

**Valoración económica y ambiental aplicada a casos del manejo de la Calidad del  
Aire y Control de la Contaminación**

**Informe para el Diálogo Regional de Política del Banco Interamericano de  
Desarrollo**

Luis A. Cifuentes

Luis Rizzi

Héctor Jorquera

Javier Vergara

17 de Febrero de 2004

## CONTENIDOS

<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>1</b>
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	1
MARCO CONCEPTUAL	2
ESTIMACIÓN DE LOS BENEFICIOS DE LA CALIDAD DEL AIRE	3
REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN Y CAPACIDADES	4
CASOS DE APLICACIÓN DE VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA CALIDAD DEL AIRE	5
CASO DE ESTUDIO 1: LA ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS, PLAN DE PREVENCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA DE LA REGIÓN METROPOLITANA (PPDA), SANTIAGO DE CHILE	5
CASO DE ESTUDIO 2: VALORACIÓN ECONÓMICA DEL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO	9
CASO DE ESTUDIO 3: EL IMPACTO ECONÓMICO DEL PROCONVE SOBRE LOS EFECTOS A LA SALUD POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN SAO PAULO, BRASIL: UN EJERCICIO DE TRANSFERENCIA DE RESULTADOS.	10
<b>PARTE I FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>	<b>12</b>
<b>1. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>12</b>
1.1 BENEFICIOS ASOCIADOS A LA MEJOR CALIDAD DEL AIRE	13
1.2 ESTIMACIÓN DE LOS BENEFICIOS DE LA CALIDAD DEL AIRE	14
1.3 EL MÉTODO DE LA FUNCIÓN DE DAÑO	14
1.4 REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN Y CAPACIDADES	17
1.4.1 <i>Transferencia de valores</i>	19
1.5 CASOS DE APLICACIÓN DE VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA CALIDAD DEL AIRE	20
1.5.1 <i>El caso de la UE</i>	20
1.5.2 <i>El caso de USA</i>	21
1.5.3 <i>Situación en países Latinoamericanos</i>	23
<b>PARTE II CASOS DE ESTUDIO EN LATINOAMÉRICA</b>	<b>25</b>
<b>2. CASO: SANTIAGO DE CHILE</b>	<b>26</b>
2.1.1 <i>Plan de Prevención y Descontaminación Ambiental para la Región     Metropolitana</i>	28
2.1.2 <i>Beneficios del Plan de Prevención y Descontaminación Ambiental. Año 1997</i>	30
2.1.3 <i>Reestimación de Beneficios del Plan de Prevención y Descontaminación     Ambiental. Año 2000</i>	34
2.1.4 <i>Comparación de beneficios en salud del PPDA según los criterios de     valoración 1997 y 2000</i>	36
<b>3. CASO: CIUDAD DE MÉXICO</b>	<b>37</b>
3.1 ESTUDIO: VALORACIÓN ECONÓMICA DEL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO	38

3.1.1	<i>Escenarios Considerados</i>	38
3.1.2	<i>Reducción en Efectos a la salud</i>	40
3.1.3	<i>Resultados</i>	42
3.2	ESTUDIO: CALIDAD DEL AIRE EN LA MEGA-CIUDAD DE MÉXICO	45
3.2.1	<i>Resultados</i>	45
3.3	LOS BENEFICIOS LOCALES DEL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA CIUDAD DE MÉXICO	46
3.3.1	<i>Objetivos y políticas evaluadas</i>	46
3.3.2	<i>Contaminantes considerados</i>	47
3.3.3	<i>Escenarios Considerados</i>	47
3.3.4	<i>Efectos considerados</i>	48
3.3.5	<i>Métodos de valoración</i>	49
3.3.6	<i>Resultados</i>	51
<b>4.</b>	<b>CASO: CIUDAD DE SAO PAULO, BRASIL</b>	<b>52</b>
4.1	EL IMPACTO ECONÓMICO DEL PROCONVE SOBRE LOS EFECTOS A LAS SALUD POR CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN SAO PAULO, BRASIL: UN EJERCICIO DE TRANSFERENCIA DE RESULTADOS	52
4.1.1	<i>Objetivos y políticas evaluadas</i>	52
4.1.2	<i>Contaminantes considerados</i>	53
4.1.3	<i>Escenarios Considerados</i>	53
4.1.4	<i>Efectos considerados</i>	54
4.1.5	<i>Métodos de valoración</i>	55
<b>5.</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>57</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>59</b>
I.1	ANEXO I. PRÁCTICAS DE VALORACIÓN ECONÓMICA	59
I.1.1	<i>Estimación de los beneficios de la calidad del aire</i>	59
I.1.2	<i>El método de la función del daño</i>	65
I.2	ANEXO II. BENEFICIOS EN LA SALUD HUMANA DEL PLAN DE PREVENCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN AMBIENTAL DE SANTIAGO, CHILE.	66
I.3	ANEXO III. MÉTODOS DE VALORACIÓN USADOS EN EL CASO ZMVM, MEXICO.	68
I.4	ANEXO IV. MÉTODO DE VALORACIÓN PARA EL ESTUDIO DE CALIDAD DEL AIRE EN LA MEGA-CIUDAD DE MÉXICO.	70
I.5	ANEXO V. MÉTODOS DE VALORACIÓN DEL PROCONVE, SAO PAULO, BRAZIL.	71

## Lista de Tablas

<i>Tabla 1 Efectos en la salud que han sido relacionados con la contaminación atmosférica.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 2 Valor Presente Total del Acta de Aire Limpio 1990-2010 (miles de millones US\$ de 1990).....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 3 Valor presente de los beneficios de reducción de contaminación atmosférica del CAA 1990 a 2010 según su tipo (US\$ millones de 1990).....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 4 Beneficios cuantificados generados por el PPDA para la población, los emisores y el Estado (millones de US\$).....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 5 Costos cuantificados de Implementación del PPDA (US\$).....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 6 Beneficios y Costos PPDA 2000 – 2005 (millones de US\$ de 2000).....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 7 Comparación de beneficios a la Salud según los criterios de evaluación PPDA 1997 y PPDA 2000 – 2005 (millones de dólares de 2000).....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 8 Reducción estimada de la concentraciones ponderadas por población para cumplir con cada uno de los escenarios.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 9 Reducción de muertes o Años de Vida Perdidos en la ZMVM en 2010 para los 4 escenarios analizados.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 10 Reducción de los Casos de Morbilidad en la ZMVM en 2010 para los 4 Escenarios analizados.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 11 Reducción del número de Contingencias Ambientales por una mejora en la calidad del aire.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 14 Resumen de beneficios debido a la reducción de PM<sub>10</sub> y ozono en la ZMVM (millones de US\$ por año).....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 15 Valor social de los beneficios de una reducción del 10% de los niveles de PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub> en la Zona Metropolitana del Valle de México.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 16 Reducción total anual de emisiones de contaminantes primarios.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 17 Cambios en la exposición anual al PM<sub>10</sub> y en exposición máxima diaria al O<sub>3</sub>.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 18 Reducción anual de los impactos a la salud (casos / años).....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 19 Valores unitarios de efectos (US\$ por caso).....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 20 Beneficios monetarios y QALYs salvados por año.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 21 PROCONVE y su impacto sobre la disminución de efectos a la salud en São Paulo.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 23 Valores monetarios de beneficios a la salud – PROCONVE - São Paulo (miles de 1999US\$).....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 12 Definición de Escenarios de estimación de Beneficios en Salud.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 13 Valor del año de vida (VAV) (en US\$, 2010 valorado en precios de 1999, tasa de descuento del 3%) a.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 22 Valores de DAP transferidos para Brasil miles de US\$).....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 23 Valores monetarios de beneficios a la salud – PROCONVE - São Paulo (miles de 1999US\$).....</i>	<i>72</i>

## Lista de Figuras

<i>Figura 2 Promedio anual de concentraciones de NO<sub>2</sub> en la zona metropolitana de Sao Paulo (estándar anual = 100 µg/m<sup>3</sup>).....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 1 Mercado hipotético de emisiones de contaminantes.....</i>	<i>61</i>

## **Resumen ejecutivo**

### **Introducción**

Durante las últimas décadas se han establecido derechos y obligaciones ciudadanas, se han definido las funciones del Estado y de los organismos públicos responsables en materia ambiental, se han realizado progresos en la formulación y aplicación de políticas ambientales, y se han desarrollado instrumentos y estrategias para la protección ambiental. A pesar de los avances registrados, aún persisten importantes problemas de contaminación y de destrucción y degradación del medio ambiente y de los recursos naturales renovables. Estos procesos traen consecuencias negativas para el desarrollo económico de los países, y afectan la calidad de vida de los ciudadanos, en particular la de los más pobres.

Países en vía de desarrollo necesitan evaluar los posibles usos de sus escasos recursos para gastos públicos e inversiones privadas en materia de desarrollo sustentable. Por eso es importante poder evaluar los costos de la degradación de los recursos naturales desde un punto de vista económico y desde una perspectiva ambiental. Un mejor entendimiento de los costos económicos de la degradación ambiental puede facilitar la evaluación de políticas para proteger y mejorar el ambiente y al mismo tiempo apoyar objetivos más específica en materia ambiental.

### **Objetivos**

El objetivo principal de este informe es brindar información relevante para mejorar la toma de decisiones en cuanto a calidad del aire y control de la contaminación. El objetivo específico es realizar un trabajo de revisión de experiencias en materia de valoración de la calidad del aire y control de la contaminación, cubriendo los aspectos analíticos y metodológicos más relevantes en

la estimación de beneficios económicos y ambientales. El uso de análisis económico relacionado con la calidad de aire es un ejemplo importante de valoración económica ambiental, dado el impacto significativo que la contaminación del aire puede tener sobre la salud y morbilidad, así como para otros intereses sociales (daños a los materiales, disminución de la producción agrícola y daños a recursos naturales).

### **Marco Conceptual**

La disminución en la calidad del aire produce varios impactos sobre la salud: algunos de corto plazo como irritación nasal, irritación ocular; otros de mayor alcance como eventos de bronquitis crónica y, por último, un incremento en el riesgo de muerte prematura. La población percibe solo algunos de estos efectos de manera inmediata y los vincula con la calidad del aire; sin embargo, difícilmente puede relacionar la disminución en la expectativa de vida con la calidad del aire. La mala calidad del aire produce, también, efectos negativos sobre la estética visual urbana, ya sea por menor visibilidad y/o por suciedad acumulada sobre las fachadas de los edificios y la consiguiente sensación de un ambiente degradado. Desde el punto de vista productivo, la calidad del aire afecta el rendimiento de ciertas cosechas, aumenta la frecuencia con que deben limpiarse los frentes de los edificios, impacta en el mantenimiento de ciertas obras civiles y degrada sitios turísticos. Todos estos efectos implican importantes pérdidas económicas que suelen ser ignoradas en las transacciones de mercado y en los sistemas de cuentas nacionales.

La contaminación atmosférica se origina en actividades económicas que emiten contaminantes a una tasa mayor a la que la atmósfera puede naturalmente removerlos. Dado que la emisión de estos contaminantes tiene un costo nulo para quienes los emiten (o incluso puede significar un ahorro), los agentes económicos no disponen de incentivos para su reducción. Así, es posible preguntarse si una política de control de la contaminación atmosférica generase beneficios sociales netos; si los beneficios por reducción de la contaminación superan los costos, tanto como quién recurre los

beneficios y los costos. La gestión del control de la contaminación está en función de las cantidades de reducción de la concentración de contaminantes necesarias para promover el bienestar social. Para ello, los métodos de valoración económica calculan los beneficios *marginales* asociados a una mejor calidad específicamente del aire. De manera similar, los métodos calculan los costos de mejorar un incremento en la calidad del aire. Desafortunadamente, aunque esto es sencillo desde el punto de vista teórico, es complejo en la práctica. La razón es que una grande parte de los beneficios se generan afuera del mercado y por eso, se necesita usar información indirecta para evaluarlos.

### **Estimación de los beneficios de la calidad del aire**

Para algunos tipos de daños es relativamente menos complejo estimar los daños marginales. Por ejemplo, es posible determinar cómo un cambio de la cantidad de contaminación afecta el rendimiento de las cosechas. En este caso particular, el impacto físico estaría dado por la cantidad de producto que se deja de obtener. En ambos casos, la monetización de estos impactos es inmediata: basta con saber el precio de mercado para calcular la pérdida económica. En otros casos, sin embargo, es más compleja de calcular los daños marginales – específicamente los daños de salud.

El *método de la función de daño* consiste en el uso de secuencias de modelos para determinar los impactos físicos de la contaminación, y en modelos económicos para valorar estos impactos. Por un lado, se recurre a modelos epidemiológicos o físicos para determinar el efecto que un cambio en la concentración de contaminantes tiene sobre la salud de las personas, la visibilidad, el daño a materiales y la vegetación. Una vez cuantificados algunos de estos impactos, se procede a monetizarlos utilizando técnicas varias de valoración monetaria. Estos métodos pueden incluir

medidas de costos (como costos de atención médica o pérdida de ingresos por incapacidad de trabajar causado por enfermedad relacionada con la contaminación); indicadores indirectos como variaciones en precios de inmobiliario atribuible a la calidad ambiental; o métodos, como encuestas, que buscan directamente obtener información sobre la disponibilidad de la población a pagar por un mejoramiento en la calidad del medio ambiente. El uso de este método constituye el camino elegido actualmente por la mayoría de los estudios que han estimado los beneficios de reducción de contaminación atmosférica.

### **Requerimientos de información y capacidades**

Para estimar los beneficios de reducción de contaminación atmosférica se requiere como insumos fundamentales un inventario de emisiones y datos meteorológicos. Con relación a los primeros, es necesario contar con las emisiones generadas por cada tipo de fuente de los principales contaminantes primarios. Esta etapa requiere de un alto conocimiento en la modelación de los niveles de actividad de cada fuente, y de sus factores de emisión. Idealmente estos factores de emisión se debieran determinar localmente, pero frente a la complejidad y costo de realizarlo, muchas veces se usan factores de emisión derivados en otros países.

Para la valoración económica se requiere contar con los costos monetarios correspondientes de cada uno de los efectos valorados. Estos valores pueden ser obtenidos a través del método del capital humano o del método de la disposición al pago.

Un papel proactivo de un gobierno en el control de la contaminación requiere fomentar la formación de profesionales con los conocimientos descritos así como una adecuada inversión en instalaciones y equipamiento.



## **Casos de aplicación de valoración económica de la calidad del aire**

En 1991 la Comisión Europea dio inicio al Proyecto ExternE (<http://externe.jrc.es>). Su objetivo era medir los costos externos asociados a los distintos ciclos de combustible en forma detallada. Se ha aplicado ya a varios países europeos como Alemania, Bélgica, España, Finlandia, Francia, Grecia y el Reino Unido. Por ejemplo, en París se analizó el potencial de reducción de emisiones introduciendo vehículos eléctricos. Se calculó que los costos no internalizados representan alrededor de un 4% del costo de un auto a gasolina y un 70% de vehículos diesel. Si estos costos fueran internalizados se concluye que los precios de autos eléctricos serían competitivos frente a vehículos diesel pero no para aquellos de gasolina.

En los Estados Unidos la USEPA ha realizado hasta el momento dos análisis de costo y beneficio de la Ley de Aire Limpio (Clean Air Act), uno retrospectivo, para el periodo 1970-1990 [EPA 1997], y otro prospectivo para el período 1990 – 2010 [EPA 1999]. Ambos estudios se basan en el método de la función de daño, utilizando solo estudios desarrollados en los Estados Unidos.

En diversos países de Latinoamérica (como Chile, Ecuador, México y Perú), la legislación requiere en forma expresa el desarrollo de estudios técnicos y económicos al dictar normas referidas al control de la contaminación atmosférica. En otros, a pesar que la legislación puede no ser tan taxativa en cuanto a considerar dicha obligación, de hecho se realizan dichos estudios en forma pública y no discutida.

### **Caso de estudio 1: La estimación de beneficios, Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana (PPDA), Santiago de Chile**

La actual legislación ambiental chilena exige la elaboración de estudios de impacto económico y social en la elaboración de planes de prevención y descontaminación ambiental y en el

establecimiento de normas de emisión de contaminantes. La legislación no determina que uso particular ha de darse a dicho estudios; así se desprende que éstos constituyen una herramienta en la búsqueda de las soluciones más eficiente y en la difusión de información a toda la comunidad.

En el año 1997 se elaboró el primer Plan de Prevención y Descontaminación Ambiental (PPDA) para la Región Metropolitana de Santiago de Chile, por haberse declarado a esta zona saturada para cuatro contaminantes atmosféricos. El Plan consistió en identificar actividades y fuentes de emisión de contaminantes y elaborar estrategias de reducción de emisiones para cada grupo de actividades a fin de cumplir con las metas establecidas para el año 2011 de calidad del aire.

Los beneficios directos del PPDA más importantes corresponden a mejoras en la salud humana, destacándose la disminución del riesgo de morir prematuramente y del riesgo de contraer enfermedades respiratorias. Otros beneficios directos considerables vienen dados por la disminución de daños a los materiales, por los incrementos en la productividad agrícola, por la disminución de episodios críticos y por los aumentos en la visibilidad. Por su parte, también serán importantes los beneficios indirectos asociados a menores tiempos de viaje, a ahorros en el uso de combustibles, al aumento de áreas verdes y a la ampliación de la educación ambiental. La Tabla 1 detallan estos beneficios distinguiendo la forma en que los distintos actores sociales, la población, los emisores y el Estado, se ven favorecidos.

**Tabla 1 Beneficio cuantificados generados por el PPDA para la población, los emisores y el Estado (US\$)**

<b>Beneficio</b>	<b>Población</b>	<b>Emisores</b>	<b>Estado</b>	<b>Total</b>
Salud humana	392.172.150	0	74.767.355	466.939.505
Materiales	445.053.991	0	0	445.053.991
Agricultura	0	143.740.000	0	143.740.000
Episodios críticos	0	37.597.029	2.285.255	39.882.284
Total cuantificados	837.226.141	181.337.029	77.052.610	1.095.615.780

Fuente: [CONAMA R.M. 1997]

Para que estos beneficios se hagan realidad, es necesario que las fuentes emisoras y el Estado incurran en importantes costos. De acuerdo a los contenidos evaluados en este análisis, los costos necesarios para hacer cumplir el PPDA ascienden al menos a US\$ 911.230.711, de los cuales el 47,6 % son absorbidos por los emisores y el 52,4 % por el Estado. En la Tabla 2 se detallan los costos a incurrir por la aplicación del PPDA. Al igual que en el caso de los beneficios, los costos totales del PPDA son mayores que los cuantificados en este análisis. De esta forma, las cifras mostradas en la Tabla 7 deben ser interpretadas como cotas mínimas del total de los beneficios y costos del PPDA. Finalmente, la razón Beneficio/Costo asciende a 1.2.

**Tabla 2 Costos cuantificados de Implementación del PPDA (US\$)**

	Emisores	Estado	Totales
Transporte	300.261.383	163.984.218	464.245.601
Industria, comercio y construcción	51.435.857	26.071.250	77.507.107
Agricultura	268.824	1.121.003	1.389.827
Domésticas	-52.253.008	0	-52.253.008
Polvo resuspendido	0	119.617.550	119.617.550
Extrapolados	134.198.998	139.160.592	273.359.589
<b>Subtotal</b>	<b>433.912.053</b>	<b>449.954.613</b>	<b>883.866.666</b>
Educación ambiental	0	10.336.884	10.336.884
Seguimiento	0	17.027.161	17.027.161
<b>Subtotal</b>	<b>0</b>	<b>27.364.045</b>	<b>27.364.045</b>
<b>TOTAL COSTOS</b>	<b>433.912.053</b>	<b>477.318.658</b>	<b>911.230.711</b>
<b>TOTAL BENEFICIOS</b>	<b>181.337.029</b>	<b>77.052.610</b>	<b>1.095.615.780</b>
<b>BENEFICIOS / COSTOS</b>	<b>&lt;1</b>	<b>&gt;1</b>	<b>1,20</b>

En el año 2000 los beneficios del PPDA fueron reestimados con base en nueva evidencia científica y con algunos cambios en la metodología. En la Tabla 3 se puede ver la estimación de los beneficios y costos del PPDA para el período 2000-2005. Debido al uso del método de la disposición al pago, los beneficios por salud se han incrementado significativamente: éstos representan el 91% de los beneficios totales. El resto de los beneficios son por menor daño de la contaminación a los materiales de construcción y por mejor visibilidad. En este estimado la razón Beneficio/Costo asciende a 5.9.

**Tabla 1 Beneficios y Costos PPDA 2000 – 2005 (millones de US\$)**

<b>Beneficios</b>	<b>Emisores</b>	<b>Estado</b>	<b>Población</b>	<b>Total</b>
Industria, comercio y hogares	0	39	304	343
Transporte y Combustibles	0	44	344	388
Polvo levantado	0	2	47	49
<b>TOTAL BENEFICIOS</b>	0	85	695	780
<b>Costo</b>	<b>Emisores</b>	<b>Estado</b>	<b>Población</b>	<b>Total</b>
Industria, comercio y hogares	4	0	0	4
Transporte y Combustibles	103	0	0	103
Polvo levantado	0	26	0	26
<b>TOTAL COSTOS</b>	107	26	0	133
<b>BENEFICIO SOCIAL NETO</b>	-107	59	695	647
<b>BENEFICIO / COSTO</b>				5,9

Fuente: [CONAMA R.M. 2001]. Nota: todas las cifras redondeadas a dos cifras significativas.

## **Caso de estudio 2: Valoración Económica del Mejoramiento De La Calidad Del Aire En La Zona Metropolitana Del Valle De México**

Este Programa fue elaborado por la Comisión Ambiental Metropolitana a fin de proteger la salud de la población y disminuir el número de emergencias ambientales en la Zona Metropolitana del Valle de México. El estudio considera una disminución de los niveles de concentración de dos contaminantes ambientales: ozono (O<sub>3</sub>) y material particulado (PM10). Para lograr esta disminución el Programa propone una serie de medidas destinadas a disminuir las emisiones de los contaminantes primarios PM10, óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y compuestos orgánicos volátiles (COV)<sup>1</sup>.

Los resultados del programa son sensibles al valor de la elasticidad de transferencia usada, pero son más sensibles a los supuestos de valoración usados. Por ejemplo, para el escenario de 10% de

<sup>1</sup> El PM10 y NO<sub>x</sub> son contaminantes primarios precursores de PM10, y los COV de O<sub>3</sub>.

reducción, usando una elasticidad de 1.0, se puede ver que los beneficios asociados a las reducciones de PM<sub>10</sub> pueden variar desde casi 1.500 millones de dólares por año si se considera la disposición al pago para valorar los efectos de mortalidad y morbilidad, a tan solo 158 millones, si se consideran solo los costos de enfermedad y productividad perdida. Una gran parte de los beneficios proviene de la disposición al pago por reducir los riesgos de muerte. Este fenómeno se presenta en todos los estudios analizados.

Otro estudio de la calidad de aire en el Área Metropolitana de la Ciudad de México elaborado en manera integral por expertos en ciencias atmosféricas, salud humana economía, ciencias políticas y sociología, estimó que los beneficios anuales de una reducción del 10% de los niveles de PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub> en el Área Metropolitana de la Ciudad de México serían las siguientes:

**Tabla 2 Valor social de los beneficios de una reducción del 10% de los niveles de PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub> en la Zona Metropolitana del Valle de México**

<b>Efectos</b>	<b>Reducción de efectos (casos / año)</b>	<b>Valor unitario (US\$ / caso)</b>	<b>Valor Social (US\$ Millones / año)</b>
Mortalidad (PM10)	3000	650 000	1 650
Bronquitis crónica (PM10)	10 000	34 000	340
<b>Total beneficios PM10</b>			<b>2 000</b>
Mortalidad (O3)	300	650 000	200
Días de actividad restringida (O3)	2 000 000	6	10
<b>Total beneficios O3</b>			<b>200</b>
<b>Total Beneficios</b>			<b>2 200</b>

Fuente: Molina y Molina (2002), Tablas 4.8 y 4.9

### **Caso de estudio 3: El Impacto Económico del PROCONVE sobre los efectos a la salud por Contaminación Atmosférica en Sao Paulo, Brasil: Un ejercicio de transferencia de resultados.**

El estudio tuvo como objetivo estimar los beneficios por reducción de morbilidad y mortalidad generadas por la mejora en la calidad del aire debida a la implementación de la tercera fase del

Programa de Control de la Contaminación Atmosférica de Fuentes Móviles (PROCONVE) en Sao Paulo, que comenzó a regir a partir del año 1997. Este programa consiste en el establecimiento de límites máximos de emisión para distintas categorías de vehículos.

La valoración se realizó basado en transferencia de valores. Para valorar en términos monetarios los beneficios a la salud, se utilizó el método de la disposición al pago, transfiriendo valores estimados en los Estados Unidos.

La tabla presenta los beneficios monetarios por efectos positivos en la salud del PROCONVE, utilizando los valores de la disposición a pagar. El valor anualizado de los beneficios monetarios totales es aproximadamente US\$ 2,800 millones.

**Valores monetarios de beneficios a la salud – PROCONVE - São Paulo (miles de 1999US\$)**

		Eventos evitados		Beneficios a la Salud	
		0-2 años	> 64 años	0-2 años	> 64 años
Morbilidad					
Admisiones					
Respiratorias					
	PM10	4,044	905	3,356	751
	SO2	2,524	432	2,094	358
	CO	4,530	--	3,759	--
	<b>Totals</b>	<b>11,098</b>	<b>1,337</b>	<b>9,209</b>	<b>1,109</b>
Gastos de Salud					
	PM10	4,044	905	5,595	2,155
	SO2	2,524	432	3,492	1,029
	CO	4,530	--	6,267	--
	<b>Totals</b>	<b>11,098</b>	<b>1,337</b>	<b>15,353</b>	<b>3,184</b>
Mortalidad					
Precios Transferidos					
	NO2	1,420	--	819,686	--
	PM10	--	798	--	460,640
	SO2	--	-578	--	-333,647
	CO	--	3,302	--	1,906,057
	<b>Totals</b>	<b>1,420</b>	<b>3,522</b>	<b>819,686</b>	<b>2,033,051</b>
<b>Total</b>				<b>US\$ 2,881 millones</b>	

Fuente: [Ortiz and Serôa da Motta 2002] Tabla 6

La tabla muestra varios puntos de interés. Primero, el grueso de los beneficios está dado por la disposición a pagar por evitar mortalidad prematura, principalmente de aquellos mayores de 65 años. Los gastos directos en salud asociados a las admisiones hospitalarias corresponden a un poco más de 18 millones de dólares, una pequeña fracción del total de beneficios.

## **Parte I Fundamentos teóricos**

### **1. Marco Conceptual**

El problema de la gestión de la calidad del aire y el control de la contaminación es de larga data. Un gran número de regulaciones han sido aplicadas en todo el mundo durante el siglo XX, en especial a partir de la segunda mitad del mismo. Aun cuando ciertos episodios de alta contaminación, como los de Donora, PA en EUA, en 1948 y Londres, Inglaterra en 1952, habían mostrado claramente que altos niveles de contaminación claramente tenían efectos fatales, se pensaba que solo dichos altísimos niveles producían efectos adversos. Generalmente, el criterio que regía las regulaciones estaba dado por el convencimiento de la existencia de un nivel de concentraciones de contaminantes en la atmósfera por debajo del cual los efectos sobre el bienestar de las personas, especialmente sobre la salud de la población, eran nulos. Así, una vez alcanzada la norma no se lograba ningún beneficio adicional por las reducciones adicionales en los niveles de concentración de contaminantes. Sin embargo, en los últimos 15 años<sup>2</sup>, nuevos estudios epidemiológicos han señalado la existencia de importantes beneficios a la salud generados por la continua reducción de los niveles de contaminación; en otras palabras, han mostrado que aparentemente no existe un umbral de contaminación por debajo del cual dejen de existir efectos negativos para la población.

---

<sup>2</sup> Los nuevos estudios epidemiológicos de series de tiempo comenzaron a finales de los '80, con estudios como los de Schwartz y Dockery, profesores de la Escuela de Salud Pública de la Universidad de Harvard.



## 1.1 Beneficios asociados a la mejor calidad del aire

Una mala calidad del aire produce varios impactos sobre la salud: algunos de corto plazo como irritación nasal, irritación ocular; otros de mayor alcance como eventos de bronquitis crónica y, por último, un incremento en el riesgo de muerte prematura. La población percibe solo algunos de estos efectos de manera inmediata y los vincula con la calidad del aire; sin embargo, difícilmente puede relacionar la disminución en la expectativa de vida con la calidad del aire. La mala calidad del aire produce, también, efectos negativos sobre la estética visual urbana, ya sea por menor visibilidad y/o por suciedad acumulada sobre las fachadas de los edificios y la consiguiente sensación de un ambiente deteriorado. Desde el punto de vista productivo, la calidad del aire disminuye el rendimiento de ciertas cosechas<sup>3</sup>, aumenta la frecuencia con que deben limpiarse los frentes de los edificios, impacta en el mantenimiento de ciertas obras civiles, aumenta la corrosión en estructuras metálicas<sup>4</sup> y degrada sitios turísticos. Todos estos efectos implican importantes pérdidas económicas que suelen ser ignoradas en las transacciones de mercado y en los sistemas de cuentas nacionales.

El origen de la contaminación atmosférica actual se debe a las actividades económicas que emiten contaminantes a una tasa mayor a la que la atmósfera puede naturalmente removerlos. Dado que la emisión de estos contaminantes tiene un costo nulo para quienes los emiten (o incluso puede significar un ahorro), los agentes económicos no disponen de incentivos para su reducción. La contraparte de esta emisión de contaminantes está dada por los impactos negativos que ocasiona una calidad del aire degradada. Así, es natural preguntarse si una política de control de la contaminación atmosférica generaría beneficios sociales netos: si los beneficios por reducción de la contaminación superan los costos, entonces esta política sería beneficiosa desde una perspectiva social.

La gestión del control de la contaminación debe decidir *en qué* cantidades reducir la concentración de contaminantes para promover el bienestar social y, para ello, es necesario determinar los beneficios (costos) asociados a una mejor (peor) calidad del aire. Desafortunadamente, aunque esto

---

<sup>3</sup> En el caso del anhídrido sulfuroso, afecta al trigo, soya, arroz principalmente, mientras que en el caso del ozono, afecta particularmente a las leguminosas (fuente: <http://www.york.ac.uk/inst/sei/rapid2/impacts crops.html>).

<sup>4</sup> Para mayor información, consultar la página web: <http://www.york.ac.uk/inst/sei/rapid2/impacts corrosion.html>

es sencillo desde el punto de vista teórico, es extremadamente complejo en la práctica. A pesar de esto, para tomar una decisión mejor informada es fundamental realizar el esfuerzo de valoración de los beneficios sociales asociados a una mejor calidad del aire. Se debe tener presente que se trata de cuantificar los costos y beneficios de reducciones *marginales* sobre los actuales niveles de contaminación, y no de cuantificar los beneficios por la reducción total de la contaminación: la estimación de estos beneficios marginales (generalmente asociados a un programa de control de la calidad del aire) es mucho menos compleja que la determinación del beneficio asociado a la reducción total de los niveles de contaminación.

## **1.2 Estimación de los beneficios de la calidad del aire<sup>5</sup>**

¿Por qué es una tarea tan compleja medir los beneficios asociados a una mejorar en la calidad del aire? Como ya se mencionará, esto se debe a que no existen mercados donde se transen los niveles de concentración de contaminantes en el aire. Si estos mercados existiesen, automáticamente se transformarían en instrumentos de gestión de la calidad del aire: indicarían cuánto cuesta emitir contaminantes a la atmósfera y quienes quieran contaminar deberían pagar su costo; de otra manera no podrían hacerlo.

## **1.3 El método de la función de daño<sup>6</sup>**

La función de daño comprende una secuencia de dos o más modelos interrelacionados. En primer lugar se dispone de un modelo que vincula los cambios en la concentración de contaminantes con cambios en la incidencia de efectos nocivos sobre la salud de la población. Estos modelos reciben el nombre de funciones *dosis – respuesta* o *concentración-respuesta*<sup>7</sup>. Estas funciones se obtienen, en su mayoría, de estudios epidemiológicas de series de tiempo, de cohorte, y de sección transversal. Los primeros consisten en observar los cambios temporales (generalmente diarios) en la incidencia de efectos en una población (por lo general, una ciudad completa) y relacionarlo estadísticamente

---

<sup>5</sup> Véase el Anexo I para la discusión de algunos aspectos teóricos relacionadas con esta sección.

<sup>6</sup> Véase el Anexo I para la discusión de algunos aspectos teóricos relacionadas con esta sección.

<sup>7</sup> También se usa el nombre de exposición-respuesta. Sin embargo, creemos que el nombre concentración-respuesta es mas adecuado dado el uso actual que se hace de ellos.

con los cambios en los niveles de contaminantes. Como la población es la misma, esta actúa como su propio control estadístico. Los mayores efectos confundentes son, en este caso, las variables ambientales como temperatura y humedad que al igual que la contaminación, varían en forma diaria.

Los estudios de sección transversal estiman una relación funcional entre la incidencia de un cierto efecto en un área metropolitana y diversas variables de ella, entre ellas la concentración de contaminantes, para muchas áreas metropolitanas. Estos estudios entregan una estimación de los efectos de largo plazo, pero son mucho más sensibles a la especificación de las variables de control.

Los estudios de cohorte toman una muestra de individuos, generalmente seleccionada de manera aleatoria, y monitorean su estado de salud durante períodos largos de tiempo (diez o más años), relacionándolo con características de los individuos y con variables ambientales. De esta manera, estiman el efecto que exposiciones de largo plazo a la contaminación tienen sobre la salud de los individuos. Estos estudios requieren una gran cantidad de recursos, por lo que se han realizado muy pocos, todos en los Estados Unidos.

Los efectos a la salud considerados en estos estudios son efectos de mortalidad prematura y de morbilidad. La siguiente tabla muestra los efectos para los cuales se dispone de relaciones concentración-respuesta, además de aquellos para los cuales se sospecha que existen efectos, pero no existe aun evidencia científica suficiente.

**Tabla 3 Efectos en la salud que han sido relacionados con la contaminación atmosférica**

Efectos Cuantificables	Efectos No Cuantificables
Mortalidad (adultos mayores)	Inducción de asma
Mortalidad (infantil)	Efectos de desarrollo fetales / neonatales
Mortalidad neonatal	Mayor sensibilidad de vías respiratorias
Bronquitis – crónica y aguda	Enfermedades respiratorias crónicas no bronquitis
Ataques de asma	Cáncer
Admisiones hospitalarias respiratorias	Cáncer pulmonar
Admisiones hospitalarias cardiovasculares	Efectos conductuales (Ej., dificultades de aprendizaje)
Visitas a sala de urgencia	Desordenes neurológicos
Enfermedades respiratorias inferiores	Exacerbación de alergias
Enfermedades respiratorias superiores	Alteración de mecanismos de defensa
Síntomas respiratorios	Daño a células respiratorias
Días de ausentismo laboral	Menor tiempo de desarrollo de angina
Días con actividad restringida	Cambios morfológicos en el pulmón
	Arritmia cardiovascular

Fuente: Adaptado de [EPA 1999]

Así como se calculan los impactos de los niveles de concentración de diversos contaminantes sobre la salud, también se pueden estimar los efectos sobre la visibilidad, la vegetación, las cosechas y los materiales expuestos a la acción del aire. Por ejemplo, las reducciones de visibilidad se deben principalmente al efecto de dispersión de la luz debido a partículas de diámetros entre los 0.1 y 1 micrones, por lo que el componente responsable de la disminución de visibilidad corresponde a la fracción fina del material particulado, el denominado  $PM_{2.5}$ . De esta manera, conociéndose como varía la concentración de esas partículas finas se puede saber el nivel de la visibilidad.

El último modelo de la secuencia es el modelo de valoración económica, que permite monetizar los cambios en los efectos en la salud.

Un método cada vez más utilizado, es el *método de la disposición al pago o DAP (Willingness to Pay, WTP, en inglés)*: considera la máxima cantidad de dinero que las personas están dispuestas a pagar por disminuir el riesgo de muerte o la probabilidad de sufrir un evento que afecta a su salud.

Así, el reducir una muerte prematura no se valora por lo que se deja de producir, sino por el valor que las personas asignan a la reducción de sus probabilidades de muerte.

Este método para calcular el valor monetario del daño ocasionado por la contaminación es robusto teóricamente, pero difícil de aplicar en casos prácticos.

Muchas veces también se incluye un modelo físico-químico que relaciona los cambios en las emisiones de contaminantes primarios con los cambios en las concentraciones de contaminantes ambientales. Las distintas fuentes contaminantes, fijas y móviles, emiten contaminantes primarios según un patrón temporal y espacial. Estas emisiones se dispersan en la atmósfera, sujetas al efecto de las condiciones meteorológicas (temperatura, vientos, lluvias, etc.) y a diversas reacciones químicas (algunas de ellas por acción fotoquímica, sujetas a la radiación solar), resultando en las concentraciones de los contaminantes ambientales. Estos modelos generalmente representan los cambios en calidad del aire en una grilla espacial que cubre la zona urbana bajo estudio, y realizan la simulación de los cambios en concentraciones para uno o varios días “típicos”, generalmente para cada hora del día, y para cada celda de la grilla espacial.

Este tipo de modelos también se puede combinar con los resultados obtenidos por los métodos directos, para estimar la valoración de la reducción de emisiones de contaminantes, y no solo la valoración de la reducción de las concentraciones ambientales.

#### **1.4 Requerimientos de información y capacidades**

La función de daño es la metodología actualmente utilizada para valorar los beneficios económicos generados por programas de mejoramiento de la calidad del aire. Como ya se mencionó, esta metodología hace uso de un amplio espectro de técnicas de modelación, donde cada una requiere de conocimientos técnicos e información especializada. El libro editado por Mario y Luisa Molina [Molina and Molina 2002] constituye una excelente referencia al respecto; este libro presenta un

enfoque integrado de la gestión de la calidad del aire en la Zona Metropolitana de México, y en particular, del problema de la valoración de la calidad del aire.

El modelo de dispersión de contaminantes requiere como insumos fundamentales un inventario de emisiones y datos meteorológicos, ambos construidos con gran detalle de variabilidad temporal y espacial, por ejemplo, valores horarios sobre una grilla compuesta de celdas de  $1 \times 1$  Km. En relación a los primeros, es necesario contar con las emisiones generadas por cada tipo de fuente de los principales contaminantes primarios: material particulado (PM), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ). Esta etapa requiere de un alto expertise en la caracterización de los niveles de actividad de cada fuente, y de sus factores de emisión. Idealmente estos factores de emisión se debieran determinar localmente, pero frente a la complejidad y costo de realizarlo, muchas veces se usan factores de emisión derivados en otros países. Una buena fuente de estos factores de emisión es el AP42 producido por la US EPA<sup>8</sup>, para fuentes fijas, y el sistema europeo COPERT para la estimación de emisiones de vehículos<sup>9</sup>.

Finalmente, el modelo de valoración económica requiere contar con los costos monetarios correspondientes de cada uno de los efectos valorados. Estos valores pueden ser obtenidos a través del método del capital humano o del método de la disposición al pago. En caso de querer obtener los valores de la disposición al pago debe recurrirse a profesionales especializados en temas de valoración de bienes intangibles o bienes hedónicos. Un amplio rango de profesionales puede estar capacitado para realizar este tipo de valoraciones. En Chile, tanto los economistas ambientales como los ingenieros de transporte son los profesionales con mejor formación en el tema. En particular, los ingenieros de transporte poseen amplia experiencia en el tema debido a los más de 25 años de experiencia en valoración de bienes intangibles (entre ellos tiempos de viaje, riesgos de accidentes viales, ruido y ventajas de localización residencial).

---

<sup>8</sup> La página web donde se entrega esta información en detalle es: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>

<sup>9</sup> COPERT es la abreviatura de: "Computer program to calculate emissions from road transport", disponible en [http://reports.eea.eu.int/Technical\\_report\\_No\\_50/en](http://reports.eea.eu.int/Technical_report_No_50/en)

Un papel pro-activo de un gobierno en el control de la contaminación requiere fomentar la formación de profesionales con los conocimientos descritos así como una adecuada inversión en instalaciones y equipamiento. Aún más, este esfuerzo tiene que ser sostenido en el tiempo, tratando de alentar en lo posible la formación de redes de profesionales expertos en las distintas disciplinas involucradas en el estudio de la calidad del aire.

#### **1.4.1 Transferencia de valores**

Muchas veces no se dispone de evidencia local o se cuenta solo con evidencia parcial. Aun en estos casos es posible emplear el método de la función de daño, pero empleando valores transferidos de otros lugares. Toda transferencia de resultados está afecta como mínimo al error de origen, a lo que se deberá agregar el error debido a la transferencia. Este último se originará por diversos factores, tales como situaciones geográficas distintas, situaciones socioeconómicas distintas, o variaciones en los gustos tanto a lo largo del tiempo como en diferentes zonas en un mismo tiempo.

La técnica de meta-análisis puede ayudar a mejorar la robustez de los valores transferidos. Esta consiste en considerar un grupo de estudios disponibles sobre, por ejemplo, la disposición al pago (DAP) por mejoras en la calidad del aire. Cada estudio es considerado una observación y se trata de establecer alguna relación estadística entre los valores obtenidos de la DAP (variable dependientes) y ciertas variables que caractericen el sitio en cuestión (variables socioeconómicas, variables geográficas), que a juicio del investigador tengan un impacto sobre aquélla. Una vez determinadas las variables que influyen sobre las diferencias observadas en las valoraciones de los individuos, esta información adicional puede ser utilizada para mejorar la calidad del dato transferido.

Esta alternativa de transferencia de valores puede ser considerada válida como una solución de corto plazo. Sin embargo, al pensarse en el largo plazo, la conveniencia de realizar estudios se vuelve *indispensable*. Muchos fenómenos relacionados con la calidad del aire presentan rasgos particulares. Por ejemplo, la experiencia en Estados Unidos y Europa sugiere que en la mayor parte

de los centros urbanos se puede reducir la formación de O<sub>3</sub> mediante la reducción de las emisiones de COV principalmente y NOx. Estudios realizados en la Zona Metropolitana de México ([Molina and Molina 2002], capítulo 5) sugieren, sin embargo, que actualmente es conveniente reducir las emisiones de NOx. Desconocer este hecho, podría llevar a una excesiva asignación de recursos a reducir las emisiones de COV, sin que se consigan los resultados perseguidos en la Zona Metropolitana de México.

## **1.5 Casos de aplicación de valoración económica de la calidad del aire**

En esta sección se muestran algunos ejemplos del uso de la valoración de beneficios de una política de calidad del aire en distintos contextos. La finalidad de esta sección es mostrar el alcance y la utilidad de estas técnicas de valoración antes de describir con mayor detalle los casos de estudios que se verán en el capítulo siguiente. En primer lugar se describe el uso de la valoración de la calidad del aire en análisis costo-beneficio social en la Unión Europea, EE.UU y algunos países en desarrollo y en segundo lugar se destacan algunos criterios judiciales de valoración de daños.

### **1.5.1 El caso de la UE**

En 1991 la Comisión Europea dio inicio al Proyecto ExternE (<http://externe.jrc.es>). Su objetivo era medir los costos externos (o externalidades) asociados a los distintos ciclos de combustible en forma detallada. La metodología adoptada por el proyecto se basa en el enfoque de la función de daño y considera los siguientes impactos: salud y mortalidad humana, materiales, agricultura, ecosistemas, visibilidad y calentamiento global. El proyecto de investigación “ExternE Core/Transport”<sup>10</sup> ha realizado diversos estudios para estimar los costos y beneficios de políticas de transporte y medidas tecnológicas utilizando la herramienta Ecosense. Se ha aplicado ya a varios países europeos como Alemania, Bélgica, España, Finlandia, Francia, Grecia y el Reino Unido.

Por ejemplo, en París se analizó el potencial de reducción de emisiones introduciendo vehículos

---

<sup>10</sup> Para una completa descripción del proyecto y de sus componentes revise el sitio [http://externe.jrc.es/transport\\_project](http://externe.jrc.es/transport_project)



eléctricos. El estudio calculó los costos externos asociados a la contaminación atmosférica de vehículos eléctricos y convencionales que utilizan gasolina o diesel. El estudio mostró que los costos externos de la contaminación asociados a las emisiones de fuentes móviles son altos incluso para aquellos autos que cumplen las más recientes y estrictas regulaciones de emisiones. Se calculó que los costos no internalizados representan alrededor de un 4% del costo de un auto a gasolina y un 70% de vehículos diesel. Si estos costos fueran internalizados se concluye que los precios de autos eléctricos serían competitivos frente a vehículos diesel pero no para aquellos de gasolina: para estos sería más costo-efectivo introducir medidas tecnológicas en vez de cambiarlos por autos eléctricos.

### **1.5.2 El caso de USA**

En Estados Unidos el proceso de evaluación de proyectos depende mucho de la práctica de cada Estado, puesto que es un país federal. Sólo cuando se requieren fondos federales, debe procederse con esquemas de evaluación de proyectos tipificados por el gobierno central. En temas medioambientales, la Sección 812 de las Enmiendas al Acta de Aire Limpio requiere que la Agencia de Protección del Ambiente (USEPA) evalúe periódicamente los efectos del Acta de Aire Limpio sobre la salud pública, la economía y el ambiente. Sin embargo, a fin de establecer regulaciones medio-ambientales no se utiliza análisis costo – beneficio.

La USEPA ha realizado hasta el momento dos análisis de costo y beneficio del Acta de Aire Limpio, uno retrospectivo, para el periodo 1970-1990 [EPA 1997], y otro prospectivo para el período 1990 – 2010 [EPA 1999]. Ambos estudios se basan en el método de la función de daño, utilizando solo estudios desarrollados en los Estados Unidos. En particular, los beneficios a la salud se valoran utilizando valores basados en la disposición al pago. La Tabla 4 muestra el resumen del análisis costo-beneficio del Acta de Aire Limpio 1990-2010. Esta Acta consiste en el establecimiento de una serie de medidas destinadas a mejorar la calidad del aire. Entre las medidas más importantes se cuentan las siguientes:

- Establecimiento de un programa detallado para el cumplimiento y mantenimiento de los estándares nacionales de calidad del aire
- Regulación de las fuentes móviles y establecimiento de nuevos requerimientos en relación a gasolinas para automóviles
- Expansión y modificación de las regulaciones de emisión de contaminantes peligrosos: se establecen 189 contaminantes considerados altamente tóxicos
- Establece un programa de control de los precursores de la lluvia ácida
- Requerimientos de nuevos sistemas de premisos de emisión para fuentes de emisión primarias
- Límites a las emisiones de compuestos químicos que dañan la capa de ozono estratosférico
- Nuevas medidas para permitir un mayor control por parte de la autoridad

**Tabla 4 Valor Presente Total del Acta de Aire Limpio 1990-2010 (miles de millones US\$ de 1990)**

Costos directos	210
Beneficios directos	1.200 (260 – 2.500)
Beneficios netos	1.000 (50- 2.300)
Tasa: Costo / Beneficio	6/1 (1/1 a 12/1)

Los rangos inferior y superior corresponden a los percentiles 5 y 95 (intervalo de confianza del 90%)

Fuente: [EPA 1999]

Para la autoridad a cargo del Acta de Aire Limpio resultó reconfortante saber que, en el peor de los casos, los beneficios del Acta son iguales a sus costos; sin embargo, con una probabilidad de 95% los beneficios superan a sus costos. Tomando el valor central de los costos y beneficios, estos últimos superan en seis veces a los primeros; así, esta evidencia permite suponer que todas las medidas incluidas en el Acta reportan un beneficio importante para los habitantes de EE.UU. Estos beneficios incluyen efectos a la salud por disminución de los niveles de concentración de PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, beneficios por mejor visibilidad y efectos sobre las cosechas. La Tabla 5 muestra la distribución de los beneficios de reducción de contaminación según su tipo: la mayoría proviene de la reducción de efectos en la salud de la población.

**Tabla 5 Valor presente de los beneficios de reducción de contaminación atmosférica del CAA 1990 a 2010 según su tipo (US\$ millones de 1990)**

<b>Beneficios Monetarizados</b>	<b>Valor Presente</b>
Reducción de mortalidad	610.000
Reducción de morbilidad	50.000
Beneficios ecológicos y sobre el bienestar (incluye visibilidad)	30.000
Reducción de Ozono estratosférico	530.000
<b>Total beneficios</b>	<b>1.200.000 (260.000 – 2.500.000)</b>

Fuente: [EPA 1999]

### **1.5.3 Situación en países Latinoamericanos**

Solo algunos países latinoamericanos consideran de manera explícita en su legislación la consideración de los costos y beneficios sociales de planes o normas ambientales, y, como veremos más adelante, aun menos han realizado efectivamente este ejercicio.

En Chile, La Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, establece que en la elaboración de los normas de calidad ambiental, normas de emisión y planes de descontaminación deberá desarrollarse una etapa de análisis técnico y económico.<sup>11</sup> Estos criterios son desarrollados en los respectivos Reglamentos sobre Normas de Calidad Ambiental y Emisión, y en aquel que regula el procedimiento para la dictación de los Planes de Prevención y Descontaminación. Para Planes y Normas ambientales debe considerarse una estimación de los costos y los beneficios económicos y sociales. Para desarrollar este ejercicio, se ha sugerido como esquema conceptual el uso de la metodología de Análisis Costo Beneficio. En particular, el Plan de Prevención y Descontaminación Ambiental elaborado en el año 1997 [CONAMA R.M. 1997] utilizó la metodología de análisis Costo Beneficio, utilizando el método de la función de daño; del mismo modo que para la actualización del Plan realizada el año 2001 [CONAMA R.M. 2001].

La Ley de Gestión Ambiental del Ecuador también contempla la obligación de que toda norma

---

<sup>11</sup> Al respecto ver artículos 32, 40 y 44 de la Ley 19.300 sobre Bases del Medio Ambiente.

ambiental que dicte la autoridad respectiva contenga un análisis técnico económico de dichas normas.<sup>12</sup> Por lo tanto deben haberse considerado, por ejemplo, para la dictación de las normas de emisión provenientes de fuentes fijas dictadas en ese país. En Perú, el Decreto supremo N° 074-2001-pcm, contiene el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental, y contempla que en los procesos de elaboración de los planes de acción tendiente a cumplir con dichos estándares deberá considerarse “*análisis costo-beneficio de la estrategia y de los instrumentos de gestión necesarios para su aplicación*”.<sup>13</sup> En México, el Tercer Programa de Calidad del Aire 2001-2010, elaborado por la Comisión Ambiental Metropolitana [CAM 2002], presenta como uno de sus elementos la valoración económica de los beneficios por mejorar la calidad del aire del impacto que tendría en la salud humana y en la actividad económica la reducción de la contaminación debida a PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub>.

Como se puede apreciar en diversos países de Latinoamérica, la legislación consagra en forma expresa la necesidad de desarrollar estudios técnicos y económicos al dictar normas referidas al control de la contaminación atmosférica. En otros, a pesar que la legislación puede no ser tan taxativa en cuanto a considerar dicha obligación, de hecho se realizan dichos estudios en forma pública y no discutida, como puede ser el caso Mexicano.

---

<sup>12</sup> El artículo 4 de la Ley de Gestión Ambiental señala, “*Los reglamentos, instructivos, regulaciones y ordenanzas que, dentro del ámbito de su competencia, expidan las instituciones del Estado en materia ambiental, deberán observar las siguientes etapas, según corresponda, desarrollo de estudios técnicos sectoriales, económicos, de relaciones comunitarias, de capacidad institucional y consultas a organismos competentes e información a los sectores ciudadanos.*”

<sup>13</sup> Al respecto ver artículo 16 de la Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Perú.

## Parte II Casos de Estudio en Latinoamérica

En esta sección se exponen los tres casos de estudios seleccionados correspondientes a los casos de las siguientes regiones metropolitanas: Santiago (Chile), Ciudad de México (México) y San Pablo (Brasil). Se han elegido estas ciudades porque son las tres ciudades más avanzadas a este respecto en Latinoamérica, habiéndose realizado en todas ellas algún tipo de ejercicio de valoración de calidad del aire.

Para Santiago de Chile se analiza la estimación de beneficios realizada como parte de la evaluación económica del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana (PPDA) de 1997 y su actualización realizada en 2001. Ambos planes fueron sometidos a un análisis costo beneficio realizado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), basado en estudios encargados a consultores externos, en su mayoría Universidades. Estos estudios se contrastan también con el estudio realizado previamente por el Banco Mundial [The World Bank 1994].

En la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se analizan varios estudios: el estudio realizado por el Banco Mundial/RIVM [Cesar, Dorland et al. 2000], los estudios realizados por el equipo del Dr. Mario Molina [Molina and Molina 2002], y la reciente evaluación de co-beneficios de mitigación de gases de efecto invernadero [McKinley, Zuk et al. 2003]

Para Sao Paulo se analiza la evaluación del Plan Integrado de de Transporte Urbano (PITU) [da Costa, Saldiva et al. 1999] realizado para el Banco Mundial, y el análisis de los impactos de PROCONVE en la salud de la población [Braga, Pereira et al. 2002] y su monetización [Ortiz and Serôa da Motta 2002] correspondiente a la primera parte del proyecto IES<sup>14</sup> de la USEPA en Sao Paulo.

---

<sup>14</sup> Para una descripción de los estudios realizados bajo este programa (conocido inicialmente como ICAP), se sugiere consultar la página Web: <http://www.nrel.gov/icap/>

## **2. Caso: Santiago de Chile**

En el sector público chileno existe una importante tradición en el uso de la metodología de Análisis Costo Beneficio para determinar la rentabilidad social de proyectos públicos. Un claro ejemplo es la evaluación económica de proyectos de infraestructura de transporte urbano: la Secretaría Ejecutiva de Planificación de Transporte (SECTRA) ha desarrollado una serie de herramientas computacionales que permiten estimar los beneficios sociales de estos proyectos, que consisten básicamente en ahorros de tiempos de viaje. Esta tradición de evaluación social de proyectos se hizo extensiva a los planes medioambientales a partir del año 1994, con la promulgación de la Ley 19.300, de Bases Generales del Medio Ambiente.

Esta ley establece que en la elaboración de los planes de descontaminación y normas ambientales debe considerarse una estimación de los costos y los beneficios económicos y sociales. El Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión (Decreto Supremo N° 93/1995) establece que se deben “evaluar los costos y beneficios para la población, ecosistemas o especies directamente afectadas o protegidas; y los costos y beneficios para el Estado como responsable de la fiscalización del cumplimiento de la norma.” Esta evaluación recibe el nombre de Análisis General del Impacto Económico y Social.

El artículo 44 de la Ley 19.300 establece que, mediante decreto supremo del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, se elaborarán planes de prevención y/o descontaminación, cuyo cumplimiento será obligatorio en las zonas calificadas como latentes o saturadas. Por zona latente se denomina aquella en que la medición de la concentración de contaminantes en el aire, agua o suelo se sitúa entre el 80% y el 100% del valor de la respectiva norma de calidad ambiental, y por zona saturada, aquella en que una o más normas de calidad ambiental se encuentran sobrepasadas por las concentraciones medidas en el ambiente.

El reglamento que fija el procedimiento y etapas para establecer planes de prevención y descontaminación (Decreto Supremo n° 94/95 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia) establece que dentro de la etapa de estudios científicos previos a la promulgación del anteproyecto, el Director Ejecutivo de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) debe encargar, entre otros antecedentes, una estimación del impacto social y económico de la utilización de los instrumentos de gestión ambiental y de estímulo al mejoramiento ambiental que pudieran utilizarse. Luego, y una vez finalizado los estudios científicos, el Director Ejecutivo deberá encargar un *Análisis general del impacto económico y social* (AGIES) del plan, que deberá ser evacuado en un plazo de cuarenta días.

La ley y los reglamentos no especifican qué uso en particular se dará a los estudios y antecedentes de índole económico y social; así la finalidad principal de los estudios del AGIES es ayudar a la toma de una decisión más informada. En Chile y en el contexto de la elaboración de una norma o plan ambiental, es posible indicar al menos cuatro usos generales para los estudios y antecedentes de carácter económico y social a partir de los descritos en la legislación (DII, 1997):

- Como criterio de eficiencia para decidir los instrumentos a ser implementados dentro de un plan de prevención o descontaminación. Por ejemplo, privilegiando en las etapas iniciales de vigencia de un plan aquellos instrumentos que se presume tendrán una alta eficacia en reducir emisiones y bajos costos de implementación y operación;
- Como criterio, entre otros, para definir las metas de un plan de prevención o descontaminación;
- Como criterio de eficiencia en la revisión de las normas ambientales;
- Como criterio de diseño en las normas de emisión, a través del análisis de la factibilidad técnica y económica.

Los antecedentes que resultan de estos estudios están orientados, en primer lugar, a los responsables de la formulación de estos instrumentos, pero también, al ser un documento de carácter público, a informar a los potencialmente afectados con dichas regulaciones de los impactos o efectos que se espera generar en el medio en que ellos se desenvuelven.

A modo de resumen, la actual legislación ambiental chilena exige la elaboración de estudios de impacto económico y social en la elaboración de planes de prevención y descontaminación ambiental y en el establecimiento de normas de emisión de contaminantes. La legislación no determina que uso particular ha de darse a dicho estudios: así, se desprende que estos constituyen una herramienta en la búsqueda de las soluciones más eficiente y en la difusión de información a toda la comunidad.

En la siguiente sección se muestra como se procedió con la valoración económica del Plan de Prevención y Descontaminación Ambiental (PPDA) para la Región Metropolitana de Santiago.

### **2.1.1 Plan de Prevención y Descontaminación Ambiental para la Región Metropolitana**

En el año 1997 se elaboró el primer Plan de Prevención y Descontaminación Ambiental (PPDA) para la Región Metropolitana de Santiago de Chile, por haberse declarado a esta zona saturada para cuatro contaminantes atmosféricos (material particulado respirable, partículas totales en suspensión, monóxido de carbono y ozono) y como latente para dióxido de nitrógeno, el 1 de Agosto de 1996. Esta sección y la siguientes se basan en el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana. Santiago, Chile, preparado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente de la Región Metropolitana [CONAMA R.M. 1997]

El Plan consistió en identificar actividades y fuentes de emisión de contaminantes y elaborar estrategias de reducción de emisiones para cada grupo de actividades a fin de cumplir con las metas establecidas de calidad del aire en el año 2011<sup>15</sup>. Se identificaron las siguiente cinco tipo de

---

<sup>15</sup> Estas metas corresponden al cumplimiento de las normas ambientales para todos los contaminantes. Esto plantea un interesante problema, ya que cuando se cumplan estas normas, la Región muy probablemente quedara en estado de latencia, debiéndose continuar con un Plan de Prevención.



actividades:

### **Actividades y fuentes relacionadas con el transporte.**

Estrategia 1. reducir las emisiones por vehículo.

Estrategia 2. definir políticas específicas para la reducción de emisiones de las actividades relacionadas con el transporte de pasajeros y de carga.

Estrategia 3. incorporar la variable ambiental en la planificación del transporte.

Estrategia 4. evitar nuevos viajes motorizados.

### **Actividades y fuentes relacionadas con la industria, el comercio y la construcción.**

Estrategia 1. reducir las emisiones de las fuentes existentes.

Estrategia 2. establecer mecanismos de sustentabilidad del crecimiento industrial para emisiones atmosféricas.

Estrategia 3. optimizar el sistema de fiscalización de fuentes.

Estrategia 4. controlar las emisiones provenientes de la construcción.

### **Actividades y fuentes relacionadas con la agricultura.**

Estrategia 1. controlar las emisiones provenientes de la agricultura.

### **Actividades y fuentes domésticas.**

### **Actividades y fuentes relacionadas con el polvo resuspendido.**

Estrategia 1. planificación del territorio en una zona latente y saturada.

Estrategia 2. manejo y reparación del recurso suelo.

El Plan tiene como año de horizonte el año 2011 y se consideran dos etapas dentro de este período de análisis. La primera de ellas cubre el período 1997-2005 y la segunda etapa, el período 2005-2011. El Plan es de naturaleza dinámica y tiene que ser reformulado en los años 2000 y 2005 a fin de incorporar el mayor conocimiento del problema de contaminación atmosférico y la aparición de nuevas tecnologías más eficientes. En las dos secciones siguientes se reportan la evaluación económica realizada en el año 1997 y la versión actualizada del año 2000, preparada finalmente en

2001.

### **2.1.2 Beneficios del Plan de Prevención y Descontaminación Ambiental. Año 1997**

Los beneficios directos más importantes corresponden a mejoras en la salud humana, destacándose la disminución del riesgo de morir prematuramente. Otros beneficios directos considerables vienen dados por la disminución de daños a los materiales, por los incrementos en la productividad agrícola, por la disminución de episodios críticos y por los aumentos en la visibilidad. Se entregan resultados cuantitativos para la mayoría de los beneficios directos, excepto para los beneficios por la disminución de episodios críticos y mejoras en la visibilidad.

La cuantificación de los beneficios en salud humana, materiales y agricultura asociados a la implementación del PPDA se realizó siguiendo los siguientes pasos:

- a) Se definieron dos escenarios de concentraciones ambientales: un “escenario base”, sin PPDA, en el que las concentraciones ambientales aumentaban de acuerdo al crecimiento de la población y de la actividad económica, y un "escenario con PPDA" y al "escenario base", en el que las concentraciones ambientales disminuyen en forma lineal hasta alcanzar las normas primarias en el año 2011<sup>16</sup>. A partir de estos escenarios se calcularon las diferencias en las concentraciones entre los dos casos para los contaminantes requeridos para estimar beneficios.
- b) a dichas diferencias de concentraciones se les aplicó las funciones dosis-respuesta correspondientes, lo que dio como resultado el número de impactos negativos evitados por el PPDA;
- c) en base a técnicas de valoración económica se le asignó un valor monetario a los casos estimados en b), calculándose luego el valor presente de éstos.

---

<sup>16</sup> Además de plantear las metas en función de las concentraciones ambientales, se usaron modelos lineales (roll-back) para estimar la reducción requerida en emisiones de los precursores de los contaminantes ambientales. Desgraciadamente, no se consideraron niveles de background ni no-linealidades en estos modelos, por lo que en la revisión de la evidencia para la actualización del PPDA en 2000 se verificó que las reducciones estimadas originalmente eran insuficientes, debiéndose exigir reducciones más exigentes. Esto fue interpretado por algunos sectores como un cambio en las metas del PPDA, cuando en realidad no lo era, ya que las metas siempre fueron el cumplimiento de las normas primarias de calidad ambiental.

### ***2.1.2.1 Beneficios por mejoras en la salud humana.***

La cuantificación de los beneficios directos asociados a la salud humana considera la disminución de los riesgos de morir prematuramente y en la reducción de la incidencia de diversas enfermedades y efectos. Para estimar el aumento del riesgo de morir prematuramente se usó un estudio de series de tiempo realizado en Santiago para los años 1989 a 1991 [Ostro, Sanchez et al. 1996]. Para valorar estas reducciones de riesgos de muerte, se usó el método del capital humano: el beneficio económico asociado a una muerte estadística evitada ascendió a US\$ 42.497.

Los beneficios debidos a enfermedades evitadas por el PPDA fueron estimados para PM<sub>10</sub> y ozono (O<sub>3</sub>). Los beneficios cuantificados incluyen los gastos evitados por tratamientos médicos y los ingresos dejados de percibir por ausencia laboral. El valor presente<sup>17</sup> del total de beneficios en salud humana producidos en los 15 años de aplicación del PPDA ascienden a la suma de US\$ 467 millones.

### ***2.1.2.2 Beneficios por mejoras en los materiales***

Para la estimación de estos beneficios se consideró la superficie externa de la infraestructura de los sectores vivienda y oficinas para las comunas del radio urbano de Santiago. El resto de los sectores (industria, salud, y otros) no fueron incluidos debido a que estas construcciones constituyen una fracción baja del total y por considerarse compleja la caracterización de los materiales que con que se construyen. Así, en base a los datos del Censo de 1992, se diferenció la superficie de las viviendas y las oficinas en base a los materiales de construcción predominantes en sus paredes: estuco y madera.

Tomando en consideración los efectos de sedimentación (suciedad) producidos por las partículas suspendidas totales (PTS), se calcularon las mantenciones (pintado de muros) evitadas por el PPDA. Por su parte, los costos de cada mantención se determinaron en base al precio de mercado de pintar los muros y al stock de superficie expuesta a contaminación. Así, el valor presente total de los

---

<sup>17</sup> Para el cálculo del valor presente se utilizó una tasa de descuento del 12%, la tasa social de descuento usada en la evaluación de todos los proyectos de inversión pública en Chile, de acuerdo a las recomendaciones del Ministerio de Planificación. La tasa bajó a 10% en el año 2001.

beneficios por menores daños a materiales ascienden a US\$ 445 millones.

### ***2.1.2.3 Beneficios por aumentos en la productividad agrícola***

Si bien existe consenso que tanto el ozono (O<sub>3</sub>) como los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) inciden negativamente en la productividad agrícola, este análisis sólo considera los efectos por ozono. En relación a la zona analizada, la estimación de estos beneficios consideró sólo la cuenca del río Mapocho, la cual abarca las provincias de Santiago y Chacabuco. Para esta expansión geográfica la superficie plantada se aproxima a las 28.300 hectáreas, cultivándose principalmente frutales, hortalizas, forrajeras y cultivos "tradicionales". De esta forma, en consideración tanto de los impactos cuantificados como de las zonas analizadas, el aumento en la productividad agrícola puede interpretarse como una estimación conservadora de los beneficios asociados a menores daños a la vegetación.

Para los cultivos con que se contaba con más de una función dosis-respuesta se calcularon las pérdidas de productividad evitadas por el PPDA utilizando el promedio de los resultados de las distintas funciones. Para aquellos cultivos para los cuales no fue posible encontrar funciones dosis-respuesta, las pérdidas de productividad evitadas se calcularon en base al promedio de los impactos para cultivos que contaban con dichas funciones. Las pérdidas fueron valoradas a precios de mercado descontados los costos de comercialización. De esta forma, los beneficios del PPDA por menores daños a la agricultura corresponden a las pérdidas de ingresos evitadas por los productores agrícolas. El valor presente de los beneficios estimados en relación a la productividad agrícola ascienden a US\$ 144 millones.

### ***2.1.2.4 Resumen de beneficios***

La Tabla 6 resume los beneficios que fueron cuantificados para el análisis del PPDA, distinguiendo la forma en que los distintos actores sociales, la población, los emisores y el Estado se ven

favorecidos por ellos.

**Tabla 6 Beneficios cuantificados generados por el PPDA para la población, los emisores y el Estado (millones de US\$)**

<b>Beneficio</b>	<b>Población</b>	<b>Emisores</b>	<b>Estado</b>	<b>Total</b>
Salud humana	392		75	467
Materiales	445			445
Agricultura		144		144
Episodios críticos		38	2.2	40
Total cuantificados	837	181	77	1.095

Fuente: [CONAMA R.M. 1997] Tabla 9.15. Nota: los valores pueden no corresponder con los totales debido al redondeo a dos cifras significativas.

### ***2.1.2.5 Costos de Implementación y rentabilidad del Plan de Prevención y Descontaminación Ambiental***

Para que estos beneficios se hagan realidad, es necesario que las fuentes emisoras y el Estado incurran en importantes costos. En la Tabla 7 se detallan los costos del PPDA. De acuerdo a los contenidos evaluados en este análisis, el valor presente de los costos necesarios para hacer cumplir el PPDA ascienden al menos a US\$ 911 millones de los cuales el 48 % son absorbidos por los emisores y el 52 % por el Estado. Además, el PPDA significa considerables costos no cuantificados para la población. Así, al igual que en el caso de los beneficios, los costos totales del PPDA son mayores que los cuantificados en este análisis. De esta forma, las cifras entregadas por la Tabla 7 deben ser interpretadas como cotas mínimas del total de los beneficios y los costos del PPDA. Finalmente la razón Beneficio/Costo asciende a 1.2.

**Tabla 7 Costos cuantificados de Implementación del PPDA (US\$)**

	Emisores	Estado	Totales
Transporte	300.261.383	163.984.218	464.245.601
Industria, comercio y construcción	51.435.857	26.071.250	77.507.107
Agricultura	268.824	1.121.003	1.389.827
Domésticas	-52.253.008	0	-52.253.008
Polvo resuspendido	0	119.617.550	119.617.550
Extrapolados	134.198.998	139.160.592	273.359.589
<b>Subtotal</b>	<b>433.912.053</b>	<b>449.954.613</b>	<b>883.866.666</b>
Educación ambiental	0	10.336.884	10.336.884
Seguimiento	0	17.027.161	17.027.161
<b>Subtotal</b>	<b>0</b>	<b>27.364.045</b>	<b>27.364.045</b>
<b>TOTAL COSTOS</b>	<b>433.912.053</b>	<b>477.318.658</b>	<b>911.230.711</b>
<b>TOTAL BENEFICIOS</b>	<b>181.337.029</b>	<b>77.052.610</b>	<b>1.095.615.780</b>
<b>Razón BENEFICIO/ COSTO</b>	<b>&lt;1</b>	<b>&gt;1</b>	<b>1,20</b>

### 2.1.3 Reestimación de Beneficios del Plan de Prevención y Descontaminación Ambiental. Año 2000

Como parte del proceso normal del PPDA, en el año 2000 correspondía realizar una actualización de este. Esta actualización considero todos los nuevos antecedentes producidos desde la dictación del Plan original, hasta la fecha, especialmente los resultados de una auditoria realizada al Plan Original por un grupo de expertos internacionales [Lents, Larssen et al. 1999].

La actualización incluyó un análisis costo beneficio de las principales medidas contenidas en el nuevo Plan, que requirió de una reestimación de los beneficios de salud. Esta reestimación tenia tres objetivos adicionales a la estimación realizada en 1997

- Considerar la creciente evidencia que apuntaba a que el material particulado fino era mucho mas agresivo para la salud que la fracción gruesa
- distinguir mejor entre los contaminantes primarios que contribuían a la formación del

material particulado secundario en la atmósfera.

- Distinguir tanto los sectores que recibían los beneficios como el tipo de beneficio.

Los beneficios asociados a los daños materiales y a los incrementos en la productividad agrícola no se recalcularon. Se incluyeron también los beneficios por mejoras en visibilidad, que no habían sido monetizados anteriormente. A continuación repasaremos brevemente cómo se estimaron cada uno de estos beneficios.

#### ***2.1.3.1 Beneficios en la salud humana.<sup>18</sup>***

En esta sección nos basaremos en [Cifuentes 2000]. Para el cálculo de estos beneficios se utilizó nuevamente la técnica de la función de daño; sin embargo, algunas modificaciones fueron introducidas en relación a los cálculos realizados en el 1997.

Si se consideran los beneficios por reducción de mortalidad solo para el período 2000 – 2005 (la primera etapa del Plan), estos ascienden a US\$ 534 millones y el total de beneficios por mejoras a la salud, a US\$ 710,2 millones. Sin duda, el utilizado un valor basado en la disposición al pago para valorar los beneficios de mortalidad reducida incrementó de manera notable los beneficios.

#### ***2.1.3.2 Beneficios por mejora en la visibilidad***

Para calcular estos beneficios se utilizaron los resultados del estudio de valoración contingente realizado por Sánchez y Valdés [Sánchez and Valdes 1997] para estimar la disposición al pago de los habitantes de Santiago por una mejora en la visibilidad. El total de los beneficios por mejora en la visibilidad ascienden a US\$ 26,8 millones.

#### ***2.1.3.3 Resumen***

La Tabla 8 muestra los beneficios y costos del PPDA para el período 2000-2005, periodo para el

---

<sup>18</sup> Véase también el Anexo II.

cual se pudieron estimar los beneficios y costos totales. Debido al uso del método de la disposición al pago, los beneficios por salud se han incrementado significativamente: estos representan el 91% de los beneficios totales. El resto de los beneficios son por menor daño de la contaminación a los materiales de construcción y por mejor visibilidad.

**Tabla 8 Beneficios y Costos PPDA 2000 – 2005 (millones de US\$ de 2000)**

<b>Beneficios</b>	<b>Emisores</b>	<b>Estado</b>	<b>Población</b>	<b>Total</b>
Industria, comercio y hogares	0	39	304	343
Transporte y Combustibles	0	44	344	388
Polvo levantado	0	2	47	49
<b>TOTAL BENEFICIOS</b>	0	85	695	780
<b>Costo</b>	<b>Emisores</b>	<b>Estado</b>	<b>Población</b>	<b>Total</b>
Industria, comercio y hogares	4	0	0	4
Transporte y Combustibles	103	0	0	103
Polvo levantado	0	26	0	26
<b>TOTAL COSTOS</b>	107	26	0	133
<b>BENEFICIO SOCIAL NETO</b>	-107	59	695	647
<b>BENEFICIO / COSTO</b>				5,9

Fuente: [CONAMA R.M. 2001].

Nota: todas las cifras redondeadas a dos cifras significativas. Valor presente de costos y beneficios calculado usando una tasa de descuento del 12%. Efectos de mortalidad consideran solo exposición de corto plazo

#### **2.1.4 Comparación de beneficios en salud del PPDA según los criterios de valoración 1997 y 2000**

Por último, se entregan los beneficios de salud del PPDA original y los mismos beneficios calculados según la metodología de análisis usada en la actualización del año 2000. Esto se hace a fines ilustrativos y a los efectos de mostrar la sensibilidad de los resultados a determinados supuestos críticos como ser el valor de la reducción de muertes prematuras. La Tabla 9 permite apreciar como los beneficios a la salud aumentan en más de 1000% con la nueva metodologías del año 2000; es decir, los beneficios se incrementan en más de un orden de magnitud. Esto hace patente el hecho de que diferentes supuestos para conducir un análisis pueden resultar en valores



que difieren grandemente.

**Tabla 9 Comparación de beneficios a la Salud según los criterios de evaluación PPDA 1997 y PPDA 2000 – 2005 (millones de dólares de 2000)**

Efecto	Análisis 1997			Análisis 2000			
	Estado	Población	Total	Estado	Sector Privado	Población	Total
Muertes Prematuras	-	120	<b>120</b>	72	21	2.766	<b>2.859</b>
Bronquitis Crónica	22	70	<b>92</b>	335	106	218	<b>659</b>
Días de Actividad Restringida Menor	0,4	1,3	<b>1,7</b>	-	-	280	<b>280</b>
Días de Pérdida de Trabajo	-	-	-	124	37	57	<b>217</b>
Síntomas Respiratorios	1,8	5,9	<b>7,8</b>	-	-	55	<b>55</b>
Admisiones Hospitalarias	13	43	<b>56</b>	24	10	7,7	<b>42</b>
Ataques de Asma	-	-	-	-	-	12	<b>12</b>
Consultas Infantiles IRA Baja	8,1	26	<b>34</b>	6,2	3,2	2,4	<b>11,8</b>
Visitas Sala de Emergencia	4,1	13	<b>17</b>	5,6	2,8	1,2	<b>9,5</b>
Bronquitis Aguda	-	-	-	-	-	0,6	<b>0,6</b>
Días de Actividad Restringida	8,1	26	<b>34</b>	-	-	-	-
Días con Síntomas de Asma	3,2	10	<b>14</b>	-	-	-	-
Total Morbilidad	60	196	<b>257</b>	494	160	633	<b>1.287</b>
<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>317</b>	<b>377</b>	<b>566</b>	<b>181</b>	<b>3.399</b>	<b>4.146</b>

Fuente: [Cifuentes 2000] Notas: Efectos de mortalidad consideran solo exposición de corto plazo

### 3. Caso: Ciudad de México

Como se mencionó anteriormente, para la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) se analizan varios estudios: el estudio realizado por el Banco Mundial/RIVM [Cesar, Dorland et al. 2000], los estudios realizados por el equipo del Dr. Mario Molina [Molina and Molina 2002], y la reciente evaluación de co-beneficios de mitigación de gases de efecto invernadero [McKinley, Zuk et al. 2003]. A continuación se describe cada uno de ellos.

### **3.1 Estudio: Valoración Económica del Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle De México**

Este estudio [Cesar, Dorland et al. 2000] estuvo a cargo del Instituto de Estudios Ambientales (IVM), Vrije Universiteit Amsterdam y el Centro Nacional de Salud Ambiental (CENSA) y tuvo como objetivo la valoración económica del Tercer Programa de Calidad del Aire 2001- 2010 (PROAIRE). Este Programa fue elaborado por la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) a fin de proteger la salud de la población y disminuir el número de emergencias ambientales en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

El estudio considera una disminución de los niveles de concentración de dos contaminantes ambientales: ozono ( $O_3$ ) y material particulado ( $PM_{10}$ ). Para lograr esta disminución el Programa propone una serie de medidas destinadas a disminuir las emisiones de los contaminantes primarios  $PM_{10}$ , óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) y compuestos orgánicos volátiles (COV)<sup>19</sup>.

#### **3.1.1 Escenarios Considerados**

El Tercer Programa de Calidad del Aire 2001 – 2010 considera cuatro escenarios posibles de mejora de calidad del aire, los que se enumeran a continuación en orden decreciente de plausibilidad<sup>20</sup>:

- i. Reducción uniforme del 10% de la contaminación del aire
- ii. Reducción uniforme del 20 % de la contaminación del aire
- iii. Reducción de la contaminación del aire hasta el cumplimiento de las normas de protección a la salud en toda el área metropolitana (escenario AQS1).
- iv. Reducción de la contaminación del aire hasta el cumplimiento de las normas de protección a la salud, en las áreas más contaminadas en toda la ZMVM (68% y 47% de reducción en las concentraciones de ozono y  $PM_{10}$ , respectivamente) (escenario AQS2).

---

<sup>19</sup> El  $PM_{10}$  y  $NO_x$  son contaminantes primarios precursores de  $PM_{10}$  y los COV, de  $O_3$ .

<sup>20</sup> Es decir, el escenario i) es el más factible y el iv) el menos factible.

La línea base contra la que se comparan estos cuatro escenarios mantiene los niveles de concentraciones y emisiones de  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$  y COV en los valores promedio del período 1995 – 1999. Es decir, se asume que con las condiciones actuales de manejo de calidad del aire en la cuenca, no va a haber mayor variación de los índices de calidad del aire. Si bien esta línea base es conservadora, hay que tener presente que los cuatro escenarios de mejoría de calidad del aire no fueron construidos a partir de la aplicación de un modelo atmosférico basado en un escenario de reducción de emisiones, sino que fueron estimados a partir de la interpolación espacial de las concentraciones ambientales de  $O_3$  y  $PM_{10}$  disponibles en la extensa red automática de monitoreo ambiental (RAMA) de Ciudad de México. Considerando que existen en la actualidad gradientes espaciales importantes de ozono y de  $PM_{10}$  en la cuenca de Ciudad de México, no resulta del todo obvio que los anteriores escenarios sean técnicamente factibles de alcanzar mediante reducciones de emisiones, sobre todo los escenarios AQS1 y AQS2, particularmente para el caso del ozono, que presenta gradientes espaciales importantes.

Sin embargo, la fortaleza del estudio radica en que se ha realizado de manera detallada el cálculo de la exposición ambiental a contaminantes, combinando los datos de concentraciones ambientales y de población, a fin de caracterizar mejor la exposición de la población.

En la Tabla 10 se observan las reducciones en el nivel de concentraciones ambientales de  $O_3$  y  $PM_{10}$  necesarias para cumplir con las metas de cada uno de los cuatro escenarios. Se nota claramente que el escenario i) es el que cuenta con mayores probabilidades de éxito, debido a que es el que exige el menor esfuerzo de reducción de emisiones de los contaminantes precursores.

**Tabla 10 Reducción estimada de la concentraciones ponderadas por población para cumplir con cada uno de los escenarios**

Escenario	Reducción en la exposición ponderada de la población a ozono ( <i>ppm</i> )	Reducción en la exposición ponderada de la población a PM <sub>10</sub> ( <i>mg/m<sup>3</sup></i> )
10% de reducción en la exposición	0.0114	6.41
20% de reducción en la exposición	0.0227	12.81
SCA1 Cumplir con la norma en la ZMVM	0.0702	14.06
SCA2 Cumplir con la norma en áreas Contaminadas	0.0778	29.99

Fuente: [Cesar, Dorland et al. 2000] Cuadro 4.1, Pág. 18

### 3.1.2 Reducción en Efectos a la salud

A partir de la reducción en la exposición de la población a las concentraciones ambientales de cada contaminante, se calculó la reducción en la incidencia de los efectos de mortalidad y morbilidad. Para estimar estos efectos se usaron relaciones concentración-respuesta obtenidas de un meta-análisis propio, efectuado sobre estudios internacionales y estudios mexicanos, estos últimos con un coeficiente doble, para considerar su condición local. Se consideró los efectos de mortalidad prematura resultante de exposición aguda y de exposición crónica. Para esta última, se usó el estudio realizado por Pope y colegas en EEUU, aplicado directamente a la Ciudad de México [Pope III, Thun et al. 1995].

La reducción en el número de impactos a la salud generada en cada una de los cuatro escenarios se entrega en las siguientes tablas. La Tabla 11 muestra la disminución de la mortalidad como consecuencia de la reducción del nivel de concentración de los contaminantes ambientales seleccionados. La reducción de la mortalidad adulta está expresada en Años de Vida Perdidos (ADVP); es decir, el incremento - en años - de la esperanza de vida en la ZMVM como consecuencia de la mejora en Calidad del Aire. La mortalidad infantil, por el contrario, está expresada en números de casos.

**Tabla 11 Reducción de muertes o Años de Vida Perdidos en la ZMVM en 2010 para los 4 escenarios analizados**

<b>Efecto</b>	<b>Contaminante</b>	<b>Métrica</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>	<b>AQS1</b>	<b>AQS2</b>
Mortalidad por exposición aguda	Ozono	ADVP	5.457	10.913	33.740	37.367
Mortalidad Infantil	PM <sub>10</sub>	Casos	266	533	585	1.247
Mortalidad por exposición crónica	PM <sub>10</sub>	ADVP	14.131	28.261	31.016	66.143

Fuente: Cesar et al. (2000), Cuadro 5.4, Pág. 31.

La Tabla 12 por otra parte, entrega la disminución de la morbilidad, diferenciada según los diferentes tipos de impacto a la salud. Todos estos valores están expresados en número de casos reducidos.

Por último, la Tabla 13 entrega el número de días de contingencia ambiental evitados. Durante los días de contingencia ambiental, la industria debe disminuir su nivel de actividad y, por lo tanto, se genera un costo de oportunidad: la producción perdida. Este efecto también es valorado en el presente estudio. Aunque este efecto no representa un beneficio social asociado a los efectos de la contaminación (este costo corresponde al costo de la industria por paralizar debido a las regulaciones ambientales), lo incluimos en este análisis porque es interesante comparar su magnitud con la de los beneficios de salud. Una sección sobre los métodos de valoración usados está incluida en el Anexo III.

**Tabla 12 Reducción de los Casos de Morbilidad en la ZMVM en 2010 para los 4 Escenarios analizados**

Efectos	O <sub>3</sub>				PM10			
	10%	20%	AQS1	AQS2	10%	20%	AQS1	AQS2
Admisiones hospitalarias								
- Respiratorias	3.300	6.600	20.404	22.597	688	1.376	1.510	3.221
- Cardio-cerebrovasculares	842	1.684	5.207	5.767	291	582	638	1.361
Falla Congestiva de Corazón (en la vejez)					0,36	0,71	0,78	1,66
Visitas a la Sala de Emergencia								
Respiratoria	21.429	42.857	132.501	146.746	11.858	23.717	26.029	55.507
Días de Actividad Restringida (adultos)	6.383.683	12.767.367	39.472.696	43.716.341	1.506.488	3.012.976	3.306.724	7.051.646
Días laborales perdidos (adultos)								
Total (niños)					2.106.747	4.213.495	4.624.287	9.861.371
Días laborales perdidos de mujeres por DAR de niños								
Días de Actividad Restringida Menor	3.330	6.660	20.591	22.805				
Total (adultos)					1.569	3.139	3.445	7.346
Efectos en Asmáticos					115	230	252	537
Tos sin flema (niños)								
Tos con flema (niños)					3.063	6.126	6.723	14.337
Morbilidad crónica					574	1.148	1.260	2.686
Bronquitis Crónica, nuevos casos	404	809	2.501	2.770				

Fuente: [Cesar, Dorland et al. 2000] Cuadros 5.2 y 5.3, Pág. 30.

**Tabla 13 Reducción del número de Contingencias Ambientales por una mejora en la calidad del aire**

	Base	I (10%)	II (20%)	III (AQS1)	IV (AQS2)
Días con CA de PM 10	1	0	0	0	0
Días con CA de ozono	10	2	0	0	0

Fuente: [Cesar, Dorland et al. 2000] Cuadro 6.10

### 3.1.3 Resultados

En esta sección se exponen los resultados de la valoración económica del Tercer Programa de la Calidad del Aire. Para hacer esto la Tabla 14 presenta los resultados de los tres distintos escenarios de mejoramiento de la calida de aire que fueron discutido arriba. La tabla también muestra los

resultados basados en dos distintas presunciones de cómo la calidad de aire varía con el ingreso. Como reflejado en la columna representando la elasticidad de (0.4), un menor elasticidad de la variación significaría que en un país con menor ingreso por capita la valoración del medio ambiente correspondería un mayor parte del ingreso. La Tabla 14 muestra el resumen de beneficios debido a la reducción de PM<sub>10</sub> y ozono en la ZMVM .

**Tabla 14 Resumen de beneficios debido a la reducción de PM<sub>10</sub> y ozono en la ZMVM (millones de US\$ por año)**

Escenarios de Valoración	Escenario de Calidad del Aire					
	10%		AQS1		AQS2	
Elasticidad de Transferencia:	1	0.4	1	0.4	1	0.4
<b>Ozone benefits</b>						
Total - Morbidity (Prod. loss+ COI +CVM) and - CVM based WTP for mortality	1,005	1,404	6,213	8,684	6,881	9,617
Total - Morbidity (Prod. loss+ COI +CVM) and - Human capital losses mortality	599	720	3,701	4,455	4,099	4,934
Total - Morbidity (Prod. loss + COI) and -Human capital losses mortality	493	493	3,046	3,046	3,374	3,374
Environmental contingencies benefits	36	36	45	45	45	45
<b>PM<sub>10</sub> benefits</b>						
Total - Morbidity (Prod. loss+ COI +CVM) and - CVM based WTP for mortality	1,411	2,454	3,098	5,387	6,606	11,488
Total - Morbidity (Prod. loss+ COI +CVM) and - Human capital losses mortality	589	1,063	1,293	2,334	2,756	4,977
Total - Morbidity (Prod. loss + COI) and -Human capital losses mortality	158	158	346	346	737	737
Environmental contingencies	4	4	4	4	4	4

Fuente: Cesar et al. Tabla 6.9, pag. 44

Como se aprecia en la tabla, los resultados son sensibles al valor de la elasticidad de transferencia usada, pero son mas sensibles a los supuestos de valoración usados. Por ejemplo, para el escenario de 10% de reducción, usando una elasticidad de 1.0 (primera columna de la tabla), se puede ver que los beneficios asociados a las reducciones de PM<sub>10</sub> pueden variar desde casi 1.500 millones de

dólares por año (si se considera la DAP para valorar los efectos de mortalidad y morbilidad) a tan solo 158 millones, si se consideran solo los costos de enfermedad y productividad perdida. Una gran parte de los beneficios proviene de la DAP por reducir los riesgos de muerte. Este fenómeno se presenta en todos los estudios analizados.



### **3.2 Estudio: Calidad del Aire en la Mega-Ciudad de México**

Este estudio fue desarrollado por un grupo de expertos en temas ambientales liderado por el Premio Nóbel de Química Mario J. Molina [Molina and Molina 2002]. Expertos en ciencias atmosféricas, salud humana economía, ciencias políticas y sociología contribuyeron en este *Estudio Integral* sobre la calidad del aire en el Área Metropolitana de la Ciudad de México. El capítulo 4 de este libro ilustra los beneficios sociales en términos monetarios que habría de tener un programa destinado a mejorar la calidad del aire.

Se consideraron los contaminantes secundarios ozono ( $O_3$ ) y material particulado respirable ( $PM_{10}$ ). El estudio realiza una estimación aproximada (“back of the envelope” como los mismos autores lo llaman) de los beneficios de un único escenario que consiste en una reducción del 10% de los niveles de concentración de ambos contaminantes. Estos beneficios incluyen, para el caso del  $O_3$ , solamente la disminución en el número de muertes y de bronquitis crónicas y, para el caso del  $PM_{10}$ , solamente la disminución del número de muertes y de los días de actividad restringida. <sup>21</sup>

#### **3.2.1 Resultados**

Los beneficios anuales estimados de una reducción del 10% de los niveles de  $PM_{10}$  y  $O_3$  en el Área Metropolitana de la Ciudad de México se entregan en la Tabla 15.

---

<sup>21</sup> Véase el Annex 4 para más detalles sobre el método de valoración.

**Tabla 15 Valor social de los beneficios de una reducción del 10% de los niveles de PM10 y O<sub>3</sub> en la Zona Metropolitana del Valle de México**

<b>Efectos</b>	<b>Reducción de efectos (casos / año)</b>	<b>Valor unitario (US\$ / caso)</b>	<b>Valor Social (US\$ Millones / año)</b>
Mortalidad (PM10)	3000	650 000	1 650
Bronquitis crónica (PM10)	10 000	34 000	340
<b>Total beneficios PM10</b>			<b>2 000</b>
Mortalidad (O3)	300	650 000	200
Días de actividad restringida (O3)	2 000 000	6	10
<b>Total beneficios O3</b>			<b>200</b>
<b>Total Beneficios</b>			<b>2 200</b>

Fuente: Molina y Molina (2002), Tablas 4.8 y 4.9

Como se ve en la tabla, los beneficios resultantes de este calculo aproximado son de la misma magnitud que los obtenidos por el estudio anterior, aunque resultan mayores los beneficios de la reducción de PM<sub>10</sub> que los de ozono. La principal diferencia esta en la mortalidad asociada al ozono, y en la ausencia de los beneficios de morbilidad asociada también al ozono, que como se mostró en el estudio anterior, pueden ser importantes.

### **3.3 Los Beneficios Locales del Control de la Contaminación Atmosférica en la Ciudad de México**

#### **3.3.1 Objetivos y políticas evaluadas**

Este estudio [McKinley, Zuk et al. 2003] fue desarrollado recientemente por el Instituto Nacional de Ecología y el Instituto Nacional de Salud Pública de México, y corresponde a la segunda fase

del Programa de Estrategias Ambientales Integradas de la USEPA (Integrated Environmental Strategies, IES). El objetivo era evaluar los beneficios ambientales locales de un conjunto de cinco medidas de control de emisiones de gases de efecto invernadero, que también producen reducciones en las emisiones de contaminantes locales. Estas medidas incluyen 1) la renovación de la flota de taxis; 2) la extensión de la líneas de Metro, 3) el uso de buses híbridos, 4) reducción de las pérdidas de gas licuado y 5) la cogeneración de energía y calor..

### 3.3.2 Contaminantes considerados

Se estiman los beneficios económicos de reducir los niveles de concentración de material particulado (PM<sub>10</sub>) y ozono (O<sub>3</sub>). Para ello, se estiman las reducciones de emisiones de PM<sub>10</sub>, dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógenos (NO<sub>x</sub>) e hidrocarburos (HC). También se considera la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) que provocarán estas medidas.

### 3.3.3 Escenarios Considerados

Se consideran las cinco medidas descritas anteriormente como proyectos diferentes. Cada uno de estos proyectos tiene un impacto en las concentración de los contaminantes ambientales. La Tabla 16 muestra la reducción anualizada esperada en las emisiones de contaminantes precursores de PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub> . La Tabla 17 muestra los cambios en las concentraciones ambientales de estos que experimentará la población.

**Tabla 16 Reducción total anual de emisiones de contaminantes primarios**

Período	Reducción anualizada de emisiones (ton / año)							
	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	HC	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
2003-2010	74	82	169.576	5.246	19.941	946.192	81	500
2003-2020	91	140	175.863	4.307	17.725	1.340.485	116	476

Fuente: Adaptado de [McKinley, Zuk et al. 2003]Tabla II.1 Pág. 4. Reducción total para todas las medidas

consideradas.

**Tabla 17 Cambios en la exposición anual al PM10 y en exposición máxima diaria al O<sub>3</sub>**

PM10 promedio anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máximo Diario O <sub>3</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$
0,58	6,17
0,57	4,84

Fuente: adaptado de [McKinley, Zuk et al. 2003], Tabla II.3, Pág. 6. Corresponde a la suma del impacto de todas las medidas.

### **3.3.4 Efectos considerados**

Mediante el uso de modelos concentración – respuesta tomados de tres estudios anteriores (el estudio de la USEPA en EEUU en 1999, y los dos estudios mexicanos analizados previamente, Cesar et al y Molina y Molina) se estimaron los efectos positivos sobre la salud de la población que generará la implementación de las medidas bajo estudio, tal como se muestra en la Tabla 18.

**Tabla 18 Reducción anual de los impactos a la salud (casos / años)**

<b>Impacto</b>	2003-2010	2003-2020
<b>Mortalidad aguda</b>		
Total mortalidad	80	71
Mortalidad Infantil	47	46
<b>Mortalidad crónica</b>		
Total	9	10
Cardio-respiratoria	1	0
Cáncer de pulmón	10	10
<b>Bronquitis crónica</b>	<b>728</b>	<b>713</b>
<b>Admisiones hospitalarias</b>		
Respiratorias	271	220
COPD	46	36
Cardiovascular	1	0
Falla congestiva del corazón	1	0
Enfermedad isquémica	0	0
Neumonía	60	47
Asma	27	21
<b>Visitas salas de emergencia</b>		
Causas respiratorias	1314	1053
Asma	1219	972
<b>Días de actividad restringida</b>	<b>21691</b>	<b>21563</b>
<b>Días de actividad restringida menor</b>	<b>650.236</b>	<b>545.338</b>
<b>Ausentismo escolar</b>	<b>284.204</b>	<b>239.529</b>

Fuente: McKinley, Tabla II.4a y 4b, Pág. 7 y 8

### 3.3.5 Métodos de valoración

Una vez estimados los impactos sobre la salud de la población, se procedió a cuantificar dicho beneficio en términos monetarios. Para ello, se utilizaron dos escenarios de valoración, siguiendo el ejemplo del estudio de Cesar et al: el primero considera beneficios por reducción de la mortalidad y la morbilidad según el método del capital humano; el segundo, según el método de la disposición al pago.

Para valorar la reducción de muertes se utilizan los valores que se muestran en la Tabla 19. En cuanto a los demás valores correspondientes a efectos a la salud, se utilizan los correspondientes al estudio de Cesar et al. (2000).

**Tabla 19 Valores unitarios de efectos (US\$ por caso)**

Endpoint	COI	Productivity Loss <sup>1</sup>	WTP (Central estimate)	WTP IC 95%
<b>1.1 Acute Mortality</b>				
Total mortality	-	9,005	506,000	81,120 – 2,600,000
Infant mortality	-	212,400		
<b>1.2 Chronic Mortality</b>				
Total	-	45,420		
Cardio-respiratory	-	45,420		
Lung Cancer	-	45,420		
1.3 Chronic Bronchitis	17,750 <sup>2</sup>	80.9	30,000	4394 – 141,000
<b>1.4 Hospital admissions</b>				
All Respiratory	2,186	115.6	330	154 – 550
Asthma	603	23.1	330	154 – 550
COPD	17,750 <sup>3</sup>	173.4	330	154 – 550
Pneumonia	2,111	92.5	330	154 – 550
All Cardiovascular	10,890	127.1	330	154 – 550
Congestive Heart Failure	13,300 <sup>3</sup>	173.4	330	154 – 550
Ischemic Heart Disease	8,481 <sup>3</sup>	80.9	330	154 – 550
<b>1.5. Emergency room visits (ERVs)</b>				
Respiratory Causes	269	57.8	170	79 – 284
Asthma	317	23.1	170	79 – 284
1.6. Restricted Activity Days	-	11.6 <sup>4</sup>	20	0 – 28
1.7 Minor Restricted Activity Days	-	5.8 <sup>4</sup>	20	0 – 28
1.8 School Absenteeism	-	11.6 <sup>4</sup>	20	0 – 28

Fuente: [McKinley, Zuk et al. 2003] Tabla VI.5 pag.140. Notes:

<sup>1</sup> For Average daily salary

<sup>2</sup> COPD hospitalization

<sup>3</sup> Summation of ICU cost and Hospital Admissions Cost

<sup>4</sup> Assume that each case of Restricted Activity Days and School Absenteeism is 1 day, whereas MRAD is ½ day.

### 3.3.6 Resultados

La Tabla 20 entrega los beneficios monetarios anuales asociados a la implementación de las cinco medidas consideradas para dos horizontes temporales; uno para el período 2003 – 2010, el otro para el período 2003 – 2020 (ambos valores corresponden al escenario de estimación alta). También se indican el total de Años de Vida Ajustados por Calidad (QALY, por sus siglas en inglés) que se salvan.

**Tabla 20 Beneficios monetarios y QALYs salvados por año**

	Total Beneficios monetarios (2003 millones US\$ / año)	Total QALYs salvados por año
Total 2003-2010	225,53	4.611
Total 2003-2020	208,73	4.442

Fuente: McKinley, Tabla II.5 y II.6 Pág. 10

Como se aprecia en la tabla, los beneficios monetarios son aproximadamente un orden de magnitud mas pequeños que los presentados en los dos estudios anteriores. Esto se debe por supuesto a que la reducción de concentraciones ambientales considerada en este estudio es también aproximadamente un décimo de las anteriores (para  $PM_{10}$  por ejemplo, se consideran  $0.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vs. los  $6.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$  del primer escenario de Cesar et al). Aun cuando esto pudiera parecer muy pequeño, es necesario considerar que este estudio es el único de los tres que considera reducciones ambientales asociadas a reducciones de emisiones provenientes de la aplicación de medidas específicas, en este caso, las cinco medidas descritas anteriormente. Esto pone de manifiesto la dificultad de la tarea de descontaminación – cuando se consideran las reducciones asociadas a medidas reales, los valores obtenidos son relativamente pequeños, comparados con los valores ilustrativos usados en los otros análisis.

#### **4. Caso: Ciudad de Sao Paulo, Brasil**

Dos estudios han estimado los impactos sociales de la contaminación en Sao Paulo. El primero trató de la estimación de los efectos en la salud y los costos de la contaminación urbana en el contexto de la evaluación del Proyecto Integrado de Transporte Urbano (PITU) de la Región Metropolitana de Sao Paulo [da Costa, Saldiva et al. 1999] . El segundo consistió en la evaluación ex-post de los beneficios asociados a la implementación de la tercera fase del Programa de Control de la Contaminación Atmosférica de Fuentes Móviles (PROCONVE) en Sao Paulo IES [Braga, Pereira et al. 2002; Ortiz and Serôa da Motta 2002]. Ambos estudios fueron realizados en conjunto por dos equipos: un equipo de la Facultad de Medicina de la Universidad de Sao Paulo, a cargo de la estimación de los efectos en la salud, y un equipo de economistas ambientales del IPEA de Río de Janeiro, a cargo de su valoración.

Debido a que ambos estudios aplican las mismas técnicas, describiremos solo el mas reciente de ellos, que incorpora información mas actualizada, no disponible al tiempo de realización del primer estudio.

#### **4.1 El Impacto Económico del PROCONVE sobre los efectos a las salud por Contaminación Atmosférica en Sao Paulo, Brasil: Un ejercicio de transferencia de resultados**

##### **4.1.1 Objetivos y políticas evaluadas**

Este estudio fue desarrollado como parte del programa de Estrategias Ambientales Integradas de la USEPA por un equipo del Laboratorio Experimental de Contaminación Atmosférica del Departamento de Patología de la Facultad de Medicina de la Universidad de Sao Paulo, liderado por el Dr. Alfesio Braga [Braga, Pereira et al. 2002] y por un equipo de IPEA de Río de Janeiro [Ortiz and Serôa da Motta 2002]. El estudio tuvo como objetivo estimar los beneficios por



reducción de morbilidad y mortalidad generadas por la mejora en la calidad del aire debida a la implementación de la tercera fase del Programa de Control de la Contaminación Atmosférica de Fuentes Móviles (PROCONVE) en Sao Paulo, que comenzó a regir a partir del año 1997. Este programa consiste en el establecimiento de límites máximos de emisión para distintas categorías de vehículos.

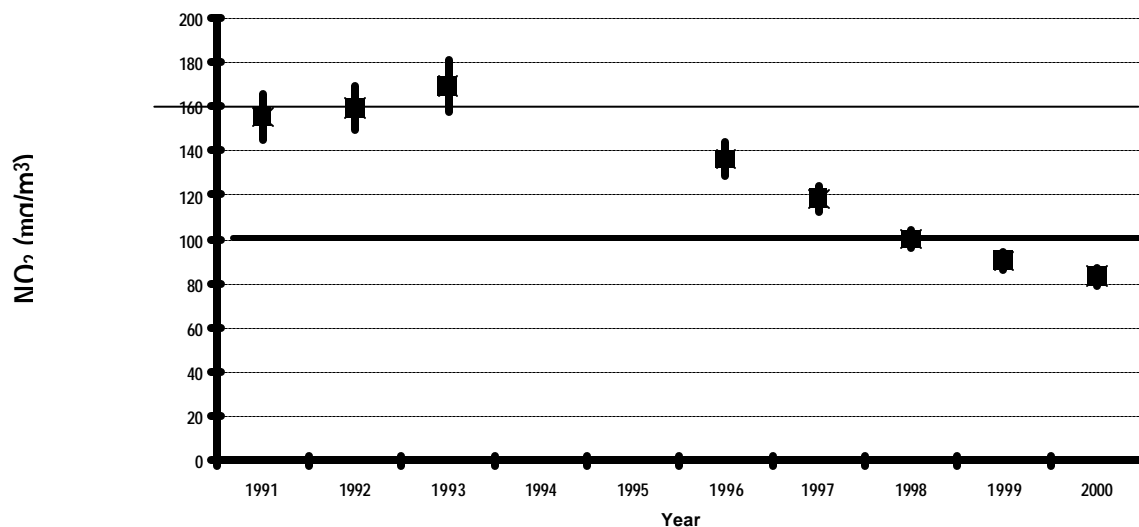
#### **4.1.2 Contaminantes considerados**

Se consideraron los beneficios por reducción de la contaminación de los siguientes contaminantes: dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), material particulado (PM<sub>10</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO).

#### **4.1.3 Escenarios Considerados**

Se consideró un solo escenario, definido por la reducción de concentraciones ambientales observadas como producto de la implementación de la tercera fase del PROCONVE, durante el período 1997 - 2000. La siguiente figura muestra la reducción en los promedios anuales de las concentraciones de dióxido de nitrógeno, el contaminante que experimento la mayor reducción.

Figura 1 Promedio anual de concentraciones de NO<sub>2</sub> en la zona metropolitana de Sao Paulo (estándar anual = 100 µg/m<sup>3</sup>)



Fuente: [Braga, Pereira et al. 2002] Figura 1.

#### 4.1.4 Efectos considerados

La reducción de efectos se estimó a partir de modelos de regresión desarrollados en el mismo estudio, para el periodo 1991-1994, y luego aplicados a la reducción de concentraciones del periodo 1997-2000. Se estudiaron las Admisiones Hospitalarias por causas respiratorias, la mortalidad fetal y la mortalidad en mayores de 65 años.

La Tabla 21 entrega la disminución en los efectos a la salud que se generan en el período 1997 – 2000 debido a la implementación de la tercera fase del PROCONVE.

**Tabla 21 PROCONVE y su impacto sobre la disminución de efectos a la salud en São Paulo**

	Total Eventos		Eventos atribuibles a la contaminación atmosférica		Eventos evitados
	1991-1994	1997-2000	1991-1994	1997-2000	
<b>Morbilidad</b>					
Admisiones respiratorias	99,581	80,232			
PM10			10,756	6,712	4,044
SO2			8,865	6,341	2,524
CO			7,902	3,372	4,530
>64	42,640	30,412			
PM10			2,038	1,133	905
SO2			1,184	752	432
<b>Mortalidad</b>					
Fetal	12,565	11,250			
NO2			2,945	1,525	1,420
>64					
Total	182,320	215,402			
PM10			9,973	9,175	798
SO2			11,513	12,091	-578
CO			8,923	5,621	3,302
Respiratoria	26,603	31,110			
PM10			2,642	2,395	247
SO2			1,575	1,638	-63
Cardiovascular	88,019	99,581			
SO2			3,301	3,324	-23
CO			3,636	2,197	1,439

Fuente: [Braga, Pereira et al. 2002] Tabla 6.

Es necesario notar que el SO<sub>2</sub> aparece asociado a un aumento en la mortalidad prematura. Esto se debe a un aumento en sus niveles promedio. Sin embargo, el efecto neto del periodo es una disminución en el número de casos.

#### 4.1.5 Métodos de valoración

La valoración se realizó basado en transferencia de valores. La Tabla 22 entrega los beneficios

monetarios por efectos positivos en la salud del PROCONVE utilizando los valores de la DAP<sup>22</sup>. El valor anualizado de los beneficios monetarios totales es aproximadamente US\$ 2,800 millones.

La tabla muestra varios puntos de interés. Primero, el grueso de los beneficios esta dado por la disposición a pagar por evitar mortalidad prematura, principalmente de aquellos mayores de 65 años. Los gastos directos en salud asociados a las admisiones hospitalarias corresponden a un poco mas de 18 millones de dólares, una pequeña fracción del total de beneficios.

**Tabla 22 Valores monetarios de beneficios a la salud – PROCONVE - São Paulo (miles de 1999US\$)**

		Eventos evitados		Beneficios a la Salud	
		0-2 años	> 64 años	0-2 años	> 64 años
Morbilidad					
Admisiones					
Precios Transferidos					
Respiratorias	PM10	4,044	905	3,356	751
	SO2	2,524	432	2,094	358
	CO	4,530	--	3,759	--
	<b>Totals</b>	<b>11,098</b>	<b>1,337</b>	<b>9,209</b>	<b>1,109</b>
Gastos de Salud					
	PM10	4,044	905	5,595	2,155
	SO2	2,524	432	3,492	1,029
	CO	4,530	--	6,267	--
	<b>Totals</b>	<b>11,098</b>	<b>1,337</b>	<b>15,353</b>	<b>3,184</b>
Mortalidad					
Precios Transferidos					
	NO2	1,420	--	819,686	--
	PM10	--	798	--	460,640
	SO2	--	-578	--	-333,647
	CO	--	3,302	--	1,906,057
	<b>Totals</b>	<b>1,420</b>	<b>3,522</b>	<b>819,686</b>	<b>2,033,051</b>
<b>Total</b>				<b>US\$ 2,881 millones</b>	

Fuente: [Ortiz and Serôa da Motta 2002] Tabla 6

<sup>22</sup> Véase el Anexo V.

## 5. Referencias

- Azqueta Oyarzun, D. (1994). *Valoración Económica de la Calidad Ambiental*. Madrid, Mac Graw Hill España.
- Braga, A. L. F., L. A. A. Pereira, S. E. Miraglia, G. M. d. S. Conceição, P. H. N. Saldiva and G. M. Böhm (2002). The Impact of Proconve on Air Pollution Health Effects in São Paulo: 1991-1994 and 1997-2000. Sao Paulo, Brazil, Laboratory of Experimental Air Pollution, Department of Pathology, University of São Paulo Faculty of Medicine.
- CAM (2002). Programa para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de Mexico 2002-2010, Comisión Ambiental Metropolitana, <http://www.sma.df.gob.mx/publicaciones/aire/proaire>.
- Cesar, H., K. Dorland, X. Olsthoorn, L. Brander, P. v. Beukering, V. H. Borja-Aburto, V. Torres-Meza, A. Rosales-Castillo, G. Olaiiz-Fernandez, R. M. Cruz, G. S. M. d. Oca, R. U. Ceron, E. V. López, P. Cicero-Fernandez, A. C. G. Martinez, M. M. N. Zarazua, M. A. N. Zarazua, A. P. M. Bolivar and G. Corey (2000). Economic Valuation of Improvement of Air Quality in the Metropolitan Area of Mexico City. Mexico City, Institute for Environmental Studies (IVM), Centro Nacional de Salud Ambiental (CENSA), Comision Ambiental Metropolitana (CAM), Pan American Health Organization (PAHO), Environmental Health Sciences Department (EHS-UCLA):June 2000.
- Cifuentes, L., J. J. Prieto and J. Escobari (2000). Valuation of mortality risk reductions at present and at an advanced age: Preliminary results from a contingent valuation study. Tenth Annual Conference of the European Association of Environmental and Resource Economists, Crete, Greece: p.
- Cifuentes, L., J. Vega, K. Kopfer and L. Lave (2000). "Effect of the fine fraction of particulate matter vs the coarse mass and other pollutants on daily mortality in Santiago, Chile." *Journal of the Air & Waste Management Association* **50**(August): 1287-1298
- Cifuentes, L. A. (2000). Generación de Instrumentos de Gestión Ambiental para la Actualización del Plan de Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago al Año 2000. Parte I. Estimación de los Beneficios Sociales de la Reducción de Emisiones y Concentraciones de Contaminantes Atmosféricos en la Región Metropolitana. Santiago, Chile, P. Universidad Católica de Chile:Diciembre 2000.

- Cifuentes, L. A. (2000). Generación de Instrumentos de Gestión Ambiental para la Actualización del Plan de Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago al Año 2000. Parte II. Análisis Económico de Medidas Seleccionadas. Santiago, Chile, P. Universidad Católica de Chile. Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas: Diciembre 2000.
- CONAMA R.M. (1997). Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la Región Metropolitana. Santiago, Chile, Comisión Nacional del Medio Ambiente, Región Metropolitana: 25 Julio 1997.
- CONAMA R.M. (2001). Análisis General del Impacto Económico y Social del Anteproyecto de Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana. Santiago, Chile, Comisión Nacional del Medio Ambiente, Región Metropolitana: 13 de Agosto 2001, 40, <http://www.conama.cl/rm/568/article-932.html>.
- da Costa, L. C., P. H. N. Saldiva and R. Serôa da Motta (1999). Projeto Integrado de Transporte Urbano - PITU. Estudo dos Efeitos sobre a Saúde da População da Região Metropolitana de São Paulo e seus Custos (in portuguese), IPEA, USP, <http://www.stm.sp.gov.br/pitu2020/pg-05-i.htm>.
- Davis, D., A. Krupnick and G. Thurston (2000). The Ancillary Health Benefits and Costs of GHG Mitigation: Scope, Scale, and Credibility. Ancillary benefits and Costs of Greenhouse Gas Mitigation, Washington, D.C., Organisation for Economic Co-operation and Development. Co-sponsored by IPCC: p. 135-189.
- EPA (1997). The Benefits and Costs of the Clean Air Act, 1970 to 1990, U.S. Environmental Protection Agency, Report Prepared for the U.S. Congress, <http://www.epa.gov/oar/sect812/>.
- EPA (1999). The Benefits and Costs of the Clean Air Act: 1990 - 2100. EPA Report to the Congress, Environmental Protection Agency.
- Freeman III, A. M. (1993). *The measurement of environmental and resource values: Theory and methods*. Washington, DC, Resources for the Future.
- Heintz, R. J. and R. S. J. Tol (1996). Secondary Benefits of Climate Control Policies: Implications for the Global Environment Facility. London, CSERGE, Working Paper GEC 96-17.
- Holgate, S. T., J. M. Samet, H. S. Koren and R. L. Maynard, Eds. (1999). Air Pollution and Health. San Diego, Academic Press.
- Hunt, A. (2002). Economic Costs of Health Effects of Vehicle Emissions. University of Bath: Bath.
- Lents, J., S. Larssen, J. Clench-Aas and F. Alliende (1999). Auditoría del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana (PPDA). Santiago, Chile, Reporte preparado para la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

McKinley, G., M. Zuk, M. Hojer, M. Avalos, I. González, M. Hernández, R. Iniestra, I. Laguna, M. Á. Martínez, P. Osnaya, L. M. Reynales, R. Valdés and J. Martínez (2003). The Local Benefits of Global Air Pollution Control in Mexico City. Mexico City, Instituto Nacional de Ecología, México. Instituto Nacional de Salud Publica, México: August 2003, 170pp, Final Report of the Second Phase of the Integrated Environmental Strategies Program in Mexico.

Molina, L. and M. J. Molina (2002). *Air Quality in the Mexico Megacity: An Integrated Assessment*. Mexico City, Kluwer Academic Publishers, <http://www.wkap.nl/prod/b/1-4020-0452-4>.

Ortiz, R. A. and R. Serôa da Motta (2002). The Economic Impact of PROCONVE on Air Pollution Health Effects in São Paulo, Brazil: A benefit transfer exercise. Sao Paulo, Brazil, IPEA:02/12/2002.

Ostro, B., J. M. Sanchez, C. Aranda and G. S. Eskeland (1996). "Air pollution and mortality: results from a study of Santiago, Chile." *J Expo Anal Environ Epidemiol* **6**(1): 97-114

Pope III, C. A., M. J. Thun, M. M. Nambordini, D. Dockery, J. S. Evans, F. E. Speizer and C. W. Heath Jr (1995). "Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults." *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* **151**: 669-674

Sánchez, J. M. and S. Valdes (1997). Estimación de los beneficios en salud del Plan de Descontaminación de la Región Metropolitana. Santiago, Comisión Nacional del Medio Ambiente: Julio 1997.

Slovic, P., Ed. (2000). The Perception of Risk. Risk, Society and Policy Series, Earthscan.

The World Bank (1994). Chile: Managing environmental problems: economic analysis of selected issues, The World Bank. Country Department I. Latin America and the Caribbean Region: December 19, 1994, 13061/CH.

## **Anexos**

### **I.1 Anexo I. Prácticas de valoración económica**

#### **I.1.1 Estimación de los beneficios de la calidad del aire**

¿Por qué es una tarea tan compleja medir los beneficios asociados a una mejora en la calidad del aire? Como ya se mencionará, esto se debe a que no existen mercados donde se transen los niveles de concentración de contaminantes en el aire. Si estos mercados existiesen, automáticamente se

transformarían en instrumentos de gestión de la calidad del aire: indicarían cuánto cuesta emitir contaminantes a la atmósfera y quienes quieran contaminar deberían pagar su costo; de otra manera no podrían hacerlo. En la Figura 1 se muestra como funcionaría este tipo de mercado. En el eje horizontal, la unidad de medida corresponde a la cantidad de emisiones (generalmente toneladas de contaminante) y en el eje vertical a valor por emisión (generalmente pesos por tonelada de contaminante). La curva creciente es la curva de daños marginales por unidades de emisión; en otras palabras, si se emite una cierta cantidad de contaminantes, el valor correspondiente al eje vertical indica el costo monetario para la sociedad de la última unidad de contaminante<sup>23,24</sup>. La curva decreciente es la curva correspondiente al ahorro marginal: entrega el ahorro de costos para quien contamina asociado a la última unidad liberada de contaminación<sup>25</sup>. El punto donde se intersecan ambas curvas determina el nivel óptimo de emisiones. Hasta ese nivel de emisiones se genera un ahorro superior a los daños de las emisiones y, por lo tanto, las víctimas de la contaminación podrían ser compensadas por quienes se benefician con la emisión de contaminantes. Por el contrario, si se contamina más allá del nivel E\*, el daño de la última unidad de contaminante superará al ahorro.

---

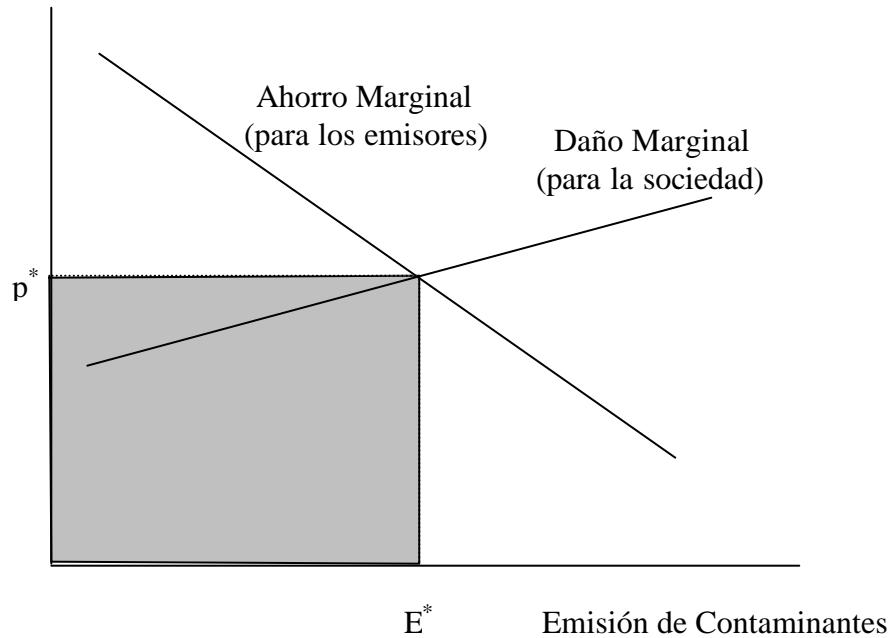
<sup>23</sup> En rigor, el daño que produce la contaminación se debe a los niveles de concentración de contaminantes; esta concentración de contaminantes está relacionada con las emisiones de contaminantes a través de la dispersión de ellos en la atmósfera. A fin de simplificar el análisis se habla del daño causado por las emisiones de contaminantes, pero se debe tener en cuenta la existencia de este proceso de dispersión: un mismo nivel de emisión de contaminantes puede generar distintos niveles de concentración dependiendo de las condiciones geográficas y meteorológicas de la zona.

<sup>24</sup> El costo total para la sociedad está dado por el área bajo la curva de daños marginales.

<sup>25</sup> El ahorro total para quien contamina está dado por el área bajo la curva de ahorros marginales.



**Figura 2** Mercado hipotético de emisiones de contaminantes



El número óptimo de emisiones corresponde a  $E^*$ ; quienes contaminan pagan una tarifa  $p^*$ , el total recaudado asciende a  $E^* \times p^*$  y compensa el daño ocasionado.

Estimar la curva de daños marginales para algunos tipos de danos es relativamente menos complejo<sup>26</sup>. Por ejemplo, es posible determinar cómo la cantidad de contaminación afecta el rendimiento de las cosechas. En este caso particular, el impacto físico estaría dado por la cantidad de producto que se deja de obtener, o bien por el diferencial de calidad del producto cosechado debido a los efectos de la contaminación. En ambos casos, la monetización de estos impactos es

---

<sup>26</sup> Enfatizamos relativamente, porque, como el lector podrá suponer, algunos pasos de esta estimación, pueden ser extremadamente complejos.

inmediata: basta con saber el precio de mercado para calcular la pérdida económica <sup>27</sup>.

En la mayoría de los casos, sin embargo, la curva de daños marginales es sumamente compleja de calcular. El impacto más grave de la contaminación atmosférica sobre la salud de las personas es el incremento en el riesgo de muerte prematura. Monetizar este efecto resulta complejo debido a dos razones. Primero, porque se trata de valorar un bien muy delicado como los riesgos a la vida de las personas, y segundo, porque el conocimiento científico acerca de estos efectos es aun insuficiente<sup>28</sup>, y los mecanismos por los cuales la contaminación atmosférica afecta la salud humana no han sido explicados completamente aun.

En la siguiente sección se describen las dos grandes categorías de métodos destinados a estimar la curva de daños marginales: los métodos directos y los indirectos. Antes de describirlos, es necesaria la siguiente aclaración: valorar los beneficios marginales por una mejora en la calidad del aire es exactamente igual a valorar la disminución de los daños marginales. Es decir, el beneficio asociado a una mejora de la calidad del aire es equivalente a reducir los costos generados por una peor calidad del aire.

### ***1.1.1.1 Métodos directos***

Los métodos directos buscan obtener la disposición al pago de las personas por una mejor calidad del aire en forma directa, a través del estudio del comportamiento de las personas. Se pueden observar dos tipos de comportamiento: real o hipotético. Por comportamiento real se entienden las acciones efectivamente realizadas por los individuos, donde de manera implícita valoran económicamente la calidad del aire. Esto se conoce comúnmente como *preferencia reveladas*. Como contrapartida se tienen las *preferencias declaradas*, basadas en la conducta de las personas frente a situaciones de mercado hipotéticas, presentadas a través de encuestas o experimentos diseñados especialmente para ese fin.

---

<sup>27</sup> Asumiendo que los impactos son pequeños, por lo que no se produce un efecto en el mercado de los productos.

<sup>28</sup> Sin embargo, en los últimos diez años, este conocimiento ha aumentado notablemente, como resultado de un gran esfuerzo de investigación de la comunidad internacional Holgate, S. T., J. M. Samet, H. S. Koren and R. L. Maynard, Eds. (1999). *Air Pollution and Health*. San Diego, Academic Press.

La técnica de preferencias reveladas de valoración de la calidad del aire por excelencia es la de *precios hedónicos* [Freeman III 1993; Azqueta Oyarzun 1994]. Esta consiste en establecer una relación matemática entre el precio (o costo de arriendo) de una vivienda y sus atributos, entre los que se encuentra la calidad ambiental. En base a esta información, se determina la influencia que cada uno de los atributos ejerce sobre el precio de la vivienda. En particular, se puede aislar el efecto de la calidad del aire y, así, determinar cuánto están dispuestas a pagar las personas por vivir en un vecindario con una mejor calidad de aire. La principal ventaja de esta técnica radica en que se observa el comportamiento real de los individuos. Sin embargo, esto constituye una desventaja desde el punto de vista estadístico debido a los posibles efectos de confusión: la calidad de los datos generalmente deja mucho que desear y puede llevar a resultados poco robustos, especialmente si se los quiere utilizar para apoyo a la toma de decisiones.

Otra desventaja importante de este método es que lleva implícita una serie de supuestos que difícilmente se cumplen. El principal supuesto se refiere a la existencia de un mercado de competencia perfecta para viviendas, que supone que la movilidad de los individuos sobre el área urbana es total. Es muy poco probable que esto se cumpla en las ciudades latinoamericanas, en donde generalmente existe gran segregación socio-espacial: en estas circunstancias la decisión de localización residencial está asociada a variables de estatus social cuya influencia pueden opacar cualquier efecto que pueda tener la calidad del aire.

Uno de los reparos más importantes al uso de métodos directos para la valoración de la calidad del aire se refiere a qué tan bien perciben los individuos los efectos nocivos de la contaminación. La percepción de los efectos de visibilidad o de daño a los materiales puede ser más bien precisa, pero la percepción de los daños a la salud, especialmente los efectos de largo plazo, puede ser equivocada. Si se considera que el conocimiento científico al respecto es aun insuficiente, con mucha mayor razón se puede sostener que las personas comunes difícilmente puedan expresar precisamente una disposición al pago por una mejor calidad del aire a fin de prevenir daños a la

salud, especialmente para los que ocurrirán en un tiempo muy distante al momento en que expresan su disposición al pago.

El *método de valoración contingente* es un ejemplo del uso de métodos de técnicas de preferencias declaradas. En una encuesta de valoración contingente se pregunta directamente<sup>29</sup> a las personas por su disposición a pagar por una mejor calidad del aire. Para que las respuestas sean válidas en este tipo de encuestas, debe definirse de manera accesible el concepto de calidad del aire tal que la gente encuestada pueda realmente comprender el bien que está valorando.

En los dos métodos directos descritos anteriormente, precios hedónicos y valoración contingente, resta determinar qué efectivamente está valorando la gente: beneficios por menores efectos a la salud, beneficios por una mejor visibilidad, por menos daños a materiales o vegetación, o una combinación de todos. Y en relación a los beneficios a la salud, debería establecerse qué beneficios son considerados: beneficios por reducción de mortalidad prematura, beneficios por reducción de eventos de morbilidad, etc.. Esta es una de las principales limitaciones de este método: es muchas veces imposible determinar exactamente cuales fueron los impactos de la contaminación considerados por las personas al momento de expresar su disposición al pago.

### ***1.1.1.2 Métodos indirectos***

Los métodos indirectos consisten en el uso de modelos para determinar los impactos físicos de la contaminación, y en modelos económicos para valorar estos impactos. Por un lado, se recurre a modelos epidemiológicos o físicos para determinar el efecto que un cambio en la concentración de contaminantes tiene sobre la salud de las personas, la visibilidad, el daño a materiales y la vegetación. Una vez cuantificados cada uno de estos impactos, se procede a monetizarlos utilizando técnicas de valoración monetaria. En el caso de daño a materiales o efectos sobre las cosechas se puede recurrir al uso de precios de mercado; en el caso de efectos a la salud y visibilidad, para los

---

<sup>29</sup> Existen muchas maneras de formular estas preguntas, aparte de la pregunta directa, que tiene muchas limitaciones. La mas usada actualmente es enfrentar al individuo a una transacción hipotética, en la que debe solamente expresar si pagaría o no una cierta cantidad por una mejora en la calidad del aire.

cuales no existe un mercado, se puede utilizar algunos de los métodos descritos en la sección I.1.1.

El uso de métodos indirectos constituye el camino elegido actualmente por la mayoría de los estudios que han estimado los beneficios de reducción de contaminación atmosférica. La secuencia de modelos recibe el nombre de *método de la función de daño*, y se describe con mayor detalle en la siguiente sección.

## **I.1.2 El método de la función del daño**

El último modelo de la secuencia es el modelo de valoración económica, que permite monetizar los cambios en los efectos en la salud. Hay dos métodos para derivar estos valores. El método tradicionalmente utilizado es el del *capital humano*.

Este método postula que el valor asociado a reducir una muerte prematura o un episodio de morbilidad está dado por el ingreso que se deja de generar como consecuencia de dicho efecto sobre la salud. En el caso de una muerte resulta ser el valor actual del total de ingresos que la persona deja de generar desde el momento en que fallece hasta el momento en que se habría retirado de la fuerza laboral. En el caso de un episodio de morbilidad, el valor del capital humano es la pérdida de ingresos generada por el efecto a la salud.

Un método alternativo, y cada vez más utilizado, es el *método de la disposición al pago o DAP* (*Willingness to Pay*, WTP, en inglés): considera la máxima cantidad de dinero que las personas están dispuestas a pagar por disminuir el riesgo de muerte o la probabilidad de sufrir un evento que afecta a su salud. Así, el reducir una muerte prematura no se valora por lo que se deja de producir, sino por el valor que las personas asignan a la reducción de sus probabilidades de muerte.

Este método para calcular el valor monetario del daño ocasionado por la contaminación es robusto teóricamente, pero difícil de aplicar en casos prácticos. Se puede recurrir a la información entregada por los pocos mercados en los que se transan indirectamente riesgos de muerte o bien a métodos de

mercados hipotéticos.

Nuevamente, se puede recurrir a métodos directos, de preferencias reveladas o declaradas. El método de los salarios hedónicos entrega una estimación de la compensación exigida por aceptar riesgos de muerte, a través del estudio de la relación entre el salario de diferentes ocupaciones y sus características, una de las cuales es el riesgo de muerte de la ocupación. Este método es similar al de los precios hedónicos, por lo que sufre de las mismas limitaciones, además de una limitación adicional muy importante: asume que existe movilidad en el mercado de trabajo, por lo que los individuos eligen voluntariamente el trabajo y el nivel de riesgo. De este modo, se produce un fenómeno de selección adversa: aquellos individuos menos aversos al riesgo elegirán las ocupaciones más riesgosas, por lo que la aplicación del resultado de estos estudios a la población general constituiría una subestimación. Esto es especialmente relevante, dado que una de las características más importantes de la aceptabilidad de los riesgos, y por ende de la compensación exigida, es la voluntariedad de la exposición al riesgo [Slovic 2000]

Como contrapartida, los economistas recurren a técnicas de pseudo-mercados o mercados hipotéticos en los que se trata de inferir el precio que las personas pagarían por un menor riesgo de muerte. Estas técnicas se implementan a través del uso de encuestas.

El método de la disposición al pago también puede utilizarse para determinar el monto de dinero que la ciudadanía está dispuesta a pagar por una mejor visibilidad.

## **I.2 Anexo II. Beneficios en la salud humana del Plan de Prevención y Descontaminación Ambiental de Santiago, Chile.**

En esta sección nos basaremos en [Cifuentes 2000]. Para el cálculo de estos beneficios se utilizó nuevamente la técnica de la función de daño; sin embargo, algunas modificaciones fueron

introducidas en relación a los cálculos realizados en el 1997. En primer lugar, se consideró solo la fracción fina del material particulado  $MP_{2.5}$  en lugar del material particulado respirable  $MP_{10}$ . En segundo lugar, los beneficios a la salud se estimaron utilizando el valor de la disposición al pago en lugar del método del capital humano. El primero de estos cambios se debió a la mayor evidencia científica acumulada en los últimos años de la década de los noventa que indica que el efectos más nocivos para la salud son los producidos por el  $MP_{2.5}$ ; el segundo de estos cambios se debió a la probada superioridad teórica que el método de la disposición al pago en relación al método del capital humano y a su cada vez mayor uso en evaluación social de proyectos en muchos de los países desarrollados.

Para el calculo de los beneficios por mortalidad prematura reducida, se usó un nuevo estudio de series de tiempo en Santiago, que abarcaba un periodo de tiempo más extenso, además de considerar el  $PM_{2.5}$  y ozono [Cifuentes, Vega et al. 2000]. Además, se usó el estudio de cohorte realizado por Pope y colegas en EE.UU [Pope III, Thun et al. 1995] para considerarlo en un escenario de altos beneficios. Para la valoración de estos efectos, se usó el valor de la USEPA en su análisis del Acta del Aire Limpio [EPA 1999], transferido a Chile usando la relación de ingresos per capita, además de los resultados de un estudio de valoración contingente conducido en Santiago [Cifuentes, Prieto et al. 2000]. El valor usado fue de US\$ 650,000, unas 14 veces superior al valor basado en el capital humano usado en 1997.

### I.3 Anexo III. Métodos de valoración usados en el caso ZMVM, Mexico.

Se elaboraron tres estimaciones de los beneficios por salud para cada uno de los cuatro escenarios de calidad del aire definidos. En la estimación 1, los beneficios por evitar enfermedades se calcularon mediante el método de la Disposición al Pago (DAP), los Costos de Enfermedad (CDE) y la pérdida de productividad según el método del Capital Humano (CH). Para valorar las reducciones en mortalidad prematura se consideró la DAP. Esta estimación utiliza una elasticidad del ingreso de 1.0 para transferir beneficios.

Para la estimación 2 se consideró el mismo método para valorar la disminución de enfermedades y la valoración por evitar la mortalidad prematura se realizó vía ingreso (pérdida de CH). Se utiliza una vez más una elasticidad del ingreso de 1.0 para transferir beneficios. La tercera estimación valoró la disminución de enfermedades mediante el método del CDE y la pérdida de CH; y la disminución de la mortalidad mediante el método del CH.

La Tabla 23 resume de manera concisa el procedimiento de cada una de las estimaciones. Debe notarse que el uso del método de la disposición al pago produce estimaciones más elevadas tanto de los valores de las muertes prematuras evitadas como de los episodios de morbilidad reducidos. Así, el primer método arrojará el mayor de los beneficios, el segundo un resultado intermedio y el último, el valor de beneficios más conservador.

**Tabla 23 Definición de Escenarios de estimación de Beneficios en Salud**

Componentes de Beneficios de Salud:		
Escenario	Morbilidad	Mortalidad
Alto	Pérdida de Productividad + CDE +DAP	DAP
Central	Pérdida de Productividad + CDE +DAP	Pérdida de capital humano
Bajo	Pérdida de Productividad + CDE	Pérdida de capital humano

Fuente: Adaptado de [Cesar, Dorland et al. 2000] Cuadro 6.1.

Nota: todas las transferencias de valores se realizan con una elasticidad ingreso igual a 1.

En cuanto al valor de la DAP, se transfieren los valores estimados en EE.UU. mediante un ajuste de



tipo estándar en la literatura:

$$DAP_{(MEXICO)} = DAP_{(EE.UU)} \times [\text{Ingreso}_{(MEXICO)} / \text{Ingreso}_{(EE.UU)}]^{EI}$$

donde *EI* representa la elasticidad ingreso de la DAP en EE.UU. El valor  $DAP_{(MEXICO)}$  es muy sensible tanto a la medida de ingreso utilizado (producto bruto nacional per cápita, producto bruto nacional per cápita corregido según poder de compra, ingreso promedio nacional) y al valor de *EI* adoptado. Cuanto menor sea este último, mayor será el valor transferido  $DAP_{(MEXICO)}$ . Un valor de *EI* igual a 1 (uno) se considera un supuesto razonable para no producir valores de  $DAP_{(MEXICO)}$  que sean extremadamente altos. En relación al ingreso, este fue ajustado por poder de compra, lo que hace que el valor del cociente de la ecuación anterior aumente.

Por último, fue necesario asignar un valor a los años de vida perdidos (ADVP), para obtener el Valor del Año de Vida (VAV). La Tabla 24 indica cómo se calcularon estos valores.

**Tabla 24 Valor del año de vida (VAV) (en US\$, 2010 valorado en precios de 1999, tasa de descuento del 3%) a**

Elasticidad de Ingreso	VAV Mortalidad por exposición aguda		VAV mortalidad por exposición crónica	
	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer
0	184,750	179,776	140,611	138,308
0.4	131,961	128,409	100,434	98,789
1.0	79,660	77,515	60,628	59,635

a. Se empleó un valor estándar de vida (VSV) de 4.28, 3.06, y 1.85 millones de US\$ (2010 valorados en precios de 1999) después de la transferencia de beneficios de las estimaciones Europeas de VSV de 3.36 millones de US\$ (1999 valorados en precios de 1999) con una elasticidad del ingreso de 0, 0.4 y 1, respectivamente.

b. Las diferencias entre hombres y mujeres se originan de distribuciones diferentes de probabilidad de supervivencia y esperanza de vida.

Fuente: [Cesar, Dorland et al. 2000] Cuadro 6.5.

#### **I.4 Anexo IV. Método de valoración para el estudio de Calidad del Aire en la Mega-Ciudad de México.**

El método de valoración utilizado para medir los beneficios es el de la disposición al pago y se lo calcula transfiriendo los correspondientes valores de EE.UU. de la siguiente manera:

$$DAP_{(MEXICO)} = DAP_{(EE\_UU)} \times [Ingreso_{(MEXICO)} / Ingreso_{(EE..UU)}],$$

donde Ingreso per cápita  $_{(MEXICO)} = US\$ 3\ 970$ ;  $Ingreso_{(EE..UU)} = US\$ 29\ 340$ ; todos los valores expresados en dólares de 1990. En el caso de los beneficios por reducción de la mortalidad, si se utiliza un valor de la  $DAP_{(EE\_UU)}$  igual a US\$ 4,8 millones (valor usado por la USEPA en su análisis de 1990), se obtiene un valor de la  $DAP_{(MEXICO)}$  de US\$ 650 000. Aplicando esta fórmula para el caso de caso de bronquitis crónica y de días de actividad restringida se obtienen las correspondientes disposiciones al pago de US\$ 34 000 y de US\$ 6.

## I.5 Anexo V. Métodos de valoración del PROCONVE, Sao Paolo, Brazil.

La valoración se realizó basado en transferencia de valores. Para valorar en términos monetarios los beneficios a la salud, se utilizó el método de la disposición al pago, transfiriendo valores estimados en EE.UU utilizando la siguiente ecuación, propuesta por [Heintz and Tol 1996]:

$$DAP_{[Brasil]} = DAP_{[EE.UU.]} \left( \frac{\text{Ingreso}_{[Brasil]}}{\text{Ingreso}_{[EE.UU.]}} \right) \cdot \frac{E_{[Brasil]}}{E_{[EE.UU.]}} \cdot \frac{G_{[Brasil]}}{G_{[EE.UU.]}}$$

donde el ingreso está dado por el ingreso per cápita está ajustado por poder de compra, E representa la expectativa de vida y G los gastos nacionales en salud. La elasticidad ingreso de la DAP se supone igual a uno. Este estudio es el único de todos los analizados que utiliza este método para la transferencia de valores. La Tabla 25 muestra los valores transferidos usando el método tradicional (Factor 1) y el método propuesto (Factor 2). Como se ve, los valores obtenidos a través del método tradicional son 2,26 veces mayores.

**Tabla 25 Valores de DAP transferidos para Brasil miles de US\$)**

<b>Efecto</b>	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>
Valor de la Vida Estadística	1,306	577
Bronquitis Crónica	70.7	31.2
Admisiones Cardíacas a Hospitales	2,6	1,1
Admisiones Respiratorias a Hospitales	1,9	0,83

Fuente: [Ortiz and Serôa da Motta 2002] Tabla 3, valores transferidos a partir de las estimaciones centrales de la USEPA de EE.UU. Valores originales basados en [Davis, Krupnick et al. 2000] y [Hunt 2002]

La tabla muestra varios puntos de interés. Primero, el grueso de los beneficios esta dado por la disposición a pagar por evitar mortalidad prematura, principalmente de aquellos mayores de 65 años. Los gastos directos en salud asociados a las admisiones hospitalarias corresponden a un poco

mas de 18 millones de dólares, una pequeña fracción del total de beneficios.

**Tabla 26 Valores monetarios de beneficios a la salud – PROCONVE - São Paulo (miles de 1999US\$)**

		Eventos evitados		Beneficios a la Salud	
		0-2 años	> 64 años	0-2 años	> 64 años
<b>Morbilidad</b>					
Admisiones					
Precios Transferidos					
Respiratorias	PM10	4,044	905	3,356	751
	SO2	2,524	432	2,094	358
	CO	4,530	--	3,759	--
	<b>Totals</b>	<b>11,098</b>	<b>1,337</b>	<b>9,209</b>	<b>1,109</b>
Gastos de Salud					
	PM10	4,044	905	5,595	2,155
	SO2	2,524	432	3,492	1,029
	CO	4,530	--	6,267	--
	<b>Totals</b>	<b>11,098</b>	<b>1,337</b>	<b>15,353</b>	<b>3,184</b>
<b>Mortalidad</b>					
Precios Transferidos					
	NO2	1,420	--	819,686	--
	PM10	--	798	--	460,640
	SO2	--	-578	--	-333,647
	CO	--	3,302	--	1,906,057
	<b>Totals</b>	<b>1,420</b>	<b>3,522</b>	<b>819,686</b>	<b>2,033,051</b>
<b>Total</b>				<b>US\$ 2,881 millones</b>	

Fuente: [Ortiz and Serôa da Motta 2002] Tabla 6