1218,50	448,04
15	1064,69	234,01	1298,70	442,16
16	1119,94	265,39	1385,34	436,72
17	1178,07	300,98	1479,05	431,72
18	1239,21	341,34	1580,55	427,17
19	1303,53	387,12	1690,64	423,08
20	1371,18	439,03	1810,21	419,45
		Valor Presente Total de los costos		9613,93

Cálculo del valor futuro de los costos con un costo de 35 dólares por m<sup>2</sup>

Inversión en obra base al año cero (1999) = 524.3

Costos sociales estimados al año cero = 40,19

Tasa de inflación = 5,19% anual

Tasa de inflación costos sociales = 13.41%

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

2.- Cálculo del Valor Presente de los costos a 15 años

Tabla 4.- Costo de inversión de 27.50 dólares por metro cuadrado

Año	Inversión actualizada al año correspondiente (Ij)	Costo social actualizado al año correspondiente (Cj)	Costos actualizados al año correspondiente (Ij + Cj)	Valor presente de los costos con base al año cero (VPN)
1,00	549,00	42,11	591,11	591,11
2,00	577,49	47,76	625,25	578,94
3,00	607,46	54,16	661,63	567,24
4,00	638,99	61,42	700,42	556,01
5,00	672,16	69,66	741,82	545,26
6,00	707,04	79,00	786,04	534,97
7,00	743,74	89,60	833,33	525,14
8,00	782,34	101,61	883,95	515,78
9,00	822,94	115,24	938,18	506,87
10,00	865,65	130,69	996,34	498,42
11,00	910,58	148,22	1058,79	490,43
12,00	957,84	168,09	1125,93	482,89
13,00	1007,55	190,63	1198,18	475,81
14,00	1059,84	216,20	1276,04	469,20
15,00	1114,85	245,19	1360,04	463,04
		Valor Presente Total de los costos		7801,10

Inversión en obra base al año cero (1999) = 549

Costos sociales estimados al año cero = 42,11

Tasa de inflación = 5,19% anual

Tasa de inflación costos sociales = 13,41% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Tabla 5.- Costo de inversión de 20 dólares por metro cuadrado

Año	Inversión actualizada al año correspondiente (Ij)	Costo social actualizado al año correspondiente (Cj)	Costos actualizados al año correspondiente (Ij + Cj)	Valor presente de los costos con base al año cero (VPN)
1	399,46	30,62	430,08	325,08
2	420,19	34,73	454,92	421,22
3	442,00	39,38	481,38	412,71
4	464,94	44,66	509,60	404,54
5	489,07	50,65	539,72	396,71
6	514,45	57,45	571,90	389,22
7	541,15	65,15	606,30	382,07
8	569,24	73,89	643,13	375,26
9	598,78	83,79	682,58	368,78
10	629,86	95,03	724,89	362,63
11	662,55	107,78	770,32	356,81
12	696,94	122,23	819,16	351,32
13	733,11	138,62	871,72	346,17
14	771,15	157,21	928,36	341,36
15	811,18	178,29	989,47	336,87
			Valor Presente Total de los costos	5570,76

Inversión en obra base al año cero (1999) = 399,46

Costos sociales estimados al año cero = 30,62

Tasa de inflación = 5,19% anual

Tasa de inflación costos sociales = 13,41% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Tabla 6.- Costo de inversión de 35 dólares por metro cuadrado

Año	Inversión actualizada al año correspondiente (Ij)	Costo social actualizado al año correspondiente (Cj)	Costos actualizados al año correspondiente (Ij + Cj)	Valor presente de los costos con base al año cero (VPN)
1	699,06	53,59	752,65	590,71
2	735,34	60,78	796,12	737,15
3	773,51	68,93	842,43	722,25
4	813,65	78,17	891,82	707,96
5	855,88	88,65	944,53	694,26
6	900,30	100,54	1000,84	681,15
7	947,02	114,02	1061,05	668,64
8	996,17	129,31	1125,49	656,71
9	1047,88	146,65	1194,53	645,37
10	1102,26	166,32	1268,58	634,61
11	1159,47	188,62	1348,09	624,43
12	1219,65	213,92	1433,56	614,83
13	1282,94	242,61	1525,55	605,82
14	1349,53	275,14	1624,67	597,39
15	1419,57	312,03	1731,60	589,54
		Valor Presente Total de los costos		9770,81

Inversión en obra base al año cero (1999) = 699,06

Costos sociales estimados al año cero = 53,59

Tasa de inflación = 5,19% anual

Tasa de inflación costos sociales = 13,41% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

### 3.- Cálculo del Valor Presente de los costos a 10 años

Tabla 7.- Costo de inversión de 27.50 dólares por metro cuadrado

Año	Inversión actualizada al año correspondiente (Ij)	Costo social actualizado al año correspondiente (Cj)	Costos actualizados al año correspondiente (Ij + Cj)	Valor presente de los costos con base al año cero (VPN)
1,00	824,00	63,16	887,16	887,16
2,00	866,77	71,63	938,40	868,88
3,00	911,75	81,24	992,99	851,33
4,00	959,07	92,13	1051,20	834,48
5,00	1008,85	104,48	1113,33	818,33
6,00	1061,21	118,49	1179,70	802,88
7,00	1116,28	134,38	1250,67	788,13
8,00	1174,22	152,41	1326,62	774,07
9,00	1235,16	172,84	1408,00	760,70
10,00	1299,26	196,02	1495,29	748,02
Valor Presente Total de los costos				8133,98

Inversión en obra base al año cero (1999) = 824

Costos sociales estimados al año cero = 63.16

Tasa de inflación = 5,19% anual

Tasa de inflación costos sociales = 13.41%

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Tabla 8.- Costo de inversión de 20 dólares por metro cuadrado

Año	Inversión actualizada al año correspondiente (Ij)	Costo social actualizado al año correspondiente (Cj)	Costos actualizados al año correspondiente (Ij + Cj)	Valor presente de los costos con base al año cero (VPN)
1,00	599,00	46,00	645,00	675,00
2,00	630,09	52,17	682,26	631,72
3,00	662,79	59,16	721,95	618,96
4,00	697,19	67,10	764,29	606,72
5,00	733,37	76,10	809,47	594,98
6,00	771,43	86,30	857,74	583,76
7,00	811,47	97,87	909,35	573,04
8,00	853,59	111,00	964,59	562,83
9,00	897,89	125,88	1023,77	553,11
10,00	944,49	142,76	1087,25	543,90
Valor Presente Total de los costos				5944,02

Inversión en obra base al año cero (1999) = 599

Costos sociales estimados al año cero = 46

Tasa de inflación = 5,19% anual

Tasa de inflación costos sociales = 13.41% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Tabla 9.- Costo de inversión de 35 dólares por metro cuadrado

Año	Inversión actualizada al año correspondiente (Ij)	Costo social actualizado al año correspondiente (Cj)	Costos actualizados al año correspondiente (Ij + Cj)	Valor presente de los costos con base al año cero (VPN)
1,00	1048,00	80,34	1128,34	1128,34
2,00	1102,39	91,11	1193,50	1105,10
3,00	1159,61	103,33	1262,94	1082,77
4,00	1219,79	117,19	1336,98	1061,34
5,00	1283,10	132,90	1416,00	1040,80
6,00	1349,69	150,73	1500,41	1021,16
7,00	1419,74	170,94	1590,68	1002,40
8,00	1493,42	193,86	1687,28	984,51
9,00	1570,93	219,86	1790,79	967,51
10,00	1652,46	249,34	1901,80	951,37
			Valor Presente Total de los costos	10345,29

Inversión en obra base al año cero (1999) = 1048

Costos sociales estimados al año cero = 80.34

Tasa de inflación = 5,19% anual

Tasa de inflación costos sociales = 13.41% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

4 - Cálculo del Valor Presente de los beneficios a 20 años

Tabla 10 - Disminución del 10% en los niveles de partículas

Año	Beneficios actualizados al año correspondiente (Bj)	Beneficio social adicional actualizado al año correspondiente (BSj)	Beneficios totales actualizados al año correspondiente (Bj + BSj)	Valor presente de los beneficios totales con base al año cero (VP)	Avance en la obra (%)	Valor presente de los beneficios reales con base al año cero (VP)*(Avance obra/100)
1	329,61	86,10	415,71	325,08	5	16,25
2	353,70	92,39	446,09	413,04	10	41,30
3	379,54	99,14	478,68	410,40	15	61,56
4	407,28	106,39	513,66	407,76	20	81,55
5	437,04	114,16	551,20	405,15	25	101,29
6	468,97	122,50	591,48	402,55	30	120,76
7	503,24	131,46	634,70	399,97	35	139,99
8	540,02	141,06	681,08	397,40	40	158,96
9	579,48	151,37	730,85	394,85	45	177,68
10	621,82	162,43	784,25	392,32	50	196,16
11	667,26	174,30	841,56	389,81	55	214,39
12	716,02	187,04	903,06	387,31	60	232,38
13	768,34	200,71	969,05	384,82	65	250,13
14	824,49	215,37	1039,86	382,35	70	267,65
15	884,74	231,11	1115,85	379,90	75	284,93
16	949,39	248,00	1197,39	377,47	80	301,97
17	1018,76	266,12	1284,88	375,05	85	318,79
18	1093,21	285,57	1378,78	372,64	90	335,38
19	1173,09	306,43	1479,53	370,25	95	351,74
20	1258,82	328,83	1587,64	367,88	100	367,88
				Valor Presente Total de los costos		4020,76

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 329,61

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero = 86,1

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

4.- Cálculo del Valor Presente de los beneficios a 20 años

Tabla 10.- Disminución del 10% en los niveles de particulas

Año	Beneficios actualizados al año correspondiente (Bj)	Beneficio social adicional actualizado al año correspondiente (BSj)	Beneficios totales actualizados al año correspondiente (Bj + BSj)	Valor presente de los beneficios totales con base al año cero (VP)	Avance en la obra (%)	Valor presente de los beneficios reales con base al año cero (VP)*(Avance obra/100)
1	329,61	86,10	415,71	325,08	5	16,25
2	353,70	92,39	446,09	413,04	10	41,30
3	379,54	99,14	478,68	410,40	15	61,56
4	407,28	106,39	513,66	407,76	20	81,55
5	437,04	114,16	551,20	405,15	25	101,29
6	468,97	122,50	591,48	402,55	30	120,76
7	503,24	131,46	634,70	399,97	35	139,99
8	540,02	141,06	681,08	397,40	40	158,96
9	579,48	151,37	730,85	394,85	45	177,68
10	621,82	162,43	784,25	392,32	50	196,16
11	667,26	174,30	841,56	389,81	55	214,39
12	716,02	187,04	903,06	387,31	60	232,38
13	768,34	200,71	969,05	384,82	65	250,13
14	824,49	215,37	1039,86	382,35	70	267,65
15	884,74	231,11	1115,85	379,90	75	284,93
16	949,39	248,00	1197,39	377,47	80	301,97
17	1018,76	266,12	1284,88	375,05	85	318,79
18	1093,21	285,57	1378,78	372,64	90	335,38
19	1173,09	306,43	1479,53	370,25	95	351,74
20	1258,82	328,83	1587,64	367,88	100	367,88
			Valor Presente Total de los costos			4020,76

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 329,61

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero =86,1

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Tabla 11 - Disminución del 15% en los niveles de partículas

Año	Beneficios actualizados al año correspondiente (Bi)	Beneficio social adicional actualizado al año correspondiente (BSi)	Beneficios totales actualizados al año correspondiente (Bi + BSi)	Valor presente de los beneficios totales con base al año cero (VP)	Avance en la obra (%)	Valor presente de los beneficios reales con base al año cero (VP)*(Avance obra/100)
1	494,42	129,15	623,57	623,57	5	31,18
2	530,55	138,59	669,14	619,57	10	61,96
3	569,32	148,71	718,03	615,60	15	92,34
4	610,92	159,58	770,50	611,65	20	122,33
5	655,56	171,24	826,81	607,73	25	151,93
6	703,47	183,76	887,22	603,83	30	181,15
7	754,87	197,18	952,06	599,96	35	209,98
8	810,03	211,59	1021,63	596,11	40	238,44
9	869,23	227,06	1096,28	592,29	45	266,53
10	932,74	243,65	1176,39	588,49	50	294,24
11	1000,90	261,45	1262,35	584,71	55	321,59
12	1074,04	280,56	1354,60	580,96	60	348,58
13	1152,53	301,06	1453,58	577,24	65	375,20
14	1236,75	323,06	1559,80	573,54	70	401,48
15	1327,12	346,66	1673,78	569,86	75	427,39
16	1424,10	372,00	1796,09	566,20	80	452,96
17	1528,16	399,18	1927,34	562,57	85	478,19
18	1639,83	428,35	2068,18	558,96	90	503,07
19	1759,66	459,65	2219,31	555,38	95	527,61
20	1888,24	493,24	2381,48	551,82	100	551,82
				Valor Presente Total de los beneficios		6037,98

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 494,42

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero = 129,15

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Tabla 11.- Disminución del 15% en los niveles de particulares

Año	Beneficios actualizados al año correspondiente (Bj)	Beneficio social adicional actualizado al año correspondiente (BSj)	Beneficios totales actualizados al año correspondiente (Bj + BSj)	Valor presente de los beneficios totales con base al año cero (VP)	Avance en la obra (%)	Valor presente de los beneficios reales con base al año cero (VP)*(Avance obra/100)
1	494,42	129,15	623,57	623,57	5	31,18
2	530,55	138,59	669,14	619,57	10	61,96
3	569,32	148,71	718,03	615,60	15	92,34
4	610,92	159,58	770,50	611,65	20	122,33
5	655,56	171,24	826,81	607,73	25	151,93
6	703,47	183,76	887,22	603,83	30	181,15
7	754,87	197,18	952,06	599,96	35	209,98
8	810,03	211,59	1021,63	596,11	40	238,44
9	869,23	227,06	1096,28	592,29	45	266,53
10	932,74	243,65	1176,39	588,49	50	294,24
11	1000,90	261,45	1262,35	584,71	55	321,59
12	1074,04	280,56	1354,60	580,96	60	348,58
13	1152,53	301,06	1453,58	577,24	65	375,20
14	1236,75	323,06	1559,80	573,54	70	401,48
15	1327,12	346,66	1673,78	569,86	75	427,39
16	1424,10	372,00	1796,09	566,20	80	452,96
17	1528,16	399,18	1927,34	562,57	85	478,19
18	1639,83	428,35	2068,18	558,96	90	503,07
19	1759,66	459,65	2219,31	555,38	95	527,61
20	1888,24	493,24	2381,48	551,82	100	551,82
				Valor Presente Total de los beneficios		6037,98

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 494,42  
 Beneficios sociales adicionales estimados al año cero = 129,15  
 Tasa de inflación = 5,41% anual  
 Crecimiento demográfico = 1,8% anual  
 Tasa de descuento = 8% anual  
 Unidades en millones de dólares

Tabla 12 - Disminución del 20% en los niveles de particulas

Año	Beneficios actualizados al año correspondiente (Bj)	Beneficio social adicional actualizado al año correspondiente (BSj)	Beneficios totales actualizados al año correspondiente (Bj + BSj)	Valor presente de los beneficios totales con base al año cero (VP)	Avance en la obra (%)	Valor presente de los beneficios reales con base al año cero (VP)*(Avance obra/100)
1	659,23	172,20	831,43	590,71	5	29,54
2	707,40	184,78	892,19	826,10	10	82,61
3	759,10	198,29	957,38	820,80	15	123,12
4	814,56	212,78	1027,34	815,54	20	163,11
5	874,09	228,32	1102,41	810,31	25	202,58
6	937,96	245,01	1182,97	805,11	30	241,53
7	1006,50	262,91	1269,41	799,95	35	279,98
8	1080,05	282,12	1362,17	794,82	40	317,93
9	1158,97	302,74	1461,71	789,72	45	355,37
10	1243,66	324,86	1568,53	784,65	50	392,33
11	1334,54	348,60	1683,15	779,62	55	428,79
12	1432,06	374,07	1806,14	774,62	60	464,77
13	1536,71	401,41	1938,12	769,65	65	500,28
14	1649,00	430,74	2079,75	764,72	70	535,30
15	1769,50	462,22	2231,72	759,81	75	569,86
16	1898,81	495,99	2394,80	754,94	80	603,95
17	2037,56	532,24	2569,80	750,10	85	637,58
18	2186,45	571,13	2757,58	745,29	90	670,76
19	2346,22	612,87	2959,09	740,51	95	703,48
20	2517,67	657,65	3175,32	735,76	100	735,76
				Valor Presente Total de los beneficios		8038,64

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 659,23

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero = 172,2

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Tabla 12.- Disminución del 20% en los niveles de particulares

Año	Beneficios actualizados al año correspondiente (Bj)	Beneficio social adicional actualizado al año correspondiente (BSj)	Beneficios totales actualizados al año correspondiente (Bj + BSj)	Valor presente de los beneficios totales con base al año cero (VP)	Avance en la obra (%)	Valor presente de los beneficios reales con base al año cero (VP)*(Avance obra/100)
1	659,23	172,20	831,43	590,71	5	29,54
2	707,40	184,78	892,19	826,10	10	82,61
3	759,10	198,29	957,38	820,80	15	123,12
4	814,56	212,78	1027,34	815,54	20	163,11
5	874,09	228,32	1102,41	810,31	25	202,58
6	937,96	245,01	1182,97	805,11	30	241,53
7	1006,50	262,91	1269,41	799,95	35	279,98
8	1080,05	282,12	1362,17	794,82	40	317,93
9	1158,97	302,74	1461,71	789,72	45	355,37
10	1243,66	324,86	1568,53	784,65	50	392,33
11	1334,54	348,60	1683,15	779,62	55	428,79
12	1432,06	374,07	1806,14	774,62	60	464,77
13	1536,71	401,41	1938,12	769,65	65	500,28
14	1649,00	430,74	2079,75	764,72	70	535,30
15	1769,50	462,22	2231,72	759,81	75	569,86
16	1898,81	495,99	2394,80	754,94	80	603,95
17	2037,56	532,24	2569,80	750,10	85	637,58
18	2186,45	571,13	2757,58	745,29	90	670,76
19	2346,22	612,87	2959,09	740,51	95	703,48
20	2517,67	657,65	3175,32	735,76	100	735,76
			Valor Presente Total de los beneficios			8038,64

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 659,23  
 Beneficios sociales adicionales estimados al año cero = 172,2  
 Tasa de inflación = 5,41% anual  
 Crecimiento demográfico = 1,8% anual  
 Tasa de descuento = 8% anual  
 Unidades en millones de dólares

5 - Cálculo del Valor Presente de los beneficios a 15 años

Tabla 13.- Disminución del 10% en los niveles de particulares

Año	Beneficios actualizados al año correspondiente (Bj)	Beneficio social adicional actualizado al año correspondiente (BSj)	Beneficios totales actualizados al año correspondiente (Bj + BSj)	Valor presente de los beneficios totales con base al año cero (VP)	Avance en la obra (%)	Valor presente de los beneficios reales con base al año cero (VP)*(Avance obra/100)
1	329,61	86,10	415,71	325,08	6,67	21,67
2	353,70	92,39	446,09	413,04	13,33	55,07
3	379,54	99,14	478,68	410,40	20,00	82,08
4	407,28	106,39	513,66	407,76	26,67	108,74
5	437,04	114,16	551,20	405,15	33,33	135,05
6	468,97	122,50	591,48	402,55	40,00	161,02
7	503,24	131,46	634,70	399,97	46,67	186,65
8	540,02	141,06	681,08	397,40	53,33	211,95
9	579,48	151,37	730,85	394,85	60,00	236,91
10	621,82	162,43	784,25	392,32	66,67	261,55
11	667,26	174,30	841,56	389,81	73,33	285,86
12	716,02	187,04	903,06	387,31	80,00	309,85
13	768,34	200,71	969,05	384,82	86,67	333,51
14	824,49	215,37	1039,86	382,35	93,33	356,86
15	884,74	231,11	1115,85	379,90	100,00	379,90
				Valor Presente Total de los costos		3126,67

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 329,61

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero = 86,1

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

5.- Cálculo del Valor Presente de los beneficios a 15 años

Tabla 13.- Disminución del 10% en los niveles de particulas

Año	Beneficios actualizados al año correspondiente (Bj)	Beneficio social adicional actualizado al año correspondiente (BSj)	Beneficios totales actualizados al año correspondiente (Bj + BSj)	Valor presente de los beneficios totales con base al año cero (VP)	Avance en la obra (%)	Valor presente de los beneficios reales con base al año cero (VP)*(Avance obra/100)
1	329,61	86,10	415,71	325,08	6,67	21,67
2	353,70	92,39	446,09	413,04	13,33	55,07
3	379,54	99,14	478,68	410,40	20,00	82,08
4	407,28	106,39	513,66	407,76	26,67	108,74
5	437,04	114,16	551,20	405,15	33,33	135,05
6	468,97	122,50	591,48	402,55	40,00	161,02
7	503,24	131,46	634,70	399,97	46,67	186,65
8	540,02	141,06	681,08	397,40	53,33	211,95
9	579,48	151,37	730,85	394,85	60,00	236,91
10	621,82	162,43	784,25	392,32	66,67	261,55
11	667,26	174,30	841,56	389,81	73,33	285,86
12	716,02	187,04	903,06	387,31	80,00	309,85
13	768,34	200,71	969,05	384,82	86,67	333,51
14	824,49	215,37	1039,86	382,35	93,33	356,86
15	884,74	231,11	1115,85	379,90	100,00	379,90
				Valor Presente Total de los costos		3126,67

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 329,61

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero =86,1

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1.8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Tabla 14. - Disminución del 15% en los niveles de particulas

Año	Beneficios actualizados al año correspondiente (Bj)	Beneficio social adicional actualizado al año correspondiente (BSj)	Beneficios totales actualizados al año correspondiente (Bj + BSj)	Valor presente de los beneficios totales con base al año cero (VP)	Avance en la obra (%)	Valor presente de los beneficios reales con base al año cero (VP)*(Avance obra/100)
1	494,42	129,15	623,57	623,57	6,67	41,57
2	530,55	138,59	669,14	619,57	13,33	82,61
3	569,32	148,71	718,03	615,60	20,00	123,12
4	610,92	159,58	770,50	611,65	26,67	163,11
5	655,56	171,24	826,81	607,73	33,33	202,58
6	703,47	183,76	887,22	603,83	40,00	241,53
7	754,87	197,18	952,06	599,96	46,67	279,98
8	810,03	211,59	1021,63	596,11	53,33	317,93
9	869,23	227,06	1096,28	592,29	60,00	355,37
10	932,74	243,65	1176,39	588,49	66,67	392,33
11	1000,90	261,45	1262,35	584,71	73,33	428,79
12	1074,04	280,56	1354,60	580,96	80,00	464,77
13	1152,53	301,06	1453,58	577,24	86,67	500,27
14	1236,75	323,06	1559,80	573,54	93,33	535,30
15	1327,12	346,66	1673,78	569,86	100,00	569,86
				Valor Presente	Total de los beneficios	4699,11

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 494,42

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero = 129,15

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Tabla 14.- Disminución del 15% en los niveles de particulas

Año	Beneficios actualizados al año correspondiente (Bj)	Beneficio social adicional actualizado al año correspondiente (BSj)	Beneficios totales actualizados al año correspondiente (Bj + BSj)	Valor presente de los beneficios totales con base al año cero (VP)	Avance en la obra (%)	Valor presente de los beneficios reales con base al año cero (VP)*(Avance obra/100)
1	494,42	129,15	623,57	623,57	6,67	41,57
2	530,55	138,59	669,14	619,57	13,33	82,61
3	569,32	148,71	718,03	615,60	20,00	123,12
4	610,92	159,58	770,50	611,65	26,67	163,11
5	655,56	171,24	826,81	607,73	33,33	202,58
6	703,47	183,76	887,22	603,83	40,00	241,53
7	754,87	197,18	952,06	599,96	46,67	279,98
8	810,03	211,59	1021,63	596,11	53,33	317,93
9	869,23	227,06	1096,28	592,29	60,00	355,37
10	932,74	243,65	1176,39	588,49	66,67	392,33
11	1000,90	261,45	1262,35	584,71	73,33	428,79
12	1074,04	280,56	1354,60	580,96	80,00	464,77
13	1152,53	301,06	1453,58	577,24	86,67	500,27
14	1236,75	323,06	1559,80	573,54	93,33	535,30
15	1327,12	346,66	1673,78	569,86	100,00	569,86
				Valor Presente Total de los beneficios		4699,11

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 494,42

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero = 129,15

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Tabla 15.- Disminución del 20% en los niveles de partículas

Año	Beneficios actualizados al año correspondiente (Bj)	Beneficio social adicional actualizado al año correspondiente (BSj)	Beneficios totales actualizados al año correspondiente (Bj + BSj)	Valor presente de los beneficios totales con base al año cero (VP)	Avance en la obra (%)	Valor presente de los beneficios reales con base al año cero (VP) <sup>1</sup> (Avance obra/100)
1	659,23	172,20	831,43	590,71	6,67	39,38
2	707,40	184,78	892,19	826,10	13,33	110,15
3	759,10	198,29	957,38	820,80	20,00	164,16
4	814,56	212,78	1027,34	815,54	26,67	217,48
5	874,09	228,32	1102,41	810,31	33,33	270,10
6	937,96	245,01	1182,97	805,11	40,00	322,04
7	1006,50	262,91	1269,41	799,95	46,67	373,31
8	1080,06	282,12	1362,17	794,82	53,33	423,90
9	1158,97	302,74	1461,71	789,72	60,00	473,83
10	1243,66	324,86	1568,53	784,65	66,67	523,10
11	1334,54	348,60	1683,15	779,62	73,33	571,72
12	1432,06	374,07	1806,14	774,62	80,00	619,70
13	1536,71	401,41	1938,12	769,65	86,67	667,03
14	1649,00	430,74	2079,75	764,72	93,33	713,74
15	1769,50	462,22	2231,72	759,81	100,00	759,81
				<b>Valor Presente Total de los beneficios</b>		<b>6249,46</b>

Cálculo del valor futuro de los beneficios con una retención de Partículas suspendidas del 20%

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 659,23

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero = 172,2

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Tabla 15.- Disminución del 20% en los niveles de particulas

Año	Beneficios actualizados al año correspondiente (Bj)	Beneficio social adicional actualizado al año correspondiente (BSj)	Beneficios totales actualizados al año correspondiente (Bj + BSj)	Valor presente de los beneficios totales con base al año cero (VP)	Avance en la obra (%)	Valor presente de los beneficios reales con base al año cero (VP)*(Avance obra/100)
1	659,23	172,20	831,43	590,71	6,67	39,38
2	707,40	184,78	892,19	826,10	13,33	110,15
3	759,10	198,29	957,38	820,80	20,00	164,16
4	814,56	212,78	1027,34	815,54	26,67	217,48
5	874,09	228,32	1102,41	810,31	33,33	270,10
6	937,96	245,01	1182,97	805,11	40,00	322,04
7	1006,50	262,91	1269,41	799,95	46,67	373,31
8	1080,05	282,12	1362,17	794,82	53,33	423,90
9	1158,97	302,74	1461,71	789,72	60,00	473,83
10	1243,66	324,86	1568,53	784,65	66,67	523,10
11	1334,54	348,60	1683,15	779,62	73,33	571,72
12	1432,06	374,07	1806,14	774,62	80,00	619,70
13	1536,71	401,41	1938,12	769,65	86,67	667,03
14	1649,00	430,74	2079,75	764,72	93,33	713,74
15	1769,50	462,22	2231,72	759,81	100,00	759,81
				Valor Presente Total de los beneficios		6249,46

Cálculo del valor futuro de los beneficios con una retención de Partículas suspendidas del 20%

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 659,23

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero = 172,2

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

6.- Cálculo del Valor Presente de los beneficios a 10 años

Tabla 16.- Disminución del 10% en los niveles de particulares

Año	Beneficios actualizados al año correspondiente (Bj)	Beneficio social adicional actualizado al año correspondiente (BSj)	Beneficios totales actualizados al año correspondiente (Bj + BSj)	Valor presente de los beneficios totales con base al año cero (VP)	Avance en la obra (%)	Valor presente de los beneficios reales con base al año cero (VP)*(Avance obra/100)
1	329,61	86,10	415,71	415,71	10	41,57
2	353,70	92,39	446,09	413,04	20	82,61
3	379,54	99,14	478,68	410,40	30	123,12
4	407,28	106,39	513,66	407,76	40	163,11
5	437,04	114,16	551,20	405,15	50	202,57
6	468,97	122,50	591,48	402,55	60	241,53
7	503,24	131,46	634,70	399,97	70	279,98
8	540,02	141,06	681,08	397,40	80	317,92
9	579,48	151,37	730,85	394,85	90	355,37
10	621,82	162,43	784,25	392,32	100	392,32
				Valor Presente Total de los beneficios		2200,10

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 329,61  
Beneficios sociales adicionales estimados al año cero =86,1

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

6.- Cálculo del Valor Presente de los beneficios a 10 años

Tabla 16.- Disminución del 10% en los niveles de particulares

Año	Beneficios actualizados al año correspondiente (Bj)	Beneficio social adicional actualizado al año correspondiente (BSj)	Beneficios totales actualizados al año correspondiente (Bj + BSj)	Valor presente de los beneficios totales con base al año cero (VP)	Avance en la obra (%)	Valor presente de los beneficios reales con base al año cero (VP)*(Avance obra/100)
1	329,61	86,10	415,71	415,71	10	41,57
2	353,70	92,39	446,09	413,04	20	82,61
3	379,54	99,14	478,68	410,40	30	123,12
4	407,28	106,39	513,66	407,76	40	163,11
5	437,04	114,16	551,20	405,15	50	202,57
6	468,97	122,50	591,48	402,55	60	241,53
7	503,24	131,46	634,70	399,97	70	279,98
8	540,02	141,06	681,08	397,40	80	317,92
9	579,48	151,37	730,85	394,85	90	355,37
10	621,82	162,43	784,25	392,32	100	392,32
				Valor Presente Total de los beneficios		2200,10

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 329,61

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero =86,1

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Tabla 17. - Disminución del 15% en los niveles de particulas

Año	Beneficios actualizados al año correspondiente (Bj)	Beneficio social adicional actualizado al año correspondiente (BSj)	Beneficios totales actualizados al año correspondiente (Bj + BSj)	Valor presente de los beneficios totales con base al año cero (VP)	Avance en la obra (%)	Valor presente de los beneficios reales con base al año cero (VP) <sup>x</sup> (Avance obra/100)
1	494,42	129,15	623,57	623,57	10	62,36
2	530,55	138,59	669,14	619,57	20	123,91
3	569,32	148,71	718,03	615,60	30	184,68
4	610,92	159,58	770,50	611,65	40	244,66
5	655,56	171,24	826,81	607,73	50	303,86
6	703,47	183,76	887,22	603,83	60	362,30
7	754,87	197,18	952,06	599,96	70	419,97
8	810,03	211,59	1021,63	596,11	80	476,89
9	869,23	227,06	1096,28	592,29	90	533,06
10	932,74	243,65	1176,39	588,49	100	588,49
				Valor Presente	Total de los costos	3300,18

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 494,42

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero = 129,15

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Tabla 17.- Disminución del 15% en los niveles de particulares

Año	Beneficios actualizados al año correspondiente (Bj)	Beneficio social adicional actualizado al año correspondiente (BSj)	Beneficios totales actualizados al año correspondiente (Bj + BSj)	Valor presente de los beneficios totales con base al año cero (VP)	Avance en la obra (%)	Valor presente de los beneficios reales con base al año cero (VP)*(Avance obra/100)
1	494,42	129,15	623,57	623,57	10	62,36
2	530,55	138,59	669,14	619,57	20	123,91
3	569,32	148,71	718,03	615,60	30	184,68
4	610,92	159,58	770,50	611,65	40	244,66
5	655,56	171,24	826,81	607,73	50	303,86
6	703,47	183,76	887,22	603,83	60	362,30
7	754,87	197,18	952,06	599,96	70	419,97
8	810,03	211,59	1021,63	596,11	80	476,89
9	869,23	227,06	1096,28	592,29	90	533,06
10	932,74	243,65	1176,39	588,49	100	588,49
				Valor Presente	Total de los costos	3300,18

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 494,42

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero = 129,15

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Tabla 18. Disminución del 20% en los niveles de partículas

Año	Beneficios actualizados al año correspondiente (Bj)	Beneficio social adicional actualizado al año correspondiente (BSj)	Beneficios totales actualizados al año correspondiente (Bj + BSj)	Valor presente de los beneficios totales con base al año cero (VP)	Avance en la obra (%)	Valor presente de los beneficios reales con base al año cero (VP)*(Avance obra/100)
1	659,23	172,20	831,43	831,43	10	83,14
2	707,40	184,78	892,19	826,10	20	165,22
3	759,10	198,29	957,38	820,80	30	246,24
4	814,56	212,78	1027,34	815,54	40	326,21
5	874,09	228,32	1102,41	810,31	50	405,15
6	937,96	245,01	1182,97	805,11	60	483,07
7	1006,50	262,91	1269,41	799,95	70	559,96
8	1080,05	282,12	1362,17	794,82	80	635,85
9	1158,97	302,74	1461,71	789,72	90	710,75
10	1243,66	324,86	1568,53	784,65	100	784,65
				Valor Presente Total de los costos		4400,25

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 659,23

Beneficios sociales adicionales eslimados al año cero =172,2

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

Tabla 18.- Disminución del 20% en los niveles de particulares

Año	Beneficios actualizados al año correspondiente (Bj)	Beneficio social adicional actualizado al año correspondiente (BSj)	Beneficios totales actualizados al año correspondiente (Bj + BSj)	Valor presente de los beneficios totales con base al año cero (VP)	Avance en la obra (%)	Valor presente de los beneficios reales con base al año cero (VP)*(Avance obra/100)
1	659,23	172,20	831,43	831,43	10	83,14
2	707,40	184,78	892,19	826,10	20	165,22
3	759,10	198,29	957,38	820,80	30	246,24
4	814,56	212,78	1027,34	815,54	40	326,21
5	874,09	228,32	1102,41	810,31	50	405,15
6	937,96	245,01	1182,97	805,11	60	483,07
7	1006,50	262,91	1269,41	799,95	70	559,96
8	1080,05	282,12	1362,17	794,82	80	635,85
9	1158,97	302,74	1461,71	789,72	90	710,75
10	1243,66	324,86	1568,53	784,65	100	784,65
				Valor Presente	Total de los costos	4400,25

Beneficios esperados con base al año cero (1999) = 659,23

Beneficios sociales adicionales estimados al año cero = 172,2

Tasa de inflación = 5,41% anual

Crecimiento demográfico = 1,8% anual

Tasa de descuento = 8% anual

Unidades en millones de dólares

7.- Cálculo del Valor Presente de los beneficios a 30 años

Tabla 19.- Disminución del 15% en los niveles de partículas

Año	Beneficio actualizado al año correspondiente (Ij)	Beneficio social actualizado al año correspondiente (Cj)	Beneficios actualizados al año correspondiente (Ij + Cj)	Valor presente de los beneficios con base al año cero (VPN)	Avance en la obra (%)	Valor presente de los beneficios reales con base al año cero (VP)*(Avance obra/100)	
		,0541		0,08			
1	494,42	129	623,57	623,57	3,33	20,79	
2	530,55	139	669,14	619,57	6,67	41,30	
3	569,32	149	718,03	615,60	10,00	61,56	
4	610,92	160	770,50	611,65	13,33	81,55	
5	655,56	171	826,81	607,73	16,67	101,29	
6	703,47	184	887,22	603,83	20,00	120,77	
7	754,87	197	952,06	599,96	23,33	139,99	
8	810,03	212	1021,63	596,11	26,67	158,96	
9	869,23	227	1096,28	592,29	30,00	177,69	
10	932,74	244	1176,39	588,49	33,33	196,16	
17	1528,16	399	1927,34	562,57	56,67	318,79	
18	1639,83	428	2068,18	558,96	60,00	335,38	
19	1759,66	460	2219,31	555,38	63,33	351,74	
20	1888,24	493	2381,48	551,82	66,67	367,88	
21	2026,23	529	2555,51	548,28	70,00	383,80	
22	2174,29	568	2742,25	544,76	73,33	399,49	
23	2333,17	609	2942,63	541,27	76,67	414,97	
24	2503,67	654	3157,66	537,80	80,00	430,24	
25	2686,62	702	3388,41	534,35	83,33	445,29	
26	2882,94	753	3636,01	530,92	86,67	460,13	
27	3093,61	808	3901,71	527,52	90,00	474,77	
28	3319,67	867	4186,82	524,13	93,33	489,19	
29	3562,25	931	4492,77	520,77	96,67	503,41	
30	3822,56	999	4821,07	517,43	100,00	517,43	
			Valor Presente Total de los beneficios				8544,05

NOTA: Este cálculo pertenece al estimado más probable. En esta tabla se sustituyen en las celdas C5 y B5 (marcadas en gris) los valores para los beneficios según varíe la retención de partículas. Unidades en millones de dólares. Tasas de inflación y valores base similares a la tabla 17.

8.- Cálculo del Valor Presente de los costos a 30 años

Tabla 20.- Costo de inversión de 27.50 dólares por metro cuadrado

Año	Inversión actualizada al año correspondiente (Ij)	Costo social actualizado al año correspondiente (Cj)	Costos actualizados al año correspondiente (Ij + Cj)	Valor presente de los costos con base al año cero (VPN)
	,0519	,1341		
1	274,66	21,06	295,72	295,72
2	288,91	23,88	312,80	289,63
3	303,91	27,09	331,00	283,78
4	319,68	30,72	350,40	278,16
5	336,27	34,84	371,11	272,78
6	353,73	39,51	393,24	267,63
7	372,08	44,81	416,89	262,71
8	391,40	50,82	442,21	258,03
9	411,71	57,63	469,34	253,57
10	433,08	65,36	498,44	249,34
17	617,14	157,72	774,86	226,17
18	649,17	178,87	828,04	223,79
19	682,87	202,85	885,72	221,65
20	718,31	230,06	948,36	219,75
21	755,59	260,91	1016,49	218,09
22	794,80	295,89	1090,70	216,67
23	836,05	335,57	1171,63	215,51
24	879,44	380,57	1260,02	214,60
25	925,09	431,61	1356,70	213,95
26	973,10	489,49	1462,59	213,56
27	1023,60	555,13	1578,73	213,45
28	1076,73	629,57	1706,30	213,61
29	1132,61	714,00	1846,61	214,05
30	1191,39	809,74	2001,14	214,78
			Valor Presente Total de los costos	7171,08

NOTA: Este cálculo pertenece al estimado más probable. En esta tabla se sustituyen en las celdas O5 y P5 (marcadas en gris) los valores para los beneficios según varíe la retención de partículas. Unidades en millones de dólares. Tasas de inflación similares a la tabla 1. Costo de inversión = 274.66 millones de dólares. Costo social = 21.06 millones de dólares.

Tabla 21.- Flujos de efectivo anuales para 30 años

AÑO	COSTOS	BENEFICIOS	FLUJO NETO A VALOR PRESENTE	FLUJO NETO ACUMULADO A VALOR PRESENTE	FLUJO DE EFECTIVO
1	295,72	20,78	-274,93	-274,93	-274,93
2	289,62	41,30	-248,32	-523,26	-268,19
3	283,77	61,55	-222,22	-745,47	-259,19
4	278,16	81,55	-196,61	-942,08	-247,67
5	272,77	101,28	-171,49	-1113,57	-233,31
6	267,63	120,76	-146,86	-1260,44	-215,79
7	262,71	139,99	-122,72	-1383,16	-194,75
8	258,02	158,96	-99,07	-1482,23	-169,78
9	253,57	177,68	-75,89	-1558,11	-140,46
10	249,34	196,16	-53,18	-1611,29	-106,30
17	226,17	318,79	92,62	-1387,31	317,29
18	223,79	335,37	111,58	-1275,72	412,86
19	221,65	351,74	130,09	-1145,63	519,84
20	219,74	367,87	148,13	-997,50	639,29
21	218,08	383,79	165,71	-831,79	772,36
22	216,67	399,49	182,82	-648,97	920,28
23	215,50	414,97	199,46	-449,51	1084,39
24	214,60	430,23	215,64	-233,87	1266,11
25	213,95	445,29	231,34	-2,53	1466,97
26	213,56	460,13	246,57	244,04	1688,62
27	213,44	474,76	261,32	505,36	1932,80
28	213,601	489,19	275,59	780,94	2201,39
29	214,04	503,41	289,37	1070,31	2496,40
30	214,77	517,43	302,66	1372,97	2819,93

La columna de valores flujo de efectivo resultante de las consideraciones hechas en las dos tablas anteriores se exporta al tipo de escenario que corresponda en la siguiente tabla. El valor de 1372,97 que se obtiene como flujo de efectivo acumulado se convierte en cero al sustituir la TIR que es 0,113765 en la celda E4 de la pag. xxviii en lugar de 0,08

Tabla 22.- Para calcular el escenario optimista y pesimista, se sustituyen los valores apropiados en las celdas correspondientes

Año	Pesimista	Más probable	Optimista
1	-362,25	-274,93	-187,33
2	-368,09	-268,19	-167,98
3	-373,11	-259,19	-144,95
4	-377,17	-247,67	-117,82
5	-380,13	-233,31	-86,13
6	-381,84	-215,79	-49,36
7	-382,12	-194,75	-6,95
8	-380,80	-169,78	41,68
9	-377,67	-140,46	97,23
10	-372,51	-106,31	160,40
11	-365,09	-66,82	231,99
12	-355,15	-21,42	312,87
13	-342,42	30,48	403,99
14	-326,60	89,55	506,37
15	-307,39	156,52	621,13
16	-284,43	232,15	749,49
17	-257,38	317,30	892,78
18	-225,84	412,87	1052,45
19	-189,43	519,84	1230,05
20	-147,70	639,29	1427,29
21	-100,21	772,36	1646,02
22	-46,50	920,28	1888,24
23	13,94	1084,39	2156,12
24	81,60	1266,11	2452,00
25	157,01	1466,98	2778,43
26	240,70	1688,62	3138,16
27	333,22	1932,81	3534,15
28	435,10	2201,40	3969,62
29	546,87	2496,40	4448,02
30	669,06	2819,93	4973,09

Unidades en millones de dólares.

## APÉNDICE 5. - DEPOSITACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS.

La depositación de contaminantes en superficies representa uno de los principales procesos de eliminación de estos en la atmósfera. En los modelos utilizados para estudiar la difusión, dispersión y transporte de las especies contaminantes en la atmósfera se representa este proceso como una serie de resistencias. El enfoque basado en resistencias ha sido usado con apoyo de datos detallados sobre uso de suelo para especificar las características de la superficie. En el método descrito por Rusell et al. (1990), se menciona que los procesos de deposición frecuentemente se representan en forma análoga a una resistencia eléctrica. La resistencia ( $r_t$ ) total de la depositación de un contaminante, se toma como la inversa de la velocidad ( $v_g$ ) de depositación.

$$R_t = 1/v_g$$

A su vez:

$$R_t = r_a + r_b + r_s^i$$

Donde  $r_a$  que es la resistencia a la depositación debida al transporte turbulento y  $r_b$  es la difusión molecular a través de la subcapa laminar a nivel de suelo. El término de resistencia superficial por contaminante,  $r_s^i$  es específico para cada contaminante y el tipo de uso de suelo en cada celda y representa las interacciones químicas específicas entre la superficie y el contaminante.

De aquí que:

$$v_g = \frac{1}{r_a + r_b + r_s^i}$$

Los valores de resistencia superficial se derivan de las recomendaciones de Sheiny en 1986. (Harley, 1982)

Debido a que en la depositación de partículas suspendidas causada por las plantas no se producen reacciones químicas, el término  $r_s^i$  desaparece de la ecuación y la resistencia total queda expresada en términos de  $r_a$  y  $r_b$ .

$$v = \frac{1}{r_a + r_b}$$

Por otra parte, el problema se aborda también (Harley, op cit) estudiando las afinidades específicas de cada contaminante por diversos tipos de suelo o vegetación; utilizando para ello complejas ecuaciones de la mecánica de fluidos que requieren para su solución de múltiples valores experimentales.

Con la finalidad de simplificar este problema, se han generado valores para diferentes tipos de terreno que consideran la retención de partículas en diferentes tipos de superficies (Rusell, 1990). Se han asociado valores de rugosidad para diferentes tipos de uso de suelo, los cuales son interpolados en gráficas derivadas de investigaciones sobre erosión y retención de partículas (Woodruff, 1964)

Tabla 1. - Algunos tipos de uso de suelo y su factor de rugosidad asociado.

TIPO DE SUELO	FACTOR DE RUGOSIDAD (PULGADAS)
Cultivos y pastos	4
Viveros, viñedos y flores ornamentales	18
Terreno con hierbas	4
Terreno con arbustos	10

Tomada y adecuada de Harley et al. (Ver referencias)

La naturación puede considerarse terreno con hierbas, por lo cual se toma el valor de 4 pulgadas para factor de rugosidad.

## Erosión Del Suelo

Se ha demostrado que la erosión de un terreno determinado en función de partículas arrastradas por el viento se puede calcular mediante la ecuación de erodabilidad, (Woodruff)

$$E = IK'CLV$$

Donde

I = índice de erodabilidad

K' = factor de retención asociado a la rugosidad del suelo

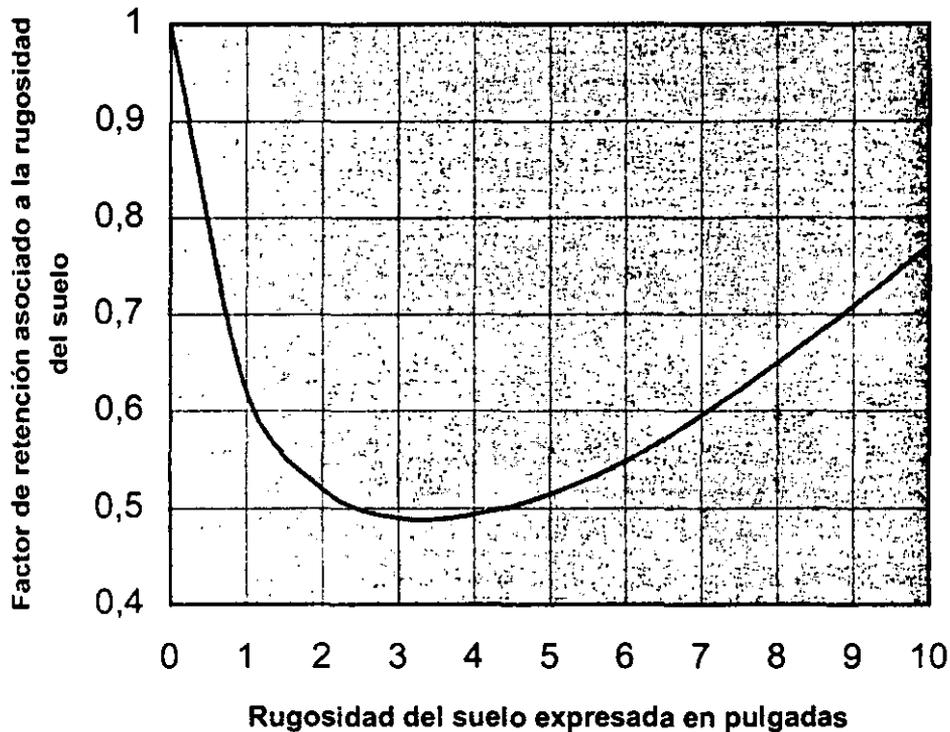
C = factor climático

L = longitud a campo traviesa sujeto a erosión

V = Factor equivalente de cubierta vegetal.

En el caso del factor equivalente de cubierta vegetal, V, las superficies de edificios están desnudas, por lo que no se afecta la retención ni resuspensión de partículas, tomando un valor de 1. Las demás variables permanecen sin cambio, excepto el factor de retención asociado a la rugosidad del suelo, K', el cual es afectado al introducir superficies con vegetación en los edificios.

## Retención de partículas debida al factor de rugosidad superficial



FUENTE: Woodroof and Siddoway, 1965

En la figura se grafica el factor de rugosidad por uso de suelo  $K$ , contra el cambio en el factor  $K'$  de la ecuación de erodabilidad. Para un factor de 4 pulgadas, que es el asociado con las superficies naturadas, se obtiene una retención de 50% aproximadamente para las partículas, que multiplicado por el 20% de la superficie a naturar nos da un 10% de disminución de partículas suspendidas en la ciudad de México, dado que el área se distribuiría homogéneamente por toda la ciudad, de acuerdo con lo mencionado en la geometría del sistema. (Discusión)

## **APÉNDICE 6 .- 100 ACCIONES NECESARIAS EN MATERIA DE ECOLOGÍA**

En Enero de 1987, la Comisión Nacional de Ecología, por encargo del C. Presidente de la república, integró las acciones 1987-1988 del gobierno federal para hacer frente a los principales desequilibrios ecológicos, en forma coordinada con los estados y municipios y en forma concertada con la sociedad. Este programa tomó parte del plan de trabajo de la SEDUE y estuvo sujeto a evaluación constante y periódica. En relación a la contaminación del aire por fuentes móviles, el programa incluyó 18 acciones. Entre ellas merecen especial atención por su importancia: La aplicación, a partir de 1991, de tecnologías más avanzadas de reducción de contaminantes en los vehículos nuevos, indicadas por la Cámara Nacional de la Industria Automotriz, la verificación obligatoria de los motores del parque vehicular en circulación y el suministro de mejores combustibles, acción iniciada por PEMEX que tiene claras repercusiones en la calidad del aire.

El programa puede ser considerado como emergente para aquel año de 1987, pero incluyó ideas muy valiosas que han sido retomadas en programas posteriores. De manera concreta, las acciones 1, 2, 7 ,8 ,9, 10 y 14 fueron especialmente relevantes en programas posteriores. Se mencionan a continuación las acciones mencionadas:

1.-Aplicación de tecnologías más avanzadas de reducción de contaminantes en los vehículos nuevos. Durante el primer trimestre de 1987, se firmó un convenio entre las secretarías de Desarrollo Urbano y Ecología, de Comercio y Fomento Industrial y la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz que establece, entre otros, los siguientes compromisos:

Para 1989 los vehículos no podrán exceder valores superiores de 2g/km para hidrocarburos, 22g/km de monóxido de carbono y 2.3 g/km. de óxido de nitrógeno.

Las empresas automotrices realizarán mejoras tecnológicas que permitan reducir aun más los límites de emisión para modelos 1990 y 1991.

A partir de 1988, los automóviles nuevos deberán incorporar sistemas de control de emisión de gases.

Las compañías armadoras que utilicen motores a diesel, incorporarán, a partir de 1988, equipo complementario que permita reducir de manera considerable la emisión de humos contaminantes.

Los vehículos de carga, comercial y ligeros, serán también sujetos al control de emisiones contaminantes.

Las empresas automotrices ofrecerán cursos de reparación y mantenimiento a talleres independientes para uniformar estándares de instrucción.

2.- Verificación obligatoria de los motores del parque vehicular en circulación. Durante 1987 quedarán sujetos a esta obligación todos los vehículos oficiales que circulan en la ZMCM, Guadalajara, Monterrey, Tijuana, Juárez, Puebla y León.

7.- Eliminación de tecnologías obsoletas de efectos contaminantes en el transporte público.

8.- Suministro de mejores combustibles. El mejoramiento de gasolinas, diesel y combustóleo ha probado, en forma significativa, su contribución a reducir emisiones de plomo, bióxido de azufre, hidrocarburos y monóxido de carbono.

9.- Ampliación del transporte colectivo no contaminante.

10.- Mantenimiento y afinación de la unidades ruta-100. Todos los autobuses que hayan superado los 10000 km de recorrido y los que de acuerdo a las evaluaciones así lo ameriten, serán afinados para reducir emisiones y ruidos.

14.- Campaña para disminuir el número de automóviles en circulación. Se iniciarán campañas para reducir el uso del automóvil, en especial durante los meses de invierno. Además, se promoverán convenios con centros de trabajo y escuelas para aumentar el número de viajes colectivos.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Mayor detalle se puede encontrar en el documento "Programa Integral de Lucha contra la Contaminación Atmosférica en la ZMCM", programa de emergencia, proyectos, DDF. (PICCA, 1990)

## REFERENCIAS

Akbari, Hashem (a). Demonstrations of energy savings on cool roofs.

Página electrónica. <http://eetd.lbl.gov/EA/Reports/40673/>

Akbari, Hashem (b) Painting the town white and green.

Página electrónica. <http://eetd.lbl.gov/HeatIslands/PUBS/PAINTING/>

Avila Burgos, L. et al. El costo social de la bronquitis crónica en la Ciudad de México. Una experiencia piloto. Rev. Salud pública Mex. 1996; 38 : 128-138

Barrera, Adrián. Reporte técnico # 6052. Instituto Mexicano del Petróleo. Noviembre 1997

Bauer, M, et al. Externalities of energy. Public Health Effects of Air Pollution Arising from Fossil Fuel Combustion. European Community. 1995

Buendía Servín de la Mora, Neil Spar. Planeación estratégica en PEMEX-gas. Tesis de maestría. DEPMI, UNAM. Diciembre de 1996.

Briz, J. et al. Naturación urbana. 1ª edición. Mundiprensa. Madrid, 1999.

Burchard J.K.. The significance of particle emissions. J. Air Pollu. Control Assoc. 24, No. 12 (1974): 114

Castillejos, M. et al. Acute effects of ozone on the pulmonary function of exercising schoolchildren from Mexico city. Am. J. Respir. Crit. Care. Vol. 152 pp 1501-1507, 1995.

CESPEDES.- [www.cespedes.org.mx](http://www.cespedes.org.mx) Página actualizada al 31 de Mayo de 1999

Coss Bu, R. Análisis y evaluación de proyectos de inversión. 2ª edición, editorial Limusa, México, 1987.

Departamento del Distrito Federal. Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA). México, 1990

Dockery D. , Shwartz J., Spengler J. Et al. Air Pollution and Daily Mortality Associations with Particulates and Acid Aerosols. Environmental Research Vol. 59, 1992: 362-373

Edgerton, S., Ortiz, E. Et al. Air pollution in México city. Journal of the air and waste management association (1999)

EGCA. Estudio global de la calidad de aire en la ciudad de México. Realizado por PEMEX, el IMP y Los Alamos National Laboratory de los E.U. 1992. Volumen 5 Reporte No. LA 12699

Environment Canada. Environmental And Health Benefits of Cleaner Vehicles and Fuels: Hagler Bailley Cost-Benefit Study. Reporte en línea.

<http://www.ec.gc.ca/oged-dpge/level3e/hagb/hagbtoce.htm>

Preparado por el Consejo de Ministros Canadienses de medio ambiente, programa de vehículos limpios y combustibles.

Field C., Barry. Economía Ambiental. Una introducción. McGraw Hill, 1ª edic., 1995. Bogotá, Colombia.

Fontaine, Ernesto. Evaluación Social de Proyectos. De. Alfaomega. 5ª edición, México, 1997

Flores, J. La contaminación y sus efectos en la salud y en el ambiente. Centro de Ecología y Desarrollo. SEDESOL. 1995

Fuentes Zenón Arturo. El pensamiento sistémico: Caracterización y principales corrientes. Cuadernos de Planeación y Sistemas, No. 3. 1ª edición. DEPFI. 1990

Fuentes Z, A. Un sistema de metodologías de planeación. Publicación del autor.

American forests. How trees affect the weather. Página electrónica  
<http://www.amfor.org/ufc/uea/atlanta/heatisle.html>

González Castillo, Octavio. Curso de Identificación y Evaluación de Proyectos. UAM-I. 1995

Harley et al. Continued development of a photochemical model and application to the southern California air quality study. Carnegie Mellon University (Pittsburg) and California Institute of Technology (Pasadena, CA)

Instituto Nacional de Ecología Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (PROAIRE)

Kenneth, W. Contaminación del aire, origen y control.. Noriega, Editores. Primera edición. México, 1990.

Kerzner, H. Project Management: A systems approach to planning, scheduling and controlling. Sixth edition. John Wiley and Sons. New York, 1998

Margulis, Sergio. Back-of- the-Envelope Estimates of environmental damage costs in Mexico. World Bank Working Papers. WPS 824, 1992.

Meneses F., Romieu I., Sierna-Monge J. et al. Effects of Urban Air Pollutants on Emergency Visits for Childhood Asthma in Mexico City. American Journal of Epidemiology, vol. 141, 6, 1995: 546-553

Nava, M. Avances en el estudio de la calidad del aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Instituto mexicano del petróleo. Subdirección de protección ambiental. Presentado en Mayo de 1999

Novak, J.- Los beneficios y costos del enverdecimiento urbano. Areas verdes urbanas en Latinoamérica y el caribe, Krishnamurty L. & J. Rente Nascimento. 1997. P. 17-36

Ortiz, E.; et al. Modelación del efecto en la calidad del aire por el proyecto de naturación de construcciones en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Informe GCA 98-002. Instituto Mexicano del Petróleo, Marzo de 1998.

Ortiz, E., Navas, G. Propuesta técnica del proyecto de naturación de construcciones en la ZMCM. Proyecto DOB-7511. Instituto Mexicano del Petróleo, Marzo, 1997.

Ostro, Bart. Estimating the Health Effects of Air Pollutants. A method with an application to Jakarta. World Bank Working Papers. WPS 1301. 1994

Ostro, Bart. Air pollution and Mortality: Results from Santiago de Chile. World Bank Working Papers. WPS 1453. 1995

Ozkaynak, K. P. Associations of Daily Mortality and Air Pollution in Los Angeles County. Environmental Research, Vol. 54. 1991: 99-120

Quadri, Sánchez. La ciudad de México y la contaminación atmosférica. Limusa, 1992

Park S. Chan. CASH™ User guide. University of Alabama. Department of engineering. 1993. <http://www.ualabama.edu>

Pope et al. Health Effects of Particulate air pollution: Time for Reassessment? Environ Health Perspec; 103: 472-480

RAMA. Base de datos de niveles de contaminantes para las 32 estaciones de monitoreo automático ubicadas en la ZMCM. Disponible en la intranet del IMP. <Http://www.imp.mx> Desde Enero de 1995 hasta Diciembre de 1998.

Romieu I., Meneses F., Ruiz S. Et al. Effects of Air Pollution on the Respiratory Health of Asthmatic Children Living in Mexico City. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, vol. 154, 1996 : 300-307

Sapag Chain, N. Preparación y evaluación de proyectos. McGraw hill. 3ª edic., 1996. Bogotá, Colombia.

SEMARNAP. [www.semarnap.gob.mx/quincenal/qui-05/cifras05.htm](http://www.semarnap.gob.mx/quincenal/qui-05/cifras05.htm). Página actualizada al 31 de Octubre de 1999

Téllez Rojo S.M.M., Romieu I., Peña, MP, et al. Efecto de la Contaminación Ambiental sobre las Consultas por Infecciones Respiratorias en Niños de la Ciudad de México. Vol. 39, 6, 1997: 513-522.

Van Gigch, John P. Teoría General de Sistemas. 2ª ed. México: Trillas, 1987 (reimp. 1993)

Woodruff N. P. and Siddoway F. H. A wind erosion equation. Soil Science Society proceedings, 1965. P. 602