

01184



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
PROGRAMA DE POSGRADO EN INGENIERÍA

## ***Monetarización de Externalidades en Sistemas***

***Una Aplicación al Transporte Urbano de la Ciudad de México***

**TESIS**  
**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**  
**DOCTOR EN INGENIERÍA**  
**(INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES)**  
**PRESENTA**

**REYES JUÁREZ DEL ANGEL**

**Tutor: Dr. Arcadio Gamboa Medina**

**México, D.F., Noviembre del 2004**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

---

# Contenido

	Pág.
<b>Contenido</b>	<b>1</b>
<b>Resumen</b>	<b>7</b>
<b>Abstract</b>	<b>8</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>10</b>
<b>Marco de Referencia</b>	<b>11</b>
<b>Introducción</b>	<b>11</b>
<b>Objetivo</b>	<b>14</b>
<b>Estructura de la Investigación</b>	<b>14</b>
<b>I. Análisis Costo-Beneficio</b>	<b>16</b>
<b>Introducción</b>	<b>16</b>
<b>Evaluación de Proyectos</b>	<b>16</b>
<b>Los Indicadores Típicos de Evaluación</b>	<b>17</b>
Valor Presente Neto	17
Tasa Interna de Retorno	17
Relación Beneficio/Costo	18
Periodo de Recuperación de la Inversión	18
<b>Selección de Proyectos</b>	<b>18</b>
<b>La Programación de Inversiones y el Problema de la Mochila</b>	<b>19</b>
<b>Evolución de Diferentes Enfoques de la Evaluación y Selección de Proyectos: Breve Desarrollo Histórico</b>	<b>19</b>
Evaluación Económica y Social (1950-1975)	20
Evaluación con Incertidumbre (1970-1975) y Análisis Multicriterio (1975-1990)	20
Los Métodos Costo-Efectividad (1990 a la fecha)	21
Efectos Indirectos y Externalidades (1990 a la fecha)	21
<b>Evaluación Monetaria y No Monetaria</b>	<b>24</b>
<b>Los Análisis Costo-Beneficio (ACB) y Costo-Efectividad (ACE)</b>	<b>26</b>
<b>Uso del ACB para esta Investigación</b>	<b>28</b>

---

	<b>Pág.</b>
<b>II. Metodologías para la Monetización de Externalidades</b>	<b>31</b>
<b>Conceptualización General</b>	<b>31</b>
Externalidades	31
Monetarización	31
<b>Clasificación de las Externalidades en Sistemas de Transporte Urbano</b>	<b>32</b>
<b>Introducción a los Métodos de Monetización de Externalidades</b>	<b>34</b>
<b>Metodologías de Monetización de Externalidades</b>	<b>36</b>
Método de los Costos Evitados o Inducidos (funciones dosis-respuesta)	36
Método de Preferencias Declaradas o Valoración Contingente	37
Precios Hedónicos/Costo del Viaje	39
Método de los Costos de las Medidas de Corrección	40
Método de los Costos de Protección, Prevención y Control	41
Método de los Costos de Compensación	41
<b>Comentarios sobre los Métodos Disponibles</b>	<b>43</b>
<b>Características Deseables de un Nuevo Enfoque</b>	<b>44</b>
<b>III. La Dimensión de las Externalidades del Transporte: Referentes Internacionales y Algunas Cifras Disponibles para México</b>	<b>47</b>
<b>Referentes Internacionales</b>	<b>47</b>
Contaminación	48
Ruido	49
Accidentes	49
<b>Estimación Indirecta del Daño en México</b>	<b>50</b>
<b>Proyecciones del PIB per Cápita</b>	<b>50</b>
<b>Costo de Oportunidad de las Externalidades del Transporte en México</b>	<b>51</b>
<b>Externalidades del Transporte en Zonas Urbanas: El Caso de la ZMVM</b>	<b>52</b>
<b>IV. Hacia un Enfoque Integrado de Prevención y Control de las Externalidades del Transporte</b>	<b>55</b>
<b>Introducción</b>	<b>55</b>
<b>Trayectoria de Desarrollo Sostenible</b>	<b>56</b>
Planteamiento	57
Beneficio Social Neto	57

---

---

	<b>Pág.</b>
Satisfacción de la Demanda	58
Dominio Económico Eficiente	58
<b>Las Externalidades a la Sociedad y sus Límites</b>	<b>59</b>
<b>Formulaciones Alternas</b>	<b>62</b>
Formulación A (Modelo Continuo)	62
Formulación B (Modelo Discreto)	62
<b>El Daño Evitado: Los Beneficios y Costos Externos</b>	<b>64</b>
<b>Dualidad: Los Costos de Oportunidad Internos</b>	<b>64</b>
<b>Los Multiplicadores Netos Reducidos</b>	<b>66</b>
<b>El Concepto de Internalización de Externalidades</b>	<b>69</b>
<b>Recapitulación</b>	<b>69</b>
<b>V. Un Caso de Aplicación al Transporte Urbano en la ZMVM</b>	<b>71</b>
<b>Introducción</b>	<b>71</b>
<b>Antecedentes</b>	<b>71</b>
<b>Metodología</b>	<b>73</b>
Identificación de Medidas Específicas	73
Evaluación Tradicional de las Medidas Específicas	74
Identificación de las Externalidades a Incorporar	77
Formulación del Modelo	77
Selección de Medidas por Escenario	79
Solución de Dualidad	82
Derivación de los Coeficientes de Daño Evitado	86
<b>Aplicación a Proyectos Específicos</b>	<b>90</b>
Contexto de Aplicación	90
El Caso del Ferrocarril Suburbano de la Ciudad de México	90
<b>Análisis Comparativo contra los Beneficios Tradicionales</b>	<b>96</b>
Beneficios Netos Tradicionales y Beneficios por Reducción de Externalidades	96
<b>Impacto Económico Integral a Nivel Sistema: Aproximación</b>	<b>97</b>
Conclusiones	98

---

<b>VI. Reflexiones Finales y Líneas Futuras de Investigación</b>	<b>Pág.</b>
	<b>100</b>
<b>Reflexiones Finales</b>	<b>100</b>
<b>Aportaciones de esta Investigación</b>	<b>100</b>
<b>Limitaciones y Líneas Futuras de Investigación</b>	<b>101</b>
<b>A. Referencias Bibliográficas Seleccionadas</b>	<b>106</b>

## Índice de Tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Indicadores Costo-Efectividad asociadas a la Reducción de Hidrocarburos en la Ciudad de México	27
Tabla 2. Indicadores Costo-Efectividad asociadas a la reducción de Monóxido de Carbono en la Ciudad de México	27
Tabla 3. Acotaciones sobre las Externalidades del Transporte	33
Tabla 4. Externalidades Negativas y Positivas en el Sector Transporte	33
Tabla 5. Otras Externalidades: Infraestructura no Recuperada y Congestión Vehicular	33
Tabla 6. Externalidades Negativas más Importantes de Transporte	34
Tabla 7. Métodos Disponibles para Monetizar Externalidades	35
Tabla 8. Modelación Causa Efecto entre el Tráfico y los Costos Sociales	37
Tabla 9. Condiciones Recomendadas para el uso de Valuación Contingente	38
Tabla 10. Análisis comparativo de los Métodos Disponibles para la Monetización de Externalidades	42
Tabla 11. Daños por Contaminación Ambiental	48
Tabla 12. Resumen de Daños por Concepto	51
Tabla 13. Resumen de medidas y sus umbrales máximos al año 2020	73
Tabla 14. Impacto de las 31 medidas, suponiendo que cada una se lleva a su nivel máximo de aplicación	75
Tabla 15. Inversión, beneficios al transporte y reducción de emisiones contaminantes por horizonte	80
Tabla 16. Participación porcentual de cada grupo de medidas en el VPN y en la reducción de emisiones: 2000	80
Tabla 17. Programas de acción 1998-2020	81
Tabla 18. (HC) (\$/ton/año): Costo de Oportunidad de la Reducción de Emisiones de HC	82
Tabla 19. (CO) (\$/ton/año): Costo de Oportunidad de la Reducción de Emisiones de CO	83
Tabla 20. w (NOx) (\$/ton/año): Costo de Oportunidad de la Reducción de Emisiones de NOx	84
Tabla 21. w (PST) (\$/ton/año): Costo de Oportunidad de la Reducción de emisiones de PST	84
Tabla 22. w (SOx) (\$/ton/año): costo de Oportunidad de la Reducción de Emisiones de SOx	85

---

	<b>Pág.</b>
Tabla 23. w (PST) (\$/ton/año): Costo de Oportunidad de la Reducción de Emisiones de PST	86
Tabla 24. Valor de Efectos Seleccionados en la Salud en Estados Unidos	87
Tabla 25. Valor Social de los Beneficios a la Salud de Reducir un 10% los Niveles de PM10 en la ZMCM	88
Tabla 26. Valor Social de los Beneficios a la Salud de Reducir un 10% los niveles de ozono en la ZMCM	88
Tabla 27. Coeficientes de Daño Evitado	89
Tabla 28. Coeficientes de Monetización Netos Reducidos	90
Tabla 29. Indicadores de Rentabilidad Social del Proyecto	93
Tabla 30. Estimación de Reducción de Emisiones Contaminantes	94
Tabla 31. Valores Unitarios para Diversos Escenarios de Monetización	94
Tabla 32. Beneficios Anuales por Reducción de contaminantes Locales	95
Tabla 33. Beneficios por Ahorros en Tiempo de los Usuarios	96
Tabla 34. VPN de los Beneficios por Externalidades	96
Tabla 35. Análisis Comparativo de Beneficios Considerando Externalidades	97
Tabla 36. Beneficios Económicos Integrales	98
Tabla 37. Componentes de la Agenda Propuesta de Investigación sobre Monetización de Externalidades del Transporte	102

## **Índice de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Evolución de Diferentes Enfoques Seleccionados de Evaluación Económica de Proyectos	23
Figura 2. Estructura General de un Problema de Evaluación	24
Figura 3. Clasificación de los Métodos de Evaluación	25
Figura 4. Un Camino para Escoger entre Distintos Métodos de Evaluación	28
Figura 5. Clasificación de los Enfoques de Monetización de Externalidades	36
Figura 6. Enfoque de los Costos de las Medidas de Corrección	40
Figura 7. Enfoque del Costo de las Medidas de Protección, Prevención y Control	41
Figura 8. Elementos de un Nuevo Enfoque de Sustentabilidad Sistémica	46
Figura 9. Daños por Contaminación Ambiental	48
Figura 10. Daños por Ruido	49
Figura 11. Daños por Accidentes	50
Figura 12. Proyecciones del PIB per cápita en México y Proyecciones del PIB de México	50
Figura 13. Valor Presente de Externalidades	52
Figura 14. Externalidades Seleccionadas Imputables al Transporte en la ZMVM	54
Figura 15. Modelo de Emisiones	60
Figura 16. Metodología Propuesta de ACBE para la Incorporación de Externalidades	68

---

	<b>Pág.</b>
Figura 17. Valor presente neto acumulado y reducción acumulada de contaminantes por grupo de medidas	76
Figura 18. Valor presente neto acumulado vs. Reducción acumulada de contaminantes por año	77
Figura 19. Costo de Oportunidad w (HC) de la Reducción de Emisiones de HC (\$/ton/año)	83
Figura 20. Costo de Oportunidad w (CO) de la Reducción de Emisiones de CO (\$/ton/año)	84
Figura 21. Costo de Oportunidad w (NOx) de la Reducción de Emisiones de NOx (\$/ton/año) y Costo de Oportunidad w (PST) de la Reducción de Emisiones de PST (\$/ton/año)	85
Figura 22. Costo de Oportunidad w (SOx) de la Reducción de Emisiones de SOx (\$/ton/año) y Costo de Oportunidad w (PST) de la Reducción de Emisiones de PST (\$/ton/año)	86
Figura 23. Sistema Integral de Transporte Ferroviario Suburbano	91
Figura 24. Diagrama Conceptual de Determinación de los MNR's	104
Figura 25. Enfoque de Participación Mixta en Proyectos de Infraestructura y Transporte de Sistemas Urbanos	105



---

## RESUMEN

En la evaluación de proyectos de inversión el método tradicional se enfoca al Análisis Costo Beneficio (ACB) cuantificando los efectos directos, en tanto que los efectos indirectos o “externalidades” se incorporan generalmente en términos de Análisis Costo Efectividad (ACE). Este último enfoque se torna ambiguo cuando se desea homologar efectos directos e indirectos, dificultándose, en consecuencia, la selección de un curso de acción y la asignación eficiente de recursos para desarrollar. El Análisis Multicriterio (AMC), útil en muchas ocasiones, tampoco resulta satisfactorio en estos casos al incorporar frecuentemente juicios subjetivos del decisor.

En este proyecto de investigación se reflexiona sobre la conveniencia de contar con un esquema que permita la homologación de la corriente de efectos directos e indirectos de un proyecto de inversión. Se propone una metodología de Análisis Costo Beneficio (ACB) de proyectos en sistemas urbanos, especialmente de transporte, que incorpora de manera integral y explícita a los efectos indirectos, tratados en esta investigación como externalidades, a través de multiplicadores netos reducidos (MNR's), calculados a partir de un modelo de vinculación basado en un enfoque de prevención y control.

Se desarrolla una aplicación al transporte urbano de la Ciudad de México en relación con externalidades tales como las emisiones contaminantes al medio ambiente, la congestión vehicular, el tiempo perdido de los usuarios y la generación de accidentes. Se presenta una interpretación del beneficio económico neto de las externalidades y su justificación en proyectos de inversión directa que requieren aportación mixta de recursos públicos y privados, que puede ser de alto impacto económico y social, y orientar decisiones más racionales de inversión en una sociedad con recursos escasos. El enfoque propuesto, desde luego, puede extenderse conceptualmente a otros sectores económicos.

Palabras clave: **Análisis Costo Beneficio, Análisis Costo Efectividad, Monetización de Externalidades, Internalización de Externalidades, Costos de Oportunidad, Coeficientes de Monetización Netos Reducidos.**

---

## ABSTRACT

Within the context of investment project evaluation, the traditional method is focused on Cost-Benefit Analysis (Análisis Costo Beneficio 'ACB') quantifying direct costs, while the effects of indirect costs or "externalities" are generally incorporated in terms of Cost-Effectiveness Analysis (Análisis Costo-Efectividad 'ACE'). This approach becomes ambiguous when direct and indirect effects are to be homologated, making difficult the selection of course of action and the efficient assignment of resources to develop the investment project. The Multicriteria Analysis (Análisis Multicriterio 'AMC'), sometimes very useful, is also unsatisfactory on such cases, since subjective judgments of the decision maker are incorporated.

This research project explores the convenience of having a scheme that allows the homologation of direct and indirect effects in investment project. The study proposes a Cost-Benefit Analysis (ACB) methodology for urban system projects, especially in the transportation sector, which incorporates in a comprehensible and explicit way the indirect effects. In this study the indirect effects are defined as externalities, throughout Reduced Net Multipliers (Multiplicadores Netos Reducidos 'MNR's'), which are calculated using a vinculation model based on a prevention and control approach.

An application in urban transportation in Mexico City is developed, where externalities such as pollutant emissions, vehicle congestion, user's lost time and accident generation are considered. An interpretation of the net economic benefit of the externalities is presented, along with the corresponding project investment justification related to public-private financing requirements analysis for high economic and social impact projects. This can be a useful tool to orient decision makers in an environment of scarce economic resources. The proposed approach can obviously be extended conceptual terms to other economic sectors.

Key words: ***Cost-Benefit Analysis, Cost-Effectiveness Analysis, Monetization of Externalities, Internalization of Externalities, Opportunity Costs, Reduced Net Monetization Coefficients.***

---

*A la memoria de Carlos  
A Carmelita, con amor  
A Rodrigo y Maximiliano  
A mis padres  
A mis hermanos*

---

## AGRADECIMIENTOS

La conclusión de este trabajo de investigación no hubiera sido posible sin la colaboración de muchas personas con las que me siento en deuda.

Cuando el doctor Arcadio Gamboa Medina, Jefe de la Sección de Investigación de Operaciones de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en 1998, y Director de esta tesis, me informó de las nuevas líneas de investigación para programas de doctorado, no dudé en solicitar mi acceso. Su guía y apoyo incondicional, desde los momentos más difíciles durante la huelga de la Universidad en 1999, hasta sortear los nuevos procesos administrativos por los que transita la UNAM desde entonces, merecen mi reconocimiento. Arcadio, gracias por tu apoyo y amistad.

Asimismo, quiero expresar mi agradecimiento a mi empresa, FELIPE OCHOA Y ASOCIADOS, por el apoyo para desarrollar las tareas que ha implicado este tema de investigación, por demás apasionante e interminable. Estoy en deuda con el doctor Felipe Ochoa Rosso, por su constante guía profesional desde hace 25 años.

Mucha de la información utilizada proviene, en gran parte, de numerosos trabajos de investigación en los que he tenido la suerte de participar dentro de la empresa, y, que de alguna u otra forma, me imponían el reto de transitar equilibradamente entre la ortodoxia de la investigación y el pragmatismo requerido para resolver problemas cotidianos de análisis costo-beneficio de proyectos, tema que, como ya he mencionado, me apasiona.

Un agradecimiento especial al doctor Jorge Díaz Padilla Guerrero, por su decidida confianza e impulso en momentos difíciles; gracias Jorge por tus consejos.

A todos los miembros de mi Comité Tutorial les expreso mi agradecimiento por su confianza y aportaciones, así como por la paciencia que mostraron durante el proceso. Gracias a los doctores Marco Antonio Murray-Lasso, Jesús Acosta Flores, Sergio Fuentes Maya y Jorge Cervantes Borja.

A mis familiares y amigos, que frecuentemente preguntaban por el avance de esta investigación, a ellos les ofrezco una disculpa por las repetidas veces que respondí "ya merito".

Quiero hacer una mención especial a mi compañero y amigo, Juan Manuel González Beristáin, por su apoyo y colaboración en la revisión, discusión y contribución en diversos análisis y cálculos que se realizaron. Gracias también a Ana María Vitoria Zaragoza y Lorena Hernández Muñoz por su arduo trabajo mecanográfico y de edición, respectivamente, y a Beatriz González Lezama por el apoyo logístico que implicó la culminación de ésta investigación.

Finalmente, el mayor costo de oportunidad que ha generado la elaboración de esta investigación ha sido absorbido, sin duda alguna, por mi familia. Espero que las externalidades generadas estén todavía en posibilidades de internalizarse adecuadamente, principalmente por el tiempo robado a mi esposa y mis hijos, cuyo valor difícilmente es recuperable.

---

## MARCO DE REFERENCIA

### Introducción

Durante años, México adoptó un modelo de desarrollo económico basado en la sustitución de importaciones y en el mercado interno. Con una incipiente apertura al exterior, en donde poco importaba el nivel de competitividad de las empresas y los sobrecostos que se transmitían a los consumidores y a la sociedad en general. Posiblemente algunas de las externalidades positivas *de crear una plataforma* de empresas industriales para la producción económica eran muy superiores a las externalidades negativas para la sociedad de tener productos poco competitivos.

Con la globalización esto ha cambiado. México está inserto en otro escenario mundial caracterizado por una franca apertura al exterior, y en donde los factores de competitividad se han vuelto muy importantes. De hecho, la economía mexicana es una de las más abiertas al mundo, siendo su comercio exterior total, esto es, importaciones más exportaciones, equivalente en valor a poco más del 60% del PIB en el 2002, aunque las exportaciones e importaciones contribuyan en su balanza con una cifra mínima a su PIB.

En el ámbito de la globalización, las inversiones directas y demás flujos de capital se canalizan hacia aquellas regiones que muestran tener las mejores condiciones de desarrollo de proyectos y de balance riesgo-rentabilidad. Esto tiene relevancia tanto en las zonas urbanas<sup>1</sup> del país como en el ámbito interurbano, en especial en las actividades económicas vinculadas en su mayoría al comercio exterior. En este contexto, el transporte, de por sí un elemento fundamental del desarrollo económico, resulta por demás relevante.

Por ello, ha sido creciente la necesidad de aplicar un enfoque de sistemas a las políticas de desarrollo económico, desarrollo urbano, transporte, medio ambiente y desarrollo social, en la búsqueda de un mayor nivel de bienestar para la población, y de hacer más eficiente el uso de recursos públicos y privados para atender rezagos y necesidades de crecimiento.

En la evaluación de proyectos en general, y del transporte en particular, al menos en México, las técnicas se han centrado en la valoración de los efectos directos, dada la dificultad para modelar y cuantificar en términos monetarios los efectos indirectos o externalidades,<sup>2</sup> como la contribución a la descentralización, el descongestionamiento, el desarrollo productivo, la contaminación, los accidentes o el ruido, entre otros. En el mundo, y desde hace más de una década, existen esfuerzos y planteamientos serios para afrontar esta problemática, si bien se reconocen las dificultades que entraña su adecuada valorización.

---

<sup>1</sup> En México las zonas urbanas responden por más del 80% del PIB del país y son las áreas que han experimentado crecimientos importantes y compiten abiertamente por los flujos de capital, lo que las presiona a abatir al máximo los sobrecostos a su economía.

<sup>2</sup> En esta categoría se incluyen todos aquellos bienes o servicios que tienen valor, pero que no están sometidos a operaciones de mercado; por tanto, carecen de precio.

---

En efecto, las técnicas difundidas de evaluación de los conceptos directos que involucran proyectos de transporte, por lo general se han reducido al entorno cercano del proyecto: inversionistas, usuarios, bancos. Particularmente en materia de Análisis Costo Beneficio (ACB) los conceptos involucrados se centran en el cálculo de los ahorros en costos de operación y al ahorro en tiempo de los usuarios, sin duda conceptos de suma importancia y de cuantificación probada. De ello, dan cuenta las metodologías de organismos multilaterales como el Banco Mundial o el BID, por citar dos de los más importantes.

Sin embargo, al explorar el tema de las externalidades, que impactan sobre todo el entorno (resto de la sociedad), y visualizar que son parte importante de la competitividad de un sistema, preocupa la magnitud de los efectos que éstas alcanzan. Basta señalar que en varios países europeos, donde se han concentrado la mayor parte de las investigaciones en el tema, los resultados indican que el costo de dichas externalidades en el transporte se sitúan entre el 5 y el 8% del PIB, cifras del mismo orden de magnitud o superiores al propio PIB del sector transportes. De hecho, como se verá mas adelante, pueden llegar a tener un alto peso relativo en el beneficio total de un proyecto; es decir, al incluir los beneficios directos e indirectos. De ahí la importancia de cuantificarlas explícitamente en las evaluaciones de proyectos, y de sentar las bases de un marco de entendimiento común para facilitar el intercambio de experiencias.

Las externalidades pueden desempeñar un papel relevante en el análisis socioeconómico de proyectos en general, y del transporte en particular, puesto que representan flujos de beneficios tangibles que pueden ayudar a una mejor apreciación del beneficio real de un proyecto de inversión. Una vez mitigadas o potenciadas, se constituyen en beneficios por el daño evitado a la sociedad en general, y son susceptibles de trasladarse a los precios de los bienes o servicios de quienes las generan a través de un proceso de monetarización e internalización.

Existen corrientes de opinión que expresan una seria preocupación en el sentido de que al hacer “explícitos” los costos de las externalidades en una sociedad se agregan a la “contabilidad nacional” costos o beneficios que antes no eran explícitos y, por tanto, podrían ir en contra de la competitividad o potenciarla aún más. Estimaciones gruesas realizadas en el ámbito internacional, sugieren que los costos del transporte pueden incrementarse entre 15 y 30% en Europa, como resultado de una internalización completa de las externalidades. Se habla de países europeos ya muy desarrollados cuyos proyectos de transporte tienen impacto sólo en el margen y no de tipo estructural, como el caso del Tren Español de Alta velocidad entre Madrid y Sevilla para Ciudad Real, que ha tenido un fuerte impacto en su movilidad frente a la capital española en términos de lo que típicamente se conoce como desarrollos urbanos orientados al transporte.

Sin embargo, otras corrientes indican que la internalización no necesariamente resulta en un incremento en costos, generalmente por la vía impositiva a la economía en general. Los argumentos señalan que dicha internalización sólo redirecciona flujos financieros para hacer más eficiente la economía en su conjunto, y más competitiva a mediano y largo plazo. Los beneficios así generados permiten proveer de mayores recursos a los gobiernos, abriendo

---

más oportunidades de inversión, mejor direccionada, para abatir o potenciar las externalidades, por ejemplo, en protección ambiental. Por lo general, en materia de reducción de externalidades resultan más importantes los beneficios por el daño evitado que los costos correspondientes de prevención y control, haciendo así más eficientes y equitativas, para la sociedad en general, las trayectorias de internalización. Por ejemplo, cuando se incrementan las externalidades pueden resultar más importantes los beneficios por el valor del desarrollo inducido que las inversiones necesarias para lograrlos.

Al margen del debate anterior, lo que parece necesario e impostergable es el inicio gradual, y por etapas, de un proceso de homologación e internalización de externalidades, aun sobre la base de estimaciones de costos de primer orden sobre la magnitud de las externalidades. No pueden tomarse decisiones racionales de inversión si se desconoce y soslaya la importancia de las externalidades, incluso sobre la base de estimaciones gruesas sobre su magnitud.

De esta forma, al plantear cualquier proyecto de inversión en un sistema de transporte, independientemente de la fuente de recursos para su desarrollo, es muy importante tomar en cuenta tanto los beneficios y costos directos como las externalidades que se imputan o se otorgan a la sociedad.

Por ello, y como lo sugieren las nuevas tendencias en el ámbito internacional, es recomendable incorporar en los indicadores típicos del análisis costo-beneficio de proyectos lo relativo a las externalidades; esto es, sus implicaciones en términos monetarios, sin dejar de reconocer las dificultades que se tienen para tal efecto.

En general, en relación con las externalidades en sistemas que involucran al transporte puede señalarse que:

- Existe una creciente atención a nivel mundial para su adecuada cuantificación
- Los principales casos de investigación se ubican en países desarrollados, aunque también se detectan investigaciones de países emergentes, principalmente en Europa del Este.
- Es muy escasa la experiencia en países en vías de desarrollo. La que existe se tiene principalmente de América Latina
- En general, es un tema que, aun cuando ya ha cobrado conciencia en México, en general está desatendido.

En los últimos 50 años se han desarrollado diferentes enfoques de evaluación económica de proyectos de inversión, dentro de los cuales pueden incorporarse a las externalidades. Entre ellos, destacan los denominados Análisis Costo-Beneficio (ACB), los Análisis Costo-Efectividad (ACE) y los Análisis Multicriterio (AMC).

En general, los modelos de evaluación multicriterio tienen una alta flexibilidad para combinar atributos cualitativos en las evaluaciones (y también cuantitativos, aunque no es su orientación principal) y auxiliar eficazmente en análisis de políticas. La principal ventaja de estos modelos es la posibilidad de combinar información de naturaleza diversa, relaciones y

---

objetivos distintos de los actores involucrados —y a menudo en conflicto— de forma tal que la solución a los problemas puede ser estudiada desde diversos puntos de vista. La principal desventaja es la frecuente subjetividad del decisor, lo cual no necesariamente refleja los puntos de vista de la sociedad.

En general, si bien pueden usarse los tres enfoques para evaluar proyectos que involucran externalidades, generalmente se acude al ACB y al ACE. El primero presenta el reto de que todos o la mayoría de los beneficios y costos del proyecto tienen que ser valuados en términos monetarios, en tanto que el ACE responde a la pregunta de cómo seleccionar un proyecto o acción (por ejemplo, la de menor costo), satisfaciendo un solo objetivo dado (por ejemplo de: reducción de emisiones contaminantes, reducción de accidentes, reducción de índices de congestión vehicular, etc.). La principal desventaja de este método es que una determinada acción *a* puede ser mejor que una acción *b* de acuerdo con un criterio y totalmente a la inversa en otro. En este caso, el problema se torna matemáticamente indefinido. Es común encontrar esta disyuntiva en proyectos de mejoramiento de la calidad del aire.

Por ello, en la medida en que el nivel de información lo permita, es recomendable intentar completar un ACB integral cuando se involucra a las externalidades, sin dejar de reconocer, una vez más, las dificultades que se tienen para tal efecto.

## Objetivo

En este trabajo de investigación se pretende contribuir a la incorporación formal y práctica de las externalidades al ACB de proyectos de inversión, especialmente en el sector transporte urbano, para homologar la corriente de beneficios y costos tradicionales o directos con los relativos a las externalidades.

Para ello, la investigación intenta explorar, basada en las experiencias disponibles, el desarrollo de **una metodología de ACB para la incorporación integral de externalidades** en los indicadores de evaluación de proyectos, aplicada al transporte urbano. Con ello, podrá disponerse de una estimación más completa en el cálculo de, por ejemplo, la Tasa Interna de Retorno (TIR) o el Valor Presente Neto (VPN) de un proyecto de inversión, lo que hará más racional la toma de decisiones en relación con el uso de recursos escasos, al incorporarse explícitamente los efectos internos y externos de los proyectos de transporte.

## Estructura de la Investigación

Este trabajo de investigación está organizado, a partir del resumen y el marco de referencia, como sigue:



---

El Capítulo I presenta los conceptos fundamentales de evaluación de proyectos de inversión e incluye una revisión del estado del arte, con la evolución de diferentes enfoques seleccionados de evaluación económica de proyectos como los ACB, ACE y AMC, mostrando sus principales diferencias, ámbitos de aplicación y principios generales.

El Capítulo II describe los métodos disponibles para la monetización de externalidades y reflexiona sobre el alcance y limitaciones de dichos métodos, los cuales no escapan de elementos subjetivos de valorización, concluyéndose con las características deseables que debería tener un nuevo planteamiento a éste respecto, basado en el aprovechamiento de las fortalezas y debilidades de los métodos disponibles.

El Capítulo III presenta la magnitud del problema a resolver, indicando algunas cifras disponibles sobre la importancia de las externalidades del transporte a nivel mundial y en México, para puntualizar sobre la necesidad y conveniencia de incorporarlas formalmente al ACB de proyectos de inversión en transporte.

En el Capítulo IV se plantean los conceptos básicos que apoyan la estructuración de un enfoque dentro del ACB, con la incorporación explícita de las externalidades, que se ha denominado *Análisis Costo Beneficio con Externalidades (ACBE)* en este trabajo de investigación. Particularmente se discute el concepto de Trayectoria de Desarrollo Sostenible (TDS) aplicable al contexto bajo análisis; esto es, los límites de evolución a largo plazo del sistema de transporte de moverse dentro de un nivel de externalidades conocido y aceptado de antemano por la sociedad, así como la selección modal óptima a partir del Dominio Económico Eficiente (DEE) de cada modo de transporte en el tiempo (referido al intervalo de demanda en que los beneficios económicos de un determinado modo de transporte superan al resto de los modos). Se introduce la formulación de un modelo de programación lineal que busca optimizar el beneficio social neto del transporte, incluyendo los beneficios por reducción de externalidades. Se describe el modelo propuesto, sus alcances y limitaciones, y su utilización para el ACBE. El método propuesto utiliza Coeficientes de Monetización Netos Reducidos (MNR's), derivados de coeficientes de daño de las externalidades (valuación externa) y costos económicos de oportunidad de satisfacer restricciones determinísticas en un contexto de prevención y control (valuación interna).

El Capítulo V presenta un caso de aplicación al control de externalidades del transporte urbano en la Ciudad de México, como emisiones al medio ambiente, tiempo perdido de los usuarios y accidentes. Se cuantifica la magnitud de las externalidades, las cuales, al implicar generalmente daños a las generaciones actuales y futuras, deben actualizarse en el tiempo con un costo de capital bien ponderado y diferente al utilizado para descontar los flujos de los beneficios tradicionales. Con ello, se compara la bondad de cada opción alterna *con* y *sin* la incorporación de las externalidades, lo que permite apuntar las bondades de la nueva metodología propuesta y derivar los MNR's para su aplicación a proyectos específicos.

Finalmente, el Capítulo VI sintetiza las principales reflexiones derivadas de la investigación, acota las aportaciones de la misma y sus limitaciones, esboza líneas futuras de investigación en el tema y presenta la bibliografía consultada.

---

# I. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

## Introducción

En general, el Análisis Costo Beneficio (ACB) de una determinada acción o proyecto consiste en emitir un juicio sobre la bondad o conveniencia de llevar a cabo dicha acción. El mayor reto al que se enfrenta el analista de proyectos que desea realizar un ACB es identificar los costos y beneficios atribuibles a dicho proyecto, valorarlos apropiadamente en el tiempo y concluir sobre la bondad del mismo.

El ACB es parte fundamental del Proceso General de Inversión. Éste consta de cuatro fases fundamentales, que interactúan entre sí continuamente en el tiempo, con características y significados bien diferenciados [Ochoa Rosso, 1973]:

- Identificación de la necesidad de invertir.
- Identificación de cursos alternativos de acción, constituidos por propuestas o proyectos de inversión, para satisfacer la necesidad de invertir.
- Evaluación de los proyectos de inversión identificados.
- Selección de un conjunto de los proyectos identificados en los cuales invertir.

## Evaluación de Proyectos

Un proyecto de inversión está definido por un conjunto de flujos netos de efectivo, económicos o financieros, según se trate de evaluaciones para la sociedad o para una empresa.

Para un economista [Fontaine, 1981], la *evaluación económica* de un proyecto consiste en identificar si los distintos costos y beneficios atribuibles a dicho proyecto generan un excedente a la sociedad en términos de valor agregado. Para un financiero, la *evaluación financiera* se enfocará a verificar si el flujo de dinero proveniente del balance entre los ingresos y egresos es suficiente para recuperar la inversión, independientemente del origen de dichos recursos de inversión, ya sea que se trate de recursos propios o de deuda contratada para tal efecto.

En todo caso, es necesario tratar con flujos de efectivo económicos o financieros. Esta investigación trata principalmente de la evaluación económica, aunque la mayoría de los conceptos pueden trasladarse a la evaluación financiera con las debidas concepciones y separaciones.

A los flujos netos suelen aplicarse funciones que tratan de transformar en valor presente dichos flujos de efectivo, tomando como referencia distintas tasas de interés y un horizonte definido de evaluación en el tiempo.

---

## Los Indicadores Típicos de Evaluación

A partir de los flujos de beneficios y costos económicos de un proyecto de inversión pueden definirse diferentes indicadores de evaluación, orientados a medir la rentabilidad del proyecto. Los más comúnmente utilizados son:

- El Valor Presente Neto (VPN),
- La Tasa Interna de Retorno (TIR),
- La Relación Beneficio/Costo (B/C), y
- El Periodo de Recuperación de la Inversión o el Periodo de Pago (PP).

### Valor Presente Neto (VPN)

Se utiliza la siguiente expresión funcional para denotar el Valor Presente Neto de un vector ( $F$ ) de  $N$  flujos monetarios en el tiempo descontados a un costo de capital  $i$  por periodo:

$$VPN(F; i, N) = \sum_{k=0}^N F_k / (1+i)^k$$

En condiciones determinísticas, para cualquier costo de capital expresado como una tasa de interés del dominio de la función, el proyecto será rentable sí y solo sí el VPN es positivo ( $VPN > 0$ ).<sup>3</sup>

En cualquier periodo  $k$  el vector  $F_k$  de flujos monetarios está definido por la diferencia entre los Beneficios ( $B_k$ ) y Costos ( $C_k$ ).

### Tasa interna de Retorno (TIR)

La TIR es la tasa de interés que iguala a cero el valor actual de toda la serie de flujos de fondos asociados con el proyecto<sup>4</sup>. Es decir, es la tasa de interés  $r^*$  tal que verifica que:

$$\sum_{k=0}^N F_k / (1+r^*)^k = 0$$

Sin pérdida de generalidad se puede suponer que la TIR estará bien definida; es decir, la función real de variable real que trae a valor presente los flujos de efectivo con base en distintas tasas de interés, además de no tener mínimos o máximos relativos en  $\mathfrak{R}^2$ , (donde  $\mathfrak{R}^2$  es el conjunto de los números reales), tendrá una y sólo una raíz [Bierman y Smidt, 1991].<sup>5</sup> Esta raíz, la TIR, tiene que ser mayor al costo de capital para que el proyecto sea rentable. En estos casos los criterios del VPN y la TIR son equivalentes.

---

<sup>3</sup> Aunque la rentabilidad de un proyecto queda establecida estrictamente cuando el  $VPN > 0$ , en realidad, como lo señala Gamboa [Gamboa, 2002] el "qué tan positivo" es algo que compete al tomador de decisiones, por lo que algunos autores prefieren expresar el hecho de que el  $VPN > p$ , con  $p \in \mathfrak{R}^+$  (reales positivos) y su valor lo determina el tomador de decisiones.

<sup>4</sup> A la TIR se le denomina así por ser una rentabilidad "interna" al proyecto, calculada independientemente del costo de capital del proyecto.

<sup>5</sup> Cuando la TIR no está bien definida se puede recurrir a la TIR modificada o TIRM (Bierman y Smidt, 1991). Este puede ser el caso de desembolsos netos de efectivo que no se limitan al período inicial y se intercalan con flujos netos de fondos durante toda la vida del proyecto, conduciendo a varias tasas internas de retorno.

---

## Relación Beneficio/Costo (B/C)

La relación Beneficio/Costo (B/C) está definida por:

$$B/C = \frac{\sum_{k=0}^N b_k / (1+i)^k}{\sum_{k=0}^N b_k / (1+i)^k}$$

De acuerdo a este criterio un proyecto es aceptado si la relación  $B/C > 1$ .

## Periodo de Recuperación de la Inversión (PP)

Es el número mínimo de años  $p^*$  tal que verifica que:

$$\sum_{k=0}^{p^*} F_k / (1+i)^k \geq 0$$

Es usual distinguir si la evaluación se hace a *precios constantes* y si se utilizan o no *tasas reales* de costo de capital para descontar los flujos de efectivo [Coss Bu, 1993].

Asimismo, las evaluaciones pueden ser *determinísticas* o *probabilísticas*. En esta investigación las aplicaciones posteriores se refieren a casos determinísticos, a menos que se indique lo contrario. Bajo condiciones probabilísticas o de incertidumbre se implica que los flujos de efectivo tienen que ser caracterizados por su matriz de covarianzas para obtener la  $P\{VPN\} > 0$ , según una determinada distribución de probabilidad. Al respecto, pueden consultarse aplicaciones utilizando los enfoques probabilísticos bajo un enfoque Bayesiano, [Díaz Padilla, 1974; Juárez Del Angel, 1982], que utilizan funciones de densidad de tipo normal.

## Selección de Proyectos

La cuarta fase del proceso general de inversión es la selección de proyectos. Esto es, seleccionar el conjunto o subconjunto de proyectos que optimice un objetivo predeterminado. Resulta evidente que en países en desarrollo, e incluso en países desarrollados, en realidad no existen recursos infinitos para inversión, por lo que es necesario seleccionar bajo restricciones, usualmente de capital.

Esta fase cae dentro de la denominada programación de inversiones, cuya aparición data de los años 50, como se indicará más adelante.

---

## La Programación de Inversiones y el Problema de la Mochila

En condiciones determinísticas, sea  $U = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$  un conjunto de proyectos independientes de inversión y considere el siguiente problema de optimización [Gamboa, 2002]:

$$\begin{aligned} \text{Maximizar} \quad & Z = \sum_{j=0}^N VPN_j X_j \\ \text{sujeta a} \quad & \sum_{j=0}^N a_{jk} x_j \leq b_k \quad k = 0, 1, \dots, m \\ \text{y} \quad & X_j \in \{0, 1\} \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

donde:

$VPN_j$  = es el valor presente neto de  $P_j$ ,

$a_{jk}$  = el  $k$ -ésimo requerimiento de inversión de  $P_j$ ,

$b_k$  = la  $k$ -ésima restricción presupuestal para todos los proyectos seleccionados,

$k$  = el  $k$ -ésimo punto en el tiempo en donde se expresan requerimientos de inversión cuantitativos por proyecto y restricciones presupuestales para todos los proyectos, y

$x_j$  = una variable binaria o de decisión ( $x_j = 0$ , si  $P_j$  se rechaza, de lo contrario  $x_j = 1$ ), todo esto para los valores señalados de  $j$  y  $k$  en el modelo ( $j=1, 2, \dots, n; k=0, 1, \dots, m$ ).

Éste es el caso más sencillo de la programación de inversiones en donde, al intentar maximizar el  $VPN$  total de la inversión (la función objetivo  $z$ ), todos los parámetros son no negativos y sólo se toman en cuenta restricciones presupuestales. A su vez, el caso más simple en este tipo de problemas corresponde a  $m = 0$ .<sup>6</sup>

## Evolución de Diferentes Enfoques de la Evaluación y Selección de Proyectos: Breve Desarrollo Histórico

Han existido diferentes corrientes y enfoques para atender el tema de evaluación de proyectos. A continuación se presenta una breve recapitulación histórica, tratando de asociar las técnicas con periodos de tiempo. Si bien existen traslapes, es posible identificar los principales periodos con sus aportaciones.

---

<sup>6</sup> Para  $m=0$ , este problema fue denominado por Dantzig en 1957, como el "problema de la mochila". Dantzig especificó una regla de inspección directa para obtener la solución óptima del problema continuo (dejando que las  $X_j$  tomen cualquier valor en el intervalo  $[0,1]$ ), indicando que la solución redondeada hacia abajo debía ser satisfactoria [Gamboa, 2002]. Trabajos previos de Lorie y Savage en 1955 apuntaban a la misma recomendación. Más tarde, en 1963, Weingartner [1963] fue el primero en identificar el racionamiento de capital como un problema de programación matemática, extendiendo la formulación al "problema de la mochila multidimensional" que podría ser resuelto por cualquier método de programación entera lineal. Otros desarrollos y aportaciones ubican a Ochoa Rosso [1968] en formulaciones para resolver otras aplicaciones de optimización discreta.

---

## **Evaluación Económica y Social (1950-1975)**

En general, en materia de evaluación de proyectos desde el punto de vista de la sociedad, sin soslayar esfuerzos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en la década de los cincuenta, la obra de Little y Mirrlees de 1969 contenía importantes elementos de originalidad y se consideraba que constituía el estado del arte en ese momento dentro de este tema. Enfocaba el ACB para países en desarrollo, como México, y reconocía el valor de recursos escasos como: tierra, trabajo, capital, divisas extranjeras, ahorro y mano de obra calificada, entre otros, y la cuantificación de precios sombra. Previamente, Chenery [1953] había ya señalado la posibilidad de utilizar valores sociales o precios sombra en los proyectos.

En general, la orientación de los autores se enfocaba a mostrar técnicas de evaluación de grandes proyectos del sector industrial, y de la empresa privada. Siguieron muchas otras obras importantes en los setenta, por ejemplo la de Squire y Vander Tak [1975], con énfasis también en el sector industrial, y las contribuciones de Fontaine en Chile [1981].

## **Evaluación con Incertidumbre (1970-1975) y Análisis Multicriterio (1975-1990)**

A la vez que crecía la preocupación por la evaluación de proyectos de alcance nacional, se discutía sobre la aplicabilidad de las técnicas desarrolladas para proyectos individuales y no alejados de empresas productoras de bienes, al reconocerse que los grandes proyectos en general se asociaban con varios objetivos. Surgió entonces la evaluación de proyectos con objetivos múltiples, y frecuentemente en conflicto, basado en la teoría de funciones de utilidad [Raiffa y Keeney, 1976].

En paralelo, y reconociendo las dificultades del carácter “racional” de las decisiones y las dificultades de asignar “pesos” a los factores de ponderación,<sup>7</sup> se dio paso a los análisis y evaluación de proyectos bajo incertidumbre [Hillier, 1963] y de la aplicación de técnicas de investigación de operaciones en la programación de inversiones [Weingartener, 1963; Ochoa Rosso, 1968], con florecimiento de enfoques teóricos y prácticos [Díaz Padilla, 1974]. Más adelante, en el intento de combinar proyectos con indicadores e impactos no sólo cuantitativos sino también cualitativos, aparecieron los Análisis Multicriterio (AMC) utilizando técnicas de agregación de opiniones.

Han sido desarrollados un gran número de métodos de AMC y aplicado para análisis de políticas en diferentes contextos [Munda, 1993b; Nijkamp, 1990]. Dentro de esta familia de soluciones destacan particularmente los denominados métodos Electra<sup>8</sup> [Roy, 1979; Mendoza, 1983].

---

<sup>7</sup> Existen investigaciones recientes en México que incluso tratan con familias de alternativas y relajan el peso de los atributos de decisión. Véase Espinosa Armenta, “*Factores de Peso en Modelos de Decisión Multicriterio*”, Tesis Doctoral, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, UNAM, 1997.

<sup>8</sup> Elimination Et Choix TRaduisant la REalité (Electre).

---

## Los Métodos Costo-Efectividad (1990 a la fecha)

Ante la dificultad que presentaba la evaluación cuantitativa de ciertas políticas públicas y el establecimiento de incentivos económicos para corregir distorsiones de mercado, la década de los años noventa se caracterizó también por la aplicación de los métodos costo-efectividad, para intentar incorporar en mayor o menor medida a las externalidades.

En general, la evaluación de proyectos que involucran el concepto de externalidades se apoya en dos enfoques: el del análisis costo-beneficio (ACB) y el de costo-efectividad (ACE).<sup>9</sup> El primero implica que los beneficios del proyecto pueden ser valuados en términos monetarios, en tanto que el otro generalmente responde a la pregunta de cómo seleccionar un proyecto o acción (por ejemplo, la de menor costo) satisfaciendo un objetivo dado (por ejemplo, de reducción de emisiones, de reducción de accidentes, de reducción de índices de congestamiento, etc.) [Winpenny, 1993].

Por ello, las características intrínsecas de los proyectos a evaluar, particularmente aquellos que involucran la producción de servicios, múltiples actores en el proceso de evaluación y donde la sociedad tiene la última palabra a favor o en contra, han llevado a la conceptualización del proceso de evaluación bajo un enfoque de sistemas<sup>10</sup> [Churchman, 1968], con un énfasis en la desagregación funcional [Ochoa, 1983].

Y es el enfoque de sistemas el que permite identificar, acotar y analizar tanto los efectos directos de los proyectos como las *externalidades*, al reconocerse que los sistemas no funcionan aislados, sino que siempre son parte integrante de un suprasistema mayor al que pertenecen [Ochoa, 1983].

## Efectos Indirectos y Externalidades (1990 a la Fecha)

La cuantificación monetaria de las externalidades empezó a generar mayor interés a principios de los 90, asociado principalmente a la problemática de impacto ambiental [Cropper, 1992] y su incidencia en los daños a la salud (mortalidad y morbilidad). Ya desde fines de los 70 existían planteamientos que valuaban el costo de pérdida de vidas humanas prematuras, con base en análisis estadísticos del valor presente de la producción futura perdida. Con una base similar se calcula hoy en día el costo de la pérdida de vidas humanas de accidentes viales [National Safety Council, 1994].

En efecto, a principios de la década de los 90 empezó a surgir una constante preocupación por los efectos indirectos o externalidades de los proyectos. Como en varios otros aspectos de vanguardia metodológica, fue en el Banco Mundial donde surgieron los primeros

---

<sup>9</sup> La literatura disponible de análisis costo-beneficio y costo-efectividad comúnmente hace referencia, en materia de externalidades, a los aspectos ambientales [Winpenny, 1993]. El enfoque puede ser extendido a las "externalidades" en general, y no sólo a los aspectos ambientales.

<sup>10</sup> De acuerdo con la definición tradicional de los sistemas, se concibe a éstos como un conjunto de partes interrelacionadas que interactúan entre sí para cumplir con una función dada.

---

esfuerzos por atender el tema de las externalidades, focalizando la atención a la problemática de contaminación del aire en zonas urbanas.

Varias ciudades de América Latina fueron objeto de atención prioritaria por parte del Banco Mundial, entre ellas la Ciudad de México [Banco Mundial, Margulis, 1992] y Santiago de Chile [Banco Mundial, Eskeland, 1994].

Puede afirmarse que el tema de externalidades en general, y las relacionadas con tópicos del medio ambiente en particular, dominaron la escena de la investigación y políticas públicas durante la última década. Se cree que seguirá siendo un tema global en ésta, especialmente en los países en desarrollo [Button, K. y Nijkamp, P., 1999].

Gran parte del interés reciente se ha centrado alrededor del tema de salud pública, y específicamente en mejorar la calidad del abastecimiento de agua potable y control sanitario, así como las regulaciones para reducir la contaminación atmosférica y así mejorar las condiciones de calidad del aire, para controlar los precursores del ozono y la emisión de partículas finas por su alto impacto en la incidencia de enfermedades respiratorias. En México, los primeros esfuerzos en este sentido se atribuyen al Instituto Nacional de Salud Pública [1996]. Las preocupaciones de estos efectos llevaron posteriormente a sucesivas publicaciones del Proaire en 1998 y 2000.

El área de valuación ambiental en particular cubre un amplio rango de disciplinas y métodos [Willis, K., Button, K. y Nijkamp, P., 1999] y se ha vuelto una imperiosa necesidad que ha sido llevada a rango de carácter legal en los países desarrollados y otros en proceso de desarrollo en la justificación económica *ex ante* de proyectos, más aun cuando existen de por medio fondos crediticios de entidades financieras multilaterales. La valoración ambiental es una componente importante del ACB de proyectos de inversión en transporte.

Un esfuerzo de particular interés en la monetarización de externalidades, y específicamente orientado a la internalización de las mismas en políticas de transporte, se destaca en la Unión Europea particularmente a mediados de los años noventa, y que ha aterrizado, entre otros esfuerzos, en la Cuenta Económica y Socio-Ambiental del Transporte Terrestre de Viajeros en la Comunidad de Madrid en 1996 [Guerrero García, M. J. y Monzón de Cáceres, A, 2003], siguiendo metodologías reportadas en Francia a principios de los años noventa. No obstante su contribución, se enfocan a una situación estática en el tiempo, requiriéndose de una incorporación dinámica.

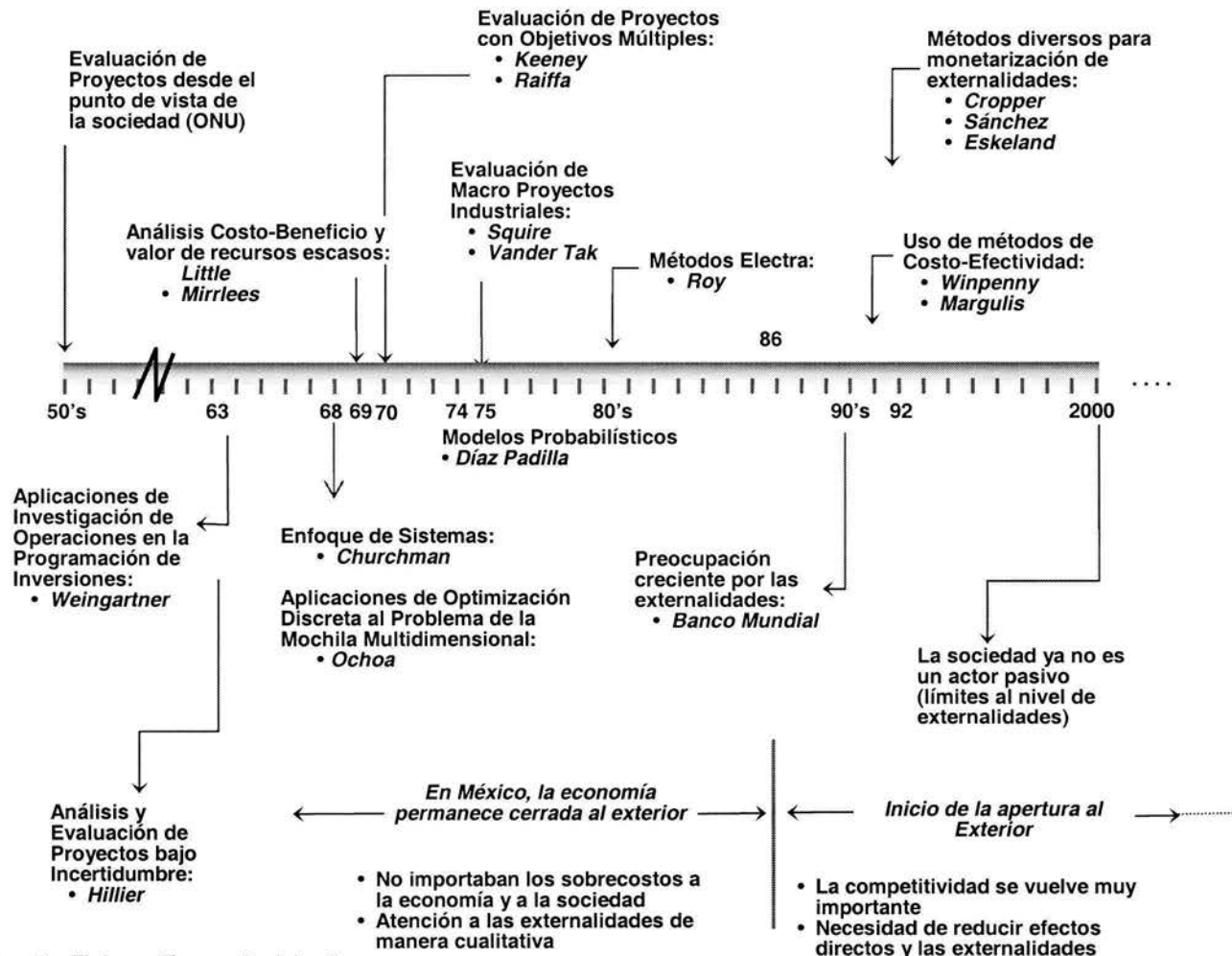
Destacan los esfuerzos del grupo de trabajo de la Conferencia Europea de Ministros de Transporte, publicados en 1998, orientados al establecimiento de criterios para monetarizar externalidades y desarrollar análisis comparativos al interior de varios países de la Unión Europea [ECME, 1998]. Sin embargo, sus valoraciones son conservadoras, basadas generalmente en costos de prevención y control, quizá adecuadas para los países europeos por su alto nivel de desarrollo y muy avanzados en sus procesos de internalización de externalidades, pero de valía más reducida para países como México, o más aún ciudades como la capital mexicana, donde es necesario incorporar el enfoque de los daños evitados,



que pueden situarse en varios órdenes de magnitud superiores a los enfoques derivados del costo de prevención y control.

Estos desarrollos se complementan con acuerdos internacionales relevantes, como las Cumbres de Kioto y Johannesburgo sobre la reducción y el mercado de derechos de emisión de gases efecto invernadero. México se ha adherido a estos acuerdos y actualmente se exploran posibilidades de venta de bonos de carbono en el contexto del Programa de Mejoramiento de Corredores de Transporte Público a base de Autobuses Articulados, que impulsa el Gobierno del Distrito Federal, bajo donaciones y el apoyo financiero del Banco Mundial.<sup>11</sup>

**Figura 1.**  
**Evolución de Diferentes Enfoques Seleccionados de Evaluación Económica de Proyectos**



Fuente: Elaboración propia del autor.

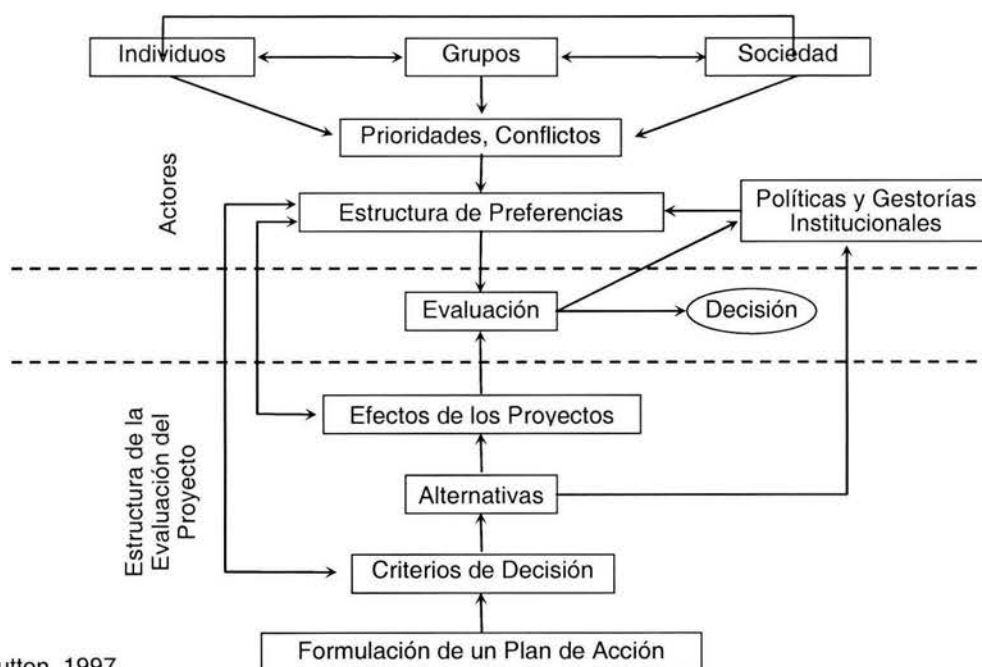
<sup>11</sup> El Gobierno del Distrito Federal, a través de la Secretaría del Medio Ambiente y la Secretaría de Transporte y Vialidad, impulsa el Proyecto de Corredores Estratégicos de Transporte Público. En el último trimestre de 2003 se iniciaron los estudios de factibilidad y elaboración de los proyectos ejecutivos correspondientes al Corredor de Insurgentes y al del Eje 8 Sur.

## Evaluación Monetaria y No Monetaria

Si bien pueden existir variantes según el tipo de problema a resolver, en el contexto del proceso general de inversión, específicamente de la evaluación y selección de proyectos, cuando se involucran externalidades conviene distinguir a su vez dos etapas básicas, denominadas *Análisis de Impactos* y *Análisis de Políticas* [Pearce, 1989; Nijkamp, 1994].

Como lo señala Button [1997], la combinación de estas dos etapas en el contexto de diversas políticas públicas disponibles, así como los diferentes intereses en conflicto entre las partes involucradas, revelan la complejidad del proceso de evaluación requerido.

**Figura 2.**  
**Estructura General de un Problema de Evaluación**



Fuente: Button, 1997.

El proceso de evaluación es una actividad continua durante el proceso de análisis y selección de políticas.

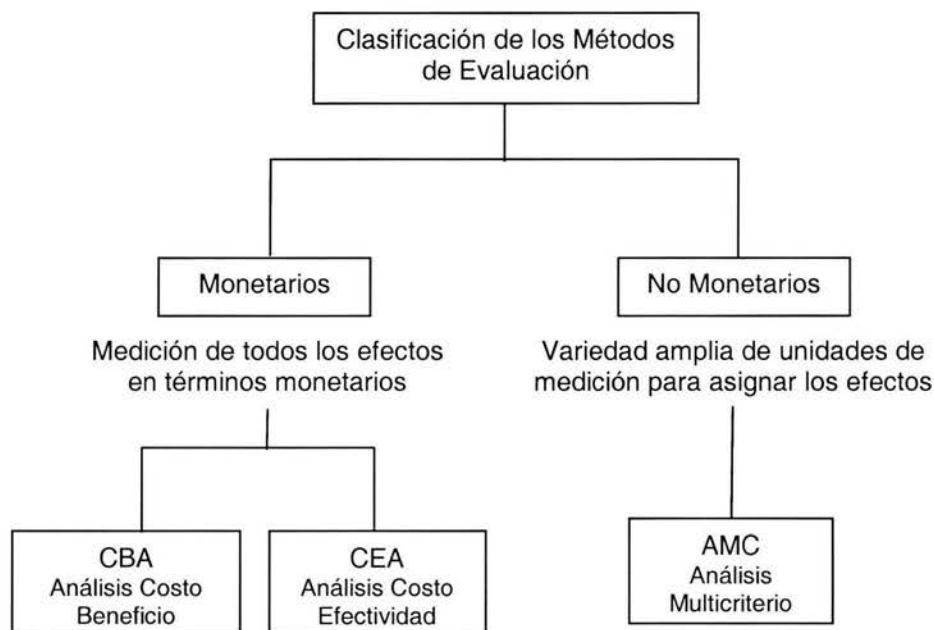
Aunque pueden existir varias clasificaciones sobre los tipos de evaluaciones, permítanos adoptar la siguiente [G. Munda, 1996]:

- **Evaluación Monetaria.** Caracterizada por medir todos los efectos en términos monetarios.
- **Evaluación No-Monetaria.** Utiliza una amplia gama de unidades de medición para asignar los impactos.

---

Los análisis **Costo-Beneficio** (ACB) y **Costo-Efectividad** (ACE) caen generalmente dentro de la clasificación de evaluaciones monetarias [Pearce & Nash, 1989]. Los métodos de **Análisis Multicriterio** (AMC) pertenecen a la familia de los métodos de evaluación no-monetaria.

**Figura 3.**  
**Clasificación de los Métodos de Evaluación**



Fuente: Pearce & Nash, 1989.

En general, los métodos de AMC tienen una alta flexibilidad para tratar con atributos cualitativos en las evaluaciones —(y también cuantitativos aunque no es su orientación principal)— y auxiliar eficazmente en análisis de políticas. La principal ventaja de estos modelos, como lo señalan algunos autores [Munda y Nikjamp, 1999], es la posibilidad de combinar información de naturaleza diversa, relaciones y objetivos distintos de los actores involucrados —y a menudo en conflicto—, de forma tal que la solución a los problemas puede y debe ser estudiada desde diversos puntos de vista. La principal desventaja es que una determinada acción *a* puede ser mejor que una acción *b* de acuerdo con un criterio y totalmente a la inversa con otro. En este caso, el problema se torna matemáticamente indefinido.

Por supuesto que esto no implica que los métodos AMC sean descartados a favor de los ACB. Por el contrario, la naturaleza cada vez más compleja de los problemas a resolver los ubica como *herramientas complementarias* que pueden reforzarse mutuamente, en vez de tratarlos como *métodos competitivos*.

---

Sin embargo, en el contexto de monetarización de externalidades, y en la medida de lo posible, es deseable el uso de los métodos ACB, con sus dificultades intrínsecas de valoración, puesto que todas las consecuencias de una determinada acción son expresadas en términos monetarios homólogos, y los costos y beneficios reducidos a un valor neto homogéneo que puede ser jeraquizado.

## **Los Análisis Costo-Beneficio (ACB) y Costo-Efectividad (ACE)**

El método de ACB correctamente aplicado puede combinar con rigor el balance entre los costos de una acción y sus beneficios, usando los indicadores incluidos en el Capítulo I.<sup>12</sup>

El método ACE se aplica generalmente donde los beneficios no pueden ser medidos o en circunstancias en las que se requiere elegir la acción más eficiente (por ejemplo, la de menor costo) para alcanzar un objetivo ambiental o de seguridad predeterminado (reducción de un cierto nivel de emisiones, reducción de accidentes mortales, etc.), o de entre opciones de costo similar para elegir la más efectiva en reducción de externalidades [Winpenny, 1993].

En la práctica, el problema radica en la definición y cumplimiento de los objetivos de los proyectos. En aquellos casos en que no se pueden especificar claramente los objetivos, o donde las opciones a comparar resuelven el proyecto de manera diferente, el método ACE se torna ambiguo. Cuando un proyecto tiene varios objetivos y hay diferentes opciones que satisfacen de mejor manera que otras los objetivos, el indicador ACE no necesariamente indica la opción que supera a las demás.

Por ejemplo, considérese por un instante para la Ciudad de México que el objetivo fuese el de reducir la contaminación de hidrocarburos (HC) y para ello se tienen tres medidas para lograr tal objetivo:

Las medidas son:

1. Ampliación de la red del metro;
2. Ampliar la red de trolebuses;
3. Construir anillos y corredores metropolitanos.

La siguiente tabla muestra la matriz de impactos en reducción de HC al medio ambiente (en ton/año) y el Índice Costo-Efectividad en Miles de dólares/ton/año para cada medida:

---

<sup>12</sup> Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Neto (VPN), Relación Beneficio-Costo (B/C) y Período de Recuperación de la Inversión (PP), como se describe en el Capítulo I.

**Tabla 1.**

**Indicadores Costo-Efectividad asociadas a la Reducción de Hidrocarburos en la Ciudad de México**

Medida	Umbral Máximo	Inversión (millones de US\$ dólares)	B/C	Costo Anual Equivalente millones de US\$ dólares)*	Reducción Anual de HC (ton/año)	Índice Costo-Efectividad ('000 US\$/ton/año)
Ampliación de la Red del Metro	76 km	4 023	1.11	523.0	2 841	184.1
Ampliar la Red de Trolebuses	1192 km	4 447	1.07	578.2	16 690	34.0
Construir Anillos y Corredores Metropolitanos	241 km	536	0.50	69.8	1 388	50.3

\* El Costo Anual Equivalente está calculado a 20 años al 12% anual real.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de COMETRAVI, 1998.

Desde el punto de vista del Índice Costo-Efectividad la medida más efectiva es la ampliación de la red de trolebuses.

Considérese ahora que el objetivo fuera reducir el monóxido de carbono (CO). En este caso la matriz de impactos es la siguiente:

**Tabla 2.**

**Indicadores Costo-Efectividad asociadas a la Reducción de Monóxido de Carbono en la Ciudad de México**

Medida	Umbral Máximo	Inversión (millones de US\$ dólares)	B/C	Costo Anual Equivalente (millones de US\$ dólares)*	Reducción Anual de CO (ton/año)	Índice Costo-Efectividad ('000 US\$/ton/año)
Ampliación de la Red del Metro	76 km	4 023	1.11	523.0	9 375	55.6
Ampliar la Red de Trolebuses	1 192 km	4 447	1.07	578.2	56 644	1.0
Construir Anillos y Corredores Metropolitanos	241 km	536	0.50	69.8	15 085	0.5

\* El Costo Anual Equivalente está calculado a 20 años al 12% anual real.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de COMETRAVI, 1998.

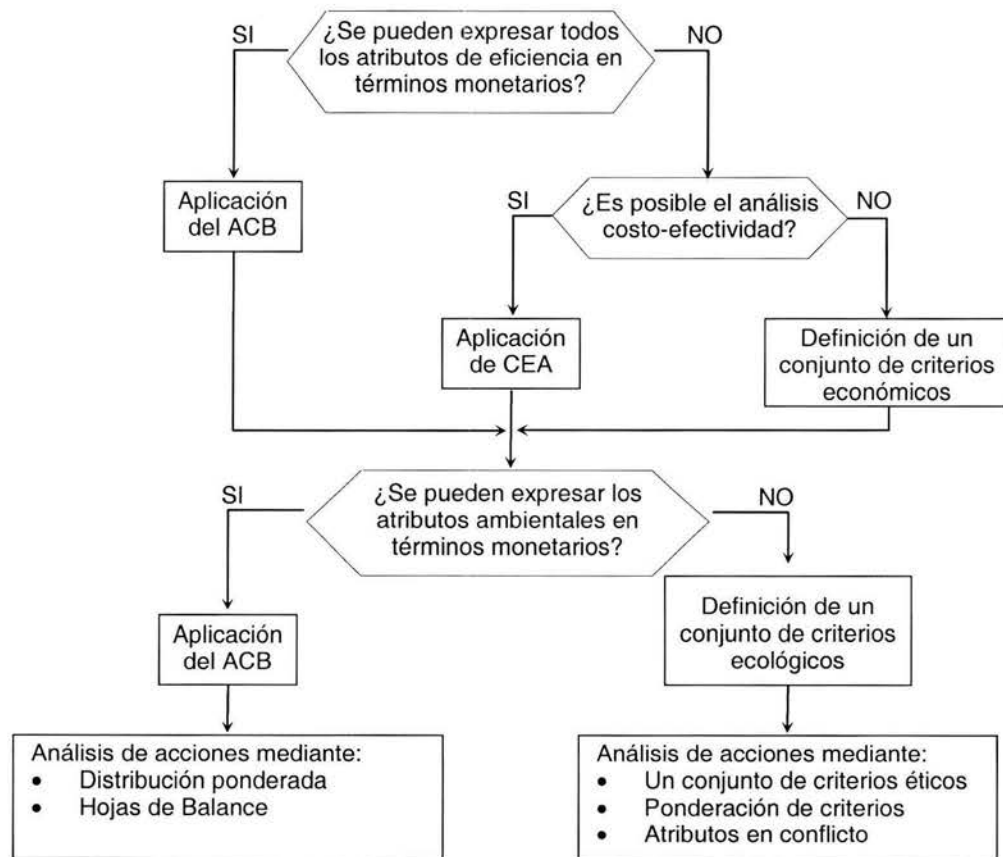
Para el nuevo objetivo, la medida a impulsar es la construcción de anillos y corredores metropolitanos, diferente a la anterior.

Si ahora el objetivo fuera maximizar la relación Beneficio/Costo para los usuarios del transporte, la medida que ofrece el mayor índice es la ampliación de la red del Sistema de Transporte Colectivo Metro, seguido de la ampliación de la red de trolebuses. Ambas opciones, sin embargo, requieren 7.5 veces más inversión que la construcción de anillos metropolitanos. En términos de usuarios beneficiados, la jerarquización sería también diferente.

En todo caso, como lo propone Van Pelt [1993] y señalan Munda, Nijkamp y Rietveld [1995], en su árbol de decisión para elegir el método más adecuado para evaluar proyectos que incorporan criterios de eficiencia, equidad y sustentabilidad, es el tipo de información disponible sobre los atributos la que orienta finalmente la elección del método de evaluación.

Como se indica en la figura, si los atributos (ambientales en este caso) no pueden ser expresados en términos monetarios, el uso del AMC es elegido. Sin embargo, si los atributos de eficiencia pueden expresarse parcial o totalmente en términos monetarios, el ACB o el ACE pueden integrarse con un AMC.

**Figura 4.**  
**Un Camino para Escoger entre Distintos Métodos de Evaluación**



Fuente: Munda, Nijkamp y Rietveld, [1995].

## Uso del ACB para esta Investigación

En ésta investigación nos concentraremos en el ACB. Esto implica que se pueden identificar los beneficios y costos y ser monetarizados, se puede escoger una tasa social de descuento, un horizonte de evaluación y un criterio para compatibilizar la corriente de beneficios y costos.

En otras palabras, se cumplen los siguientes principios:

1. El ACB está basado en el enfoque neoclásico de *maximización de la utilidad*, con una clara *estructura de preferencias* y completamente *transitivas*.
2. Se utiliza un *criterio único* para determinar la solución, si existe, basado en *indicadores* de la evaluación como el VPN, la TIR, B/C y PP.
3. Por ello, todas las consecuencias de una determinada acción son expresadas en términos *monetarios homologables*, y los costos y beneficios reducidos a un *valor neto* que puede ser “*ranqueado*”.

De la última consideración se desprenden varias complicaciones cuando se trata de aplicar técnicas correctas de valuación para *monetizar* todos los conceptos de beneficios y costos, más aún de los “*bienes públicos*” como la reducción de emisiones al medio ambiente, el ruido, los accidentes y muchos otros conceptos de difícil reducción a términos estrictamente monetarios.

En este orden de ideas, el problema que se aborda en esta investigación consiste en adicionar a los beneficios tradicionales de un proyecto de inversión  $X_j$  los correspondientes a la reducción o potenciación de externalidades, denominado usualmente  $BE_j$  de un proyecto de inversión  $X_j$ , denominado aquí  $VPNE_j$ , para considerar explícitamente a las externalidades y así el beneficio neto total.

Se propone considerar la siguiente estructura:

$$VPNE(X_j) = \sum_{k=0}^N F_k(X_j)/(1+i)^k + \sum_{e=1}^E \sum_{k=0}^N [\omega_{ek} - \lambda_{ek}] R_{ek}(X_j)(1+r)^k$$

donde:

- $VPNE(X_j)$  = Valor Presente Neto de  $X_j$  incluyendo beneficios tradicionales y externalidades;
- $F_k(X_j)$  = Vector de flujos netos de  $X_j$  de beneficios tradicionales;
- $N$  = Número de periodos de evaluación;
- $i$  = Costo de capital para descontar los flujos netos de beneficios tradicionales;
- $\omega_{ek}$  = Beneficio unitario externo por unidad física de reducción o potenciación de la externalidad  $e$  en el periodo  $k$ , calculado a partir de cualquier método de monetización de externalidades;
- $\lambda_{ek}$  = Costo unitario de oportunidad interno por unidad física de utilizar la externalidad  $e$  en el periodo  $k$  para generar los beneficios tradicionales;
- $R_{ek}(X_j)$  = Vector conteniendo el monto total de la reducción física de la externalidad  $e$  en el periodo  $k$  dado  $F_k$ ;
- $r$  = Costo de capital para descontar los beneficios por reducción de externalidades
- $e$  = Externalidad  $e$  ( $e=1$  a  $E$ );
- $E$  = Número de externalidades.

---

Se asume aditividad entre los beneficios tradicionales y los derivados de la reducción o potenciación de externalidades, pero descontados a tasas de descuento que no necesariamente tienen que ser iguales, siendo generalmente  $r < i$ .<sup>13</sup>

El procedimiento general propuesto se describe en el Capítulo V. Deriva coeficientes de monetarización por unidad de reducción de las externalidades en función del beneficio o daño externo generado o evitado, calculados a partir de cualquier método de monetarización de externalidades, y del costo de oportunidad interno calculado a partir de la programación matemática.

---

<sup>13</sup> La tasa de descuento juega un papel muy importante en la homologación de beneficios netos a valor presente en un proyecto de inversión. Cuando se trata de beneficios tradicionales directos monetarios, se acepta generalmente que el valor relativo de un flujo en el tiempo  $t+1$  tiene un menor valor relativo que un flujo en el año  $t$ . Cuando se consideran externalidades futuras, cuya naturaleza involucra la consideración de daños o beneficios a generaciones futuras, condicionadas por decisiones en el presente, no necesariamente la consideración de los flujos en el año  $t+1$  es menor en valor a los del año  $t$ . En esencia deberían ser al menos de igual valor relativo en el tiempo  $0$ , en una consideración de equidad y responsabilidad con las generaciones futuras, los valores en  $t+1$  deberían ser mayores a los de  $t$ . En investigaciones recientes del Banco Mundial se han utilizado tasas del 3% anual.



---

## II. METODOLOGÍAS PARA LA MONETARIZACIÓN DE EXTERNALIDADES

### Conceptualización General

#### Externalidades

Algunos autores [Fontaine, 1995] definen a los efectos indirectos o externalidades como todos aquellos cambios en las producciones de bienes y servicios que no fueron considerados en la correcta determinación de los precios sociales. Esto es, de todos aquellos bienes cuya producción o consumo no están directamente asociados ni con el proceso productivo ni con la mayor disponibilidad de lo producido por el proyecto. En otras palabras, que no pertenecen al entorno cercano al proyecto, pero sí al entorno en su concepción sistémica.

Para los efectos de esta investigación, tomando como referencia a éste y otros autores, las externalidades se entenderán como:

***“Aquellos efectos deseables o indeseables que un proyecto de inversión causa a la sociedad y que no se encuentran reflejados en el precio de los bienes y servicios derivados del mismo”.***

Generalmente se trata de “bienes públicos” que tienen *valor* pero que no están sometidos a operaciones de mercado; por tanto, carecen de *precio*. Asociado con las externalidades se menciona usualmente el término *monetización*, que aquí se utilizará como a continuación se precisa.

#### Monetización

***“Proceso de asignar valor monetario a los bienes públicos para integrarlos a indicadores comparables en el contexto de análisis costo-beneficio”.***

Existen una variedad de enfoques en la literatura para definir y medir las externalidades. Es posible que los inicios de la introducción del término dentro de la teoría económica se remontan dos siglos atrás y se atribuyan a A. Marshall [1890] y A.C. Pigou [1917]. La definición era confusa y no quedaba claro bajo qué condiciones las externalidades distorsionaban el mercado.

Artículos recientes ponen de manifiesto que existe una amplia confusión en materia económica en la utilización de términos y conceptos relacionados con las externalidades, como lo indican Rothengatter [1996] y Camarero Uribe [1999].

---

En general, los impactos de un proyecto pueden clasificarse como internos o externos, dependiendo del nivel de agregación o desagregación sectorial o espacial bajo análisis. Por ejemplo, si se toma en el extremo a un individuo como referencia, los daños que unos usuarios del transporte causan a otros serían externos —en el caso de la congestión de tránsito—. Si por el contrario se considera al sector transporte en su conjunto, los daños entre usuarios serían internos y serían externalidades cuando estuvieran afectando a otro sector o sistema diferente. Algunos autores como Litman [1995] identifican el término *costo-beneficio social* con el término *costo-beneficio externo*. Otros como Azqueta y Quinet [1996] establecen una clara distinción considerando como costo social aquello que es absorbido por la sociedad en su conjunto, incluyendo una parte interna y otra externa. Esta última es la que corresponde a los impactos no cubiertos por quien los ha generado sino por terceros, sin compensarlos de modo alguno.

En este orden de ideas, pueden considerarse como *externalidades*<sup>14</sup> aquellos impactos positivos o negativos de forma tal que:

- Afectan a terceros fuera del sistema bajo análisis,
- No son compensados por pago alguno,
- Carecen de precio de mercado.

El término puede usarse para bienes privados o públicos. Los primeros son consumidos por algunos individuos, con posibles diferencias en cada caso en particular, en tanto que los segundos son consumidos por todos los individuos —la sociedad—, teóricamente en cantidades iguales.

Así, se rompen las suposiciones de la teoría sobre la competencia perfecta y eficiencia económica, y no se cumplen las condiciones de eficiencia de Pareto. Esto es, de maximizar la utilidad de cualquier individuo dado que la utilidad de los otros individuos no decrece.

## **Clasificación de las Externalidades en Sistemas de Transporte Urbano**

Para el caso específico de externalidades en el sector transporte Rothengatter [1996] ha propuesto varias acotaciones. Las que se consideran más relevantes son las siguientes:

---

<sup>14</sup> En el caso de los "bienes públicos", cuando es prácticamente imposible que la gente pague por los beneficios que de ellos se derivan, se crea una distorsión al generarse una oferta de bienes sin competencia en el consumo, no compensada por una economía de precios de mercado, creándose ineficiencia. El término usado en economía para esto es "externalidad".

**Tabla 3.**  
**Acotaciones sobre las Externalidades del Transporte**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Las externalidades son efectos causados por actividades fuera del mercado.</li> <li>2. Las externalidades ocurren si diferentes agentes usan conjuntamente un recurso cuyos derechos de propiedad no están definidos y al menos una parte prefiere un arreglo contractual.<sup>15</sup></li> <li>3. Una externalidad es llamada relevante, si significativamente afecta la eficiencia adaptativa de la economía de mercado.</li> <li>4. Los costos no recuperados de la infraestructura son externalidades. Los cargos de estos costos a los operadores de sistemas ferroviarios o a los usuarios del sistema vial están justificados por la parte evitable de los costos de infraestructura.</li> <li>5. Los costos de congestión son externalidades desde el punto de vista de los usuarios simples, pero no desde el punto de vista de un club de usuarios. Son indicados como una ineficiencia interna de ese sector.</li> </ol>
--

**Tabla 4.**  
**Externalidades Negativas y Positivas en el Sector Transporte:**

Externalidades Negativas	Externalidades Positivas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación atmosférica (local, regional y global),</li> <li>• Ruido y vibración,</li> <li>• Efecto barrera e intrusión visual,</li> <li>• Accidentes (al menos la parte no recuperada),</li> <li>• Uso del suelo,</li> <li>• Generación de residuos sólidos,</li> <li>• Contaminación al agua,</li> <li>• Otros:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Impacto sobre la biodiversidad</li> <li>○ Impacto sobre especies en proceso de extinción</li> <li>○ Contaminación de agua y suelo</li> <li>○ Impacto sobre la intrusión visual de áreas naturales, áreas naturales de reserva y áreas protegidas.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puesta en valor en el tiempo y el espacio de las necesidades de los individuos,</li> <li>• Ahorro en tiempo de tránsito, en su caso,</li> <li>• Mejora de conectividad,</li> <li>• Accesibilidad,</li> <li>• Apoyo a la competitividad, en su caso,</li> <li>• Mejora en la calidad de vida (ejemplo de casos exitosos de desarrollos orientados al transporte),</li> <li>• Otros.</li> </ul>

Los costos de infraestructura no recuperada y la congestión vehicular pueden tipificarse también dentro de las externalidades.

**Tabla 5.**  
**Otras Externalidades: Infraestructura no Recuperada y Congestión Vehicular**

<p><b>Infraestructura No Recuperada:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere una clara separación de los servicios públicos y comerciales para deducir la parte pública no recuperada. Cuando hay vías disponibles y libertad de elección no debería considerarse. Ni tampoco en el caso de infraestructura de cuota concesionada, a menos que existan recursos públicos no recuperables (por ejemplo, el denominado rescate carretero en México).</li> </ul> <p><b>Congestión Vehicular:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se define como el costo adicional de consumo de tiempo y costos de operación vehicular para los usuarios de una vialidad, causado por la entrada de un vehículo adicional. Desde el punto de vista del usuario que está en el sistema y es afectado por el nuevo entrante sí constituye una externalidad y debería recibir una compensación. Pero desde el punto de vista del sistema, la condición se extiende a todos los usuarios de la vía congestionada.</li> <li>• Al menos en México, lo que hacen los autos particulares al invadir carriles exclusivos para transporte público, violación a indicaciones de semáforos y obstrucción de la vialidad, y el comportamiento de los minibuses en relación con el resto de usuarios de la infraestructura del transporte, si pueden considerarse como externalidades (paradas indiscriminadas, invasiones de carril, obstrucción de la vialidad, nulo apego a reglamentaciones, etcétera).</li> </ul>
---

<sup>15</sup> Este punto causa controversia, puesto que no es necesario esperar a que la institucionalización de los derechos privados resuelva el problema, siendo necesario valorar sus servicios, exista o no un mercado para ellos.

---

**Tabla 6.**

**Externalidades Negativas más Importantes de Transporte**

Aun cuando cada caso debe analizarse en particular, diversos estudios publicados por ECME [1998], coinciden en apuntar los siguientes conceptos como los más relevantes en materia de externalidades del transporte, y con posibilidades de realizar comparaciones en el ámbito internacional:

- Contaminación atmosférica local y regional,
- Contaminación global (gases efecto invernadero),
- Ruido y vibración,
- Accidentes,
- Congestión de tráfico,
- Uso del suelo para el transporte.

## **Introducción a los Métodos de Monetización de Externalidades**

Como se indicó en el Capítulo I, el ACB trata de evaluar todos los efectos de un proyecto en términos monetarios.

Para ello, es fundamental valorar de igual manera todos los conceptos en términos monetarios. La literatura disponible discute la forma como deben tratarse las *externalidades*, pudiendo ser tangibles (como emisiones al medio ambiente o ruido) o intangibles (paisaje) donde generalmente no existen valores expresados en cantidades físicas medibles. Esto no ha limitado su modelación para efectos de valuación en términos monetarios.

Es importante señalar, sin embargo, que en general la valuación de “bienes que no tienen un mercado” no es una ciencia exacta. Aun donde en teoría existe competencia perfecta y los bienes están sujetos a transacciones de mercado, se reconoce la variabilidad de los precios que asume el mercado, porque pueden estar sujetos a condiciones específicas de oferta y demanda, puntuales en un tiempo dado, y no necesariamente pueden sostenerse en el largo plazo.

No obstante, inclusive con amplios rangos de variación en la cuantificación del orden de magnitud de las externalidades, los valores obtenidos bajo los métodos disponibles pueden ser muy útiles. Ciertamente, ante el reconocimiento del problema, es preferible un valor dentro de ciertos límites que un valor de cero, que es el valor implícito si el efecto es ignorado.

Los métodos descritos más adelante pueden tipificarse en tres grandes categorías:

### *Costo de Oportunidad*

Los primeros enfoques en la década de los años sesenta orientaban los esfuerzos de valuación del medio ambiente y otras externalidades en términos de su *costo de oportunidad* a la sociedad, generalmente asignándoles valor en términos de producción futura perdida.

---

## Valuación Contingente

Otra corriente, identificada con Davis [1963], introdujo los denominados Métodos de Valuación Contingente (MVC), reconociendo que dichos “bienes” afectan la utilidad de las personas como miembros de la sociedad, más allá del concepto de costo de oportunidad. Véase Cummings [1996].

Las aplicaciones iniciales del MVC se centraron en la disposición a pagar por los individuos para asistir a un determinado sitio de recreación. Mediante el uso de encuestas de preferencias se inquiría a los individuos sobre si estarían dispuestos a pagar \$X cantidad por acceder al destino. Si la respuesta era afirmativa, la cantidad se incrementaba hasta que la respuesta se volvía negativa. De esta forma, la más alta cifra con respuesta afirmativa se convertía en la “máxima disposición a pagar”.

## Ordenamiento y Control

Recientemente las técnicas de valoración se han insertado dentro de un contexto de análisis de políticas y mecanismos de *ordenamiento y control*. Este enfoque domina actualmente los temas de gestión del medio ambiente apoyados por impuestos o subsidios en un sistema de mercado. La literatura disponible señala [Mirrlees, 1996; Luenberger, 1995] varias de las formas como se intentan corregir, por ejemplo, las distorsiones de mercado [impuestos, subsidios, tarifas, cuotas] o rentas económicas y consumo excedente.

El pago por compensación de las restricciones ambientales se basa típicamente en los costos de la producción futura perdida, y los límites de control generalmente se expresan en cantidades físicas medibles.

La literatura disponible [Willis, Button y Nikjamp, 1999] permite hacer un inventario de los métodos o enfoques actualmente disponibles para monetarizar las externalidades. Estos se enfocan principalmente a las externalidades producidas al medio ambiente, pero el concepto se puede generalizar.

Los métodos disponibles son:

**Tabla 7.**  
**Métodos Disponibles para Monetarizar Externalidades**

Costos de Oportunidad	Valuación Contingente	Ordenamiento y Control
<ul style="list-style-type: none"><li>Método de los daños evitados</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Métodos de Disposición a Pagar (WTP) o Disposición a Aceptar (WTA)<sup>16</sup></li><li>Precios Hedónicos<sup>17</sup></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Método del costo de mitigación</li><li>Método de los costos de compensación<sup>18</sup></li><li>Método de los costos de Prevención y control</li></ul>

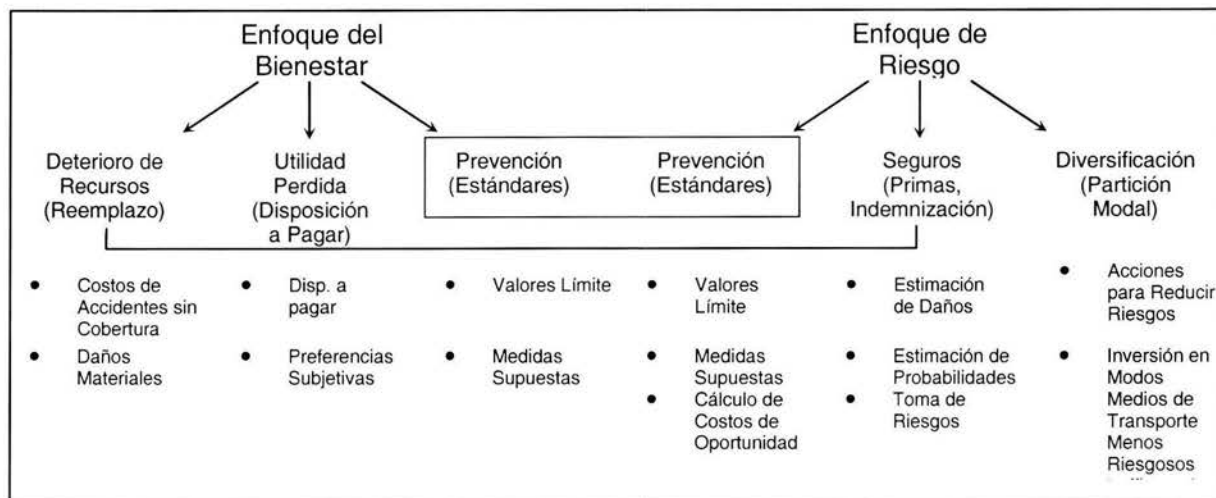
---

<sup>16</sup> Por sus siglas en inglés: WTP=Willingness To Pay; WTA= Willingness To Accept.

<sup>17</sup> Algunos autores hacen referencia a este método como el Método del Costo de Viaje o de Preferencias Reveladas.

<sup>18</sup> Más que un método de monetarización de externalidades se trata de una forma de internalizarlas.

**Figura 5.**  
**Clasificación de los Enfoques de Monetización de Externalidades**



Fuente: Rothengatter, 1996.

Rothengatter [1996] propone la siguiente clasificación particular para evaluar las externalidades del transporte:

Éstos se pueden visualizar bajo dos enfoques: el del bienestar o el de riesgo. El primero parte del supuesto de una bien definida función de bienestar y considera que los impactos futuros pueden ser pronosticados con suficiente precisión. El enfoque de riesgo supone que existe una alta incertidumbre sobre los impactos futuros de las principales externalidades.

Los daños pueden ser infinitamente elevados en el caso del fenómeno del calentamiento global, por ejemplo, y aunque es muy importante dar una estimación precisa de dichos daños o estimar la disposición a pagar de la sociedad para reducirlos, es más importante desarrollar conceptos para reducir el riesgo.<sup>19</sup>

## Metodologías de Monetización de Externalidades

### Método de los costos evitados o inducidos (funciones dosis-respuesta).

Ofrecen información sobre cómo un cambio en una variable afecta a cada elemento del sistema. Por ejemplo, cuando se exceden las emisiones al medio ambiente en una ciudad y se declaran días de contingencia ambiental, es usual que se presenten incidencias en enfermedades respiratorias, o incluso muertes. Las estadísticas correspondientes generalmente se obtienen de las instituciones hospitalarias, midiendo las fluctuaciones diarias en muertes, admisiones hospitalarias y síntomas respiratorios asociados a las fluctuaciones en los niveles de concentración de contaminantes. Las series disponibles en

<sup>19</sup> En esta investigación el énfasis se ha puesto en el enfoque del bienestar, más que en el de riesgo.

---

México y otros países han revelado los efectos de varios contaminantes (PM10, ozono, CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>).

Mediante técnicas de análisis estadístico se tratan de establecer las relaciones causa-efecto correspondientes, en ocasiones sin éxito, dada la dificultad para establecer una relación precisa entre el incremento físico de las emisiones y el incremento de los daños. Por consiguiente, se dificulta la elaboración de los diagnósticos causa-efecto y la modelación respectiva.

Usualmente los costos de contaminación ambiental generados por el transporte (TRIP,<sup>20</sup> 2000) se calculan modelando la cadena causa-efecto entre el tráfico y los costos sociales en cuatro pasos:

**Tabla 8.**  
**Modelación causa efecto entre el Tráfico y los Costos Sociales**

1. Tráfico → emisiones al medio ambiente	(factor de emisiones)
2. Emisiones → población expuesta	(factor de exposición)
3. Población expuesta → daños a la salud	(factor de daño)
4. Daños a la salud → costos sociales	(valuación monetaria)

### **Método de preferencias declaradas o valoración contingente (disposición a pagar)**

Este método es considerado como uno de los más importantes para valuar los bienes ecológicos y otras externalidades [Mitchel y Carson, 1989; Pearce y Markandya, 1989]. Trata de obtener la opinión de los individuos sobre la disposición a pagar por un determinado bien social o ambiental, en función de la percepción que los individuos o la sociedad tienen sobre la importancia de dicho bien. Su determinación se apoya generalmente en encuestas de opinión, para las que es muy importante el tipo y nivel de información que se suministra a los encuestados.

En efecto, descripciones diferentes del bien ecológico [Hoevenagel, 1992] pueden conducir a interpretaciones diferentes del mismo y, por consiguiente, a una valoración distinta. Diferencias pequeñas en la descripción no tienen efectos significativos.

Varias críticas se han hecho a este enfoque, pero es muy probable que sea una de las únicas formas de dar valor a bienes de difícil valorización. Como lo señala Hoevenagel [1992], por la naturaleza misma de las externalidades, en tanto bienes que tienen valor pero carecen de precio por no estar sometidas a operaciones de mercado, se trata de simular la “creación de un mercado hipotético”, realista y alcanzable, de dichos bienes o externalidades, con una descripción precisa de su utilidad y consecuencias, y un método de pago claramente definido.<sup>21</sup>

---

<sup>20</sup> Centre for **T**ransport **R**esearch on environmental and health **I**mpacts and **P**olicy.

<sup>21</sup> Una forma muy usada de expresar la estructura es la siguiente: Sea V (Y,P,N,Q) una función de utilidad individual indirecta de personas en una sociedad, donde: Y= Vector del ingreso monetario de los individuos; P= Los precios de los bienes y

---

Bajo este enfoque se han llegado a valorar bienes ecológicos como la calidad del aire. En una encuesta telefónica conducida en Utha, Estados Unidos, el bien a valorar se refirió a “*un aire limpio para el 2015*”. Se incluyeron diferentes formas de descripción del producto y se encontraron respuestas diferentes, matizadas por el nivel de ingreso, edad, educación, medio rural y urbano. Usualmente, este tipo de encuestas requieren un diseño muestral adecuado, apoyos de información, comunicación a la sociedad y un extenso trabajo de procesamiento, validación, interpretación y síntesis, acompañado de análisis multivariados y extensas pruebas de hipótesis.

Una complicación adicional se presenta con la valoración de los bienes de tipo pasivo [Cropper, 1993]; es decir, de aquéllos cuyo goce o disfrute pueden no estar a la mano de la persona o nunca tener interés en disfrutarlo, pero sí en que estén en condiciones deseables para la mayoría de las personas.

Por ejemplo, el deseo de que se preserven los bosques tropicales, aunque nunca sean visitados.<sup>22</sup> Particularmente, en este punto han surgido debates en torno al denominado problema del bien implícito (*embedding problem*) y en torno a que en realidad se está comprando una “moral pública”, más que valorar un bien en forma contingente.<sup>23</sup>

Un panel de expertos organizado por la Administración Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA), ha recomendado el uso de valuación contingente en bienes de uso pasivo, si se observan las siguientes condiciones [Cropper, 1993]:

**Tabla 9.**  
**Condiciones Recomendadas para el uso de Valuación Contingente**

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. El encuestado debe estar informado sobre el bien ambiental que se va a valorar, incluyendo el rango completo de sustitutos disponibles.</li><li>2. El sistema de pago debe definirse con precisión, enfatizando la restricción presupuestaria.</li><li>3. Si es posible, la elección debe enmarcarse en un contexto de referéndum que sea familiar para los encuestados.</li></ol> |
|---|

Regresando al tema de valoración de vidas humanas, el enfoque de la valuación contingente considera la cantidad que un individuo está dispuesto a apagar por reducir su probabilidad

---

servicios; N= Otros factores económicos, demográficos y sociales que pueden influir en la disposición a pagar por los bienes y servicios, y Q= Las características específicas del bien de interés. El resultado que se busca es el “cambio en la disposición a pagar” (WTP) por cambios en los atributos de Q.

<sup>22</sup> Dado que estos bienes, por definición no están relacionados con datos del mercado, la estimación de valores de contingencia para los mismos ha sido objeto de gran controversia. Las preocupaciones se agrupan en una de tres categorías: 1) la naturaleza hipotética de las preguntas, 2) la dificultad de que los encuestados entiendan lo que se les está preguntando y lo que deben valorar, y 3) la tendencia de las personas a valorar y agrupar todos los bienes de una clase en un solo grupo, en lugar de referirse sólo al bien en estudio.

<sup>23</sup> Algunos autores como Kahneman y Knetsch [1992] en su artículo “*Valuing Public Goods: The Purchase of Moral Satisfaction*”, *Journal of Environmental Economics and Management* 22, pp. 57-70, han cuestionado seriamente el denominado efecto del bien implícito (“*embedding*”). La argumentación se apoya en que si dos grupos de personas son entrevistados para conocer su disposición a pagar, uno para un bien ambiental definido en forma muy específica y otro en forma muy amplia, la disposición a pagar es muy parecida, al englobar el primer bien en la categoría más amplia. Entonces es posible que en estos casos la valuación contingente refleje la disposición a pagar por la satisfacción moral de contribuir a la preservación de los bienes públicos, no al valor económico de estos bienes.



---

de muerte. Este enfoque sigue de cerca de los montos pagados por las compañías de seguros en casos de una muerte accidental. Sin embargo, de nuevo se presenta la interrogante de que las sumas aseguradas dependen de la capacidad real de pago de la persona asegurada, es decir del ingreso, teniendo el sesgo para la pregunta fundamental de cuánto vale una vida humana.

### *La Controversia WTP vs. WTA*

Una variante de la valuación contingente es la Disposición a Aceptar (WTA). En tanto que el WTP es la máxima cantidad que un individuo está dispuesto a pagar por que un determinado bien o servicio esté en condiciones apropiadas (por ejemplo, la calidad del aire), el WTA es la mínima cantidad que estaría dispuesto a aceptar por tolerar el nivel inapropiado del bien (por ejemplo, la calidad del aire).

La literatura consigna ejemplos de ambos enfoques, concluyendo que, por lo general, el  $WTA > WTP$  [Cummings, 1986]. En el campo de la psicología se ha argumentado que la gente es mucho más aversa a perder que a atraer una ganancia equivalente, y ello parece explicar las diferencias.

### **Método de los precios hedónicos/costo del viaje**

Analiza las características de complementariedad entre bienes sociales/del medio ambiente y bienes privados que tienen precio de mercado. Intentan explicar todos los atributos del bien que determinan su precio, generalmente mediante ecuaciones de regresión de variables. El cálculo de los coeficientes que explican el peso relativo de las distintas variables da idea de las diferencias atribuibles a cada componente o variable. A este método se le conoce también como el método del “costo del viaje”.

Típicamente, la forma usada para una ecuación de precios hedónicos es la siguiente, como se ha expresado en diferentes artículos, por ejemplo, Johnson, Jackson, y Kaserman [1984]:

$$V = C + \sum_i B_i X_i,$$

donde:

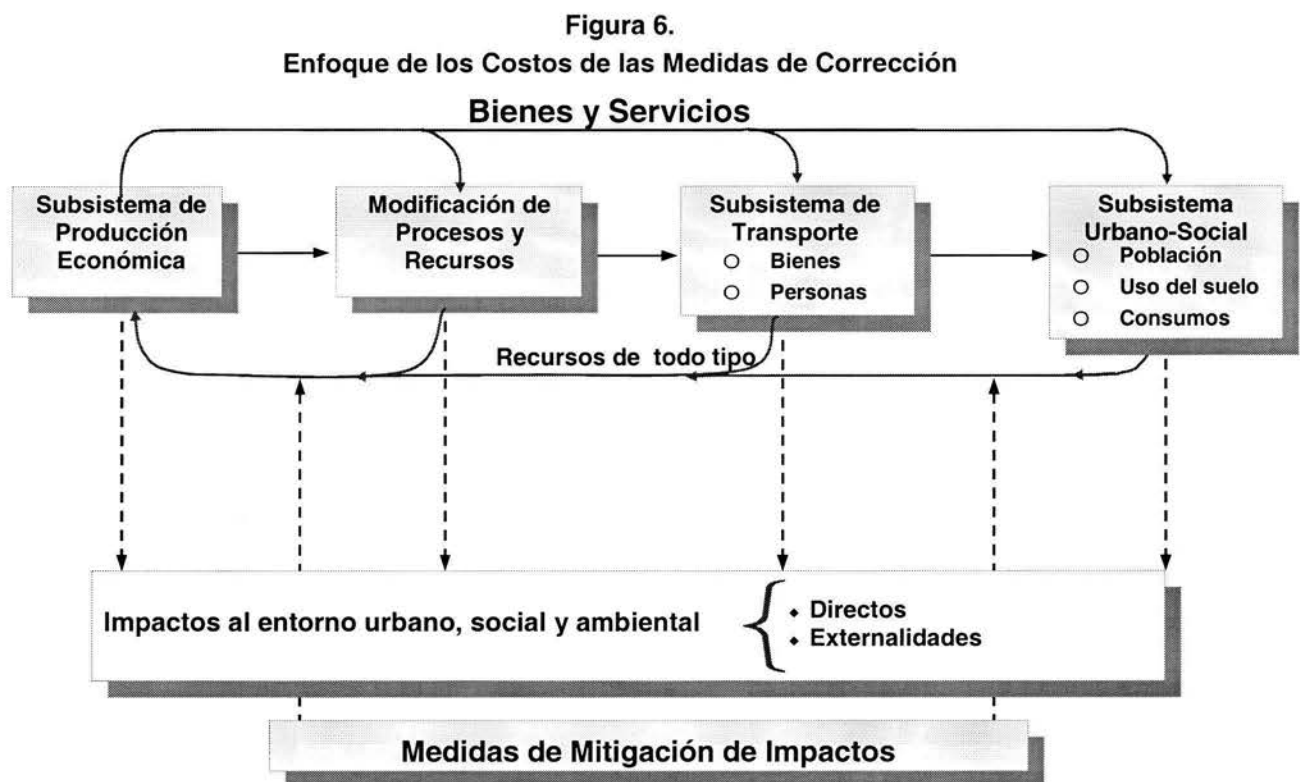
- $V$  = Estructura observada de valor,
- $X_i$  = Cantidad observada del atributo  $i$ ,
- $B_i$  = Precio hedónico estimado del atributo  $i$ ,
- $C$  = Constante de la ecuación de regresión.

Los coeficientes (precios) se calculan en la forma tradicional, con sus estadísticos respectivos, a partir de un número representativo de casos.

A través de diferencias en los valores calculados se pueden deducir valores residuales. Los propios precios hedónicos reflejan el valor estimado de cada atributo.

### Método de los costos de las medidas de corrección

A diferencia del enfoque anterior, en este método se establecen las acciones necesarias para reestablecer la situación a su estado anterior (original), antes de que se hubiese presentado el daño. Se basa en el esquema de mitigación de los impactos. El enfoque sintetiza el paradigma tradicional de corregir los efectos vía mitigación, en vez de anticiparse a su ocurrencia.



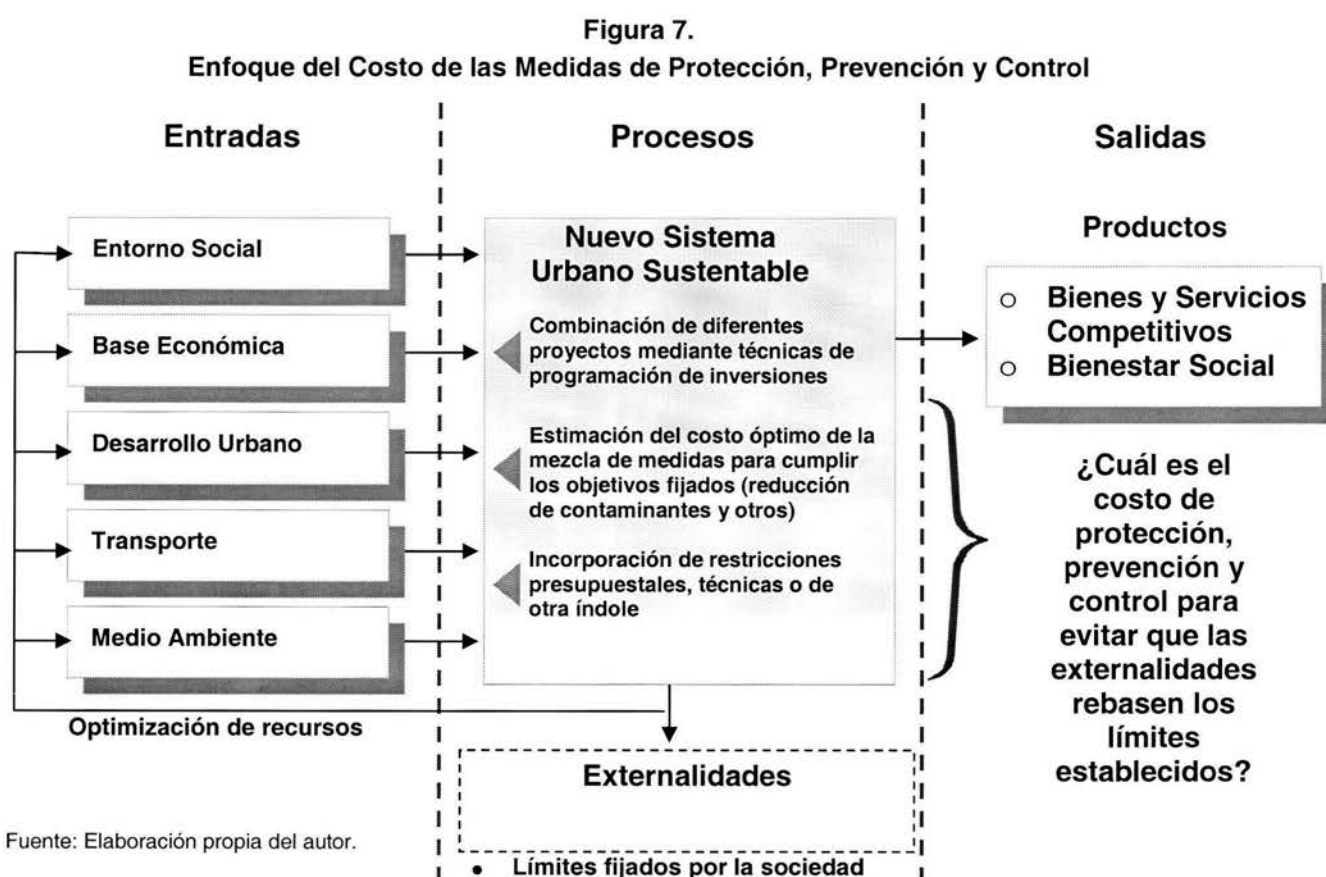
Fuente: Elaboración propia del autor.

**¿Cuál es el costo de mitigar los efectos de tal suerte que regresen a su situación anterior al daño causado?**

## Método de los costos de las medidas de protección, prevención y control

Su base es la sustitución entre bienes sociales/del medio ambiente y bienes privados, con precios de mercado. Tratan de establecer cuál es la gama de opciones alternativas y los costos correspondientes para evitar que una determinada situación se presente, evitando con ellos los daños que generaría su ocurrencia. Establece un nuevo paradigma respecto del enfoque de los costos de corrección.

El enfoque se sintetiza en la figura adjunta. Las técnicas de optimización son muy útiles en este caso. De hecho, el ejemplo presentado en el Capítulo IV, se refiere parcialmente a este enfoque.



## Método de los costos de compensación

Más que un método de monetarización de externalidades, se trata de una manera de *internalizarlas*. Se basa, por ejemplo, en los impuestos sobre emisiones contaminantes y otros impactos que se asignan para compensar los daños causados, usando la teoría de incentivos económicos [Mirrlees, 1996].<sup>24</sup>

<sup>24</sup> Premio Nobel de Economía

Tabla 10.

**Análisis Comparativo de los Métodos Disponibles para la Monetización de Externalidades**

Método	Caracterización/Significado	Ventajas	Desventajas	Enfoque
Costos evitados o inducidos (funciones dosis-respuesta)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estima el cómo un cambio en una variable afecta a cada elemento</li> <li>Valuación del daño evitado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bajo nivel de subjetividad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dificultad para la determinación de las funciones causa-efecto</li> <li>Las estimaciones se consideran un límite inferior al valor que los individuos estarían dispuestos a pagar por los costos evitados</li> </ul>	Basado en la persona que recibe los daños
Preferencias declaradas o valoración contingente (disposición a pagar o compensación exigida)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disposición a pagar (Willingness to pay [WTP])</li> <li>Compensación exigida (Willingness to accept [WTA])</li> <li>Trata de obtener la opinión de los individuos, por medio de encuestas, sobre el valor del impacto que se quiere evaluar</li> <li>Generalmente aumenta el valor a medida que los individuos tienen mayor información sobre el bien que están valuando</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puede aplicarse a cualquier caso</li> <li>Es más adecuado cuando no puede establecerse una relación entre el bien social/ ambiental y sus efectos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evidencia empírica muestra que existen grandes divergencias entre WTP y WTA, debido principalmente a que la disposición a pagar por una mejora cualquiera (o por evitar un empeoramiento) está limitada por la renta de la persona, mientras que la compensación exigida para renunciar a ella (o para permitir un empeoramiento) no lo está</li> <li>Variaciones en la respuesta dependiendo de la descripción del bien</li> </ul>	Basado en el individuo
Preferencias reveladas o precios hedónicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los <i>precios hedónicos</i> intentan:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Descubrir todos los atributos del bien que explican su precio</li> <li>Discriminar la importancia cuantitativa, su precio implícito de cada uno de ellos tienen precio de mercado</li> </ul> </li> <li>Se parte del hecho de que muchos bienes:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>no tienen un único valor de uso</li> <li>no satisfacen una única necesidad</li> <li>son bienes multiatributo y satisfacen varias necesidades al mismo tiempo</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>De aplicación relativamente sencilla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sólo contempla el valor de uso del bien y no del no uso</li> <li>Requieren de una amplia base de datos para calibrar las ecuaciones de regresión</li> <li>La renta per cápita es una variable determinante de la capacidad de pago y no siempre se conoce con exactitud</li> </ul>	Enfoque centrado en el entorno del bien
Costos de las medidas de corrección	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al igual que el método anterior, se basa en la sustituibilidad de bienes</li> <li>Evalúa los costos de las medidas necesarias para reestablecer la situación anterior al daño social o ambiental causado</li> <li>Debe agregarse el costo que se ha producido durante el periodo en que el daño causado no ha sido mitigado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No existe incertidumbre puesto que los eventos ya sucedieron</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No es común que la sustituibilidad de bienes sea perfecta si las medidas adoptadas no son capaces de devolver la situación a su nivel original</li> </ul>	Enfoque basado en el sistema que produce los "bienes públicos"
Costos de las medidas de protección, prevención y control	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se basa en el principio de sustitución entre bienes sociales/ medioambientales y bienes privados, con precios de mercado</li> <li>Ofrecen una valorización del bien que protegen, previenen o controlan</li> <li>Se basan en costos internos al sistema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Válido el enfoque de sustituibilidad de bienes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No existe sustituibilidad perfecta entre bienes</li> <li>La observación de los comportamientos reales puede llevar a subestimar una medida cuyo impacto es positivo a sobreestimar los costos de una negativa</li> </ul>	Enfoque basado en el sistema que produce los "bienes públicos" y en costos internos

**Tabla 10.**  
**Análisis Comparativo de los Métodos Disponibles para la Monetización de Externalidades**  
**(continuación)**

Método	Caracterización/Significado	Ventajas	Desventajas	Enfoque
Costos de compensación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asignan un valor de compensación a los daños causados mediante impuestos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uso en aumento</li> <li>Generación de un <i>track record</i> sobre sentencias por delitos ecológicos que posibilitará disponer de un cierto número de casos valorados en algunos años</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No es un método de monetización, sino de internalización</li> </ul>	Basado en los daños al individuo

## Comentarios sobre los Métodos Disponibles

El análisis de los distintos métodos disponibles para monetizar externalidades de sistemas en general, y del transporte en particular, permite derivar las siguientes conclusiones:

- La amplia literatura disponible consultada proporciona un extenso panorama de las técnicas disponibles en el ámbito internacional para monetizar externalidades. Se trata de métodos diversos basados en diferentes enfoques:
  - Algunos basados en la *persona* que recibe los daños y su valor monetario.
  - Otros en el *sistema* que produce las externalidades.
  - Otros en el *entorno del sistema* que produce las externalidades.
- Algunos de los métodos se enfocan a beneficios externos y otros a costos internos, indistintamente, por lo que resulta muy importante distinguirlos apropiadamente.
- En general impera el principio de que el “beneficio del abatimiento de una externalidad es equivalente al daño que evita”, pero ¿cuál es el costo para la sociedad de tales abatimientos desde el punto de vista socioeconómico, más allá del costo financiero? Esto es, ¿cuál es el “costo de oportunidad” para la sociedad de la “producción de las externalidades” o del “control de las mismas”?
- Resulta conveniente establecer la vinculación entre los beneficios por evitar la externalidad y los costos de oportunidad en que se incurre para que las externalidades permanezcan en límites preestablecidos, como lo sugiere ECME [1998]. Ello permitirá poner en la balanza los beneficios y costos y encontrar el nivel óptimo de una externalidad. En teoría, este balance se tiene cuando el costo de reducir la externalidad resulta equivalente al beneficio marginal representado por el daño evitado.

- 
- En este sentido, varios de los métodos disponibles pueden usarse para estimar los beneficios por al abatimiento de las externalidades:

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Daños evitados/funciones dosis-respuesta.</li><li>2. Valoración contingente/disposición a pagar/disposición a aceptar.</li><li>3. Precios hedónicos.</li></ol> |
|---|

- Otros métodos parecen más apropiados para determinar el costo de oportunidad de mantener las externalidades en límites preestablecidos:

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"><li>4. Prevención y control.</li><li>5. Remediación del daño.</li></ol> |
|---|

## Características Deseables de un Nuevo Enfoque

Resulta evidente la conveniencia de combinar las fortalezas de los distintos métodos utilizados para monetarización de externalidades, de forma tal de encontrar el balance óptimo entre daños y costos. Así, aquí se propone un nuevo enfoque combinatorio para:

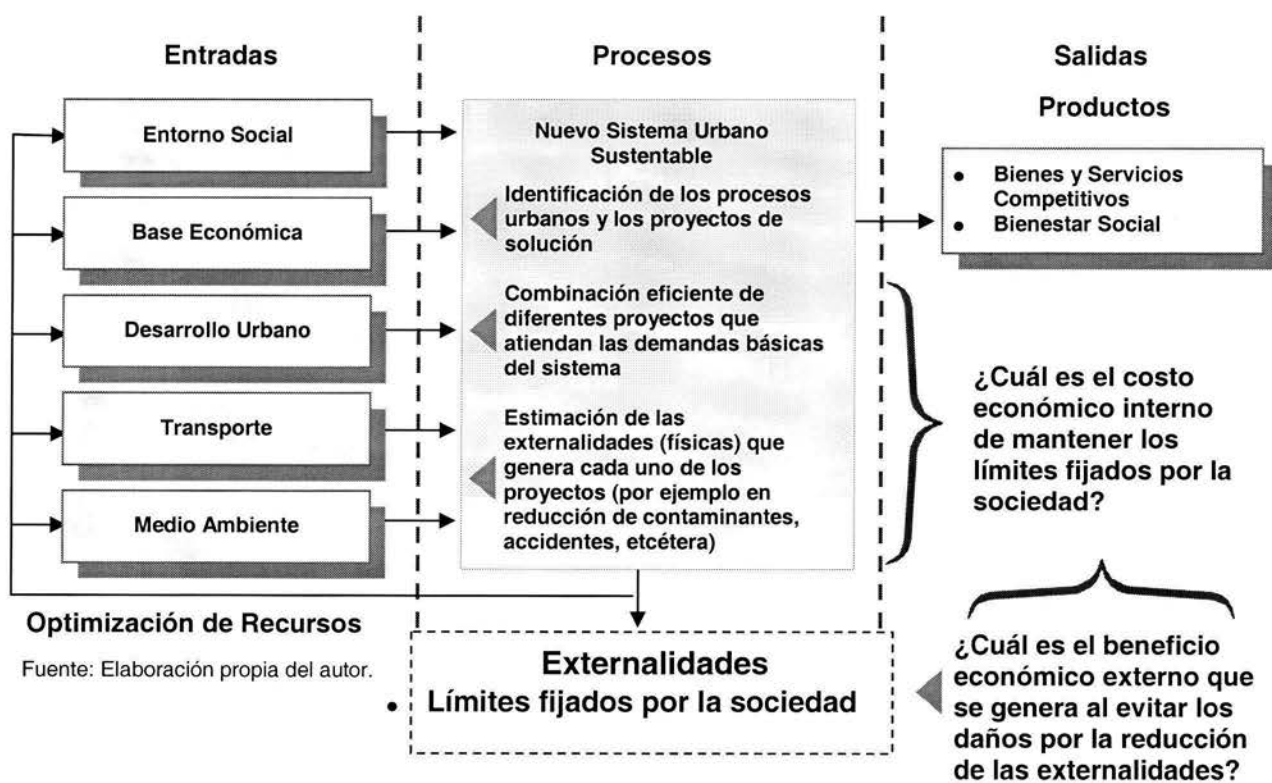
1. Incorporar el **enfoque de sistemas** para realizar un balance neto entre beneficios y costos:
  - A la sociedad que recibe el daño,
  - Al sistema que produce las externalidades y
  - Al entorno del sistema.
2. Vincular los resultados de daños y costos para combinarlos dentro de un análisis costo-beneficio.
3. Por diseño, poder conocer el grado de **sustituibilidad de bienes** y sus efectos (las externalidades), más allá de los impactos desde el punto de vista financiero, para encontrar el costo marginal o de oportunidad que representa para el sistema bajo análisis el mantener las externalidades en límites preestablecidos.
4. Esto es, valorar apropiadamente la disposición real a pagar por el bien (**beneficios**), pero también:
  - El **costo financiero** (privado o público) de la prevención y control
  - El **costo de oportunidad** del uso alternativo de estos recursos escasos
5. En síntesis, el **beneficio social neto de la externalidad, descontando los costos económicos implícitos**

- 
6. Por el lado de los costos, esto conlleva a la necesidad de centrarse en un enfoque de **prevención y control** sobre los niveles físicos de la externalidad, inicialmente, y posteriormente monetizarlos.
  7. El reconocimiento explícito de los beneficios y costos posibilitaría la **internalización** gradual de las externalidades, de forma tal que estuvieren reflejadas en los costos asociados, vía impuestos, tarifas especiales u otros instrumentos, ampliamente difundidos en la literatura.
  8. Sería deseable que el esquema fuera de **fácil aplicación** y se trasladara a la monetización de externalidades. La propuesta consiste en adoptar multiplicadores netos; esto es, coeficientes de beneficios netos descontado el costo económico correspondiente, por el que puedan afectarse las cantidades físicas de reducción de las externalidades y homologar las tablas de costo-efectividad en flujos económicos que puedan ser adicionados a los beneficios tradicionales y ser descontados apropiadamente para llegar a un indicador común previamente definido (ver Capítulo I).
  9. Los multiplicadores deben servir también como **disipadores** de la externalidad en el tiempo, con tendencia lógica decreciente, en la medida en que éstas se internalizan.
  10. Por último, esto debe permitir a los evaluadores, las autoridades y los usuarios la construcción de una *Trayectoria de Desarrollo Sostenible (TDS)*, en relación con niveles “aceptables” de externalidades, con las siguientes características adicionales deseables:
    - Dinámica en el tiempo;
    - Que minimice las externalidades;
    - Que apoye decisiones de aportación de recursos públicos para reducción de externalidades.

Un enfoque con las características deseables es el que se propone en el Capítulo IV y se esquematiza a continuación.

Figura 8.

Elementos de un Nuevo Enfoque de Sustentabilidad Sistémica





---

### III. LA DIMENSIÓN DE LAS EXTERNALIDADES DEL TRANSPORTE: Referentes Internacionales y Algunas Cifras Disponibles para México

En este capítulo se explora la dimensión de la externalidades del transporte. Para ello, se utilizan referencias internacionales publicadas de estudios realizados en otros países. Desde luego, la mayor preocupación es sobre la validez de la comparación directa de los diferentes resultados disponibles del ámbito internacional (suponiendo que se han usado las mismas técnicas de evaluación), por dos razones principales:

- Las naturales diferencias físicas entre las distintas áreas consideradas en cada país (topografía, aspectos climáticos, fragilidad de los ecosistemas, niveles de tránsito y contaminación, etc.), y
- Diferencias en los valores por unidad del efecto externo, como resultado de diferencias en los niveles de desarrollo económico y socio-cultural.

#### Referentes Internacionales

Se han seleccionado para fines comparativos 17 países de Europa<sup>25</sup> de distintos niveles de renta per cápita y para los cuales se dispone de cifras publicadas sobre externalidades en el transporte, tales como:

- Contaminación
- Accidentes
- Ruido

Los resultados se basan en cuantificaciones que siguen una metodología común y comparable<sup>26,27</sup> para el ámbito del transporte interurbano. Las cifras que se desprenden son particularmente indicativas de la magnitud e importancia de la problemática por resolver. En todos los casos el efecto de las externalidades del transporte terrestre se expresa como porcentaje del PIB de cada país.

---

<sup>25</sup> Incluye a los 15 países contenidos en la denominada Unión Europea, más Noruega y Suiza.

<sup>26</sup> Rothengatter, Werner, *“Evaluation Methods for External Effects of Transport in Europe”*, IWW Institute of Economic Policy and Research University of Karlsruhe, 1994.

<sup>27</sup> Camarero Orive, Guerrero García y Monzón de Cáceres, *“Las Externalidades en la Evaluación de Proyectos de Transporte”*, 1999.

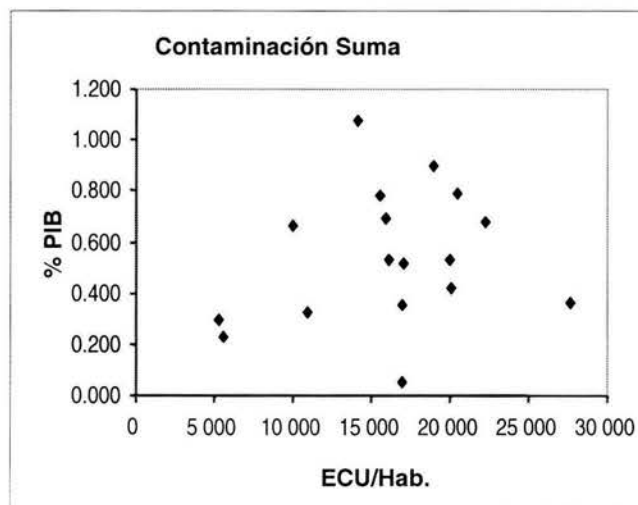
## Contaminación

En este rubro se incorporan los costos externos de contaminación al medio ambiente, integrados principalmente por NOx, VOCs (componentes orgánicos volátiles) y partículas. Los datos disponibles para los efectos de la contaminación muestran resultados muy dispersos en relación al PIB de cada país. En promedio, los daños imputables a la contaminación son de 0.54% del PIB, e incluyen a automóviles, autobuses y carga.

**Tabla 11.**  
**Daños por Contaminación Ambiental**

País	Renta ECU/Hab.	Daño %PIB
Alemania	17 098	0.512
Austria	16 957	0.351
Bélgica	15 914	0.690
Dinamarca	20 438	0.790
España	10 925	0.323
Finlandia	20 046	0.531
Francia	17 008	0.055
Grecia	5 561	0.228
Holanda	15 608	0.784
Irlanda	9 972	0.660
Italia	16 110	0.528
Luxemburgo	18 992	0.901
Noruega	20 095	0.420
Portugal	5 245	0.297
Reino Unido	14 163	1.078
Suecia	22 231	0.679
Suiza	27 642	0.360
<b>Promedio</b>	<b>16 118</b>	<b>0.540</b>

**Figura 9.**  
**Daños por Contaminación Ambiental**

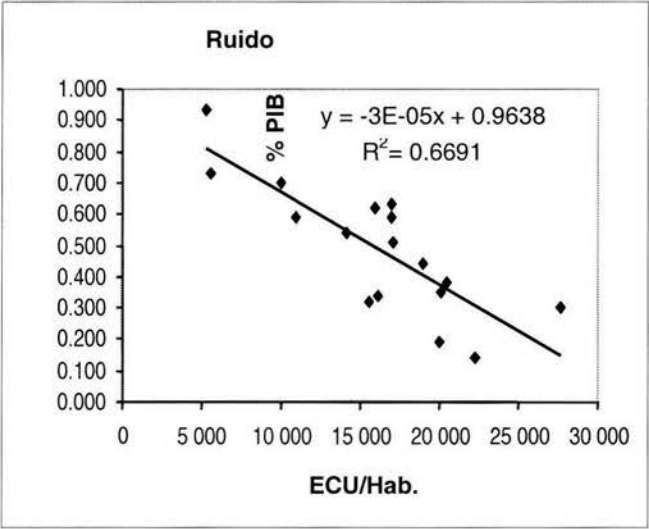


Fuente: Rothengatter [1994], Camarero, Guerrero y Monzón [1999].

## Ruido

En el caso de ruido —(de autos, autobuses y carga)— se trata de estimar los efectos del mismo sobre el ser humano. Las cuantificaciones aquí reportadas están valuadas utilizando un enfoque de preferencias reveladas, midiendo indirectamente la reducción del valor de las viviendas expuestas a ruido, comparadas con viviendas similares en zonas de quietud. Los resultados permiten observar la existencia de una relación lineal inversa entre el nivel económico de la población y el impacto económico del daño en el PIB. Mientras las condiciones económicas mejoran el impacto relativo del daño disminuye.

**Figura 10.**  
**Daños por Ruido**



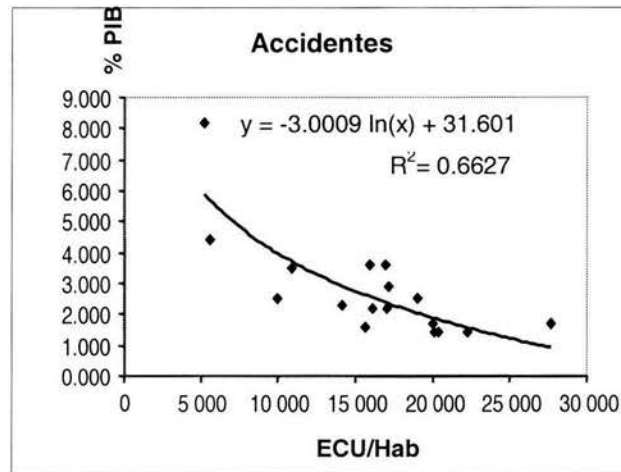
Fuente: Elaboración propia del autor.

## Accidentes

Los accidentes están valuados en términos del valor estadístico de una vida, en función de la producción futura perdida. Generalmente más del 99% de los costos estimados se asocian a accidentes en carreteras.

Al igual que en el caso del ruido, en materia de accidentes se observa también una relación inversa semejante, pero de forma logarítmica, como se indica en la figura correspondiente. En este caso el daño llega a representar hasta el 8% del PIB para países de baja renta *per cápita* como Portugal.

**Figura 11.**  
**Daños por Accidentes**



Fuente: Elaboración propia del autor.

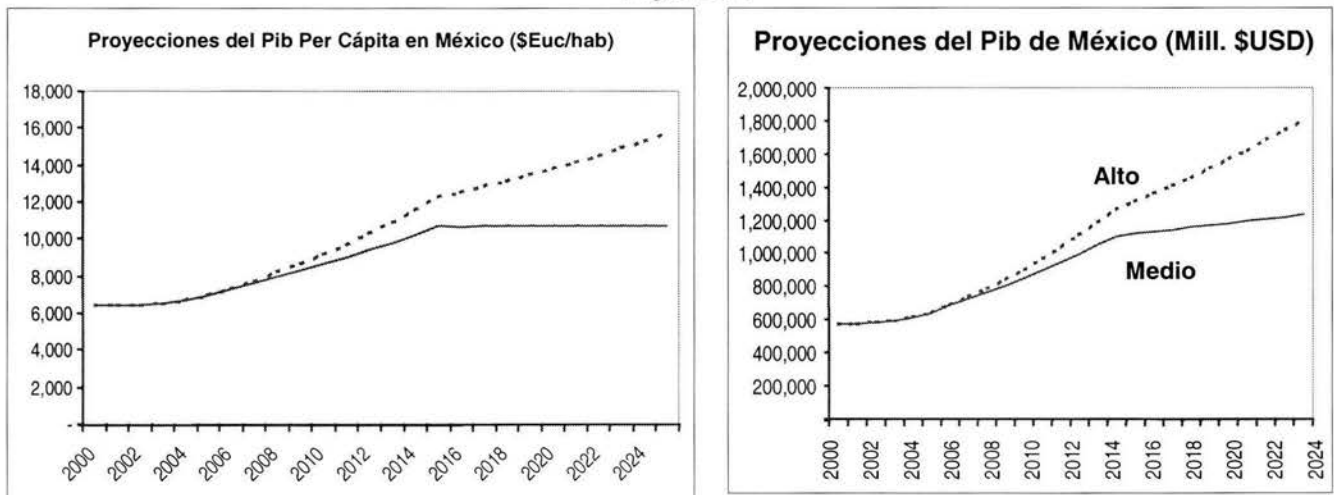
## Estimación Indirecta del Daño en México

Los porcentajes y ecuaciones anteriores se han utilizado para disponer de órdenes de magnitud del daño que representarían las tres externalidades indicadas para México. Se parte de estimaciones de PIB *per cápita* para México y su probable evolución a futuro.

## Proyecciones de PIB *per Cápita*

Se realizaron 2 proyecciones del crecimiento del PIB en México, hacia el horizonte 2025, que también incluyen proyecciones del PIB *per cápita*. En el escenario tendencial el PIB crece al 3% anual. En el escenario alto el crecimiento adoptado es del 5% anual.

**Figura 12.**



Fuente: Elaboración propia del autor.

Fuente: Elaboración propia del autor.

México tiene un nivel económico ligeramente superior al de Portugal y Grecia, países destinatarios de los fondos de cohesión europeos. En el año 2013 podría estar al nivel actual de Irlanda y España, y para el horizonte del año 2025 podría situarse al nivel de Holanda en el escenario alto.

## Costo de Oportunidad para México de las Externalidades en el Transporte

Se utilizó la siguiente expresión:

$$\text{Ext.} = VP \left[ \sum_{i=1}^{25} PIB_i \{0.54\% + A + B\} \right]$$

$$A = \{-0.00003 PIBPC_i + 0.9638\}$$

$$B = \{-3.0009 I_n PIBPC_i + 31.601\}$$

donde:

$PIB_i$  = Producto Interno Bruto en el año  $i$ ,

$PIBPC_i$  = PIB per cápita en el año  $i$ ,

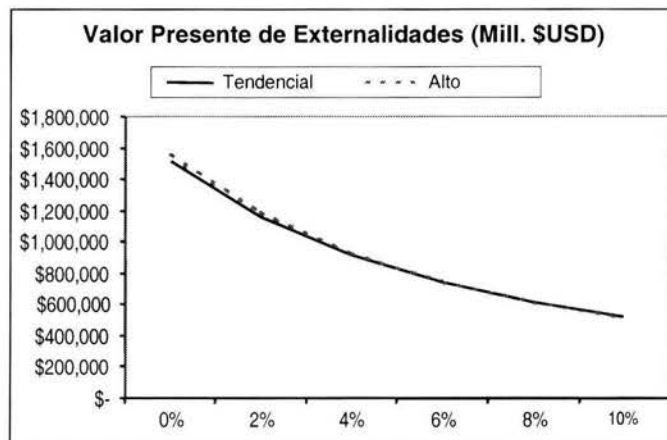
$VP$  = Valor Presente de los flujos  $i$ .

El impacto de las externalidades, como porcentaje promedio del PIB en el 2010-2025, sería de 4.7% en el escenario de tendencia y de 6.3% en el escenario alto.

**Tabla 12.**  
**Resumen de Daños por Concepto**

Externalidad	Escenario Tendencial	Escenario Alto
Contaminación Ambiental	0.54%	0.46%
Ruido	1.22%	1.10%
Accidentes	4.51%	3.12%
<b>Suma</b>	<b>6.27%</b>	<b>4.68%</b>

Figura 13.



Fuente: Elaboración propia del autor.

A continuación se presenta el resultado de la magnitud de las externalidades:

El valor presente de las externalidades, con una tasa de descuento del 2% anual<sup>28</sup> resultó del orden de 1.2 millones de millones de dólares. El pago anual equivalente tiene un rango de 59.5 a 60.7 miles de millones de dólares, respectivamente, que equivale al 10% del PIB que se tuvo en el año 2000. La mayor contribución relativa es la de accidentes, donde México presenta una de las tasas de mortalidad más altas de países comparables.

Si sólo para el transporte el flujo futuro en términos de costo anual equivalente implica un costo de externalidades del 10% del PIB actual, esto es indicativo de las dificultades de lograr un crecimiento real en la economía.<sup>29</sup>

Por ello, resulta urgente la necesidad de iniciar un proceso gradual en México que permita adicionar a las técnicas tradicionales de evaluación de proyectos de transporte, la incorporación de los daños por efecto de las externalidades. En una primera etapa, y de acuerdo con las experiencias internacionales, se recomienda considerar a los accidentes, la contaminación y el ruido, para extenderlo posteriormente a otros conceptos.

## Externalidades del Transporte en Zonas Urbanas: El caso de la Zona Metropolitana del Valle de México

Las cifras anteriormente indicadas corresponden al ámbito del transporte interurbano. Pero resulta de suma importancia abordar lo correspondiente al transporte urbano en las ciudades, habida cuenta de que, al menos en México, más del 80% del PIB se genera en las zonas urbanas.

En México se han hecho algunos esfuerzos [COMETRAVI, 1998] por cuantificar las externalidades que genera el transporte<sup>30,31</sup> en al ámbito urbano. Dichos esfuerzos se

<sup>28</sup> Un aspecto a ser tomado seriamente en cuenta es el costo de capital que debe utilizarse para descontar los beneficios de reducir las externalidades en el tiempo. La consideración de que el daño futuro es tan importante para las generaciones actuales, como para las futuras, sustenta sólidamente el uso de una tasa positiva mínima, de valor cero o incluso negativa, diferente a la utilizada para descontar los flujos financieros.

<sup>29</sup> Si adicionalmente se incluyen los daños a la infraestructura por pérdidas asociadas a fenómenos de carácter natural como inundaciones, sequías o incendios, que por otra parte afectan generalmente a la población de menores recursos porque no tuvo los medios para asentarse en sitios menos vulnerables, se tendría una cifra preocupante.

<sup>30</sup> Juárez, 2000, "La Monetización de Externalidades en el Transporte", Ruta 2000, Agosto del 2000.

<sup>31</sup> Juárez, 2000, "Hacia una Estrategia Integral de Transporte y Calidad del Aire en la ZMCM", CODATU IX, 2000.

---

concentran en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), en donde se localiza la concentración poblacional más importante del país:

Las bases principales de la estimación se resumen a continuación:

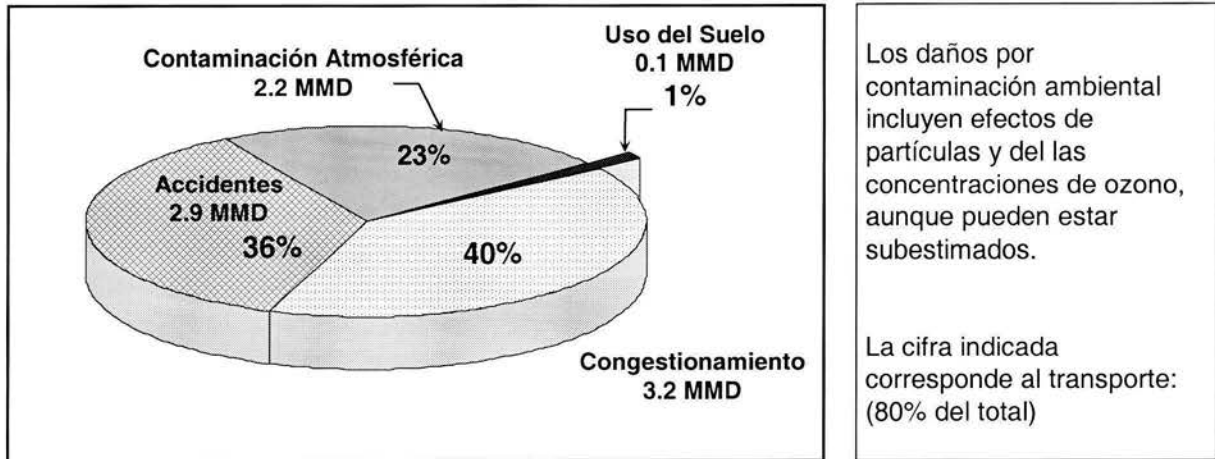
- Las externalidades consideradas fueron:
  - Contaminación atmosférica;
  - Accidentes;
  - Congestionamientos;
  - Uso del suelo destinado al transporte.
- Los daños por efecto de la contaminación incluyen el costo de los tratamientos médicos asociados a periodos de contingencia ambiental y el de producción futura perdida por muertes prematuras, de acuerdo con estimaciones recientes de Molina [2002].
- Los accidentes están valuados a precios internacionales,<sup>32</sup> bajo valores de vida estadística.
- El congestionamiento se basa en el tiempo en exceso perdido en intersecciones respecto de la situación óptima en principales corredores metropolitanos de transporte. Considera el valor que los usuarios asignan a su tiempo, de acuerdo con encuestas de preferencias declaradas y reveladas. Los valores tienen rangos de \$1 a \$2 por minuto para los automovilistas y de 15 a 20 centavos por minuto para los usuarios del transporte público. Cabe aclarar que no se refiere al valor del tiempo que los usuarios dedican al transporte, sino al valor del tiempo en exceso perdido en intersecciones en principales corredores metropolitanos.
- El uso del suelo estima el valor del espacio ocupado por las vialidades.
- Con todas las reservas del caso, el valor anual se ha estimado entre 8 y 10 mil millones de dólares anuales (hasta el 8% del PIB de la ZMCM).

La magnitud de las cifras señala la importancia de atender el tema de las externalidades en la evaluación de proyectos de inversión.

---

<sup>32</sup> Según datos del *National Safety Council* de Estados Unidos el valor unitario de una muerte es del orden de \$ 900 mil dólares. Datos de Suiza lo ubican en 1.4 millones de ECU's.

**Figura 14.**  
**Externalidades Seleccionadas Imputables al Transporte en la ZMVM**  
*(se estiman entre 8 y 10 mil millones de dólares por año)*



Fuente: COMETRAVI, 1998. Elaboración propia con datos recientes sobre daños a la salud [2002].

### Comparativo con la Comunidad de Madrid

En marzo de 2003 se dieron a conocer los resultados de un estudio referentes a la Cuenta Económica y Socio-Ambiental del Transporte Terrestre de Viajeros en la Comunidad de Madrid en 1996 [Consortio de Transportes de Madrid, 2003]. Las cifras que pudieran ser directamente comparables se refieren a costo de accidentes y contaminación. Arrojan un nivel global de costo económico en Madrid equivalente a US \$784.0 millones. Considerando un nivel de población de 4.5 millones de habitantes en la comunidad de Madrid, lo anterior resulta en un índice de 174 dólares/habitante. La misma cifra en México, considerando sólo accidentes y contaminación atmosférica, arroja un índice de 283 dólares/habitante; es decir, un 63% superior.



---

## IV. HACIA UN ENFOQUE INTEGRADO DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LAS EXTERNALIDADES DEL TRANSPORTE

### Introducción

En este Capítulo se propone un enfoque integrado tendiente a encontrar un balance óptimo entre los beneficios económicos de abatir las externalidades y los costos de oportunidad asociados. El planteamiento se realiza para el transporte urbano, pero los conceptos pueden generalizarse a otros ámbitos de análisis. Asimismo, el énfasis se centra en aspectos ambientales, lo cual no obsta para ser fácilmente extendido a otras externalidades, sin pérdida de generalidad.

En la última década se ha despertado la inquietud de vincular más estrechamente en una ciudad las políticas relativas al desarrollo urbano, el crecimiento económico y la adecuada distribución del ingreso, el transporte y el medio ambiente. A menudo, los planificadores de la ciudad se encuentran con muchos conflictos por la interacción que se da entre estos subsistemas con mutua dependencia.

Quizá el mayor conflicto se tiene al expandir la economía para mejorar las condiciones de vida de la población y al mismo tiempo proveer las condiciones para la protección del medio ambiente en un entorno sostenible a largo plazo. Generalmente en las grandes metrópolis existe un severo problema de contaminación ambiental que demanda cuantiosos recursos para solucionarlo.

Podría argumentarse que la mejor forma para mejorar la calidad del medio ambiente es la expansión de la economía o de nuevos esquemas impositivos para disponer de mayores recursos para la protección ambiental. Más impuestos del bolsillo de la población para la protección ambiental podrían ir en detrimento del mejoramiento de las condiciones socioeconómicas o limitar el acceso a otros bienes de consumo personal. Mayores recursos de la población incrementan las expectativas de bienestar, aumentan la tasa de motorización vehicular y repercuten en cambios en los patrones de movilidad al modificarse los patrones de asentamiento urbano y usos del suelo. Esto, a su vez, produce nuevos desplazamientos de transporte y emisiones que tienden a alterar el medio ambiente y provocar otras externalidades como ruido o accidentes elevando el costo, en el caso de éste último concepto, por los daños materiales y económicos debido a la pérdida de vidas humanas por muertes prematuras.

---

## Trayectoria de Desarrollo Sostenible

El rol de los planificadores centrales entonces es el de negociar una adecuada “*Trayectoria de Desarrollo Sostenible*” (TDS) con un nivel de *externalidades* conocido y aceptado de antemano por la sociedad. El concepto de sostenibilidad se da en los términos definidos por las Naciones Unidas:

***“Es la habilidad de largo plazo de un sistema para moverse hacia un futuro deseable. Habilidad de generar una trayectoria de progreso humano que satisface las necesidades y aspiraciones de las generaciones presentes sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones para satisfacer sus necesidades [World Commission on Environment and Development, 1987], utilizando recursos escasos de la sociedad sin comprometer la sobrevivencia de futuras generaciones”.***

La sola tarea de informar veraz y éticamente a la población para recabar de manera adecuada las aspiraciones, necesidades e intereses de grupos respecto al impacto económico, ecológico y social de las trayectorias de desarrollo sostenible es muy compleja.

A partir de los resultados de este trabajo, se inicia con un planteamiento para construir las TDS's y explorar sus ramificaciones e impactos. En una ciudad con un severo problema de contaminación ambiental, un grave problema de transporte es a su vez el que mayormente contribuye a la generación de emisiones contaminantes al medio ambiente. La operación del sistema de transporte se da a través de diferentes medios de transporte,<sup>33</sup> que atienden las necesidades de la demanda con indicadores de eficiencia diferentes y generan externalidades, dadas por altos niveles de contaminación, congestión vehicular excesiva, elevado número de accidentes en las diferentes modalidades de transporte y pérdida de vidas humanas.

Cabría preguntarse: ¿Cómo se pueden combinar eficientemente diferentes medidas de transporte,<sup>34</sup> en forma tal que cumplan eficazmente con las demandas por atender, satisfagan objetivos de reducción de contaminantes y mantenga en niveles aceptables las externalidades? Y considérese también que hay restricciones de recursos financieros para llevar a cabo las acciones o medidas, y éstas son diferentes para el sector público y el privado.

El problema descrito puede plantearse de la siguiente manera:

¿Cuál debe ser la combinación más apropiada de modos de transporte sobre el horizonte de planeación de los siguientes T años para construir una TDS, de manera que se satisfaga la demanda conocida año con año y las externalidades a la sociedad (externalidades =

---

<sup>33</sup> Automóvil particular, metro, tren ligero, autobús, trolebús, combis y microbuses, taxis.

<sup>34</sup> Las medidas se visualizan en el contexto de las acciones necesarias para evitar emisiones excesivas de contaminantes al medio ambiente y otras externalidades.

---

emisiones, ruido, accidentes, congestión vehicular, etc.), se mantengan en límites preestablecidos y se maximice el bienestar de los usuarios directos del transporte?

## Planteamiento

La sociedad desea determinar la TDS sobre el horizonte de planeación de los siguientes T años, de modo que se maximice el beneficio social neto para los usuarios del transporte, se satisfaga la demanda conocida del mismo y las externalidades a la sociedad se mantengan en límites preestablecidos, en un contexto de recursos financieros escasos.

## Beneficio Social Neto

**Definición 1.** *El Beneficio Social Neto (BSN) de los usuarios del transporte, para los propósitos del presente análisis, está constituido por la reducción de congestión vehicular expresada en ahorros en tiempos de tránsito y en costos de operación vehicular.*

Nótese que en un sentido más amplio el BSN incluye la reducción de costos imputables a las externalidades que se causan a la sociedad en su conjunto, como son las emisiones al medio ambiente, accidentes y ruido, por mencionar a algunas de ellas (ver Capítulo III). Sin embargo, por la conveniencia de estimar, como se verá más adelante, el **costo de oportunidad** de dichas externalidades, se hará uso de las ventajas que ofrece la posibilidad de considerarlas en las restricciones para propósitos de un modelo de programación de inversiones (lineal o no lineal).

El BSN se consigue a través de la operación de los modos de transporte. La elección de un modo de transporte sobre otro por parte de los usuarios está regida en la mayor parte de los casos por sus **preferencias**. Por ello, el BSN debe ser definido en forma tal que refleje esas preferencias.

El punto de vista de la **economía nacional** sobre evaluación considera que todos los cambios recientes, como conclusión de una decisión económica, pueden ser expresados en una entidad dimensional, de tal manera que los costos y beneficios de todas las medidas puedan ser reducidos a un balance neto (ordinal) para jerarquizar.

Condiciona de hecho una evaluación monetaria bajo un denominador común como el VPN (Valor Presente Neto), la TIR (Tasa Interna de Retorno) o la B/C (Relación Beneficio-Costo).

---

## Satisfacción de la Demanda de Transporte

Las características de una ciudad influyen sobre la elección de los modos de transporte más apropiados para atender las necesidades de movilización. De hecho, cada modo de transporte es apropiado para un cierto nivel de demanda. Los sistemas de transporte masivo como el Metro o Ferrocarril Suburbano son utilizados en ciudades grandes en aquellos corredores con alto nivel de demanda. En ciudades medias son generalmente los autobuses de tamaño medio o el tren ligero quienes los que responden a los requerimientos de la demanda. En ciudades pequeñas o zonas de baja densidad se utilizan generalmente vehículos de baja capacidad unitaria.

Esta aparente racionalidad suele romperse con frecuencia en las grandes ciudades, al observar la presencia de unidades de baja capacidad unitaria operando en corredores de alta densidad de pasajeros. Sin entrar en mayor nivel de análisis, esto puede deberse a la falta de planeación o al exceso de tolerancia de la autoridad para aceptar la **distorsión modal**,<sup>35</sup> o a la falta de recursos públicos o privados para expandir las redes de transporte masivo o a las ventajas que percibe el usuario en un servicio prácticamente “puerta a puerta” o con un número reducido de transferencias.

Desde un punto de vista racional se puede identificar el “camino óptimo” de cada modo de transporte utilizando la **densidad de demanda** y el **costo económico** como parámetros.

## Dominio Económico Eficiente

Considerando un sistema cartesiano donde el eje horizontal representa la **densidad de la demanda** (usualmente pasajeros/hora/sentido) y el eje vertical al **costo económico unitario de movilización por pasajero**, el **Dominio Económicamente Eficiente** (DEE) está definido como sigue:

**Definición 2.** *El Dominio Económico Eficiente de un modo de transporte  $X_i$   $DEE(X_i)$  está dado por el intervalo en  $X \in \mathcal{R}^+$ , donde  $Y(X_i) \leq Z(X_i)$ , con  $Y(X_i) \geq 0$  y  $Z(X_i) \geq 0$*

El dominio de cada modo de transporte puede variar dependiendo de las características físicas, operativas, financieras y económicas de cada modo. Por tanto, son funciones variables en función de los parámetros elegidos (o de la política implícita de internalización de los costos externos).

Si al costo de producción-explotación total de un modo de transporte se deduce la recuperación financiera expresada a través del pago de tarifas u otros mecanismos de recuperación a los usuarios, se obtendrá la cantidad aún no internalizada de dicho costo.<sup>36</sup>

---

<sup>35</sup> Esto es, el que se atiendan corredores de alta demanda con unidades de baja capacidad unitaria o viceversa.

<sup>36</sup> Un ejercicio particularmente interesante es el completado recientemente para la Comunidad de Madrid por Guerrero y Monzón de Cáceres [2003]. Se estimaron los costos totales, esto es, los económicos y socio-ambientales para cada modo

---

## Las Externalidades a la Sociedad y sus Límites

Los elementos anteriormente descritos avanzan en la dirección del análisis costo-beneficio, tratando de aplicar técnicas de valuación en términos monetarios. Cuando se habla de “externalidades” en los términos definidos en el Capítulo II, la monetarización de costos y beneficios representa un gran reto. De hecho, como se indica en el Capítulo III, existen diferentes técnicas de evaluación y no siempre resulta evidente la elección de cuál es la mejor técnica a aplicar en problemas de la vida real. Si bien en el caso de externalidades como los accidentes el enfoque de la producción futura perdida puede resultar útil y factible, sin soslayar las dificultades con la información requerida; en otras T externalidades, como las emisiones al medio ambiente lo torna aún más complicado, puesto que no existen precios observables y, por tanto, **no pueden ser encapsulados en un sistema de mercado.**

Aun disponiendo de los elementos para estimar los beneficios de reducción de las externalidades y homologarlas con los costos evitados, se tienen por otro lado los costos de la prevención ¿cuál de los dos se debe usar? La respuesta depende de cada caso en particular.

Sin embargo, si quedara establecido el daño por evitar en términos físicos y/o monetarios en el horizonte de planeación, esto podría servir como cota superior del costo de prevención y control, mediando entre ambos una relación beneficio-costos que puede también ser estipulada de antemano. Se inicia con el supuesto de que el daño sea directamente proporcional al nivel físico de la externalidad.

Al adoptar temporalmente la hipótesis de proporcionalidad del daño, del nivel físico de la externalidad, se requiere formular un modelo de producción física de las externalidades, asociadas con el costo de las medidas de prevención y control.

De hecho, el enfoque de adoptar el **costo óptimo de las medidas de prevención y control** contenidos en el TDS constituye una variante a los métodos descritos en el Capítulo II.

En este orden de ideas es posible combinar una canasta de proyectos públicos y privados, suficientemente grande de forma tal que el daño neto ambiental o de cualquier otra externalidad sea tolerable o igual a cero (el daño ambiental cero está asociado con un nivel del sistema que le permite “reproducirse”).

---

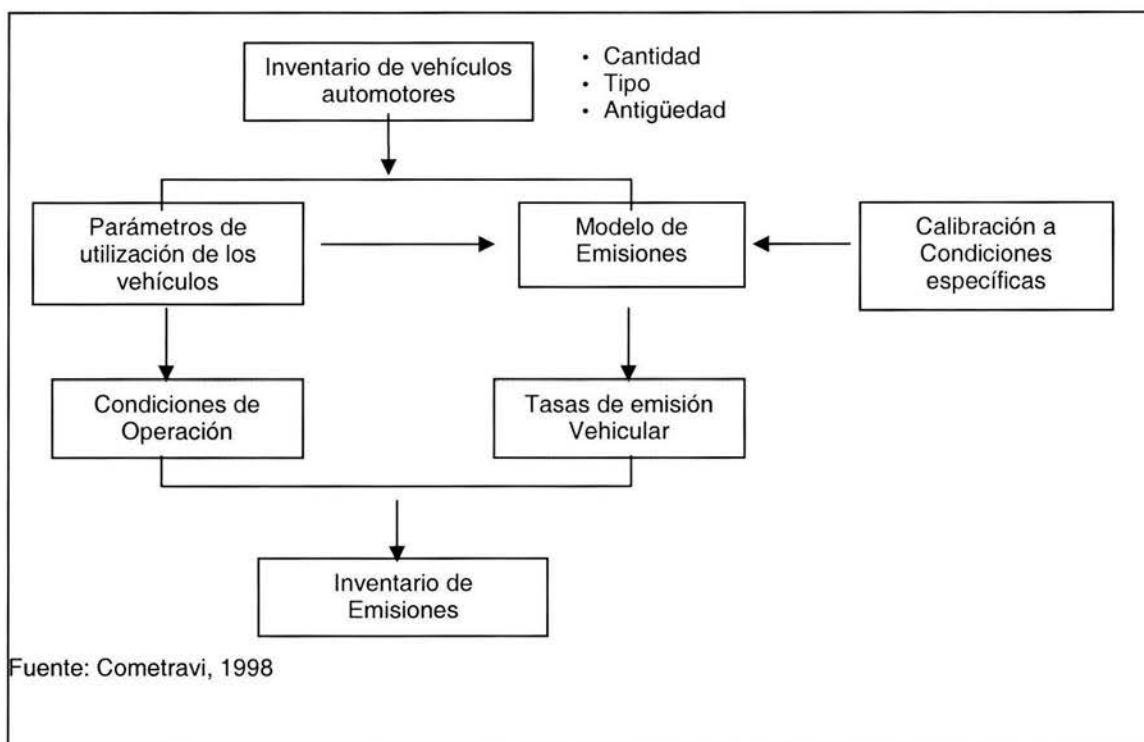
de transporte. Los conceptos incluidos fueron: **económicos** (gastos de personal, consumo energético, otro material consumible, mantenimiento y reparaciones, seguros, amortizaciones y otros); **tiempo de viaje** (a bordo, de espera y andando-transbordo); **accidentes** (mortalidad, daños y gestión); **contaminación atmosférica** (local y global); **ruido e infraestructuras**. Los resultados indican que, sin considerar el tiempo de viaje, usualmente absorbido por los usuarios, habría que incrementar entre un 3.1 y 8.3% los costos económicos del transporte público y entre un 11.5% (taxis) y un 19.5% el de los autos particulares, para que reflejaran totalmente la internalización de costos. En el caso particular del Metro, por ejemplo, el costo económico y social total resultó de 0.80 euros, en tanto la tarifa actual por viaje es equivalente a 0.5 euros, denotando una cifra aún no internalizada de alrededor de 0.3 euros.

---

## Modelación de Emisiones del Medio Ambiente

El análisis de emisiones al medio ambiente generadas por el sistema de transporte requiere básicamente de un conocimiento adecuado de las mismas para cada tipo de contaminante. Éstas dependen principalmente del tipo, cantidad y patrones de utilización de los vehículos existentes, en una determinada área metropolitana, y de los coeficientes unitarios de emisión por tipo de contaminante y tipo de vehículo. Éstos se indican en la figura 15. Con este proceso se construye el inventario de emisiones, esencial en cualquier evaluación de calidad del aire en una zona geográfica determinada.

**Figura 15.**  
**Modelo de Emisiones**



Fuente: Cometravi, 1998

La literatura distingue dos enfoques básicos para estimar el valor de las emisiones totales<sup>37</sup> de contaminantes por circulación vehicular en las redes viales. El primero estima las emisiones vehiculares basado en muestras de campo y pruebas de laboratorio así como en las distancias medias de recorrido por vehículo. En tanto que este método tiene la ventaja de producir resultados muy acuciosos, su desventaja es su alto consumo de tiempo y recursos, además de que los equipos de medición requeridos pueden resultar difíciles de obtener y la base estadística necesaria, para alcanzar niveles de confiabilidad puede ser muy amplia. Otra desventaja es que se dificulta la posibilidad de analizar los efectos de cualquier cambio en las condiciones físicas y operativas de la red vial.

---

<sup>37</sup> COMETRAVI, 1998.

---

El segundo método, el cual fue utilizado en esta investigación, es a través de modelos matemáticos que incorporan las características del área de estudio y parámetros de emisión vehicular. Éste es generalmente el preferido por los planificadores de transporte por la flexibilidad para producir el efecto de sus acciones. Un buen modelo con estas características es el Mobile 5 de EUA [Radian Internacional, 1996].<sup>38</sup>

Así, el total de emisiones del transporte en una determinada área geográfica estará dada por:

$$TET_t = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n I_{it} P_{it}(e,v,d) E_i(e,v,d)$$

Donde:

- $TET_t$  = Total de emisiones contaminantes en el tiempo  $t$   
 $I_{it}$  = Número de vehículos del tipo  $i$  existentes en el tiempo  
 $E_i$  = Tasa de emisión de contaminantes del vehículo  $i$  en tiempo  $t$   
en función de: la velocidad ( $v$ ), la distancia de recorrido ( $d$ )  
 $P_{it}$  = Parámetros operativos del vehículo  $i$  en el tiempo  $t$

### *Accidentes*

Los accidentes que se registran en el sistema de transporte son una de las externalidades más severas en una ciudad. A diferencia de las emisiones al medio ambiente, por lo general las relaciones causa-efecto de los accidentes y sus consecuencias económicas son más sencillas de determinar, aunque son insuficientes los datos puntuales de los países en desarrollo en estos puntos negros de los accidentes en los sistemas de transporte y el tipo de vehículos involucrados.

De la literatura disponible se sabe que los costos relevantes de los accidentes para efectos de precios son la diferencia entre el costo marginal social y el costo privado de los accidentes. Esta diferencia se conoce como el costo marginal externo de los accidentes [Inge Mayeres, 1996].

En la valoración de los accidentes generalmente se toma en cuenta [Jannsson, 1994] el modo de transporte (auto, bus, trolebús, metro, camiones de carga y transporte no motorizado) y la severidad del accidente (la distinción entre accidentes fatales, accidentes con heridos graves, con heridos de menor gravedad y accidentes sólo con daños materiales). Influye el número de vehículos por kilómetros recorridos por cada modo de transporte y la probabilidad de que ocurra un accidente de  $x$  severidad entre dos modos ( $i,j$ ) con  $i$  víctimas.

Se distinguen dos problemas principales en la determinación de los costos marginales externos de los accidentes [Inge Mayeres, 1996]. Primero, la necesidad de determinar las relaciones entre los usuarios de la vialidad y el número de accidentes. Segundo, la

---

<sup>38</sup> Los datos actuales bajo la modelación con Mobile 6 no estuvieron disponibles para ser utilizados en esta investigación.

---

determinación de la fracción del costo del accidente que ya está internalizado por los usuarios; (casi siempre a través de seguros de vida, daños a terceros, etc., en el caso de autos, pero no sucede lo mismo para todos los modos del transporte público).

En todo caso, siempre se requerirá:

- La valuación monetaria de las diferentes categorías de accidentes (directas e indirectas): daños materiales, costos médicos hasta el deceso o hasta el restablecimiento, que no son cubiertos por los seguros, así como costos por incapacidad para trabajar o por cambio de trabajo (discapacitados), de sustitución en caso de deceso y de producción perdida. La producción perdida puede ser calculada como [Rothengatter, 1996]:
  - Producción bruta perdida = pérdida en tiempo futuro de trabajo por promedio futuro nacional de ingreso per cápita.
  - Pérdida neta de producción = producción bruta perdida menos consumo futuro.
- La determinación del riesgo de los accidentes (número de víctimas por vehículo-km por cada modo de transporte).

Merece un lugar especial la pérdida de utilidad causada por daño y sufrimiento, la cual es difícil de evaluar por las implicaciones éticas y la respuesta a la pregunta: ¿Cuánto vale una vida humana? Como se indicó en el Capítulo II, uno de los métodos que ha sido sugerido es el de la valuación contingente, la cual estima cuánto estaría la gente dispuesta a pagar para evitar una muerte estadística, antes del periodo de la esperanza de muerte. Se dice que en la valorización el factor dominante es precisamente “el valor de la vida humana”. Existen datos que indican que es 1.4 millones de ECU en Suecia, que ajustado al poder adquisitivo en Europa es de 1.1 ECU.

## Formulaciones Alternas

Considérense los siguientes planteamientos alternos:

### Formulación A (Modelo Continuo)

***La sociedad desea determinar la TDS en el horizonte de planeación de los siguientes T años, de modo que se satisfaga la demanda considerada de transporte y asimismo se minimice el costo de inversión /operación al atender la demanda y el costo de las externalidades.***

Considérese el caso de un solo modo de transporte y una sola externalidad.

Sean:

$g(t)$  = el nivel de demanda considerada en el tiempo  $t$ ;

$x(t)$  = el nivel de demanda satisfecha en el tiempo  $t$ ;



$y(t)$  = el nivel de externalidad en el tiempo  $t$ ;

Suponga además que:

$y_0$  = es el nivel que guarda la externalidad en el tiempo 0,

$y_t$  = es el nivel deseado de la externalidad al final del horizonte de planeación.

El costo de satisfacer la demanda es proporcional al nivel atendido y está dado por:

$$c_1 \int_0^T x(t) dt, c_1 > 0 \text{ y es conocido.}$$

El costo total está dado por

$$\int_0^T [c_1 x(t) + c_2(yt)] dt$$

Nótese también que el nivel de la externalidad en cualquier tiempo está dado por:

$$Y^{(t)} = Y^0 + \int_0^t [x(t)]$$

Supóngase además que el costo de la externalidad  $q$  es proporcional al nivel físico y está dado  $C_q$ , de modo que el costo de las externalidades está dado por  $\int_{q=1} C_q Y_t dt$

### Formulación B (Modelo Discreto)

$$\text{Maximizar } Z_t = \sum_{i=1}^m VPN_i \cdot x_{i,t}$$

Función objetivo (maximizar el Valor Presente Neto) sujeto a las siguientes restricciones:

Expresión	Concepto
$\sum_{i=1}^m rc_{j,i} \cdot x_{i,t} \geq RC_{j,t}$	Metas de reducción de contaminantes
$\sum_{i=1}^m I_{k,i} \cdot x_{i,t} \leq IT_{k,t}$	Monto de inversión
$\sum_{i=1}^m G_{k,i} \cdot x_{i,t} \leq GT_{k,t}$	Gastos de operación
$\sum_{i=1}^m D_i \cdot x_{i,t} \geq DT_t$	Restricción de demanda
para	
$x_{i,t} \geq 0$	Restricción de factibilidad
$x_{i,t} \leq RT_{i,t}$	Umbral máximo de las medidas (restricción técnica)

---

en donde:

$Z_t$  = Función objetivo en el corte de tiempo  $t$ ,

$VPN_i$  = Valor presente neto por unidad de acción de la medida  $i$ ,

$x_{i,t}$  = Valor que tomará la medida  $i$  en el “corte” de tiempo  $t$ , que representa el nivel de aplicación óptimo correspondiente,

$rc_{j,i}$  = Reducción anual de la externalidad  $j$  por cada unidad de la medida  $i$ ,

$RC_{j,t}$  = Metas de reducción anual del contaminante  $j$  en el corte de tiempo  $t$ ;  $j$  representa alguno de los siguientes contaminantes: HC, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PST,

$I_{k,i}$  = Monto de inversión por cada unidad de la medida  $i$  por parte del sector  $k$ ,

$IT_{k,t}$  = Máximo monto acumulado de inversión que se esperaría del sector  $k$  en el corte de tiempo  $t$ ,

$G_{k,i}$  = Monto del gasto de operación por cada unidad de la medida  $i$  por parte del sector  $k$ ,

$GT_{k,t}$  = Máximo gasto de operación que se esperaría del sector  $k$  en el corte de tiempo  $t$ .

A su vez,

$k \in$  = {"sector público", "sector privado"},

$D_i$  = Demanda de transporte satisfecha por cada unidad de la medida  $i$ ,

$DT_t$  = Demanda total de transporte público en el corte de tiempo  $t$ ,

$M$  = Número de medidas.

## El Daño Evitado: Los Beneficios y Costos Externos

En el enfoque expuesto el abatimiento de las externalidades presupone evitar daños futuros a la sociedad. La magnitud de los daños depende del nivel físico y la cantidad reducida de la externalidad, monetarizada a través de la multiplicación del nivel físico por el valor unitario del daño evitado correspondiente a dicha externalidad. Nótese que el daño evitado resulta independiente del costo de prevención y el control para evitar daños.

## Dualidad: Los Costos de Oportunidad Internos

En la estimación del costo de prevención y control se pueden distinguir dos conceptos:

- El costo financiero de la canasta óptima de proyectos  $X$  seleccionada de acuerdo con la formulación del PPL antes indicado.
- El costo de oportunidad que representa “usar” una unidad adicional de la externalidad para generar los beneficios implícitos a la función de bienestar para los usuarios del transporte. Este costo se puede derivar por dualidad.

En efecto, de la literatura especializada de programación lineal [Dantzing, 1957 y Bazaraa, 1998], se sabe que, al resolver un modelo de programación lineal (*primal*) se está resolviendo simultáneamente el *dual* asociado.

Sea  $w_i$  el *costo de oportunidad* por el uso de una unidad del recurso  $i$ . Si quien decide considera *rentar a la sociedad* los  $m$  recursos en los precios unitarios  $w_i$  (incluyendo las externalidades) en vez de “generarlas” con los diferentes modos de transporte. El resultado principal de dualidad establece que la renta total resultante compensa el beneficio social óptimo, que se obtiene por la operación de los modos de transporte. Así,  $w_i$  imputa un valor que el decisor asocia a una unidad del  $i$ -ésimo recurso (o externalidad) desde el punto de vista de que la selección de modos de transporte sea la óptima.

### **Formulación del Dual**

El problema de Maximización de los Beneficios al Transporte, para un corte de tiempo dado, se formuló con la siguiente estructura:

(P) Maximizar  $z = d \cdot x$ , en donde,  $d$ : Vector de beneficios unitarios de las medidas  $x$

sujeto a:

$A_1 \cdot x \geq b_1$      $A_1$ : Matriz de reducción de emisiones;  $b_1$  Metas de reducción de emisiones en el corte de tiempo  $t$ .

$A_2 \cdot x \leq b_2$      $A_2$ : Matriz de inversiones derivadas de cada medida;  $b_2$ : presupuesto de inversión disponible en  $t$ .

$A_3 \cdot x \leq b_3$      $A_3$ : Matriz de costos de operación de las medidas;  $b_3$ : presupuesto disponible para operación en  $t$ .

$A_4 \cdot x \geq b_4$      $A_4$ : Matriz de capacidad de satisfacción de la demanda por las medidas;  $b_4$ : Demanda en  $t$ .

$I \cdot x \leq u$          $I$ : Matriz identidad;  $u$ : Restricciones técnicas de las medidas en  $t$ .

Para:

$x \geq 0$         Factibilidad

El problema se puede expresar en forma canónica al cambiar la función objetivo por:

Minimizar  $Z = -dx$

en donde  $d > 0$

El problema dual mixto correspondiente sería:

(D) Maximizar  $Y = w_1 b_1 + w_2 b_2 + w_3 b_3 + w_4 b_4 + w_5 U$

en donde,

$w$ : Costo de oportunidad asociado a la restricción correspondiente

sujeto a:

$-w_1 I \leq 0$

$w_5 I \leq 0$

$$w_3 / \leq 0$$

$$-w_4 / \leq 0$$

$$w_5 / \leq 0$$

$w_1, w_2, w_3, w_4, w_5$  no restringidas

De lo anterior se deduce que:

$$w_1, w_4 \geq 0$$

$$w_2, w_3, w_5 \leq 0$$

en donde,  $w_1$  es el vector del costo de oportunidad de las metas de reducción de emisiones.<sup>39</sup>

## Los Multiplicadores Netos Reducidos

Los multiplicadores netos reducidos constituyen la diferencia entre los multiplicadores del daño evitado y los costos de oportunidad obtenidos por dualidad. Este nuevo coeficiente es el que permite monetarizar el efecto neto de la externalidad, y posteriormente acumularlo a la corriente de beneficios tradicionales distintos de la reducción de externalidades.

### *Beneficio Neto Incluyendo Externalidades*

Así, la conjunción de los beneficios tradicionales de un proyecto de inversión  $X_j$  con los correspondientes a la reducción de externalidades, denominado  $BE_j$  de un proyecto de inversión  $X_j$ , y reducido al  $VPNE_j$ , está definido como sigue:

$$VPNE(X_j) = \sum_{k=0}^N F_k(X_j) / (1+i)^k + \sum_{e=1}^E \sum_{k=0}^N [\omega_{ek} - \lambda_{ek}] \mathfrak{R}_{ek}(X_j) (1+r)^k$$

donde:

$VPNE(X_j)$  = Valor Presente Neto de  $X_j$  incluyendo beneficios tradicionales y externalidades,

$F_k(X_j)$  = Vector de flujos netos de  $X_j$  de beneficios tradicionales,

$N$  = Número de periodos de evaluación,

$i$  = Costo de capital para descontar los flujos netos de beneficios tradicionales,

$\omega_{ek}$  = Beneficio unitario externo por unidad física de reducción de la externalidad  $e$  en el periodo  $k$ , calculado a partir de cualquier método de monetarización de externalidades,

$\lambda_{ek}$  = Costo unitario de oportunidad interna por unidad física al utilizar la externalidad  $e$  en el periodo  $k$  para generar los beneficios tradicionales,

<sup>39</sup> De acuerdo con el teorema débil de holgura complementaria: en caso de optimización, "si una variable en uno de los problemas es positiva, entonces la restricción correspondiente del otro problema es sin holgura" y "si una restricción en uno de los problemas es con holgura, entonces la variable correspondiente en el otro problema debe ser cero".

- 
- $\mathfrak{R}_{ek}(X_j)$  = Vector conteniendo la reducción física de la externalidad  $e$  en el periodo  $k$  dado  $F_k$ ,
- $r$  = Costo de capital para descontar los beneficios por reducción de externalidades
- $e$  = Externalidad  $e$  ( $e=1$  a  $E$ ),
- $E$  = Número de externalidades.

Se asume aditividad entre los beneficios tradicionales y los derivados de la reducción de externalidades, pero descontados a tasas de descuento que no necesariamente son iguales, siendo generalmente  $r \neq i$ . Esto es, alguno de los flujos atribuibles a las externalidades podría coincidir en su tasa de desempeño.

#### *Aplicación a Medidas Específicas o Proyectos Individuales*

El planteamiento antes expuesto permite derivar los coeficientes de monetarización netos reducidos, para cada externalidad y cada periodo de tiempo. Se hace notar que:

- Los coeficientes de monetarización netos reducidos son **calculados a nivel sistema** y pueden ser utilizados para monetarizar beneficios, por abatimiento de externalidades de cualquier medida específica o proyecto individual ubicado en el sistema de análisis, bajo el cual se derivaron los multiplicadores netos, a partir de la tabla de reducción física de cada externalidad en el tiempo.
- Las propias **medidas consideradas en la canasta de proyectos, pueden “rankearse”**, si se adicionan a los beneficios tradicionales, los relativos a la reducción de externalidades.
- Puede estimarse el **beneficio global de la estrategia óptima de prevención y control**, dada por la canasta óptima de proyectos y compuesta por el beneficio tradicional a los usuarios del transporte, más los beneficios por reducción de las externalidades.

#### *Pasos a Seguir para una Jerarquización Integral de Medidas o Proyectos Específicos*

En términos generales se puede considerar la función de Beneficio Social Neto (BSN) compuesto por el Beneficio Social Neto del Transporte (BST) y el Beneficio Social de Reducción de las Externalidades (BSE).

- Paso 1.** Formular el PPL de forma tal que se maximice el BST. Considerando las externalidades como restricciones de recursos escasos,
- Paso 2.** Resolver el PPL y para obtener la canasta óptima de proyectos  $X^*$ : (BS $x^*$ ),
- Paso 3.** Resolver el Dual del PPL y obtener  $W^*$  para todas las externalidades,

**Paso 4.** Para cada externalidad  $E_i$  calcular el beneficio neto reducido  $\lambda_i^* = WTP_i - W_{j_i}$

**Paso 5.** Monetizar la reducción de externalidades  $E_i$  de  $X^* \cdot BSE = \sum \lambda E_i$ .

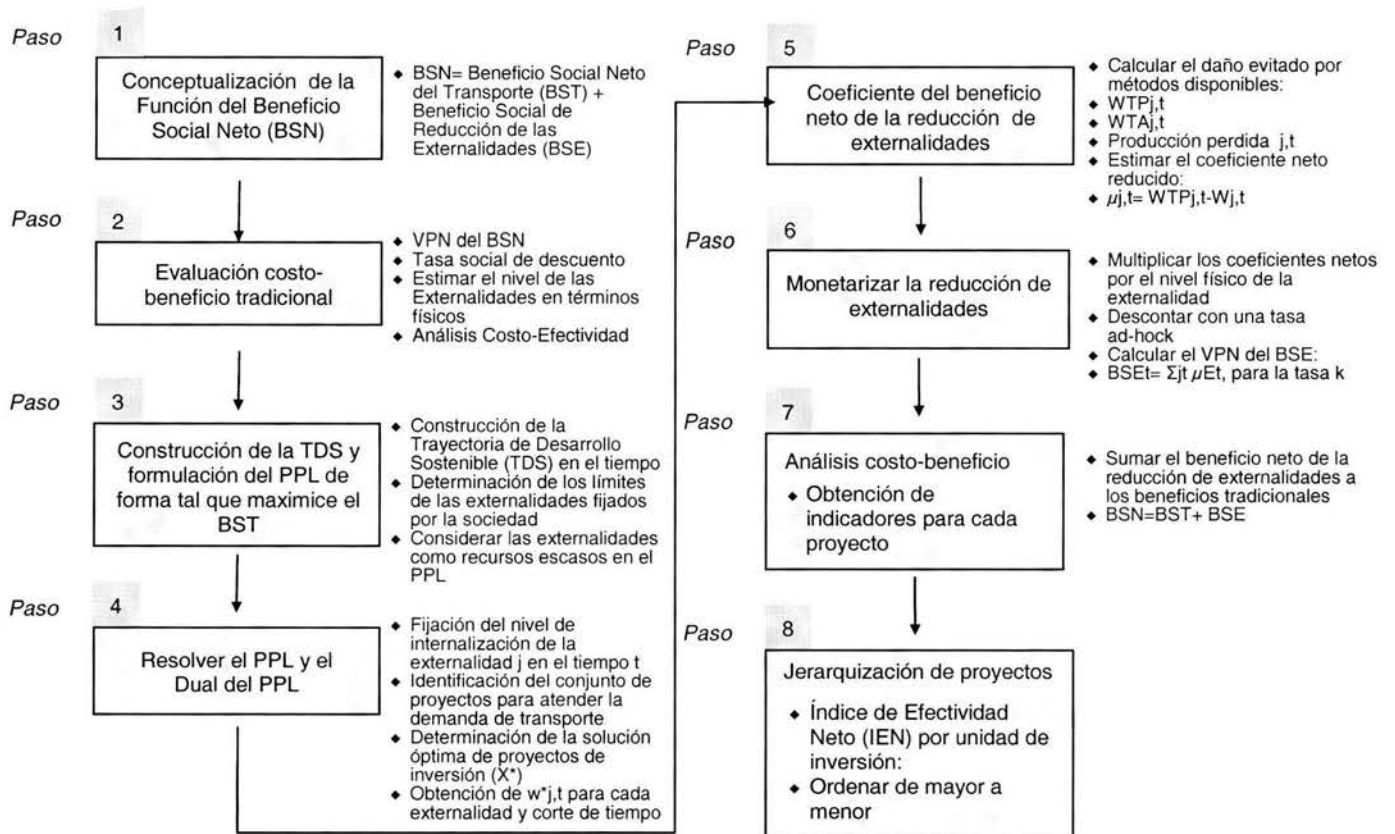
**Paso 6.** Calcular el BSN= BST+BSE,

**Paso 7.** Calcular el índice de efectividad neto (IEN) para cada  $X_i$ , dividiendo BSN/Inversión  $X_i$ ,

**Paso 8.** Ordenar de mayor a menor IEN<sub>i</sub> para tener la jerarquización final deseada.

El procedimiento se repite para cada periodo en el tiempo.

**Figura 16.**  
**Metodología Propuesta de ACBE para la Incorporación de Externalidades**



Fuente: Elaboración propia del autor.

---

## El Concepto de Internalización de Externalidades

El fin último de monetarizar las externalidades es el de reflejar dichos valores en los costos de explotación y producción de cada modo de transporte, de tal forma que pueda ser absorbido por quienes generan dichos costos. Generalmente esto se realiza por medio de impuestos especiales, cuotas o peajes, a través de un proceso de internalización.

Una internalización eficiente implica fijar precios de acuerdo al costo marginal social, para asegurar que los usuarios de determinado modo de transporte disponen, conocen y pagan los precios correctos cuando eligen el modo de transporte a utilizar.

La teoría económica sugiere que los impuestos son preferibles a los subsidios para la internalización de costos [ECMT, 1998]. En la práctica, sin embargo, los subsidios son utilizados como la “segunda mejor opción”, lo cual hace más atractivo usar el modo más “económico” en lugar de pagar más por un modo menos deseable, desde el punto de vista de la eficiencia económica.

Esto resulta de suma utilidad en la definición de políticas de tarificación/*pricing* ambiental y/o de congestión de los modos de transporte. Aunque es un tema de actualidad, no se considera en los alcances de esta investigación.

## Recapitulación

Hasta aquí se ha planteado, a partir de los métodos existentes, una nueva variante de monetarización de externalidades a través de **multiplicadores netos reducidos**, al utilizar el enfoque clásico de optimización, formulando una función estándar –el beneficio social neto– que sintetiza el valor para el decisor e iterativamente mejora su desempeño hacia una selección óptima, como combinación de varias alternativas de elección, tomando en cuenta limitaciones de recursos escasos públicos y privados.

Se ha propuesto un enfoque de PL que usualmente es desdeñado en países desarrollados, se ha requerido utilizar, pero en países en desarrollo, a pesar de las hipótesis inherentes, es de suma utilidad al sólo competir con enfoques heurísticos con información parcial y, en el mejor de los casos, con análisis monocriterio extremistas, como ha sido el caso de los proyectos ambientales, o evaluaciones multicriterios subjetivas no ortodoxas o con limitaciones de información cuantitativa. El transporte y el medio ambiente, al menos en México, han caminado cada cual por su lado, radicalizando posiciones con certeza de la verdad absoluta en un complicado arreglo institucional, poco flexible y con interferencia de restricciones políticas, para afrontar las decisiones técnicas adecuadas en beneficio del usuario del sistema de transporte y la sociedad en general.

Desde luego que las soluciones al problema real van mucho más allá de las que pueden obtenerse con modelos lineales, pero estos disponen de una amplia capacidad para modelar problemas grandes y complejos, ventajas a las que se suma la rapidez con que pueden

---

obtenerse los resultados y la capacidad de análisis del tipo “qué pasa si”; con más apoyo, hoy en día, del impresionante desarrollo de la informática.

Se ha generado una secuencia determinística y lineal, para obtener la solución óptima basada en el gradiente de la función de beneficio social neto y una serie de restricciones, incluidas, por diseño, las externalidades. Aunque el modelo es estático en su concepción inicial, el procedimiento propuesto y el enfoque de planeación y control lo dinamizan mediante la simulación concatenada por medio de la optimización por subperiodo, y abarcando diferentes cortes en el horizonte de evaluación. Se ha formulado la solución dual complementaria asociada, para derivar los costos internos de oportunidad del uso de las externalidades como recursos escasos.

La conjunción de estos costos internos con los beneficios externos de abatir las externalidades, debe conducir a una dimensión más justa del verdadero efecto neto del beneficio de la externalidad, al agregarse a los beneficios tradicionales calculados en ausencia de la externalidad.

En el siguiente capítulo se desarrolla un ejercicio práctico real que, a pesar de las limitaciones de información actualizada, permite una mejor aclaración de los conceptos hasta aquí planteados.



---

## **V. UN CASO DE APLICACIÓN AL TRANSPORTE URBANO EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO**

### **Introducción**

A continuación se presenta un caso de estudio para la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), en términos de satisfacción de las necesidades de transporte y control de la contaminación y otras externalidades, usando el enfoque sistémico antes expuesto. El ejercicio contrasta un escenario de tendencia, que carece de acciones, con un escenario propositivo, que incluye acciones. Las acciones son valuadas tomando en cuenta los beneficios tradicionales y la reducción de externalidades, bajo la metodología descrita en el capítulo IV.

El ejercicio, de forma ilustrativa, condensa los esfuerzos desarrollados por el autor con motivo de diversos trabajos elaborados para la Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad (COMETRAVI) de la ZMVM, en el marco de una Estrategia Integral de Transporte y Calidad del Aire en la Ciudad de México. El esfuerzo se ha apoyado en la, hasta ahora mejor, más completa y consistente, información disponible, sobre las cuestiones del transporte y la calidad del aire en la ZMVM en 1998.

La actualización de la base de datos al día de hoy, presupone un considerable esfuerzo en tiempo y recursos que escapan a los alcances del presente trabajo de investigación.

### **Antecedentes**

La ZMVM es una de las áreas urbanas más pobladas del mundo y tiene un severo problema de contaminación ambiental. Su población ha crecido de medio millón de habitantes a principios de siglo, a más de 17 millones en 1995, casi 18 millones de habitantes en el año 2000 y se esperan 21 millones para el 2010 [COMETRAVI, 1996]. Actualmente, en la ZMVM se asienta el 18% de la población del país, se genera el 31% del producto interno bruto y se consume el 17% de la generación nacional de energía.

La información reportada por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), instalada en la ciudad en 1986, indica que frecuentemente se rebasa la norma del índice IMECA (100 puntos) en más del 90% de los días del año. De acuerdo con el inventario reportado en 1996 [INE, 1996] se emitieron a la atmósfera poco más de cuatro millones de toneladas de contaminantes durante 1994, de las cuales el 75% se atribuyó al sector transporte.

Las necesidades de transporte de la ZMVM continúan en aumento, en la medida que la población crece y la ciudad se expande. La satisfacción adecuada de estas necesidades requiere una visión sistémica, basada en una integración de políticas urbanas que,

---

gradualmente, den forma a una nueva estructura de transporte eficiente, seguro y ambientalmente limpio [OCDE, 1990].

Existen antecedentes muy serios para el desarrollo de programas integrados de transporte y calidad del aire en la ciudad de México [The World Bank, 1992]. La metodología de evaluación de las medidas de control de contaminantes, utiliza el indicador de costo-efectividad (costo por tonelada eliminada de contaminante ponderado por toxicidad). El informe reconoce, sin embargo, la necesidad de que la evaluación y jerarquización de medidas de control de emisiones al medio ambiente, debe llevarse a cabo comparando los costos y beneficios involucrados en cada caso, y seleccionando aquellas que ofrezcan el mayor beneficio social neto.

En este ejemplo se aplican los conceptos para desarrollar en la ZMVM una estrategia que integra los objetivos del transporte y la calidad del aire en forma concurrente, utilizando criterios que van más allá del indicador de costo-efectividad.

En el ejercicio juega un papel muy importante la evaluación económica de cada medida. Anticipando a lo descrito con detalle más adelante, la evaluación económica de cada medida en lo particular, fue realizada en términos unitarios considerando inicialmente beneficios imputables a los usuarios del transporte: ahorros en costos de operación y ahorros en valor de tiempo de los usuarios. La unidad de intensidad de cada medida podía ser un módulo o paquete, de manera que el resultado de la evaluación pudiese combinarse más adelante con los resultados de otras medidas. Así, por ejemplo, para el caso de la evaluación de la medida de extensión de líneas del metro, se realizó la evaluación de un hipotético módulo de 10 km de línea que produciría un Valor Presente Neto (VPN) de X millones de pesos/10 km línea y se asume que, si esta medida se llevase a una intensidad de 20 km, el VPN correspondiente sería directamente proporcional  $[(20/10) \cdot X \text{ millones de pesos}]$  respecto al resultado anterior. De igual manera se expresaron en términos unitarios los resultados de la reducción de emisiones contaminantes, por ejemplo, ton/año de hidrocarburos (HC)/10 km línea de metro.

El otro aspecto a resolver fue la manera de combinar las diferentes medidas de cada sector e integrarlas en una estrategia. Las medidas seleccionadas ofrecen beneficios netos al transporte o reducciones a las emisiones contaminantes, o ambas cosas. Conforme a un esquema de aditividad de los beneficios, la hipótesis implícita es que la intensidad de cada medida debería ser tanta como fuese posible, según las restricciones técnicas, presupuestales, de reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera y de demanda. Estas restricciones se consideran en el modelo de programación lineal, cuya formulación se indicó en el Capítulo IV.

Se han incluido en esta investigación los análisis orientados a la interpretación de las soluciones del modelo dual y su significado en términos del precio sombra o costo interno de oportunidad del uso de recursos escasos de los bienes públicos (las externalidades) y otras restricciones usadas en el modelo, como las de carácter presupuestal.

Ello permite una primera aproximación del valor de los recursos escasos para utilizarlos posteriormente en la valuación económica de la reducción de contaminantes por tipo y poder introducirlos posteriormente en el cálculo del VPN de cada medida o proyecto, a través de los multiplicadores netos reducidos definidos en el Capítulo IV.

Con lo cual se pueden emitir recomendaciones para los evaluadores de proyectos de transporte, sobre la forma de incorporar los beneficios resultantes de la emisión de contaminantes y los multiplicadores de monetarización recomendados en cada caso, a la luz de las hipótesis aquí planteadas.

## Metodología

A continuación se aplica la metodología propuesta en el Capítulo IV.

### Identificación de medidas específicas

- Se identificaron inicialmente un conjunto de medidas que intentan resolver la problemática, como resultado de diversos estudios específicos en cada tema. Del conjunto de propuestas se seleccionaron las 31 medidas que se resumen en la tabla 13, en la que el umbral máximo corresponde al nivel máximo de aplicación de cada medida.

**Tabla 13**  
**Resumen de medidas y sus umbrales máximos al año 2020**

Medidas	Umbral máximo
<b>Transporte de Pasajeros</b>	
• Ampliar la red de trolebuses	1 192 km
• Ampliar la red del Metro	76 km
• Construir líneas de tren regional	68 km
• Ampliar la red del tren ligero	74 km
• Continuar el programa de licitación de las rutas de autobuses en el D.F.	6 000 autobuses
• Adecuar y ampliar la red de carriles exclusivos para autobuses	300 km
• Incorporar autobuses articulados en corredores de demanda intermedia	300 km
• Implantar el programa de rutas exprés metropolitanas	300 km
• Implantar rutas de transporte público de servicio ejecutivo	200 km
• Impulsar el programa para la sustitución de minibuses por autobuses	12 000 autobuses
• Establecer bases para el servicio de taxi libre	52 000 taxis
• Impulsar el transporte especializado escolar y de personal	525 000 viajes
• Implantar restricciones de acceso al área central	35 000 autos/hr
• Incrementar los cargos de estacionamiento	35 000 autos/hr
<b>Transporte de Carga</b>	
• Homologar los vehículos federales de carga a las normas locales	39 000 vehículos
• Fomentar la creación de sociedades mercantiles de transporte de carga	7 500 vehículos
• Fomentar la instalación de centros de transferencia de carga	22 000 vehículos
• Fomentar la instalación de centros de servicio local de carga	8 000 vehículos
• Impulsar el uso del ferrocarril en transporte de largo arrastre	1 500 vehículos
<b>Infraestructura Vial</b>	
• Mejoramiento de intersecciones metropolitanas	500 intersecciones
• Reforzar el mantenimiento de corredores metropolitanos	240 km
• Pavimentación de vialidades en zonas marginadas	500 km
• Concluir la construcción del Circuito Interior y el Anillo Periférico	60 km
• Construir anillos y corredores metropolitanos	241 km

**Tabla 13**  
**Resumen de medidas y sus umbrales máximos al año 2020 (continuación)**

Medidas	Umbral máximo
<b>Tecnología de Vehículos y Uso de Combustibles</b>	
• Uso de gas natural en vehículos de flotillas	786 000 vehículos
• Uso de gas natural en minibuses	28 000 vehículos
• Uso de gas natural en autobuses	12 000 vehículos
• Instalación de convertidores catalíticos en vehículos privados	298 000 vehículos
• Reemplazo de autos viejos	260 000 vehículos
• Reemplazo de camiones viejos	269 000 vehículos
• Normas de baja emisión de contaminantes en taxis libres y de sitio	92 000 vehículos

### **Evaluación tradicional de las medidas específicas**

Las distintas medidas se evaluaron en términos de análisis costo-beneficio. El planteamiento del uso del VPN representa un avance importante en éste ámbito, puesto que en México sólo se habían utilizado criterios de costo-efectividad, no de Valor Presente Neto-Efectividad.

**El Valor Presente Neto (VPN) de cada medida**, se usó como un indicador de sus beneficios potenciales para los usuarios y para los prestadores de servicio; el VPN se calculó comparando los costos de inversión con los beneficios al sistema de transporte, integrados por los ahorros en costos de operación y los ahorros en tiempos de viaje de los usuarios. Más específicamente:

- Los costos de inversión se obtuvieron para cada medida, mediante la aplicación de índices de costo resultantes del análisis de las estadísticas disponibles en las dependencias correspondientes del Gobierno del Distrito Federal y del Estado de México,
- Los ahorros en los costos de operación de los vehículos se obtuvieron aplicando el modelo VOC del Banco Mundial,
- Los ahorros en los tiempos de viaje de los usuarios se valoraron conforme a los lineamientos del Banco Mundial,
- En todos los casos, se evaluaron las situaciones con y sin proyecto para cada medida, a precios constantes de 1998.

Los resultados de la evaluación para tales medidas se resumen en la tabla 14, en la que se presenta el impacto de cada una, **bajo el supuesto de que sea factible aplicarlas a su nivel máximo**; así por ejemplo, el VPN de 1 110 millones de pesos para la medida número 28 (rutas exprés metropolitanas), corresponde a la implantación de los 300 km de rutas indicadas en la tabla 13.

En el caso de las medidas de administración de la demanda, el monto de inversión indicado en la tabla incluye el costo de las campañas de difusión, que se consideran necesarias para su correcta aplicación; estas campañas se orientan no solamente a las medidas en sí

mismas, sino que incluyen un componente para la difusión de la estrategia integral, y de las características generales de los proyectos a impulsar. El concepto de la medida número 3, sólo incluye el costo de las actividades de promoción para impulsar un uso más intensivo del transporte especializado en empresas y centros escolares.

Aun en estas condiciones, las tres medidas de administración de la demanda son seleccionadas por el modelo para su implantación completa en el periodo 1988-2010, lo que ocurre debido a sus valores relativamente altos en el VPN con respecto a la inversión total; especialmente para la medida 3, se incluye su implantación total en el periodo 1998-2000.

En general, las medidas que se orientan a reducir el uso del automóvil particular –debido a su alta efectividad ambiental—, son seleccionadas por el modelo para incluirlas en el primer horizonte de planeación; esto explica en parte la incorporación de las medidas de administración de la demanda.

La aportación de cada medida al VPN y a la reducción de emisiones, bajo el supuesto de que pudieran llevarse hasta su nivel máximo de aplicación, en las figuras 17 y 18 se observa claramente la aportación que tienen las medidas de tecnología de vehículos y combustibles en la reducción de contaminantes.

**Tabla 14.**

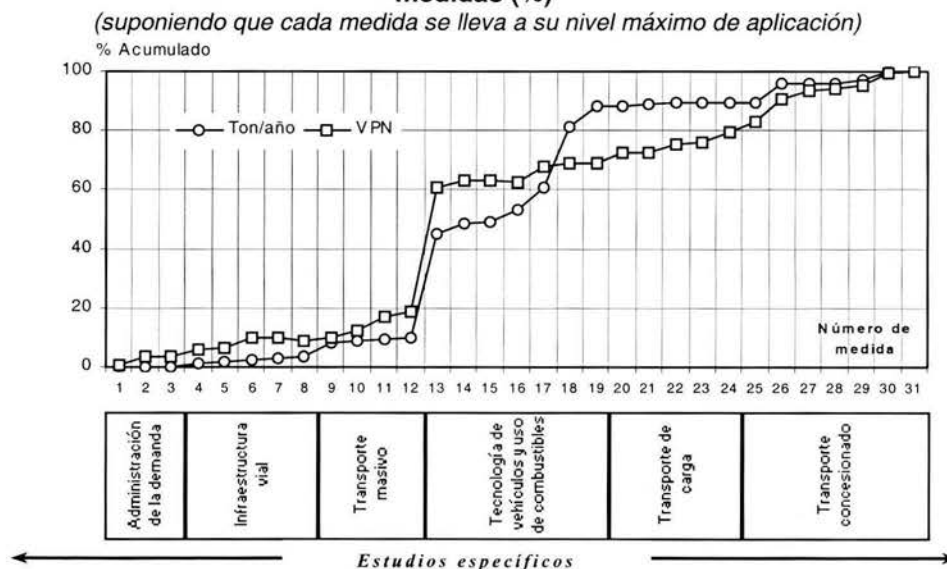
**Impacto de las 31 medidas, suponiendo que cada una se lleva a su nivel máximo de aplicación**

No	Medida	Monto de Inversión (Mill. \$)	VPN (Mill. \$)	Reducción De Contaminantes; (ton/año)				
				HC	CO	NOx	SOx	PST
1	Implantar restricciones de acceso al área central	5 250	1 050	57	1 020	(68)	-	6
2	Incrementar los cargos de estacionamiento	3 500	6 136	28	510	(35)	-	3
3	Impulsar el transporte especializado escolar y de personal	48	270	30	594	(12)	-	(3)
4	Mejoramiento de intersecciones metropolitanas	558	4 642	1 600	23 800	50	(45)	(2)
5	Reforzar el mantenimiento de corredores metropolitanos	123	2 344	1 146	14 582	229	-	(2)
6	Pavimentación de vialidades en zonas marginadas	1 149	6 613	1 335	15 575	130	-	805
7	Concluir la construcción del Circuito Interior y el Anillo Periférico	683	300	710	9 413	49	-	-
8	Construir anillos y corredores metropolitanos	4 993	(2 505)	1 388	15 085	981	-	-
9	Ampliar la red de trolebuses	41 362	3 214	16 690	56 644	41 098	538	1 961
10	Ampliar la red del Metro	37 415	4 445	2 841	9 375	7 074	91	352
11	Construir líneas de tren regional	6 220	9 716	2 140	7 064	5 330	72	265
12	Ampliar la red del tren ligero	12 802	3 946	1 864	6 186	4 631	60	228
13	Uso de gas natural en vehículos de flotillas	22 685	90 957	9 472	847 493	37 032	-	1 717
14	Uso de gas natural en minibuses	1 112	5 787	18 467	78 081	3 483	-	29
15	Uso de gas natural en autobuses	3 623	2	-	-	4 836	-	582
16	Instalación de convertidores catalíticos en vehículos privados	1 090	(1 090)	6 728	106 308	1 111	-	69
17	Reemplazo de autos viejos	3 758	10 755	12 054	176 320	5 000	-	93
18	Reemplazo de camiones viejos	46 647	2 797	50 104	454 976	9 105	-	5 468
19	Normas de baja emisión de contaminantes en taxis libres y de sitio	98	(98)	15 634	166 610	5 771	-	1
20	Homologar los vehículos federales de carga a las normas locales	26 407	7 171	587	313	1 291	117	-

**Tabla 14.**  
**Impacto de las 31 medidas, suponiendo que cada una se lleva a su nivel máximo de aplicación**  
**(continuación)**

No	Medida	Monto de Inversión (Mill. \$)	VPN (Mill. \$)	Reducción De Contaminantes; (ton/año)				
				HC	CO	NOx	SOx	PST
21	Fomentar la creación de sociedades mercantiles de transporte de carga	271	772	536	7 774	110	22	1
22	Fomentar la instalación de centros de transferencia de carga	17 756	6 719	907	4 575	6 457	(31)	170
23	Fomentar la instalación de centros de servicio local de carga	107	791	226	2 872	67	12	1
24	Impulsar el uso del ferrocarril en transporte de largo arrastre	155	7 812	203	630	519	13	28
25	Continuar el programa de licitación de las rutas de autobuses en el D.F.	4 911	7 902	864	2 361	1 781	15	-
26	Impulsar el programa para la sustitución de minibuses por autobuses	5 450	16 083	6 060	171 135	(20 105)	174	(1 090)
27	Adecuar y ampliar la red de carriles exclusivos para autobuses	2 715	6 075	540	2 028	1 272	18	50
28	Implantar el programa de rutas exprés metropolitanas	300	1 110	73	116	156	1	-
29	Incorporar autobuses articulados en corredores de demanda intermedia	7 830	2 952	4 201	14 256	10 343	135	494
30	Implantar rutas de transporte público de servicio ejecutivo	560	8 273	4 340	65 740	(750)	100	(110)
31	Establecer bases para el servicio de taxi libre	130	1 615	469	6 048	155	12	0
<b>Total</b>		<b>259 710</b>	<b>216 553</b>	<b>161 294</b>	<b>2 267 484</b>	<b>127 092</b>	<b>1 304</b>	<b>11 117</b>

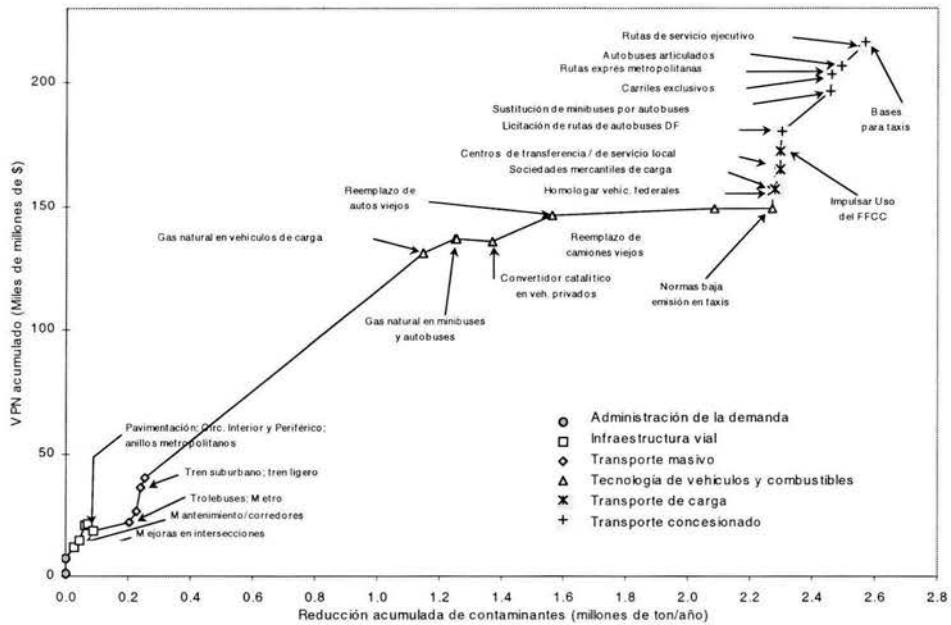
**Figura 17.**  
**Valor presente neto acumulado y reducción acumulada de contaminantes por grupo de medidas (%)**



Nota: Los números en la figura, corresponden a los números de la Tabla 14 con los que se identifica a cada una de las medidas.

Fuente: Elaboración propia del autor.

**Figura 18.**  
**Valor presente neto acumulado vs. reducción acumulada de contaminantes por año**  
*(suponiendo que cada medida se lleva a su nivel máximo de aplicación)*



Fuente: Elaboración propia del autor.

## Identificación de las externalidades a incorporar

Se incluyó en este ejercicio la reducción de emisiones contaminantes de carácter local asociadas a cada medida en particular; los contaminantes elegidos fueron: HC, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PST. La reducción de contaminantes se calculó aplicando factores de emisión por tipo de vehículo, y comparando la situación con y sin proyecto para cada medida.

Los factores de emisión se obtuvieron a partir de la siguiente información:

- Resultados de pruebas de laboratorio del Instituto Mexicano del Petróleo.
- Resultados de estudios de detección remota de contaminantes efectuadas en la Ciudad de México, y
- Factores de emisión generados con la aplicación del modelo Mobile5-MCMA del Gobierno del Distrito Federal.

## Formulación del modelo

Se formuló el modelo de programación lineal planteado en el Capítulo IV. El propósito fue determinar el nivel de aplicación óptimo de cada medida en cada uno de los horizontes de planeación seleccionados.<sup>40</sup> La función objetivo del modelo busca maximizar los beneficios al

<sup>40</sup> Se seleccionaron tres escenarios u horizontes de planeación, correspondientes a los años 2000, 2010 y 2020.

sistema de transporte, es decir, maximizar el VPN asociado a una combinación específica de medidas.

En el modelo, la optimización de la función objetivo está sujeta a un conjunto de restricciones en la selección de los niveles de aplicación de las medidas, que permitan al mismo tiempo cumplir con los objetivos de transporte y de calidad del aire; las restricciones consideradas fueron las siguientes:

- Técnicas (se refiere al nivel factible de aplicación de la medida);
- Metas de reducción de emisiones contaminantes (las externalidades);
- Recursos financieros;
- Satisfacción de la demanda de viajes.

Las expresiones que conforman el modelo de optimización son las siguientes:

$$\text{Maximizar } Z_t = \sum_{i=1}^{31} \text{VPN}_i \cdot X_{i,t}$$

Función Objetivo (Maximizar el VPN) Sujeto a las siguientes restricciones:

Expresión	Concepto
$\sum_{i=1}^{31} rc_{j,i} \cdot x_{i,t} \geq RC_{j,t}$	Metas de reducción de contaminantes
$\sum_{i=1}^{31} I_{k,i} \cdot x_{i,t} \leq IT_{k,t}$	Monto de inversión
$\sum_{i=1}^{31} G_{k,i} \cdot x_{i,t} \leq GT_{k,t}$	Gastos de operación
$\sum_{i=1}^{31} D_i \cdot x_{i,t} = DT_t$	Restricción de demanda <sup>41</sup>
Para	
$x_{i,t} \geq 0$	Restricción de factibilidad
$x_{i,t} \leq RT_{i,t}$	Umbral máximo de las medidas (restricción técnica)

en donde:

$Z_t$  = Función objetivo en el corte de tiempo  $t$ .

$\text{VPN}_i$  = Valor presente neto por unidad de acción de la medida  $i$ .

$x_{i,t}$  = Valor que tomará la medida  $i$  en el "corte" de tiempo  $t$ , que representa el nivel de aplicación óptimo correspondiente.

$rc_{j,i}$  = Reducción anual del contaminante  $j$  por cada unidad de la medida  $i$ .

$RC_{j,t}$  = Metas de reducción anual del contaminante  $j$  en el corte de tiempo  $t$ ;  $j$  representa alguno de los siguientes contaminantes: HC, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PST.

$I_{k,i}$  = Monto de inversión por cada unidad de la medida  $i$  por parte del sector  $k$ .

$IT_{k,t}$  = Máximo monto acumulado de inversión que se esperaría del sector  $k$  en el corte de tiempo  $t$ .

<sup>41</sup> Para el horizonte 1998-2000 se usó el signo de mayor o igual en esta restricción.



---

$G_{k,i}$  = Monto del gasto de operación por cada unidad de la medida  $i$  por parte del sector  $k$ .

$GT_{k,t}$  = Máximo gasto de operación que se esperaría del sector  $k$  en el corte de tiempo  $t$ .

A su vez,

$k \in$  = {"sector público", "sector privado"}.

$D_i$  = Demanda de transporte satisfecha por cada unidad de la medida  $i$ .

$DT_t$  = Demanda total de transporte público en el corte de tiempo  $t$ .

De esta forma, se asegura que la prioridad de aplicación de cada una de las 31 medidas seleccionadas –y sus niveles de aplicación para cada horizonte–, permiten lograr la combinación de acciones con las que se obtienen los mayores beneficios al sistema de transporte, al mismo tiempo que se cumplen con las metas de reducción de contaminantes en el horizonte de planeación correspondiente.

También se incluyó como una restricción la cantidad de recursos disponibles para financiar la aplicación (inversión) y los gastos de operación de las medidas; en este caso, se partió del análisis del comportamiento histórico de los montos de inversión y de gasto corriente tanto del sector público como del privado, para determinar en cada horizonte niveles que fueran consistentes con ese comportamiento; de esta forma, se asegura la factibilidad de implantación de las medidas seleccionadas.

Finalmente, se incluye una restricción de demanda, que permite asegurar que, a nivel agregado, la capacidad asociada a los modos de transporte disponibles, sea igual a la demanda total estimada en cada horizonte de planeación; esta restricción solamente se considera para el transporte de pasajeros. De esta forma, se asegura que en todos los casos se satisface la demanda, pero tampoco habrá un exceso de oferta que pueda afectar el desempeño de los sistemas de transporte.

Como todo modelo, el utilizado constituye una simplificación de la realidad, ya que:

- Supone la agregación de los beneficios sin considerar interacciones entre variables (modelo lineal), o efectos sinérgicos (positivos o negativos); las variables son independientes entre sí.
- Las restricciones no están ponderadas.
- Es un modelo estático, aun cuando se simularon “cortes” en el tiempo, con el procedimiento de simulación concatenada.

## **Selección de Medidas por Escenario**

Con la aplicación del modelo referido se prepararon los programas de acción para cada uno de los horizontes seleccionados. Los beneficios al sistema de transporte y la reducción de emisiones que se obtendría con la aplicación de la estrategia, así como los montos de inversión requeridos son los que se indican en la tabla 15.

**Tabla 15.**  
**Inversión, beneficios al transporte y reducción de emisiones contaminantes por horizonte**

Indicadores:	Horizonte		
	1998-2000	2001-2010	2011-2020
<b>Inversión (millones \$):</b>	<b>27 025</b>	<b>120 028</b>	<b>86 150</b>
• Pública	9 008	34 322	45 505
• Privada	18 017	85 706	40 645
<b>Beneficios al transporte:</b>			
• Valor Presente Neto (millones \$ al 12% anual)	50 672	145 599	18 211
• Relación Beneficio-Costo	2.2	1.5	1.2
<b>Reducción de emisiones contaminantes (ton/año):</b>	<b>607 337</b>	<b>1 844 108</b>	<b>41 677</b>
• Hidrocarburos (HC)	44 138	101 494	4 933
• Monóxido de Carbono (CO)	544 851	1 670 202	16 019
• Óxidos de Nitrógeno (NOx)	16 339	64 980	19 353
• Óxidos de Azufre (SOx)	312	427	220
• Partículas (PST)	1 697	7 006	1 153

En el nivel agregado, la estrategia general tiene un VPN positivo en cada horizonte de evaluación, con relaciones Beneficio-Costo, superiores a la unidad, y lógicamente decrecientes, toda vez que el proceso de selección toma inicialmente las medidas “más atractivas” para la optimización considerada.

En la tabla siguiente, se presenta la participación porcentual por grupo de medidas, en los beneficios al transporte (VPN), la inversión y en la reducción de emisiones para el periodo 1998-2000.

**Tabla 16.**  
**Participación porcentual de cada grupo de medidas en el VPN y en la reducción de emisiones: 2000**

Grupo de Medidas	Inversión (%)	VPN (%)	Emisiones (%)				
			HC	CO	NOx	SOx	PST
Administración de la demanda	0.2%	0.5%	0.1%	0.1%	-0.1%	0.0%	-0.2%
Infraestructura vial	5.1%	18.2%	7.4%	7.9%	2.2%	-8.7%	28.3%
Transporte masivo	13.2%	7.0%	3.0%	0.8%	19.9%	13.9%	9.4%
Tecnología de vehículos y combustibles	44.4%	26.1%	65.7%	66.3%	58.8%	0.0%	61.4%
Transporte de carga	0.8%	8.5%	0.9%	0.8%	1.9%	6.3%	0.8%
Transporte concesionado	36.3%	39.7%	22.9%	24.1%	17.3%	88.6%	0.3%
SUMA:	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

**Tabla 17.**  
**Programas de acción 1998-2020**

COMPONENTE		UNIDAD	Umbral Máximo	1998- 2000	2001- 2010	2011- 2020
<b>Administración de la Demanda</b>						
1	Implantar restricciones de acceso al área central	Autos/hr	35 000	-	18 353	16 647
2	Incrementar los cargos de estacionamiento	Autos/hr	35 000	-	35 000	-
3	Impulsar el transporte especializado escolar y de personal	viajes/día	525 000	525 000	-	-
<b>Infraestructura Vial</b>						
4	Mejoramiento de intersecciones metropolitanas	<b>Intersecciones</b>	500	300	200	-
5	Reforzar el mantenimiento de corredores metropolitanos	km	241	241	-	-
6	Pavimentación de vialidades en zonas marginadas	km	500	300	200	-
7	Concluir la construcción del Circuito Interior y el Anillo Periférico	km	60	30	30	-
8	Construir anillos y corredores metropolitanos	km	241	-	241	-
<b>Transporte Masivo</b>						
9	Ampliar la red de trolebuses	km	1 192	40	386	-
10	Ampliar la red del Metro	km	76.4	-	4.5	71.9
11	Construir líneas de tren regional	km	68	24	44	-
12	Ampliar la red del tren ligero	km	74	-	30	44
<b>Tecnología de Vehículos y Combustibles</b>						
13	Uso de gas natural en vehículos de flotillas	Vehículos	785 500	34 500	751 000	-
14	Uso de gas natural en minibuses	Microbuses	27 739	6 000	21 739	-
15	Uso de gas natural en autobuses	Autobuses	12 201	-	-	12 201
16	Instalación de convertidores catalíticos en vehículos privados	Vehículos	298 194	178 916	119 278	-
17	Reemplazo de autos viejos	Autos	260 429	198 780	61 649	-
18	Reemplazo de camiones viejos	Camiones	269 376	41 727	227 649	-
19	Normas de baja emisión de contaminantes en taxis libres y de sitio	Taxis	91 652	21 150	70 502	-
<b>Transporte de Carga</b>						
20	Homologar los vehículos federales de carga a las normas locales	Vehículos	39 122	-	-	39 122
21	Fomentar la creación de sociedades mercantiles de transporte de carga	Vehículos	7 500	2 500	5 000	-
22	Fomentar la instalación de centros de transferencia de carga	Vehículos	22 000	-	8 848	13 152
23	Fomentar la instalación de centros de servicio local de carga	Vehículos	7 950	4 000	3 950	-
24	Impulsar el uso del ferrocarril en transporte de largo arrastre	Trailers	1 500	700	800	-
<b>Transporte Concesionado</b>						
25	Continuar el programa de licitación de las rutas de autobuses en el D.F.	Vehículos	6 000	-	6 000	-
26	Impulsar el programa para la sustitución de minibuses por autobuses	Autobuses	11 990	3 300	8 690	-
27	Adecuar y ampliar la red de carriles exclusivos para autobuses	km	300	114	186	-
28	Implantar el programa de rutas exprés metropolitanas	km	300	300	-	-
29	Incorporar autobuses articulados en corredores de demanda intermedia	km	300	241	59	-
30	Implantar rutas de transporte público de servicio ejecutivo	km	200	200	-	-
31	Establecer bases para el servicio de taxi libre	Taxis	52 000	52 000	-	-

## Solución de Dualidad

El Dual asociado fue resuelto como se expresó en el Capítulo IV. El problema fue formulado y su solución apoyada en hojas de cálculo en Excel cuyo “*solver*”, una vez que encuentra una solución óptima, permite obtener informes de sensibilidad y sobre los valores de las variables del problema dual asociado.

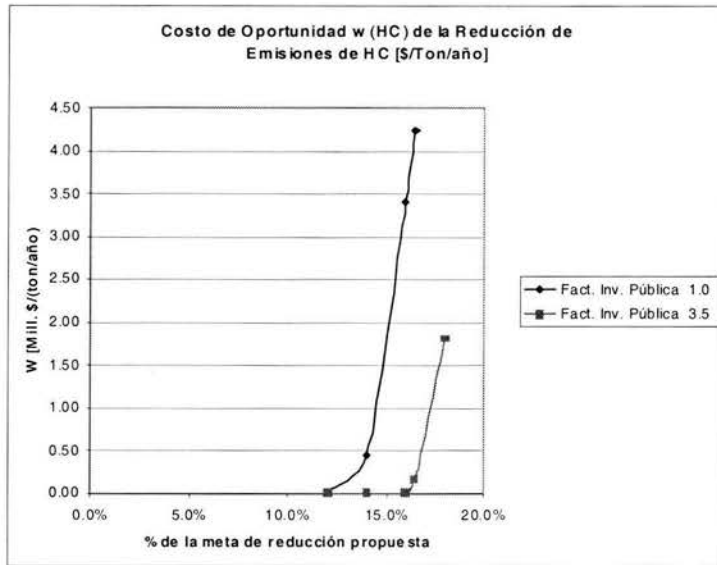
Durante la solución del problema primal con las metas iniciales de reducción de emisiones, y dadas las condiciones restantes de disponibilidad de presupuesto de inversión y de operación, el problema no tenía solución factible. Por lo cual fue necesario relajar las metas al año base de reducción de emisiones a un determinado porcentaje de su valor inicial. Una vez reducido el alcance de las metas se obtuvo una solución óptima para el problema primal (P), y en la restricción correspondiente a las metas de reducción de emisiones de HC fue sin holgura, de manera que la variable dual asociada a esta restricción ( $w_1$  HC) es positiva y corresponde al costo de oportunidad de dicha restricción, meta de reducción de emisiones de HC expresada en millones de pesos por cada (ton/año) que se incremente la restricción de reducción de emisiones de HC. Para este caso particular, las demás restricciones de los otros contaminantes fueron satisfechas con holgura, de manera que el resto de las  $w_1$  fueron igual a cero.

En la siguiente tabla se muestra el valor del costo de oportunidad de la reducción de emisiones de HC para diferentes porcentajes de la meta de reducción de los mismos y dependiente del nivel de inversión y gasto de operación disponible en el año t. Asimismo, en dicha tabla y en la gráfica adjunta se muestran los valores de la variable dual asociada cuando el nivel del presupuesto de inversión y operación se incrementa significativamente (a 3.5 veces el valor inicial).

**Tabla 18.**  
**(HC) (\$/ton/año): Costo de Oportunidad de la Reducción de Emisiones de HC**

[1 % Meta Reduc. HC	[2 Fact. Inv. Pública	[3 w (HC) (Mill. \$/ton/año)	[4 Reduc HC (ton/año)	[5 z (Mill. \$)	[1 % Meta Reduc. HC	[2 Fact. Inv. Pública	[3 w (HC) (Mill. \$/ton/año)	[4 Reduc HC (ton/año)	[5 z (Mill. \$)
12.0%	1.0	0.0083	31 716	63 987	12.0%	3.5	-	39 716	78 322
14.0%	1.0	0.4466	37 002	62 491	14.0%	3.5	-	39 716	78 322
16.0%	1.0	3.4162	42 288	59 011	16.0%	3.5	0.0063	42 288	78 306
16.5%	1.0	4.2368	43 609	54 401	16.5%	3.5	0.1620	43 609	78 259
					18.0%	3.5	1.8044	47 574	77 261

**Figura 19.**



Fuente: Elaboración propia del autor.

De los resultados mostrados en la gráfica y tablas anteriores se puede concluir que:

- Dada la escasez de recursos de inversión y operación se presentará un costo de oportunidad para las metas de reducción de emisiones de HC.
- Dicho costo de oportunidad será creciente en la medida que se pretenda alcanzar un mayor porcentaje de la meta original dado que se reducen los beneficios al transporte por tratar de cumplir las metas de reducción de emisiones.

- En particular, y dados los valores de las metas de los demás contaminantes en el corte de tiempo t, sus metas (porcentaje previsto) son resueltas con holgura una vez que se resuelve, sin holgura la meta de reducción de emisiones de HC,
- Al contar con más recursos de inversión y de operación se reducirá el costo de oportunidad de dicha meta o restricción.

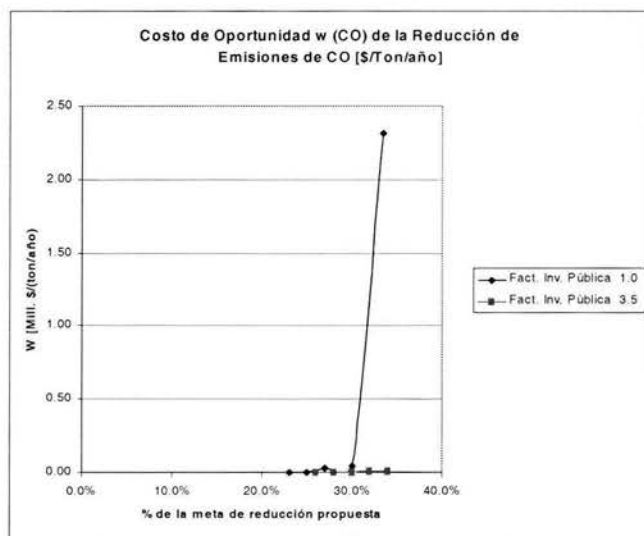
Si el problema se relajase en lo referente a las metas de emisiones de HC, de manera que solamente se pidiese que dichas reducciones fuesen mayores o iguales a cero, entonces la meta más restrictiva sería la de reducción de emisiones de CO. Una vez satisfecha la restricción sin holgura, la variable dual asociada ( $w_1$  CO) sería positiva indicando el costo de oportunidad correspondiente. También en este caso, el resto de las  $w_1$  fueron cero. En las siguientes tablas y gráfica se muestran los resultados de tal ejercicio.

**Tabla 19.**

**(CO) (\$/ton/año): Costo de Oportunidad de la Reducción de Emisiones de CO**

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
% Meta Reduc. CO	Fact. Inv. Pública	w (CO) (Mill. \$/ton/año)	Reduc CO (ton/año)	z (Mill. \$)	% Meta Reduc. CO	Fact. Inv. Pública	w (CO) (Mill. \$/ton/año)	Reduc CO (ton/año)	z (Mill. \$)
23.0%	1.0	0.0008	374 106	64 003	26.0%	3.5	-	453 317	78 322
25.0%	1.0	0.0009	406 638	63 977	28.0%	3.5	0.0006	455 434	78 320
27.0%	1.0	0.0283	439 168	63 159	30.0%	3.5	0.0006	487 965	78 301
30.0%	1.0	0.0400	487 965	62 239	32.0%	3.5	0.0103	520 496	78 004
33.5%	1.0	2.3186	544 894	58 958	34.0%	3.5	0.0103	553 027	77 671

**Figura 20.**



Fuente: Elaboración propia del autor

Cuando se relajan simultáneamente las metas de emisiones de HC y de CO de manera que solamente se pidiese que dichas reducciones fuesen mayores o iguales a cero, entonces la meta más restrictiva sería la de reducción de emisiones de NO<sub>x</sub> y de PST. Una vez satisfechas, sin holgura, las restricciones correspondientes, las variables duales asociadas ( $w_1$  NO<sub>x</sub> y  $w_1$  PST) serían positivas indicando el costo de oportunidad correspondiente. También en este caso, el resto de las  $w_1$  fueron cero. En las siguientes tablas y gráficas se muestran los resultados de tal ejercicio.

**Tabla 20.**

**w (NO<sub>x</sub>) (\$/ton/año): Costo de Oportunidad de la Reducción de Emisiones de NO<sub>x</sub>**

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
% Meta Reduc. NO <sub>x</sub>	Fact. Inv. Pública	w (NO <sub>x</sub> ) (Mill. \$/ton/año)	Reduc NO <sub>x</sub> (ton/año)	z (Mill. \$)
47.5%	1.0	0.0239	17 042	63 829
50.0%	1.0	0.0235	17 939	63 678
52.0%	1.0	0.4457	18 656	63 254
54.0%	1.0	0.4457	19 374	62 788

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
% Meta Reduc. NO <sub>x</sub>	Fact. Inv. Pública	w (NO <sub>x</sub> ) (Mill. \$/ton/año)	Reduc. NO <sub>x</sub> (ton/año)	z (Mill. \$)
70.0%	3.5	0.0170	2 514	78 299
75.0%	3.5	0.7999	26 908	76 867
80.0%	3.5	0.7999	28 702	75 432
85.0%	3.5	0.7999	30 495	73 997

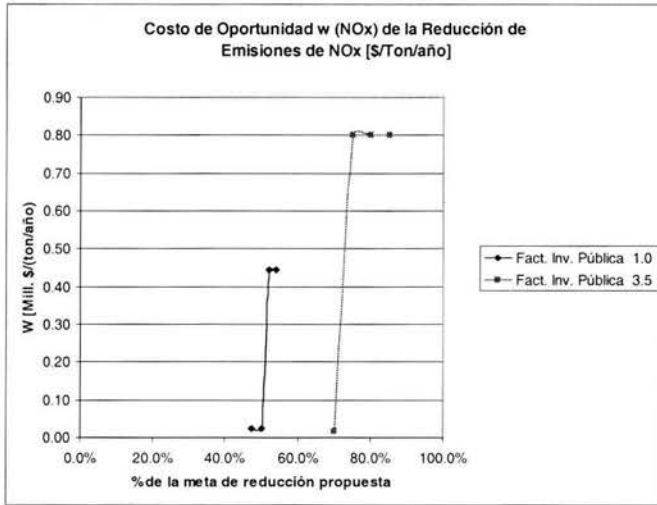
**Tabla 21.**

**w (PST) (\$/ton/año): Costo de Oportunidad de la Reducción de Emisiones de PST**

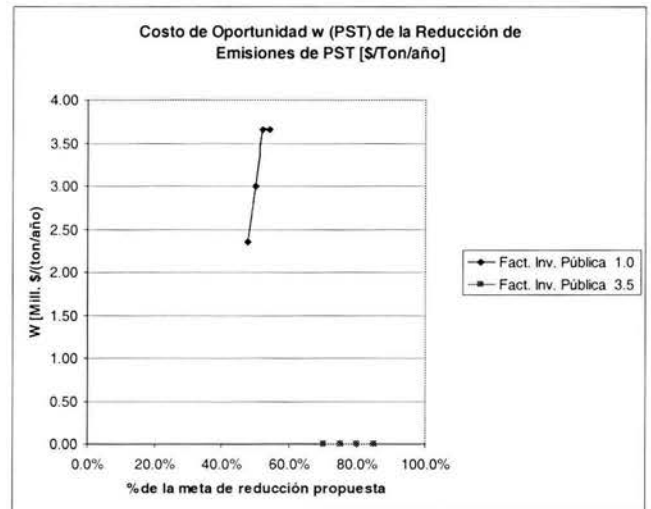
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
% Meta Reduc. PST	Fact. Inv. Pública	w (PST) (Mill. \$/ton/año)	Reduc PST (ton/año)	z (Mill. \$)
47.5%	1.0	2.3498	950	63 829
50.0%	1.0	2.9953	1 000	63 678
52.0%	1.0	3.6561	1 040	63 254
54.0%	1.0	3.6561	1 080	62 788

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
% Meta Reduc. PST	Fact. Inv. Pública	w (PST) (Mill. \$/ton/año)	Reduc PST (ton/año)	z (Mill. \$)
70.0%	3.5	-	2 004	78 299
75.0%	3.5	-	2 101	76 867
80.0%	3.5	-	2 199	75 434
85.0%	3.5	-	30 495	73 997

Figura 21.



Fuente: Elaboración propia del autor.



Fuente: Elaboración propia del autor.

Si se relajan simultáneamente las metas de emisiones de HC, de CO y de NO<sub>x</sub>, de manera que solamente se requiriese que dichas reducciones fuesen mayores o iguales a cero, entonces ahora las metas más restrictivas serían las de reducción de emisiones de SO<sub>x</sub> y de PST. Una vez satisfechas, sin holgura, las restricciones correspondientes, las variables duales asociadas ( $w_1$  SO<sub>x</sub> y  $w_1$  PST) serían positivas indicando el costo de oportunidad correspondiente. En las siguientes tablas y figura adjuntas se muestran los resultados obtenidos en este ejercicio.

Tabla 22.

**w (SO<sub>x</sub>) (\$/ton/año): Costo de Oportunidad de la Reducción de Emisiones de SO<sub>x</sub>**

[1 % Meta Reduc. SO <sub>x</sub>	[2 Fact. Inv. Pública	[3 w (SO <sub>x</sub> ) (Mill. \$/ton/año)	[4 Reduc SO <sub>x</sub> (ton/año)	[5 z (Mill. \$)
80.0%	1.0	14.9680	242	59 181
85.0%	1.0	25.1959	258	57 690
90.0%	1.0	25.1959	273	55 920
95.0%	1.0	55.2021	288	54 066

[1 % Meta Reduc. SO <sub>x</sub>	[2 Fact. Inv. Pública	[3 w (SO <sub>x</sub> ) (Mill. \$/ton/año)	[4 Reduc SO <sub>x</sub> (ton/año)	[5 z (Mill. \$)
100.0%	3.5	-	482	78 322

**Tabla 23.**

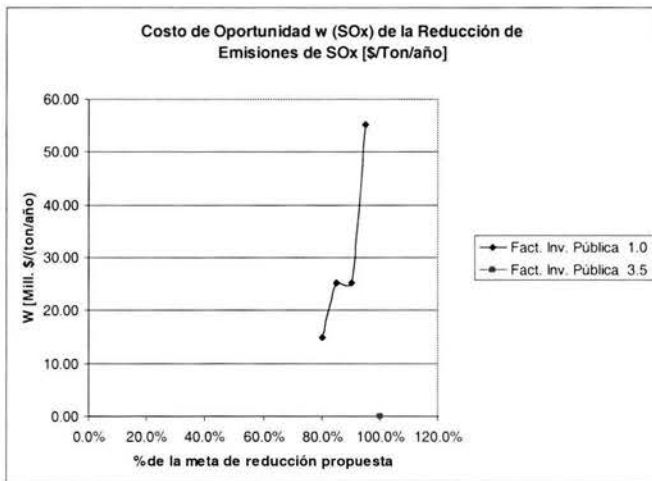
**w (PST) (\$/ton/año) : Costo de Oportunidad de la Reducción de Emisiones de PST**

[1] % Meta Reduc. PST	[2] Fact. Inv. Pública	[3] w (PST) (Mill. \$/ton/año)	[4] Reduc PST (ton/año)	[5] z (Mill. \$)
80.0%	1.0	10.6236	1 600	59 181
85.0%	1.0	13.8845	1 700	57 690
90.0%	1.0	13.8847	1 800	55 920
95.0%	1.0	14.6822	1 900	54 066

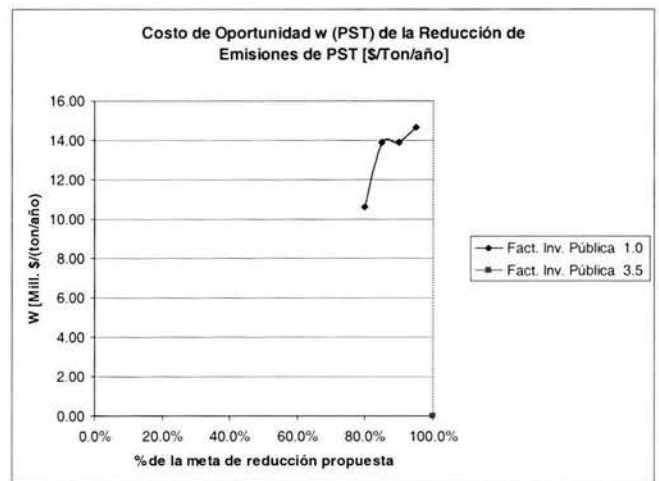
  

[1] % Meta Reduc. PST	[2] Fact. Inv. Pública	[3] w (PST) (Mill. \$/ton/año)	[4] Reduc PST (ton/año)	[5] z (Mill. \$)
100.0%	3.5	-	2 004	78 322

**Figura 22.**



Fuente: Elaboración propia del autor.



Fuente: Elaboración propia del autor.

De los resultados mostrados en las gráficas y tablas anteriores se deduce que:

- Dada la escasez de recursos de inversión y operación se presentará un costo de oportunidad para las metas de reducción de emisiones más restrictivas.
- Como se dijo anteriormente, dicho costo de oportunidad será creciente en la medida que se pretenda alcanzar un mayor porcentaje de la meta original, debido a que los beneficios al transporte disminuyen al tratar de cumplir las metas de reducción de emisiones.
- También se verifica, que una vez que se dispone de más recursos de inversión y de operación, se reduce el costo de oportunidad de dichas metas o restricciones.

**Derivación de los coeficientes de daño unitario evitado**

En informes recientes de Mario Molina [2002], Premio Nobel en Química, del estudio de calidad del aire en la ciudad de México se señala, por ejemplo, que existe evidencia de un incremento en la mortalidad causado por partículas PM10, al apuntar que por cada 10 µg/m3 de incremento en los niveles diarios de PM10, puede esperarse también un incremento del



1% en la mortalidad.<sup>42</sup> Por otra parte, los estudios sugieren, de acuerdo al informe de Molina, que un 10% de reducción en las concentraciones de PM10 pueden a su vez disminuir el número de muertes prematuras en aproximadamente 1000 por año (sobre una base de 20 millones de habitantes). Otros efectos no tienen que ver necesariamente con muertes, pero se asocian al incremento de casos de bronquitis crónica, ataques respiratorios con problemas cardiovasculares, ataques de asma y restricción de actividades.

En el caso del ozono se han asociado efectos sobre las funciones respiratorias, admisión por asma en hospitales y otros síntomas menores como irritación de ojos. Ha sido difícil separar el efecto del ozono en ausencia de la concentración de partículas, sin mayor evidencia de mortalidad crónica.

En el propio informe de Molina se indican algunos de los impactos económicos que esto implica, señalando también las limitaciones por la ausencia de estudios detallados en México. El incremento en la tasa de mortalidad debido a la contaminación atmosférica, se deriva de las experiencias obtenidas en el campo de la seguridad en carreteras, en términos del Valor Estadístico de una Vida, en inglés “*Value of Statistical Life*” (VOSL) o alternativamente el Valor de una Vida Perdida, en inglés “*Value of a Life Year Lost*” (VLYL).

Molina [2002] reporta en su informe algunos datos para EUA, que han servido de base para realizar algunas aproximaciones para México.

**Tabla 24.**  
**Valor de Efectos Seleccionados en la Salud en Estados Unidos**

Efecto en la Salud	Valor por Caso Estadístico (estimación central, 1990 US \$)
Mortalidad (VSL)	\$ 4.8 millones
Bronquitis crónica	\$ 260 000
Trabajo perdido diario	\$ 83
Restricción de actividad por problemas respiratorios	\$ 38

Molina indica, en el informe citado, que el valor monetario imputado al mejoramiento en la salud, y especialmente el valor de evitar pérdida de vidas humanas, puede depender de muchos factores económicos y culturales.<sup>43</sup>

Desde un punto de vista conservador, Molina [2002] sugiere trasladar algunas de las estimaciones de EUA a México usando una elasticidad de 1.0 al ingreso.<sup>44</sup>

<sup>42</sup> La mayoría se refieren a muertes cardiovasculares e incremento en insuficiencia coronaria.

<sup>43</sup> Dejando atrás el sufrimiento que la pérdida de una vida humana produce a las familias y a la sociedad en general en términos de daño moral, los enfoques desde el punto de vista económico que no están exentos de críticas. El enfoque que supone la valoración de una vida humana a partir de la estimación del ingreso anual futuro –expresado en valor actual neto– de la persona muerta antes de alcanzar el límite de su esperanza de vida, lleva a la conclusión de que las pérdidas en capital humano son diferentes de un país a otro. Ello implica que una vida humana perdida en un país en desarrollo valdría menos que una muerte en un país desarrollado, lo cual es inaceptable desde el punto de vista ético.

<sup>44</sup> La elasticidad al ingreso está definida como el cambio proporcional en el VSL asociado con un cambio proporcional en el ingreso, es decir  $[dVOSL/VOSL]/[dw/w]$  donde  $w$  es el ingreso.

**Tabla 25.**  
**Valor Social de los Beneficios a la Salud de Reducir un 10% los Niveles de PM10 en la ZMCM**  
*(VSOL calculado asumiendo una elasticidad de 1.0 al ingreso)*

Concepto	Reducción del Riesgo (casos por año)	Valor Unitario (US \$/caso)	Valor Social (US \$/año)
Reducción de mortalidad inmediata	2 000	650 000	1 000 millones
Mortalidad en el tiempo	1000	650 000	650 millones
Bronquitis crónica	10 000	34 000	340 millones
Suma todos los efectos PM10:			2 000 millones

- Notas: (1) Supone que 10% de reducción de PM10 es aproximadamente igual a 8 µg/m<sup>3</sup>.  
(2) Basado en 20 millones de personas en la ZMCM, donde 9 millones tienen 30 años de edad.  
(3) Valores redondeados.  
(4) Se asumen niveles de PIB per Cápita de 29 340 US \$ en EUA y de 3 979 US\$ en México y elasticidad de 1.0 al ingreso.  
(5) Valores de VSOL ajustados por edad y esperanza de vida.
- Fuente: MOLINA, M. Y MOLINA, L., 2002. *"Air Quality in The Mexico Megacity: An Integrated Assessment"*, Kluwer Academic Publishers.

**Tabla 26.**  
**Valor Social de los Beneficios a la Salud de Reducir un 10% los niveles de ozono en la ZMCM**  
*(VSOL calculado asumiendo una elasticidad de 1.0 al ingreso)*

Concepto	Reducción del Riesgo (casos por año)	Valor Unitario (US \$/caso)	Valor Social (US \$/año)
Mortalidad en el tiempo	300	650 000	200 millones
Días Perdidos	2 000 000	6	10 millones
Suma Efectos de ozono			210 millones

- Notas: (1) Supone que 10% de reducción de ozono es aproximadamente igual a una reducción de 5 µg/m<sup>3</sup> en la media anual o 17 µg/m<sup>3</sup> de reducción en el promedio diario anual de hora máxima.  
(2) Basado en 20 millones de personas en la ZMCM. Utiliza 12 millones de adultos.  
(3) Valores redondeados.  
(4) Se asumen niveles de PIB per Cápita de 29 340 US \$ en EUA y de 3 979 US \$ en México y elasticidad de 1.0 al ingreso.  
(5) Valores de VSOL ajustados por edad y esperanza de vida.
- Fuente: MOLINA, M. Y MOLINA, L., 2002. Op. cit.

En síntesis, en el informe de Molina [2002] se reportan los siguientes valores sociales del impacto en la reducción de contaminantes al medio ambiente:

Valor de una vida estadística en EUA:	1-10 millones de dólares
Valor de una vida estadística en México:	0.1-2 millones de dólares
Reducción de 10% en concentración de PM10	2 000 Mill. dólares/año
Reducción de 10% en concentración de ozono	210 Mill. dólares/año

Para llevar las estimaciones de daño evitado a valores unitarios por tonelada, se han hecho diferentes hipótesis, sólo con fines ilustrativos de uso de la metodología. La lógica utilizada indica que reducciones en el inventario de emisiones coadyuvan a una reducción en los niveles de concentración y consecuentemente en los niveles de daño. Se han supuesto relaciones entre niveles de emisión y concentración por tipo de contaminante utilizando resultados de investigaciones realizadas por organismos internacionales como el Banco Mundial para la ciudad de México. Se trata de una primera aproximación, conscientes de que mejores valores de estimación no son posibles de obtener en el tiempo disponible para esta

investigación.<sup>45</sup> Sin embargo, a nuestro juicio, y a pesar de las hipótesis, éstas son orientadoras de la dimensión de la problemática, y de la necesidad de dar una respuesta frontal al tema. Bajo diferentes hipótesis, los coeficientes de daño evitado resultan en (dólares/ton):

**Tabla 27.**  
**Coeficientes de Daño Evitado**  
**(dólares/ton)**

Contaminante	Valor (dólares/ton)
PM10:	323 000-1 000 000
HC:	406.5
CO:	8.1
NOx:	1 062.5
SOx:	313.0

Fuente: Estimaciones del autor con base en informes recientes del Banco Mundial y Mario Molina.

Consecuentemente, al asociar los costos de oportunidad calculados en cada caso con la solución de dualidad, los coeficientes unitarios reducidos son los señalados en la siguiente tabla. Nótese que prácticamente no cambian los valores, puesto que la corrección es mínima, indicando que los beneficios por los daños evitados están todavía muy lejos del costo económico interno de oportunidad para el sistema de transporte, aun considerando en cada caso las condiciones extremas de valor del dual. Esta condición puede cambiar en el futuro, en la medida en que se controlen los niveles de emisión y consecuentemente disminuya el daño asociado y se incrementen los costos de oportunidad internos por mayores umbrales de eficiencia tecnológica en las medidas adoptadas.

Domina la escala de valores los relativos a PM10, por encima de cualquier otro contaminante.

<sup>45</sup> De acuerdo a los análisis realizados por Molina (2002) se infiere que una reducción del 10% en las concentraciones de PM10, considerando proporcionalidad entre los factores de concentración y de inventario de emisiones, bajo elasticidades calculadas por el Banco Mundial, una tonelada de PM10 que se deja de emitir, equivale a una tonelada reducida en concentración y tiene un valor económico de \$1.0 millón de dólares. Investigaciones previas del Banco Mundial indican valores de la tercera parte, alrededor de \$323 000 dólares/ton. En la misma fuente, la reducción en la concentración de ozono, formado por la reacción primaria de HC y NOx, conduciría, bajo los mismos términos de proporcionalidad, a un equivalente de \$2 937 dólares por ton. Adoptando factores de toxicidad de acuerdo con datos del Banco Mundial, se tendrían \$2 123 dólares por ton para los NOx y de \$ 813 para los HC. Ajustando los valores anteriores, por la proporcionalidad entre ton emitidas y concentraciones, de 0.5 para HC y NOx, los valores ponderados resultan de \$1 062.5 y 406.5, respectivamente. De igual forma, adoptando factores de toxicidad de 0.02 para CO por cada unidad de HC y de 0.77 para el SOx respecto de los HC's, los valores equivalentes en dólares por ton serían de \$8.1 y \$323.0 para el CO y SOx, respectivamente.

**Tabla 28.**  
**Coefficientes de Monetización Netos Reducidos**  
**(dólares/ton)**

Contaminante	Costo de Oportunidad (dólares/ton)	Coefficientes Reducidos (dólares/ton)
PM10:	0.40	323 000-1 000 000
HC:	0.20	406.3
CO:	0.25	7.9
NOx:	0.09	1 062.4
SOx:	5.93	307.1

Fuente: Estimaciones del autor con base en informes recientes del Banco Mundial y Mario Molina.

## Aplicación a proyectos Específicos

### Contexto de Aplicación

Se presenta a continuación una aplicación de los conceptos desarrollados a nivel sistema de la ZMVM en un proyecto específico. Se ha seleccionado el proyecto del Ferrocarril Suburbano de la Zona Metropolitana del Valle de México, que promueve la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), conjuntamente con los Gobiernos del Distrito Federal y del Estado de México.

El proyecto ha sido evaluado económicamente siguiendo las metodologías disponibles, y existen diversas externalidades que se han estimado a nivel físico. Se desea calcular el impacto que en términos monetarios le adiciona la reducción de contaminantes al medio ambiente y el valor del tiempo perdido en transporte, entre otras externalidades.

### El Caso del Ferrocarril Suburbano de la Ciudad de México

#### 1.1 Objetivos del Proyecto

El proyecto consiste en desarrollar un sistema integral de transporte ferroviario de pasajeros, denominado Ferrocarril Suburbano, mediante el aprovechamiento de 240 kilómetros de infraestructura ferroviaria y de derechos de vía existentes en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

Los principales objetivos del proyecto son:

- Ofrecer en una primera etapa un servicio de transporte masivo seguro, competitivo y eficiente, con capacidad para atender de inicio 320 mil pasajeros/día, que mejore el bienestar social de los habitantes de la ZMVM, iniciando con el servicio de la Línea Huehuetoca-Buenavista (46 km de longitud). A su vez, dentro de la primera etapa del proyecto se contemplan dos fases de ejecución:
  - Primera Fase- De Buenavista a Cuautitlán (25 km)

- Segunda Fase- De Cuautitlán a Huehuetoca (21 km)
- Ahorrar tiempo de transporte a los usuarios, equivalente a 1h 30 min por pasajero, en un viaje promedio del norte al centro de la ciudad, que actualmente se realiza mediante combis, minibuses y autobuses.
- Contribuir en la solución del congestionamiento vial, de la contaminación ambiental y del excesivo consumo de energéticos, además de coadyuvar en la planeación ordenada del desarrollo urbano de la ZMVM.

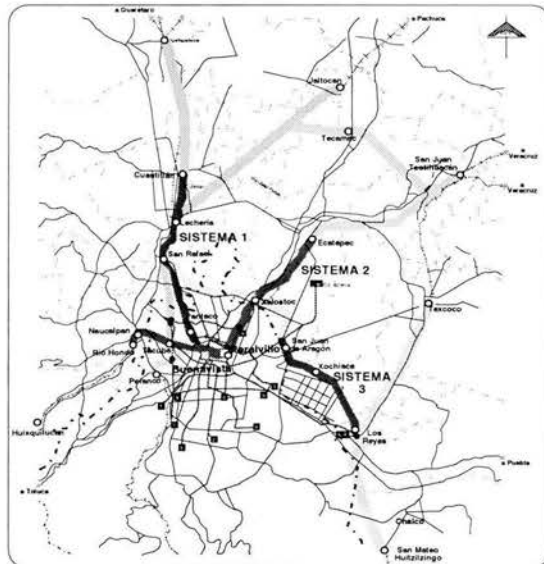
### Localización del Proyecto

El servicio suburbano correrá en dirección norte-sur atravesando parte del Distrito Federal y del Estado de México, entre Buenavista y Huehuetoca y circulará en dos vías electrificadas. La longitud total del servicio suburbano de pasajeros de la línea Buenavista-Huehuetoca será de 46 km; **el segmento Buenavista-Cuautitlán tendrá una longitud de 25 km** y el segmento Cuautitlán-Huehuetoca tendrá una longitud de 21 km Se prevé que las operaciones del servicio suburbano de pasajeros comiencen en el año 2007.

Figura 23.

#### SISTEMA INTEGRAL DE TRANSPORTE FERROVIARIO SUBURBANO

LÍNEA	LONGITUD
<b>SISTEMA 1</b>	
<b>LÍNEAS TRONCALES</b>	
■ Buenavista-Cuautitlán	25.0 Km
■ Cuautitlán-Huehuetoca	20.0 Km
<b>LÍNEAS SECUNDARIAS</b>	
■ San Rafael-Tacuba	10.0 Km
■ Lechería-Jaltocan	21.0 Km
<b>SUBTOTAL</b>	<b>77.0 Km</b>
<b>SISTEMA 2</b>	
<b>LÍNEAS TRONCALES</b>	
■ Ecatepec-Nauclpan	37.5 Km
<b>LÍNEAS SECUNDARIAS</b>	
■ Buenavista - Polanco	6.5 Km
■ Ecatepec-Teotihuacán	22.5 Km
■ Teotihuacán-Tecamac	23.0 Km
<b>SUBTOTAL</b>	<b>89.5 Km</b>
<b>SISTEMA 3</b>	
<b>LÍNEAS TRONCALES</b>	
■ Los Reyes-San Juan de Aragón	15.0 Km
<b>LÍNEAS SECUNDARIAS</b>	
■ San Rafael-San Juan de Aragón	25.0 Km
■ Chalco-Texcoco	33.0 Km
<b>SUBTOTAL</b>	<b>73.0 Km</b>
<b>TOTAL DEL SISTEMA</b>	<b>239.5 Km</b>



Fuente: Dirección General de Tarifas, Transporte Ferroviario y Multimodal, SCT.

---

### 1.3 Aspectos Técnicos Seleccionados

**Contexto Metropolitano.-** La ZMVM, es una región con una población cercana a los 20 millones de habitantes para el 2002 y en la cual se realizan más de 30 millones de viajes-persona por día, que se atienden principalmente por combis y microbuses, lo que es totalmente inadecuado para las necesidades de movilización de una población con esas magnitudes.

**Líneas Férreas a Utilizar en la Primera Etapa.-** Considerando que el corredor Buenavista-Cuautitlán-Huehuetoca, de 46 km de longitud, contará con dos vías electrificadas, casi exclusivas para el transporte de pasajeros y será un avance importante en el confinamiento del sistema, lo que disminuirá las inversiones previstas, la SCT decidió iniciar los servicios de transporte de pasajeros en este corredor, para el tramo Buenavista-Cuautitlán en su primera fase.

**Demanda.-** Con base en la matriz origen-destino de viajes en la ZMVM elaborada por el INEGI en 1994, a partir de una encuesta domiciliaria, y de diversos análisis de demanda elaborados por consultores externos para la SCT en 1998, se determinó un aforo de partida de 320 mil pasajeros/día. La base de la estimación está constituida por los volúmenes potenciales de movimiento en la cuenca de captación del proyecto, y el resultado de la aplicación de encuestas de preferencias declaradas a una muestra representativa de usuarios del transporte público.

**Inversión.-** El proyecto requiere de una inversión inicial estimada, en agosto de 2004, de \$6 010 millones por pesos de esa misma fecha (US\$ 522.5 MDD), destinados principalmente a compra de equipo rodante (22%), a infraestructura ferroviaria (24%), señalización y comunicaciones (8%), estaciones (9%), confinamiento (32%), más puesta en marcha y gastos preoperativos (5%).

### 1.4 Indicadores de Rentabilidad Socioeconómica

Para determinar la conveniencia, en términos socioeconómicos, de la realización del proyecto, se procedió al cálculo de los indicadores de rentabilidad socioeconómica, mediante la identificación y cuantificación de los beneficios y costos sociales del proyecto para un horizonte económico de 30 años, con un costo económico de oportunidad de los recursos de 12% anual (tasa social de descuento).

**Tabla 29.**  
**Indicadores de Rentabilidad Social del Proyecto (Cifras en millones \$ Agosto de 2004)**

Concepto	Valor
Horizonte de evaluación	30 años
Tasa social de descuento	12%
Indicadores de rentabilidad	Monto
	(millones de pesos de \$ Agosto 2004)
<b>Valor Presente de los Costos (VPC)</b>	<b>\$7 457</b>
Inversión	\$ 4 777
Operación y mantenimiento	\$ 2 680
<b>Valor Presente de los Beneficios (VPB)</b>	<b>\$8 840</b>
Reducción de costos de operación de autobuses	\$5 334
Liberación de infraestructura (carril de autobuses)	\$52
Valor del tiempo de usuarios	\$3 441
Valor de reducción de accidentes mortales	\$13
<b>Valor Presente Neto Social (VPNS)</b>	<b>\$1 384</b>
<b>Tasa Interna de Retorno Social</b>	<b>15.1%</b>
<b>Relación Beneficio/Costo Social</b>	<b>1.19</b>

Los resultados indican que la sociedad en su conjunto obtendría un beneficio neto de aproximadamente \$ 1 384 millones de pesos por la realización del proyecto.

### 1.5 Reducción de Emisiones al Medio Ambiente

De manera adicional, el proyecto contribuye a reducir el inventario de emisiones al medio ambiente en los siguientes niveles, así como suprimir unidades de baja capacidad unitaria en corredores de alta demanda, sustituyéndolos en movimientos alimentadores al Ferrocarril Suburbano.

La realización del proyecto traerá consigo la reducción de los vehículos-km de transporte público a base de autobuses, microbuses y de otras unidades de menor capacidad, ya que la demanda antes mencionada será atendida por un sistema electrificado de transporte que en principio no contaminaría el ambiente.

Se estimó las reducciones anuales que se tendrían en las siguientes emisiones contaminantes:

- Hidrocarburos: HC (ton/año),
- Monóxido de Carbono: CO (ton/año),
- Óxidos de Nitrógeno: NOx (ton/año),
- Óxidos de Azufre (sulfuros) SOx (ton/año),
- Partículas Sólidas Totales: PST (ton/año).

Las reducciones fueron estimadas con base en el 80% de los vehículos-km calculados para satisfacer la demanda que tomaría el FC Suburbano y los factores de emisiones para unidades a diesel a la velocidad promedio de los autobuses, calculadas a partir del Modelo Mobile 5 de la EPA, disponibles para la ZMVM en la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal y la Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad [COMETRAVI].

El proyecto es compatible con los ordenamientos de reducción de emisiones recomendados por los Programas de Manejo de la Calidad del Aire en la ZMVM, elaborado por la Comisión

Ambiental Metropolitana y Semarnat. La reducción de emisiones se da por la sustitución de la planta vehicular actual por un nuevo servicio electrificado, prácticamente de “cero emisiones” al medio ambiente, salvo las requeridas indirectamente para la generación de energía eléctrica en las fuentes de poder.

**Tabla 30.**  
**Estimación de Reducción de Emisiones Contaminantes (ton/año)**

Contaminante	Año de Inicio de Operaciones	Al 5º Año de Operación	Al año 20
HC	150.13	210.95	259.00
CO	674.49	947.70	1 163.60
NOx	344.86	484.55	594.94
SOx	7.27	10.21	12.53
PST	26.48	37.21	45.69

Fuente: Evaluación Socioeconómica y Ambiental del Proyecto del Ferrocarril Suburbano Cuautitlán-Buenavista, Dirección General de Tarifas, Transporte Ferroviario y Multimodal, SCT, 2003.

## 1.6 Monetización de Contaminantes Locales

Se han calculado los valores económicos de los contaminantes locales, basados en el uso de coeficientes de monetización que obedecen a consideraciones diferentes (tabla 31). Los escenarios consideran:

- El costo equivalente de prevención y control (financiero, calculado en esta investigación con base a la solución óptima del conjunto de medidas)
- Coeficientes de daño evitado de acuerdo a estándares internacionales (económico, de acuerdo a fuentes internacionales)
- Coeficientes de monetización netos reducidos (deducidos del costo de oportunidad), estimados en esta investigación

**Tabla 31.**  
**Valores Unitarios para Diversos Escenarios de Monetización (dls/ton/año)**

Contaminante	Costo Equivalente de Prevención y Control <sup>46</sup>	Coeficientes de Daño de Referentes Internacionales <sup>47</sup>	Coeficientes Calculados en esta Investigación
HC	3 797.9, 5 381.7, 21 345.9	1 917.7, 5 080.0, 7 493.0	406.3
CO	8.4, 119.6, 474.4	n.d	7.9
NOx	9 916.9, 14 052.3, 55 736.6	977.9, 5 080.0, 6 477.0	1 062.4
SOx	2 954.0, 4 185.8, 16 602.4	431.8, 1 016.0, 3 810.0	307.1
PM10	4 853.0, 6 876.7, 27 275.4	88 900	323 000-1 000 000

n.d. = No disponible.

<sup>46</sup> La estimación considera el costo anual equivalente a 20 años, descontado al 12% anual real y distribuido entre las unidades totales de toxicidad equivalente reducidas por año. El costo resultante de prevención y control de cada contaminante pondera las unidades de toxicidad y el peso, considerando los siguientes horizontes de evaluación: 1998-2000, 2001-2010 y 2011-2020. Los valores son crecientes en cada periodo reflejando la toma de medidas más efectivas al inicio, lo cual encarece los costos de medidas subsecuentes.

<sup>47</sup> Considera estimaciones del costo financiero (bajo, medio y alto) de la emisión de varios contaminantes, sobre una base de costo por ton, derivado de estudios diversos de varios métodos para calcular los costos del daño. Los valores consignados están tomados de: OCMT, *Efficient Transport for Europa*, 1998. Se utilizó una relación de 1.27 ECU's por dólar.



Los beneficios anuales por reducción de contaminantes locales se indican a continuación, para cada escenario de monetarización (Tabla 32):

**Tabla 32.**  
**Beneficios Anuales por Reducción de Contaminantes Locales**  
(millones de dls/año)

Contaminante	Costo Equivalente de Prevención y Control			Estándares Internacionales			Coeficientes Calculados en esta Investigación		
	Años			Años			Años		
	1	5	20	1	5	20	1	5	20
HC	0.57	1.13	5.53	0.76	1.07	1.31	0.06	0.09	0.11
CO	0.01	0.11	0.55	-	-	-	-	-	-
NOx	3.42	6.81	33.15	1.75	2.46	3.02	0.36	0.51	0.63
SOx	0.02	0.04	0.21	0.01	0.01	0.01	-	-	-
PST	0.12	0.26	1.25	0.24	3.31	4.06	8.55- 26.48	12.01- 37.21	14.71- 45.69
SUMA	<b>4.13</b>	<b>8.35</b>	<b>40.69</b>	<b>2.76</b>	<b>6.85</b>	<b>8.40</b>	<b>8.97- 26.89</b>	<b>12.61- 37.81</b>	<b>15.44- 46.43</b>

Fuente: elaboración propia.

## 1.7 Incorporación de Otras Externalidades

Para complementar el ejercicio de monetarización de externalidades se han adicionado los siguientes conceptos:

- Costos de la **contaminación atmosférica global** o de efecto invernadero. Se han usado 34 euros/ton, el 50% del índice internacional de daño evitado de 68 euros/ton de CO<sub>2</sub> emitida a precios actuales,<sup>48</sup> y un índice de 1.33 kg CO<sub>2</sub>/bus-km para autobuses.<sup>49</sup> Considerando 320 mil pasajeros diarios, 15 km de recorrido promedio, 35 pasajeros en promedio por autobús y 330 días de operación equivalentes al año, se tiene un estimado de 2.0 millones de euros por año. Esto sería equivalente a 34.7 millones de pesos anuales a precios de agosto de 2004.
- **Valor del tiempo adicional**, basado en encuestas de preferencias declaradas y reveladas sobre el valor asignado al tiempo por los usuarios. El valor considerado en la evaluación actual es equivalente \$ 0.08/min de tiempo ahorrado. Las encuestas de preferencias declaradas para usuarios del transporte público indican hasta \$0.26/min a precios actuales (otras investigaciones realizadas por el autor ubican valores de \$0.89/min para usuarios de transporte interurbano por autobús, mediante el uso de modelos tipo logit para selección modal entre autobús y avión).

<sup>48</sup> Corresponde al valor económico del daño, no al valor financiero de compra de bonos de carbono, que alcanzó valores para 2004 de 12 Dólares/ton.

<sup>49</sup> De acuerdo con datos de la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal equivale a un índice de 2.59068 kg CO<sub>2</sub>/lt de combustible, en este caso diesel; un consumo de 0.51354 lt/km a una velocidad promedio de 16 km/hora.

**Tabla 33.**  
**Beneficios por Ahorros en Tiempo de los Usuarios (Sin IVA)**  
**Cifras en millones de pesos de Agosto de 2004**

	<b>Año 5</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 13</b>	<b>Año 18</b>	<b>Año 23</b>	<b>Año 28</b>
	2007	2010	2015	2020	2025	2030
Ahorros en tiempo de los usuarios considerados actualmente en la evaluación (\$0.08/ min)	\$ 520.4	\$ 568.6	\$ 619.2	\$ 663.8	\$ 711.6	\$ 762.8
Ahorros basados en disposición a Pagar de los usuarios (\$0.23/ min)	\$1181.9	\$1291.5	\$ 1 406.3	\$1 507.5	\$1 616.0	\$1 732.4

Fuente: elaboración propia.

### 1.8 VPN de los Beneficios por Externalidades

Los conceptos monetarizados de las externalidades totales calculadas, considerando tasas de descuento anual del 2% para la reducción de contaminantes y del 12% para el ahorro en tiempo (ver discusión en el Capítulo II), arrojan un VPN equivalente de entre \$10 752 y \$16 090 millones de pesos de 2004, integrado como sigue (tabla 34):

**Tabla 34.**  
**VPN de los Beneficios por Externalidades**  
**(millones de pesos de 2004)**

<b>Concepto</b>	<b>Rangos</b>
Reducción de Contaminantes Locales <sup>x</sup>	2 709-8 047
Reducción de Contaminantes Globales <sup>x</sup>	162
Valor Adicional del Ahorro en Tiempo <sup>y</sup> (por disposición a pagar)	7 816
<b>SUMA</b>	<b>10 752-16 090</b>

<sup>x</sup> Descotado al 2% anual

<sup>y</sup> Descotado al 12% anual

Fuente: elaboración propia del autor.

## Análisis Comparativo contra los Beneficios Tradicionales

### Beneficios Tradicionales y Beneficios por Reducción de Externalidades

Finalmente se ha realizado una comparación entre los beneficios tradicionales de la evaluación del proyecto, y los que resultan una vez que se adicionan todos los conceptos de externalidades (algunas ya incorporadas en la evaluación tradicional del proyecto). Los resultados se presentan en la tabla 35.

**Tabla 35.**  
**Análisis Comparativo de Beneficios Considerando Externalidades**  
**(Cifras en millones \$ Ago. de 2004)**

Concepto	Valor
Horizonte de evaluación	30 años
Tasa social de descuento para los flujos tradicionales	12% anual
Tasa social de descuento para los flujos de externalidades	2% anual
<b>Indicadores de rentabilidad</b>	<b>Monto</b>
	<b>(millones de pesos de \$ Ago 2004)</b>
<b>Valor Presente de los Costos (VPC)</b>	<b>\$7 457</b>
Inversión	\$4 777
Operación y mantenimiento	\$2 680
<b>Valor Presente de los Beneficios Tradicionales (VPB)</b>	<b>\$8 840</b>
Reducción de costos de operación de autobuses	\$5 334
Valor del tiempo de los usuarios	\$3 441
<b>Valor Presente de Beneficios por Externalidades ya Consideradas</b>	<b>\$ 65</b>
Liberación de infraestructura (carril de autobuses)	\$52
Valor de reducción de accidentes mortales	\$13
<b>Valor Presente de Beneficios de Externalidades Adicionales</b>	<b>\$10 687-16 025</b>
Reducción de contaminantes locales	2 709-8 047
Reducción de contaminantes globales	162
Valor adicional del ahorro en tiempo	7 816
<b>Subtotal Beneficios Totales por Externalidades</b>	<b>10 752-16 090</b>
<b>Beneficios Totales (Tradicionales y Externalidades)</b>	<b>19 527-24 865</b>
<b>% de Incremento sobre los Beneficios Tradicionales</b>	<b>121-181%</b>
<b>VPN de Beneficios Tradicionales</b>	<b>1 384</b>
<b>VPN de Beneficios Totales incluyendo Externalidades</b>	<b>12 071-17 408</b>
<b>% de Incremento en el VPN incluyendo Externalidades</b>	<b>772-1 158%</b>
<b>Relación Beneficio-Costo con Beneficios Tradicionales</b>	<b>1.19</b>
<b>Relación Beneficio-Costo</b>	<b>2.6-3.3</b>

Fuente: elaboración propia del autor.

## Impacto Económico Integral a Nivel Sistema: Aproximación

Los coeficientes de monetarización utilizados anteriormente se consideran válidos en tanto se sitúe su aplicación en rangos pequeños, cuyas reducciones de externalidades se encuentren en los umbrales de partida. Mayores reducciones irán acompañadas de menores coeficientes de monetarización.

Sin embargo, sólo por tener una idea aproximada a nivel sistémico del valor de los beneficios de la estrategia general, basta señalar que únicamente con los correspondientes del primer periodo de evaluación, los beneficios por contaminación incrementan la relación beneficio-costo entre 5 y 12 veces, cuando la relación correspondiente a los beneficios tradicionales era de 2.2 (tabla 36).

**Tabla 36.**  
**Beneficios Económicos Integrales**

INDICADORES:	1998-2000
<b>Inversión (millones \$):</b>	<b>27 025</b>
• Pública	9 008
• Privada	18 017
<b>Beneficios Tradicionales del transporte:</b>	
• Valor Presente Neto (millones \$, al 12% anual)	50 672
• Relación Beneficio-Costo	2.2
<b>Beneficios por Reducción de emisiones contaminantes</b>	
• Valor Presente Neto (millones \$, al 2% anual)	96 117-283 974
<b>Beneficios Globales</b>	
• Valor Presente Neto (millones \$)	146 789-334 646
• Relación Beneficio-Costo	5.4-12.4

Fuente: Elaboración propia del autor.

## Conclusiones

Como resultado del análisis comparativo se derivan las siguientes conclusiones:

- El proyecto del ferrocarril suburbano ya arrojaba un VPN positivo, considerando los beneficios y costos tradicionales. Esto es, los ahorros en costos de operación y los ahorros en tiempo, contra los costos de inversión y operación/mantenimiento.
- La incorporación de las externalidades le agrega un valor que resulta en un incremento del entre 121 y 181% sobre los beneficios tradicionales. A este incremento contribuyen en mayor medida los ahorros adicionales por valor del tiempo (73%) y los ahorros por contaminación local y global (27%).
- Particularmente en lo que respecta a los beneficios por abatimiento de la contaminación al aire de carácter local, los distintos escenarios considerados indican un rango de variación entre 2 709 y 8 047 millones de pesos, con un promedio de 5 378. Los métodos de prevención y control mantienen niveles inferiores a los del daño evitado, poniendo de manifiesto la importancia de la metodología y los coeficientes desarrollados en esta investigación, que se han complementado con los diferentes enfoques del ámbito internacional
- Esto permite apuntar que, para este proyecto en particular, los beneficios totales del mismo se multiplican entre 2.2 y 2.8 veces respecto a los beneficios tradicionales, usualmente incorporados en las evaluaciones de los proyectos. Esto fortalece la conveniencia de profundizar en una adecuada comprensión y dimensionamiento del tamaño de las externalidades.

- 
- Con ello, al no tenerse costos incrementales, el VPN Global del Proyecto, incluyendo las externalidades se incrementa de \$ 1 384 a un valor de hasta 17 408 millones de pesos, esto es casi 13 veces.
  - Merece especial atención el punto relativo a la estimación del valor del tiempo adicional, de acuerdo a datos de las preferencias reveladas por los usuarios, toda vez que se trata de un concepto que en lo individual le agrega por sí solo un 88% más a los beneficios tradicionales. Sin embargo, resulta sumamente difícil trasladar dichos beneficios, vía tarifas, que reflejen el valor implícito al tiempo ahorrado, que señalan las encuestas de preferencias declaradas
  - Al descontar este componente adicional del valor del tiempo, argumentando que está soportado por los propios usuarios, sin necesariamente pagar realmente por ello, los beneficios, incluyendo las externalidades, resultan en un 32% superiores a los tradicionales (1.3 veces) y el VPN más de 3 veces al calculado con los beneficios tradicionales.
  - En general los impactos calculados, si bien señalan órdenes de magnitud que empujan a una cada vez mayor conveniencia de este tipo de análisis, de carácter integral en los proyectos, resultan modestos considerando que se están transfiriendo pasajeros de un modo de transporte público a otro, con mejores índices de ejecución.
  - Un impacto que podría ser de mayores proporciones supondría una transferencia modal efectiva de los usuarios privados de automóvil o de taxis al proyecto. Por varias razones:
    - Son los modos que mayor contaminación emiten por pasajero-km.
    - Generan la mayor parte de los accidentes viales en zonas urbanas e interurbanas.
    - Aún los tradicionales costos de operación por pasajero-km de los autos y taxis resultan del doble y del triple, respectivamente, con relación a un sistema de autobuses. La brecha se abre más cuando la comparación es contra sistemas de transporte masivo.

---

## VI. REFLEXIONES FINALES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

### Reflexiones Finales

Los resultados presentados en este trabajo de investigación han servido para coadyuvar a despertar la conciencia en México, para incorporar las externalidades del transporte en el análisis costo-beneficios de los proyectos. Si bien en la mayoría de los foros especializados sobre la evaluación socioeconómica de proyectos se enfatiza el tema, no existe un consenso claro sobre la forma de incorporar las externalidades en la toma de decisiones, más allá del tradicional análisis costo-efectividad, generalmente orientado a análisis del medio ambiente y la reducción de contaminantes.

Se han señalado las bases de un enfoque alternativo para la incorporación de externalidades en el contexto de análisis costo-beneficio de proyectos de inversión. El planteamiento se nutre de las amplias experiencias disponibles en el ámbito internacional y recapitula sobre los principales conceptos que vale la pena incorporar en las metodologías de evaluación tradicional, que están rebasadas. Baste señalar el orden de magnitud que representan las externalidades del transporte, hasta de un 8-10% del PIB de una región o zona urbana. A su vez, los conceptos que requiere incorporar son: accidentes, contaminación local y global, ruido, congestión/valor efectivo del tiempo de los usuarios y recuperación de infraestructura no amortizada.

### Aportaciones de Este Trabajo de Investigación

En esta investigación, se han abordado diversos planteamientos en torno a la monetarización de externalidades del transporte, donde se destacan los siguientes:

1. **Una metodología de ACB para la incorporación integral de externalidades** en los indicadores de evaluación de proyectos, aplicada al transporte urbano. Con ello, se pretende disponer de una estimación más completa en el cálculo de, por ejemplo, el VPN de un proyecto de inversión, lo que hará más racional la toma de decisiones en relación con el uso de recursos escasos.
2. **Un análisis comparativo de los principales métodos disponibles de monetarización de externalidades** en sistemas de transporte, identificando sus principales ámbitos de aplicación, el instrumental disponible, las deficiencias y sus oportunidades de mejora.
3. **La propuesta de un modelo matemático** que vincula a los proyectos de transporte con la reducción de sus externalidades generadas a la sociedad, caracterizado por:

- 
- La introducción del concepto de Trayectoria de Desarrollo Sostenible (TDS) aplicable al contexto bajo análisis, esto es, los límites de evolución a largo plazo del sistema de transporte, en el caso de moverse dentro de un nivel de externalidades conocido y aceptado de antemano por la sociedad.
  - La internalización de las externalidades, hasta ser incorporadas gradualmente en el tiempo a la corriente tradicional de beneficios.
  - La selección modal óptima a partir del Dominio Económico Eficiente (DEE) de cada modo de transporte en el tiempo (esto es, el intervalo de demanda en que los beneficios económicos de un determinado modo de transporte son superiores a los de todos los demás modos), los umbrales de demanda, otras restricciones como el capital y el nivel deseado de las externalidades dado por la sociedad.
  - El uso del concepto de MNR's (Coeficientes de Monetización Netos Reducidos) para monetizar externalidades, a partir de los beneficios del daño evitado y el costo de oportunidad de dichas externalidades. Las externalidades, al implicar generalmente daños a las generaciones actuales y futuras, deben actualizarse en el tiempo con un costo de capital diferente al utilizado para descontar los flujos de los beneficios tradicionales.
  - El cálculo del costo económico óptimo de prevención y control sistémico de las externalidades, que en los métodos tradicionales no se calcula.
4. **Se ha desarrollado una aplicación al transporte urbano de la ciudad de México** en relación con la monetización de externalidades como emisiones contaminantes al medio ambiente, congestión vehicular, tiempo perdido de los usuarios y accidentes, que permite comprobar la bondad de la nueva metodología propuesta.
5. **El ejercicio de carácter general para la ciudad de México se ha particularizado para un proyecto individual, para estimar la dimensión económica del costo de oportunidad de la incorporación de las externalidades al ACB**, derivada del nuevo modelo, para apoyar decisiones de inversión en proyectos de alto impacto social que requieren aportación mixta de recursos públicos y privados. El ejercicio pone de manifiesto la importancia que tienen las externalidades en relación con los beneficios tradicionales de los proyectos de transporte.

## **Limitaciones y Líneas Futuras de Investigación**

La dimensión de la exploración en este tema de investigación pone en relieve la importancia del mismo, así como las limitaciones. Al tratarse de métodos de valuación que involucran estimación de daños futuros, no escapan las limitaciones de información y de juicios que pueden tener todavía dosis de subjetividad. Sin embargo, en términos generales, los resultados aquí presentados pueden ser la base para futuras investigaciones en el tema. Quizá el reto mayor, a nuestro juicio, se tiene con la modelación de funciones de daño, dada la complejidad para incorporar en forma aceptable los resultados y disponer de adecuada información en términos de funciones dosis-respuesta.

A la luz de los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, se deriva la necesidad de articular un *cluster* específico en torno al tema de monetarización de externalidades en sistemas en general y en sistemas de transporte en particular. Los siguientes temas deberán ser parte de la agenda de investigación:

**Tabla 37.**

<b>Componentes de la Agenda Propuesta de Investigación sobre Monetarización de Externalidades del Transporte</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reflexionar, discutir y seleccionar la lista de las externalidades del transporte que deben ser parte obligada del análisis costo-beneficio de los proyectos de inversión.</li> <li>• Para cada tipo de externalidad homogeneizar los conceptos de entendimiento común sobre las metodologías de monetarización de externalidades y difundir un glosario de términos especializados sobre el tema.</li> <li>• Integrar una sub-red de investigadores sobre el tema y compartir experiencias, utilizando preferentemente plataformas tecnológicas de internet/intranet de la propia Universidad Nacional Autónoma de México.</li> <li>• Promover foros especializados con participación de expertos internacionales que difundan experiencias y posibiliten el intercambio de experiencias con expertos nacionales interesados en el tema.</li> <li>• Desarrollar una base de datos común y actualizada, que facilite la integración de información. Los temas sugeridos incluyen: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elaboración de inventarios de emisiones al medio ambiente, por tipo de contaminante y sector, destacando la contribución del sector transporte.</li> <li>▪ Difundir los análisis existentes y los trabajos en proceso para estimar el daño ambiental por contaminantes locales y globales derivados de gases por efecto invernadero.</li> <li>▪ Publicación periódica de accidentes por modo de transporte, que permita derivar índices por modalidad, número de muertos y heridos en el acto y días subsecuentes, costo de los daños y grado de cobertura de las compañías aseguradoras.</li> <li>▪ Integrar información sobre la severidad y problemática del ruido en la ZMCM, como primer paso para la cuantificación de los impactos que genera.</li> <li>▪ Desarrollar una base de información estratégica con variables clave del transporte, que incluya, entre otros: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Movilidad de la población</li> <li>○ Modos de transporte utilizados</li> <li>○ Costos de explotación y producción de los distintos modos de transporte</li> <li>○ Tarifas, costos y subsidios aplicados por modo de transporte</li> <li>○ Indicadores de eficacia, eficiencia y productividad</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• Iniciar los esfuerzos tendientes a desarrollar una Cuenta Económica y Ambiental Integrada del Transporte y una “Cuenta Satélite del Transporte”, comenzando con el transporte urbano, el cual permita contabilizar: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Cuenta Económica y Ambiental por Modo de Transporte</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos económicos</li> <li>• Tiempos de viaje</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>

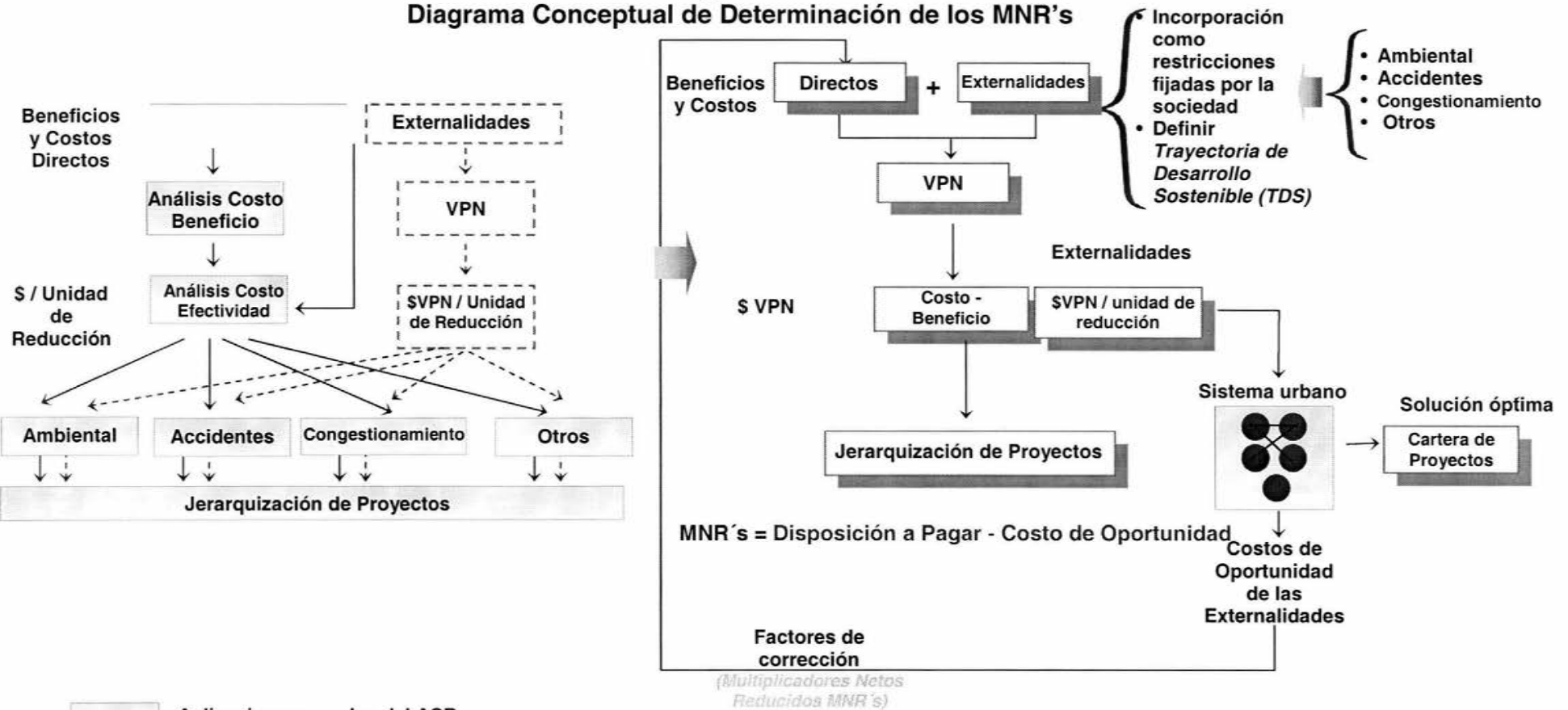





- 
- Accidentes
  - Contaminación atmosférica
  - Ruido
  - Infraestructuras no recuperadas

**Cuenta Satélite del Transporte**

- Consumos intermedios
  - Remuneración de asalariados
  - Excedente bruto de explotación
  - Valor agregado bruto
  - Valor de la producción
  - Importaciones
  - Demanda intermedia
  - Demanda final
  - Exportaciones
  - Empleos
- Coordinar los esfuerzos en el ámbito urbano, económico, transporte, medio ambiente y finanzas y armonizar criterios entre el Gobierno del Distrito Federal y el del Estado de México
  - Desarrollar políticas metropolitanas para internalizar gradualmente las externalidades a través de precios, tarifas u otros instrumentos.

**Figura 24.**  
**Diagrama Conceptual de Determinación de los MNR's**



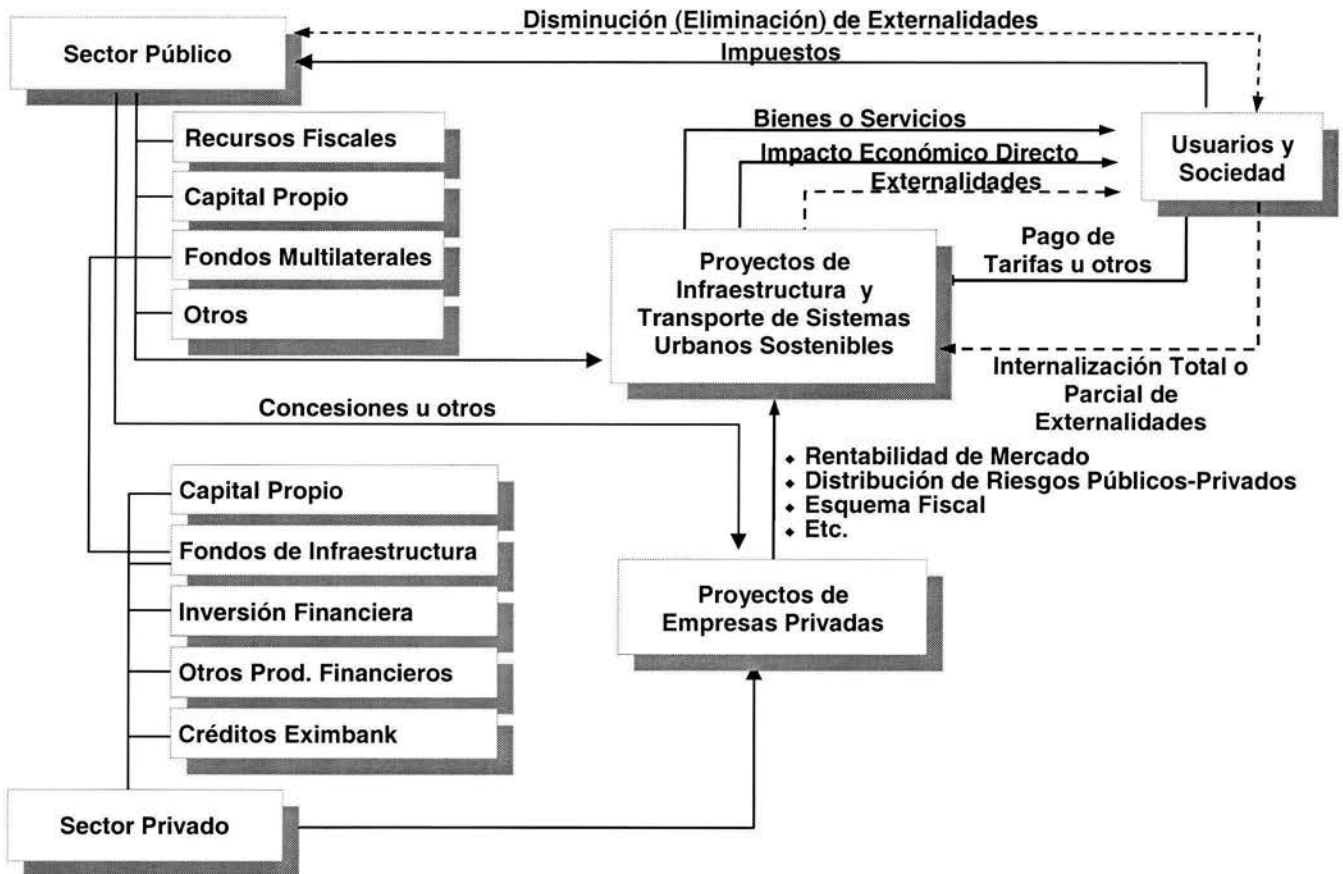
-  Aplicaciones usuales del ACB
-  Aplicaciones del ACE
-  ACB con Incorporación de Externalidades (ACBE)

} **Ámbito de aplicación en este proyecto de investigación**

Factores de Corrección:	Costos de Oportunidad (Little / Mirrlees)	Este Proyecto de Investigación
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precios sombra</li> <li>• Sistema de bienes comercializables abierto al exterior</li> <li>• Corrección de distorsiones de precios de mercado</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Multiplicadores Netos Reducidos (MNR's)</li> <li>• Sistema urbano con límites a las externalidades fijados por la sociedad</li> <li>• Para monetarizar las externalidades</li> <li>• Para internalizar el costo de las externalidades</li> <li>• Para realizar un ACB Integral con Externalidades (ACBE)</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia del autor.

**Figura 25.**  
**Enfoque de Participación Mixta en Proyectos de Infraestructura y Transporte de Sistemas Urbanos**



Fuente: Elaboración propia del autor.

---

## A. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS SELECCIONADAS

ADLER, H.A., 1971. *Economic appraisal of transport project*, Indiana University Press, Blumington/London.

BAZARAA M., 1998. *Programación lineal y flujo de redes*, segunda edición, Limusa, Noriega Editores.

BIERMAN, H. Jr. G. S. Smidt, 1991. *"The capital budgeting decision: Economic analysis of investment projects"*, New York, Macmillan Publishing Co. Inc.

CAMARENO Orive, A., Guerrero García, M.J., y Monzón de Cáceres, 1998. *Las externalidades en la evaluación de proyectos de transporte*.

CAMPBELL, Scott., 1996. *Green cities, growing cities, just cities? Urban planning and the contradictions of sustainable development*, Journal of American Planning Association, Vol 62, No.3, summer, American Planning Association, Chicago, IL.

CHENERY, H.B., 1953. *The application of investment criteria*, Quarterly Journal of Economics, febrero de 1953.

CHURCHMAN, C.W., 1968. *The systems approach*, A Delta Book, Dell Publishing Co., Inc., New York, USA.

COMETRAVI, 1998. *Diagnóstico de las condiciones del transporte y la calidad del aire en la ZMCM*, elaborado por Felipe Ochoa y Asociados, S.C., con financiamiento del Banco Mundial, Segundo Proyecto de Transporte y Calidad del Aire en la Ciudad de México.

COSS BU, R., 1993. *Análisis y evaluación de proyectos de inversión. México*, Limusa, S.A. de C.V.

CROPPER, M.Y., Oates W., 1992. *Environmental Economics: A Survey*, *Journal of Economic Literature*, Junio.

CUMMINGS, R., D. S. Brookshire, and W. Schulze. (Eds.). 1986. *Valuing public goods: an assessment of the contingent valuation method*, Rowman and Allanheld. New Jersey.

DANTZING G.B., 1957. *Discrete variable extremum problems*, Operations Research, Núm. 5, pp. 277-277.

---

DAVIS, R. 1963. ***The value of outdoor recreation: An economic study of the maine woods***", Ph.D. diss. Harvard University.

DÍAZ Padilla, J., 1974. ***Análisis de inversiones bajo condiciones de incertidumbre***, XIV Convención Nacional de IMIQ, Guadalajara.

ECME, EUROPEAN Conference of Ministers of Transport, 1998. ***Efficient transport for Europe: Policies for internalisation of external costs***, OECD Publications Service, 1998.

ESKELAND, G., 1994. ***The net benefits of an air pollution control scenarios for Santiago***, Reporte interno del Banco Mundial.

FONTAINE R. E., 1995. ***Evaluación social de proyectos***, Universidad Católica de Chile, primera edición 1981, décima edición.

GAMBOA A., 2002. ***Programación de Inversiones: Breve recapitulación conceptual y una aplicación para la ciudad de México***, UNAM. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, Alfa Omega.

GREATER Vancouver Regional District and the Providence of British Colombia, 1993. ***Transportation Demand Management Measures and their Potential for Application in Greater Vancouver***, Transport 2021, Documento de Trabajo, Canadá.

GUERRERO García, M.J. y Monzón de Cáceres, A., 2002. ***Cuenta Económica y Socio-ambiental del Transporte Terrestre de Viajeros en la Comunidad de Madrid en 1996***, Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes, Consorcio de Transportes de Madrid, Marzo de 2002.

HANDY, S. y Moke H.T., 1995. ***Planning for telecommuting: Measurement and policy issues***, APA Journal.

HILLIER, F.S., 1963. ***Derivation of probabilistic information for the evaluation of risk investments***", Mgmt. Sci. 9, pp. 443-457.

HOEVENAGEL, R. y Van del Linden, J.W., 1992. ***Effects of different descriptions of the ecological good on willingness to pay values***", Institute for Environmental Studies, Free University, Amsterdam, Netherlands.

IMT, MODELO VocMex, 1994. ***Cálculo de costos de operación de usuarios***, SCT, México.

---

INE, 1996. **Programa para mejorar la calidad del aire en el valle de México 1995-2000**, México, elaborado en Coordinación con el Gobierno del Estado de México, Departamento del Distrito Federal, Secretaría de Salud y la Comisión Ambiental Metropolitana.

INSTITUTO Mexicano del Petróleo y los Alamos National Laboratory, 1992. **Mexico city air quality research initiative**, volume III, Modeling and simulation.

INSTITUTO Nacional de Salud Pública, 1996. **Valuación económica de reducir la contaminación ambiental en la ZMVM**.

JACKSON, J.R., Jonson, R.C. y Kaserman, D.L., 1984. **The measurement of land prices and elasticity of substitution in housing production**", Journal of Urban Economics, Vol. 16, pp. 1-12.

JUÁREZ Del Angel, R. 1982. **Evaluación y selección de proyectos de inversión: Una aplicación del sector pesquero**, Tesis de maestría. División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM.

LITTLE, J. y Mirrlees, J., 1969. **Manual of industrial project analysis: Social cost-benefit analysis**", OECD.

LUENBERGER D.G., 1997. **Microeconomía theory**, Mc. Graw-Hill International Editions, Economic Series.

MARGULIS, S., 1992. **Back of the envelope estimates of environmental damage in Mexico**", The World Bank.

MAYERES Inge, Ochelin Sara y Prost Stref, 1996. **The Marginal External Cost of Urban Transport**, Transportation Research D: Transport and Environment, ID(2), Diciembre, pp 111-193.

MENDOZA F.A., 1983. **El método electra: Una guía para la toma de decisiones multicriterios**", documento de trabajo, Facultad de Ingeniería, DEPMI, UNAM.

MIRRELES J., 1996. **The Economic theory of incentives under asymmetric information**, Premio Nobel en Economía.

MITCHEL, R.C. y Carson, R.T., 1989. **Using surveys to value public goods: The contingent valuation method. Resources for the future**, Washington, DC, 463 pp.

---

MOLINA M. y Molina L., 2002. ***Air quality in the Mexico megacity***. An Integrated Assessment, Kluwer Academic Publishers.

MUNDA, G. Nijkamp, P. Rictveld, P. 1995. ***Monetary and non monetary evaluation methods in sustainable development planning***, Economic Appliquée, XLVIII(2), pp. 143-160.

NATIONAL Safety Council, EUA, 1994. ***Estimating the cost of unintentional injures***.

NIJKAMP, P. y Blaas, E. 1994. ***Impact assessment and evaluation in transport planning***, Kluwer Dordrecht.

OCHOA Rosso F., 1973. ***La Investigación de operaciones en la programación de inversiones***, Facultad de Ingeniería, DEPMI, UNAM.

\_\_\_\_\_, 1983. ***Método de los sistemas***, Facultad de Ingeniería, DEPMI, UNAM.

\_\_\_\_\_, 1973. ***Estructura del problema de selección óptima de inversiones***, Ponencia presentada en el seminario sobre la aplicación de la investigación de operaciones en el sector financiero en México.

\_\_\_\_\_, 1968. ***Applications of discrete optimization techniques to capital investment and network synthesis problems***, Tesis de Doctorado, Departamento de Ingeniería Civil, Massachusetts Institute of Technology, Boston, M.A.

OECD, 1993. ***Environmental policies for cities in the 1990's***, 1990.

PEARCE, D.W. y Markandya, A., 1989. ***Environmental policy benefits: Monetary valuation***, O.E.D.D., París, 83 pp.

PEARCE, D.W. Nash, C.A., 1989. ***The Social appraisal of projects***, Macmillan, London.

RADIAN International, 1996. ***Cálculo de factores de emisión vehicular utilizando al MOBILE-5-MCMA***, documento interno de la Dirección de Estudios y Proyectos, GDF.

RAIFFA H., y Keeney R.L., 1976. ***Decisions with multiple objectives: References and value tradeoffs***, John Wiley & Sons, New York Santa Barbara London, Sydney Toronto.

ROTHENGATTER, W. 1996. ***Evaluation methods for external effects of transport in Europe***, Proceeding of symposium on measuring and understanding external effects of transport, pp. 1-22.

---

ROY B. 1979. ***La Méthode ELECTRE 3***, LAMSADE, Université de Paris.

SQUIRE L. y Vander Tak H., 1975. ***Economic analysis of projects***, Johns Hopkins University Press.

TAHA H.A., 1975. ***Integer programming: Theory, applications and computations***, New York, Academic Press.

THE World Bank, 1992. ***Transport air quality management in the Mexico city metropolitan air***, sector study, report No. 10045-ME.

TRIP, CENTRE for Transport Research on environmental and health Impacts and Policy, 2000. ***Valuation of external costs of air pollution***, Copenhagen, DK.

VAN Pelt M.J.F., 1993. ***Sustainability-oriented project appraisal of developing countries***, Ph. D. Dissertation, Wageningen Agricultural University, Wage Vingen.

WEINGARTNER H.M., 1963. ***Mathematical programming and the analysis of capital budgeting problems***, Prentice-Hall, Englewood cliffs, New Jersey, USA.

WILLIS, K. Button, and, Nijkamp, P. 1999. ***Environmental valuation, Volume II: Multi attribute programmes, validity, allocation issues and case studies***, Elgar Reference Collection, Cheltenham, UK; Northampton, MA, USA.

WINPENNY J.T., 1993. ***Values for the environment: A guide to economic appraisal***, Overseas Development Institute, London: HMSO.