

# Estimación de los beneficios en salud asociados a la reducción de la contaminación atmosférica en Bogotá, Colombia.

J.J. Castillo

*Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR), Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.*

**RESUMEN:** Se realizó la evaluación de los beneficios en salud y económicos asociados a la reducción en los niveles de concentración de  $PM_{10}$  propuestos por el plan decenal de descontaminación atmosférica de la ciudad (PDDDB). Se usaron funciones concentración respuesta para estimar la reducción en los casos de mortalidad, uso de asistencia hospitalaria y aparición de síntomas respiratorios. Se realizó la valoración económica usando costos de enfermedad y disponibilidad a pagar. De acuerdo con los resultados encontrados, el cumplimiento del estándar de calidad del aire para  $PM_{10}$  representaría beneficios cercanos a 16.0 billones de pesos; la reducción en más de 13,000 casos de mortalidad atribuible; cerca de 28,000 hospitalizaciones por causas respiratorias en niños menores de 5 años; y alrededor de 5,500 atenciones en unidad de cuidados intensivos durante el periodo 2010-2020. Estos resultados proveen información relevante para incentivar la implementación de las medidas propuesta por el PDDDB.

**ABSTRACT:** This study assessed health and economic related benefits of reducing inhalable particulate matter ( $PM_{10}$ ) concentrations due to the implementation of Bogota's air quality management plan (AQMP). Concentration-response functions were used to evaluate the avoidable cases in health care use, upper respiratory morbidity symptoms and mortality. Economic valuation of morbidity's avoidable cases was made considering cost of illness (COI) and willingness to pay (WTP) values. According to the results, an improvement in the city's air quality (measured as a  $PM_{10}$  reduction) due to the Bogota's AQMP implementation will lead to a diminution of more than 13,000 cases of mortality, close to 28,000 cases of hospital admissions due to respiratory diseases in children and 5,500 intensive care unit admissions during the 2010-2020 period. The associated economic benefits of such reductions were projected to be near to COP 16.0 billion. These results demonstrate the relevance of implementing environmental and public health policies aimed to reduce air pollution levels in Bogotá.

## 1 INTRODUCCIÓN

Existe una relación ampliamente documentada en la literatura científica entre la exposición al material particulado y la aparición de efectos adversos sobre la salud de la población (Griffin, 2007; EPA, 2004; American Thoracic Society, 2003). Estos efectos incluyen desde el incremento en las tasas de incidencia de Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA), y un mayor uso de los servicios de asistencia hospitalaria (consultas, visitas a salas de urgencia y hospitalizaciones), hasta la ocurrencia de muertes prematuras en los grupos poblacionales más sensibles (WHO, 2005).

La evaluación de estos impactos y su valoración económica hace parte de la valoración de bienes y servicios ambientales. Este tipo de valoración permite realizar análisis costo-beneficio proveyendo elementos a los tomadores de decisiones para evaluar la

pertinencia de la implementación de políticas y medidas para el control de la contaminación (CAFE, 2005; Mendieta, 2005). La autoridad ambiental en Colombia ha promovido desde principios de la década la realización de estas valoraciones y su inclusión en la evaluación de proyectos como uno de los criterios para la priorización de la inversión ambiental en el país (MAVDT, 2003, Ibáñez et al, 2002). Sin embargo; en Colombia, siguen existiendo carencias en la información disponible para realizar este tipo de evaluaciones (CONPES, 2005).

Ibáñez (2003) e IDEAM (2005), realizaron una compilación de los estudios de valoración ambiental desarrollados en Colombia. En la evaluación de los impactos de la calidad del aire se destacan para los fines de esta investigación los trabajos realizados por Larsen (2004) e IDEAM (2005a). El primero realiza una valoración del daño ambiental en Colombia, Larsen estima el impacto de la contaminación atmosférica en el país en más de 6,000 muertes

y 1.5 billones de pesos<sup>1</sup> al año, equivalentes a 0.8% del PIB del país. Por su parte el estudio desarrollado por el IDEAM (2005a) realiza la evaluación de los beneficios de reducir las concentraciones de PM<sub>10</sub> en Bogotá hasta los niveles establecidos en la norma nacional. Ambos estudios utilizan funciones concentración respuesta (FCR) desarrolladas por países del primer mundo para la estimación de los impactos en salud de la contaminación atmosférica.

Otros estudios desarrollados en el país evalúan los impactos en salud para grupos poblacionales específicos (Hernández, 2009; Lozano, 2004; Solarte, 1999; Urdaneta, 1998). Estos estudios cuentan con la ventaja de haber sido realizados con información local primaria del caso colombiano, sin embargo, su alcance no suele ser realizar una evaluación total de los impactos de la contaminación sino de un efecto en determinado. Otros estudios desarrollados en el país estiman los costos de la contaminación usando el cálculo de costos directos de enfermedad y mediante métodos de valoración contingente (Bustillo, 2008; Ibáñez et al, 2001; Rodríguez, 1999; Calixto & Díaz, 1995; Montealegre, 1993). El resumen de esto estudios se presenta en el Anexo 1.

Bogotá es considerada una de las ciudades más contaminadas en América Latina (WHO, 2005a). Esto debido a sus altos niveles de concentración de PM<sub>10</sub> los cuales superan en algunas zonas de la ciudad los límites establecidos en la normatividad colombiana. En aras de mejorar esta situación las autoridades locales se encuentran diseñando el plan decenal descontaminación atmosférica de Bogotá (PDDB). El PDDB establece una serie de medidas orientadas a reducir las emisiones de material particulado proveniente de las fuentes fijas y móviles de la ciudad. Está diseñado para un periodo de implementación de 10 años (2010 – 2020) y busca garantizar el cumplimiento del estándar normativo de calidad del aire para PM<sub>10</sub> (50 µg.m<sup>-3</sup>) al final de este periodo.

El objetivo del presente estudio es estimar el impacto en salud y el beneficio económico asociado con el cumplimiento de la meta de reducción en la concentración de PM<sub>10</sub> establecida en el PDDB durante el periodo 2010-2020. Proveyendo así información a las autoridades locales que sirva como elemento para justificar la inversión necesaria para implementar las medidas de control propuestas en el PDDB.

## 2 METODOLOGÍA

La revisión bibliográfica inicial permitió identificar la metodología propuesta por la U.S. Environmental Protection Agency para la valoración de los impactos en salud de la reducción de la contaminación atmosférica (EPA, 2004a) como la indicada para la evaluación de beneficios en este estudio. Esta metodología ha sido utilizada en diferentes evaluaciones de este tipo (Pérez et al, 2009; Cesar et al, 2002; Ostro et al, 1995) y coincide con la propuesta metodológica del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial para la evaluación de los beneficios de la implementación de planes de descontaminación (MAVDT, 2008).

La metodología incluye: 1) evaluación del cambio en la exposición al contaminante; 2) selección de efectos en salud; 3) estimación de beneficios en salud usando FCR y 4) valoración económica de los beneficios.

La estimación de los beneficios en salud se realizó con información epidemiológica proporcionada por la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá (SDS). La valoración económica incluye la estimación de los costos de enfermedad (costos de atención y pérdida de productividad) y el uso de los valores de disponibilidad a pagar por evitar los efectos de la contaminación disponibles en la literatura de referencia. Se incluye una sección de incertidumbre donde se describen los factores de incertidumbre de la evaluación.

### *2.1 Evaluación de la exposición y escenario de análisis*

El escenario de análisis fue previamente definido por el PDDB. La concentración base de la ciudad fue estimada por el PDDB usando los datos de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad y aplicando la metodología de Análisis de Componentes Principales (PCA por sus siglas en inglés). Las proyecciones de la concentración de PM<sub>10</sub> para el periodo de análisis fueron estimadas de acuerdo a la proyección de emisiones establecidas en el PDDB.

Con el objetivo de estimar los beneficios en salud, dos escenarios fueron evaluados: 1) escenario tendencial en el cual la concentración de PM<sub>10</sub> aumenta durante el periodo 2010-2020 en función, principalmente, del crecimiento económico; y 2) escenario de reducción en el cual se supone la implementación de las medidas del PDDB que permiten

<sup>1</sup> Precios constantes de 2004.

una reducción en la concentración de  $PM_{10}$  (ver Figura 1). Se usó la diferencia en la concentración promedio anual de  $PM_{10}$  entre los dos escenarios para la evaluación de los beneficios.

Existen diferencias conceptuales y técnicas entre la exposición personal a un contaminante y la concentración ambiente medida en las redes de monitoreo. Sin embargo, los estudios epidemiológicos que evalúan los efectos de la contaminación atmosférica sobre la población suelen usar la concentración medida por las redes como una medida de la exposición de la población (Gouveia et al, 2003; Pope, 2002; Loomis, 1999). En ese orden de ideas, y atendiendo al hecho de que estos estudios fueron los utilizados para la evaluación de beneficios en el presente estudio, se usó la concentración proyectada en el PDDB como medida de la exposición de la población.

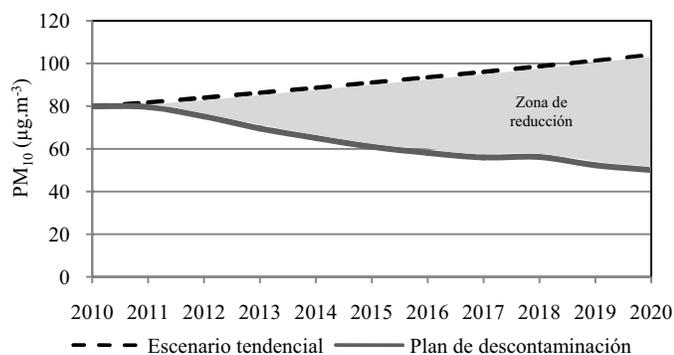


Figura 1. Escenarios de evaluación

## 2.2 Efectos en la salud

Los efectos en la salud para la evaluación de beneficios fueron seleccionados considerando su importancia en términos económicos y de salud pública. Del mismo modo la disponibilidad de información (tasas de incidencia) fue un factor determinante en el proceso de selección.

Se incluyeron en la evaluación los siguientes efectos: 1) mortalidad (mortalidad por exposición crónica en adultos y mortalidad por exposición aguda en menores de 1 año); 2) uso de asistencia hospitalaria (admisiones hospitalarias por causas cardiovasculares y respiratorias, atención en urgencias por causas respiratorias, atención en unidad de cuidados intensivos por causas respiratorias, y visita a salas de enfermedad respiratoria aguda – Salas ERA) y 3) morbilidad sentida (síntomas respiratorios en menores de 5 años). Con excepción de mortalidad por exposición crónica los otros efectos se asocian a la exposición aguda al contaminante.

## 2.3 Funciones concentración respuesta (FCR) y línea base de los efectos evaluados

Una FCR es una expresión matemática que describe la relación entre un cambio en la concentración de un factor de riesgo (en este caso la concentración de  $PM_{10}$ ) y la ocurrencia de determinado número de casos para un efecto en la salud (EPA, 2004). La Ecuación 1 muestra los componentes de una FCR.

$$H = FAP \cdot I_t \cdot \Delta C \cdot N \quad (1)$$

En donde, para un efecto dado: H es el número de casos atribuibles a un cambio en la concentración de un contaminante. FAP es la fracción atribuible poblacional; definida como el porcentaje de casos que pueden ser evitados en la población si se suprime el factor de riesgo (Walter, 1975 en Lorca, 2001).  $I_t$  es la tasa de incidencia inicial del efecto en la población (línea base del efecto).  $\Delta C$  es el cambio en la concentración del contaminante y N es el número de personas expuestas al factor de riesgo.

El término de las FCR que relaciona el cambio en la concentración del contaminante con la variación del efecto en salud es el FAP. Como se muestra en la Ecuación 2, la FAP se construye a partir del riesgo relativo (RR) y la fracción de población expuesta al factor de riesgo. Para un efecto dado, el RR se define como la razón entre el número de casos de ese efecto en una población expuesta a un factor de riesgo frente al número de casos en una población no expuesta (o menos expuesta para el caso de la contaminación atmosférica). Dado que toda la población se encuentra expuesta a la contaminación atmosférica y asumiendo; según el modelo de calidad del aire utilizado, que la totalidad de la población experimentaría la misma reducción en la concentración de  $PM_{10}$ . Se supone que  $Pe=1$ . Esto es consistente con lo realizado por Pérez et al (2009).

$$FAP = \frac{Pe(RR - 1)}{Pe(RR - 1) + 1} \quad (2)$$

En relación a la utilización de las FCR, en las siguientes sub-secciones se describe la metodología para hallar los términos de la Ecuación 1 y estimar el número de casos potencialmente evitables por la reducción en la contaminación.

### 2.3.1 Valores de Riesgo Relativo (RR) usados en la evaluación

Estudios epidemiológicos han determinado el RR de la exposición a material particulado para diferentes efectos en la salud (WHO, 2005; EPA, 2004). Para la evaluación de un efecto, el RR puede variar con las características de la población (v.g.; condición socio-económica, nivel educativo, demografía y aspectos genéticos). Esta es la razón por la cual debe preferirse el uso de información local para la estimación de los efectos en salud. Esto suele no ser siempre posible en países en vía de desarrollo y constituye un factor adicional de incertidumbre en este tipo de evaluaciones (Sánchez, 1998).

Para el presente estudio se desarrolló una revisión bibliográfica que permitió identificar valores de RR para los efectos seleccionados. En esta revisión se incluyeron estudios disponibles en cuatro fuentes de información principales: 1) documentos soportes de estándares de calidad del aire (WHO, 2005; EPA, 2004); 2) planes de descontaminación de otras ciudades (Pérez et al, 2009; Cesar et al, 2002; Ostro et al, 1995); 3) compilación de estudios epidemiológicos realizados en Latinoamérica (OPS, 2005) y 4) bases de datos de literatura indexada. Se buscó dar prioridad a los estudios desarrollados para América Latina suponiendo que la población de Bogotá presenta características más parecidas a las de las ciudades de la región en comparación con las ciudades de países desarrollados (Bell et al, 2006).

### 2.3.2 Línea base de los efectos evaluados

La estimación de la línea base del número de casos para los efectos evaluados se obtuvo a partir de la compilación realizada por Muñoz & Behrentz (2009) de los datos epidemiológicos de morbilidad y mortalidad de la SDS y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). La compilación realizada por Muñoz & Behrentz (2009) incluye la validación y análisis de los datos epidemiológicos de la ciudad para mortalidad y enfermedades cardiovasculares y respiratorias durante el periodo 2003-2006. Dado a que presentó la información reciente de mejor calidad, se seleccionó el año 2006 como año de referencia. La información de morbilidad se encuentra disponible solo para el régimen vinculado (29.5% de la población bogotana pertenece a este régimen según información del Ministerio de Protección Social) mientras que la base

de datos de mortalidad cubre la totalidad de la población.

Se encontró información de RR para cuatro de los efectos seleccionados (ver Sección 2.3.3). Los efectos restantes fueron evaluados usando proporciones locales disponibles en la línea base de los efectos en salud y la investigación realizada por la SDS sobre incidencias de la enfermedad respiratoria aguda en niños (IDEAM, 2005a).

### 2.3.3 Información poblacional

Los datos poblacionales corresponden a las series de población desarrolladas por el DANE a partir de la información obtenida del Censo General del año 2005 y a la proyección de estos datos para el periodo de interés de este estudio (2010-2020), realizada por la misma entidad. La información se encuentra discriminada por grupos etáreos.

La línea base para los efectos evaluados se calculó a partir de los datos poblacionales y epidemiológicos para el año de referencia. Estos valores se presentan como número de casos por cada 1,000 habitantes al año. Para la determinación de la línea base de mortalidad, la información se corrigió por muertes violentas. El resumen de los RR usados para la valoración de los efectos en salud y su línea base se presenta en la Tabla 1. En la Tabla 2 se consignan las proporciones y línea base de los efectos restantes.

Tabla 1. Línea base y riesgo relativo de los efectos evaluados.

Efecto	Edad <sup>a</sup>	Línea base <sup>b</sup>	RR (IC 95%) <sup>c</sup>	Fuente
Mortalidad por todas las causas (exposición crónica)	> 30	6.3	1.030 (1.010-1.054)	Pope (2002)
Mortalidad infantil (exposición aguda)	< 1	12.2	1.034 (1.012-1.055)	Loomis (1999)
Admisiones hospitalarias: causas respiratorias	< 5	82.7	1.018 (1.004-1.024)	Gouveia et al (2003)
Admisiones hospitalarias: causas cardiovasculares	Todas	2.2	1.006 (1.003-1.009)	Le Tertre (2002)

<sup>a</sup>En años. <sup>b</sup>Casos por 1,000 habitantes al año. Tomado de Base de datos de morbilidad y mortalidad de Bogotá año 2006. <sup>c</sup>Para una variación de  $10\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  de  $\text{PM}_{10}$ .

Tabla 2. Línea base y proporciones utilizadas para los efectos evaluados.

Efecto	Edad <sup>a</sup>	Línea base <sup>b</sup>	Proporción
Admisiones hospitalarias: causas respiratorias	> 5	23.5	Corresponde al 28.4% del total de los casos de hospitalización por enfermedades respiratorias <sup>c</sup> .
Atención en urgencias: causas respiratorias	< 5	19.1	Corresponde al 15% de los casos de síntomas respiratorios <sup>d</sup> .
Atención en urgencias: causas respiratorias	> 5	8.9	Corresponde al 32% del total de los casos de atención en urgencias <sup>c</sup> .
Atención en unidad de cuidados intensivos: causas respiratorias	< 5	16.5	Corresponde al 20% de los casos de hospitalización por causas respiratorias <sup>d</sup> .
Atención en salas ERA	< 5	148.5	El 90% de los casos de atención en urgencias se direcciona a salas ERA <sup>c</sup> .
Síntomas respiratorios	< 5	1,654	El 5% de los niños que experimenta síntomas respiratorios es hospitalizado <sup>d</sup> .

<sup>a</sup>En años. <sup>b</sup>Casos por 1,000 habitantes al año. Tomado de Base de datos de morbilidad y mortalidad de Bogotá año 2006. <sup>c</sup>Determinado a partir de la base de datos de morbilidad y mortalidad. <sup>d</sup>Tomado de IDEAM (2005a). ERA: Enfermedad respiratoria aguda.

#### 2.4 Estimación de casos potencialmente evitables

Usando los términos de la Ecuación 1 se estimó el número de casos potencialmente evitables por la reducción de la concentración de PM<sub>10</sub> propuesta en el PDDB. Debe anotarse que los RR de mortalidad se encuentran expresados para cambios en la concentración de PM<sub>2.5</sub>. Se realizó la conversión de los datos de PM<sub>10</sub> registrados por la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad a PM<sub>2.5</sub> usando un factor de PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>=0.5 calculado en un estudio previo (SDA-SUR, 2008).

El proceso salud-enfermedad es un proceso multicausal en el cual la contaminación atmosférica es uno de los factores de riesgo para los efectos evaluados. Se considera que la línea base de efectos en salud está asociada con la concentración actual de PM<sub>10</sub> en la ciudad (escenario de referencia). Considerando lo anterior, el incremento de la concentración de PM<sub>10</sub> en el escenario tendencial se traduciría en un exceso de RR y por ende en el potencial incremento en el número de casos para los efectos evaluados. En el escenario de reducción de la con-

centración por la implementación del PDDB se presentaría una reducción del RR frente al nivel de referencia, por lo cual se espera una reducción en el número de casos para los efectos evaluados. Frente al nivel de referencia, el beneficio neto del PDDB corresponde a la suma de los casos evitables por la reducción en el RR entre el escenario tendencial y el escenario con plan.

La evaluación de los casos atribuibles a los efectos agudos y crónicos de la exposición a material particulado supone un desafío adicional. La definición del RR tiene una connotación de temporalidad distinta para los dos tipos de exposición. Por esta razón estos efectos deben evaluarse de manera independiente.

Los estudios que realizan la determinación de los RR asociados a exposición aguda se construyen a partir de series de tiempo (Gouveia, 2003; Le Terte, 2002; Loomis, 1999). En estos se estudios se evalúa el efecto de los cambios en los promedios diarios de concentración de material particulado sobre la salud de la población (contando un rezago de entre 3-4 días para la aparición del efecto después del cambio en la concentración) (ibíd.). Idealmente la evaluación de efectos asociados a exposición aguda debería realizarse a partir de los cambios diarios en la concentración. Sin embargo, existen limitaciones técnicas para estimar los cambios diarios en la concentración de material particulado durante periodos de tiempo largos como el del PDDB. Por tal razón en este estudio se usan los cambios en la concentración promedio anual de material particulado para la evaluación de los efectos en salud asociados a la exposición aguda. Esto supone correctamente, que la reducción en los niveles de concentración diarios debe verse representada en la reducción del promedio anual de concentración. Debido a su característica de efectos asociados a exposición aguda, se espera que una vez se logre la reducción los beneficios se manifiesten en su totalidad.

Los efectos asociados a la exposición crónica por su parte, se encuentran desarrollados a partir de estudios de cohorte prospectiva (Pope et al, 2002). El estudio de referencia (ibíd.) utiliza la concentración promedio anual de PM<sub>2.5</sub> y compara la tasa de mortalidad de diferentes ciudades durante un periodo de 20 años para determinar el RR. Si bien puede usarse la concentración promedio anual de material particulado como medida de la exposición al factor de riesgo, en este estudio no se cuenta con una definición temporal que permita observar cual es el tiempo que

transcurre entre la mejora de la calidad del aire y el cambio del efecto en salud.

Para realizar la valoración de la mortalidad por exposición crónica a material particulado se usó el enfoque desarrollado por Rööslí et al (2005) y Miller & Hurley (2002). Según este, la manifestación de los beneficios en salud asociados a una reducción sostenida en la exposición crónica de la población, se empiezan a presentar de forma parcial desde el momento en que se da la mejora en la calidad del aire (40% del cambio en el RR se manifiesta a partir del año de la reducción) y se alcanza completamente y de manera lineal en un periodo de tiempo determinado. De manera similar a lo propuesto por estos autores; en este estudio, se usa un periodo de 10 años para alcanzar la totalidad del beneficio

Bajo este enfoque si ocurre una reducción de  $10\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  en la concentración de  $\text{PM}_{10}$  en el año 2010 y esta se sostiene en el tiempo; ese año se expresará el 40% del efecto de la reducción e irá creciendo linealmente hasta alcanzar su máxima expresión en el año 2020. Debido a que en el marco del PDDB la reducción en la concentración varía año a año, la variación en el RR debido a la reducción adicional en la concentración debe sumarse al beneficio remanente de la reducción inicial para el año de evaluación. La expresión matemática para la evaluación del RR crónico en un año dado se presenta en la Ecuación 3.

$$RR_n = \sum_{i=0}^n (RR_{i,n-i}) \quad \therefore n \leq 10 \quad (3)$$

En donde  $RR_{i,n-i}$  corresponde a la expresión del riesgo relativo asociado a la reducción del año  $i$  en el año  $n-1$ . La máxima expresión del  $RR_{i,n-i}$  ocurre cuando  $n=10$  y se alcanza el 100% del beneficio. Debe anotarse que después del  $RR_0$ , los riesgos relativos adicionales se evalúan con base en el cambio adicional en la concentración. De este modo si en el año 0 la reducción es de “X”  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  y en el año 1 la reducción alcanza “X+Y”  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  el RR generado por la reducción del año 1 correspondería solamente a la reducción “Y”. La evaluación del beneficio inicia en el año cero debido a que una vez se logra la reducción se presenta una fracción del beneficio.

En el Anexo 2 se presentan los datos de concentración anuales de los escenarios de evaluación, las proyecciones de población y los valores de RR para los efectos seleccionados. La línea base de efectos,  $I_t$ , se mantiene constante en el periodo de análisis.

## 2.5 Valoración económica

La valoración económica de los beneficios en la salud por una mejora en la calidad del aire está asociada con la reducción en el número de casos de morbilidad y mortalidad. La revisión bibliográfica realizada permitió identificar dos enfoques principales para realizar esta valoración: 1) la evaluación de los costos de enfermedad (COI por sus siglas en inglés) los cuales incluyen los costos de atención de la enfermedad y la pérdida de productividad por la restricción en la actividad laboral; y 2) la valoración de la disponibilidad a pagar (WTP por sus siglas en inglés) por evitar los episodios de enfermedad o reducir el riesgo de muerte. La WTP incluye los valores cuantificados mediante COI más la valoración que los individuos hacen de la pérdida de bienestar que implica sufrir el efecto en la salud.

Mientras los valores de COI suelen ser relativamente sencillos de determinar para el contexto local los valores de WTP requieren el desarrollo de estudios más largos y costosos (Ibáñez et al, 2002) lo cual hace menos probable que estos valores estén disponibles para países en vía de desarrollo. Cuando no se cuenta con estudios locales disponibles de WTP para los efectos a evaluar, puede usarse la metodología de transferencia de beneficios. Esta metodología permite el traspaso del valor monetario de un bien ambiental determinado de un sitio de estudio a un nuevo contexto político (sitio de intervención) (Brouwer, 2000). Los valores de WTP usados en este estudio fueron calculados mediante transferencia de beneficios<sup>2</sup>. En el Anexo 3 se consigna la información soporte utilizada para realizar la estimación de costos.

En términos generales, la evaluación de los beneficios en salud requiere conocer el valor monetario de cada uno de los efectos en salud para posteriormente, con el número total de casos evitados conocer el beneficio total.

No existe consenso sobre la tasa de descuento a usar en la evaluación de proyectos ambientales (Saavedra, 2009). Los resultados de este estudio se presentan usando una tasa de descuento de 3% sugerida por la OMS para la evaluación de efectos en la salud (WHO, 2002). Para estimar la sensibilidad a la tasa; en total, cuatro escenarios con diferentes valores de tasa de descuento fueron evaluados: 1) PC, en donde se realiza la valoración usando precios cons-

<sup>2</sup> La tasa de cambio para transferencia de beneficios fue 1USD=2,170.375 COP

tantes del año 2009; 2) TD<sub>1</sub>, tasa de descuento de 3.0% acorde a lo sugerido por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2002) y en conformidad a lo usado por Larsen (2004), 3) TD<sub>2</sub>, tasa de descuento variable y decreciente en el tiempo (4.38% – 3.49% para un periodo de 10 años) acorde a Saavedra (2009) y 4) TD<sub>3</sub>, tasa de descuento del 12%, el valor coincide con el utilizado por el Departamento de Planeación Nacional para proyectos de inversión social (Correa, 2008) y es el mismo utilizado en la evaluación del plan de descontaminación de Santiago de Chile (Sánchez, 1998) y Ciudad de México (World Bank, 2002). Los costos unitarios fueron indexados a la inflación para ser proyectados durante el periodo de análisis con información del World Economic Outlook Database –Actualización abril de 2010 del Fondo Monetario Internacional.

### 2.5.1 Morbilidad

Diversos autores coinciden en afirmar que la mejor expresión económica de los beneficios en salud corresponde a los valores de disponibilidad a pagar (Cifuentes et al, 2005, Mendieta, 2005, Freeman III, 2003). Esto debido a que la WTP permite la valoración de elementos intangibles como la pérdida de bienestar asociada con el dolor y el sufrimiento de la enfermedad (Cifuentes et al; 2005). Al contar con una mayor integridad en la estimación de los beneficios la valoración de la WTP reviste también de mayor importancia en términos de evaluación de políticas públicas e inversión en proyectos ambientales (IDEAM, 2003; Ibáñez et al, 2002). El análisis de COI por su parte se considera un límite inferior de la valoración (Freeman III, 2003).

Para los fines de este estudio resulta de interés también conocer los resultados de una valoración mediante COI que permita comparar con los costos directos de atención de enfermedades. Por esta razón, para la evaluación de la morbilidad se consideran los dos escenarios de valoración (COI y WTP). A continuación se describe la metodología para estimar los valores unitarios de los efectos en morbilidad bajo estos dos enfoques.

#### 2.5.1.1 Costos de enfermedad

Los COI hacen referencia a dos componentes: 1) los costos directos del tratamiento de la enfermedad (costos de atención) y 2) los costos asociados a la pérdida de productividad por incapacidad laboral.

Para la valoración de estos costos, se realizó una investigación que permitió identificar el consumo de recursos y procedimientos realizados para los diferentes efectos que se evaluaron. Se identificó también el tiempo de uso de los diferentes niveles de asistencia médica para estos efectos. Esta información se obtuvo a través de consulta directa con la Secretaría Distrital de Salud y fue complementada con una revisión bibliográfica para identificar las principales características del tratamiento de las enfermedades evaluadas (American Heart Association 2008, Liao et al., 2006, ISS 1998).

El consumo de recursos y los procedimientos realizados en cada nivel de atención fueron valorados según el Manual Tarifario SOAT. Las tarifas consignadas en este manual (Decreto 2423 de 1996, actualización 2009) son de obligatorio cumplimiento para las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPS) públicas y es usado de forma obligatoria en algunos casos específicos por las entidades privadas. Según información validada con la Asociación Colombiana de Clínicas y Hospitales (ACCH), estas tarifas son aceptadas por las IPS.

La pérdida de productividad hace referencia a las pérdidas asociadas a los días no laborados por el efecto de la enfermedad (atención hospitalaria y orden de incapacidad expedida por el médico). La información sobre los días de atención para los efectos evaluados se obtuvo a través de la SDS y se complementó con una revisión bibliográfica (American Heart Association, 2008) y consulta directa a especialistas de la salud. Según las fuentes de información utilizadas en promedio se generan dos días de incapacidad por cada día de hospitalización y tres días de incapacidad por cada día que se pase en la unidad de urgencias o en la de cuidados intensivos. Como una medida para valorar el trabajo de las personas se supone que todos los casos de incapacidad generan pérdida en la productividad aún cuando la persona no tenga un empleo formal. Se considera también, que la incapacidad de los niños genera pérdida de productividad al implicar el acompañamiento de un adulto.

El costo asociado a la pérdida de días laborales, se evaluó usando el 50% del salario mínimo mensual legal vigente diario (SMMLVD), coincidiendo con la evaluación realizada por él IDEAM (2005a).

### 2.5.1.2 Disponibilidad a pagar

No se encontraron valores locales de WTP calculados con información primaria para los efectos evaluados. Se recurrió al uso de valores determinados por otros estudios realizados en América Latina los cuales están compilados en la revisión realizada por Cifuentes et al (2005). Los valores fueron transferidos usando transferencia de beneficios al contexto colombiano. Se incluyeron también los valores de WTP por evitar admisiones hospitalarias por causas respiratorias calculados por Lozano (2004); también usando transferencia de beneficios, para Colombia.

### 2.5.2 Mortalidad

La muerte prematura es el efecto de mayor impacto de la contaminación atmosférica. En este estudio se utilizó el valor estadístico de la vida (VSL, por sus siglas en inglés) como metodología de valoración económica de la mortalidad.

El VSL es una aproximación económica útil en la valoración de la reducción de los casos evitados en mortalidad como resultado de la implementación de mejoras ambientales (Bowland & Beghin, 2001). Es una metodología de amplia implementación en términos de evaluación de políticas e inversión ambiental (Arigoni Ortiz, Markandya, & Hunt, 2009).

El VSL es la metodología utilizada por la EPA (2004b) y por la Comisión Europea de Ambiente (CAFE, 2005) para expresar los beneficios de la reducción del riesgo de mortalidad en términos monetarios y de esta forma realizar los análisis costo beneficio de sus normas y programas (EPA, 2004b).

El VSL representa la WTP por la disminución del riesgo de muerte. Es decir, representa la cantidad de dinero que una persona está dispuesta a pagar por disminuir un factor de riesgo de muerte. Este valor no representa el valor de la vida sino el valor asociado a una reducción en el riesgo de muerte. En este caso entendido como la reducción de los niveles de concentración de material particulado.

El valor estadístico de la vida se calcula mediante fuentes primarias usando la metodología de valoración contingente. De este modo se realizan encuestas que permiten identificar la WTP de las personas por reducir un riesgo específico o la disponibilidad a aceptar por exponerse a un factor de riesgo. El VSL es específico para cada país y contempla la disponibilidad a pagar de sus ciudadanos en su contexto económico, social y cultural. No existe en Colombia

estudios en los que se haya construido el VSL a partir de información primaria. Por esta razón, en este estudio se estimó el VSL mediante transferencia de beneficios. Se usó el mismo valor de VSL para niños que para adultos. Esto coincide con evaluaciones realizadas en Europa (Pérez et al, 2009) pero difiere de lo hallado en Ciudad de México por Hammitt & Ibarrán (2002) quienes encontraron valores mayores de VSL para los menores de edad.

### 2.5.3 Transferencia de beneficios

La transferencia de beneficios puede realizarse mediante la transferencia de valores y la transferencia de funciones. En este estudio se utilizó la transferencia de valores, la cual consiste en realizar la transferencia de un valor económico promedio basado en un conjunto de estudios desarrollados en un contexto socio-económico similar al del sitio de intervención (Carriazo, Ibáñez, & García, 2003).

Para la transferencia de un valor se requieren dos elementos: 1) la transferencia del valor entre países, la cual se realiza con base en los cambios en el PIB per cápita en términos de poder de paridad adquisitiva (PPP) entre el sitio de estudio y el sitio de intervención y 2) la transferencia del valor en el tiempo hasta el año de evaluación usando la variación en el índice de precios al consumidor (IPC). La ecuación 4 muestra la expresión matemática para la transferencia de un valor. En donde el subíndice “i” representa los valores para el sitio de intervención mientras que “e” representa los valores para el sitio de estudio. El valor transferido mediante esa ecuación debe ser expresado como valor presente. Los valores de IPC y PIB per cápita en términos de PPP fueron obtenidos del World Economic Outlook Database – Actualización abril de 2010 del Fondo Monetario Internacional.

$$Valor_i = Valor_e \cdot \frac{PIB_{PC} \cdot PPP_i}{PIB_{PC} \cdot PPP_e} \quad (4)$$

La transferencia de beneficios es la aproximación más adecuada para determinar un valor en un contexto dado, ante la imposibilidad de calcularla con información primaria (Freeman III, 2003). Debe procurarse que exista similitud entre el sitio de estudio y el sitio de intervención. Para tal fin se realizó una revisión de los estudios desarrollados en América Latina que determinaron el VSL. La transferencia de beneficios de esta evaluación se construyó con el

valor promedio transferido a partir de tres estudios: 1) la investigación desarrollada por Arigoni Ortiz et al (2009) en Sao Paulo; 2) el desarrollado por Hammit & Ibarán (2002) en Ciudad de México y 3) el realizado en Santiago de Chile por Bowland & Beghin (2001). Los dos primeros usan metodología de valoración contingente para la determinación del VSL mientras que el desarrollado por Bowland & Beghin (2001) consiste en una transferencia de beneficios usando transferencia de la función la cual es ajustada por diferentes aspectos socioeconómicos.

## 2.6 Incertidumbre

Asociada a la metodología usada en la evaluación, la disponibilidad de información y los supuestos realizados en la valoración se presenta una incertidumbre en los cálculos realizados. Los resultados en este estudio se presentan con un intervalo de confianza. Sin embargo este intervalo corresponde exclusivamente al proporcionado para el RR de los estudios epidemiológicos usados para la evaluación de los efectos y por lo tanto, no representa la totalidad de la incertidumbre. Atendiendo a lo anterior, los valores obtenidos en este informe deben entenderse como un orden de magnitud de los efectos (número de casos y estimación de costos) de la contaminación sobre la salud de la población y no como valores exactos.

No existen mediciones que permitan expresar matemáticamente la incertidumbre de los resultados. A continuación se realiza una descripción detallada de los factores de incertidumbre identificados:

- Funciones concentración respuesta: una de las principales limitaciones para la adecuada utilización de las FCR es la disponibilidad de información local. Para el caso específico de Bogotá no se cuenta con suficientes estudios que determinen el riesgo relativo por exposición a material particulado para los diferentes efectos evaluados en salud. Por esta razón, se utilizaron RR determinados para otras ciudades. Esto supone que la respuesta epidemiológica de la población bogotana frente a la contaminación es similar a la de la población de los estudios originales.

Para minimizar el error debido a este supuesto se le dio prioridad a estudios epidemiológicos desarrollados en países de América Latina para los cuales se espera que la población tenga un comportamiento similar al de la población de Colombia. Es importante resaltar que esto constitu-

ye una limitación muy común en el uso de FCR según la revisión de bibliografía realizada.

- Representatividad poblacional de la base de datos de morbilidad y mortalidad: se realizó una rigurosa revisión de información para identificar las bases de datos de morbilidad y mortalidad disponibles para la ciudad. La revisión realizada incluyó el diálogo directo con las diferentes entidades responsables de la recopilación de datos epidemiológicos en el país.

En Colombia existen tres regímenes de salud: 1) Régimen contributivo, constituido por la población con empleo formal, quienes aportan al sistema de salud, 2) Régimen subsidiado, representado por las personas de bajos ingresos que reciben cobertura del SISBEN y 3) Régimen vinculado, el cual es un régimen transicional hacia el régimen subsidiado.

El régimen vinculado está constituido por personas que no están empleadas formalmente y por ende no están cubiertas por el régimen contributivo. A su vez, por problemas en la expansión de la cobertura del sistema de salud aún no se encuentran cubiertas por el régimen subsidiado. Las personas pertenecientes a este régimen no tienen capacidad de pago para acceder a los servicios de salud y son considerados como población vulnerable por su bajo nivel de ingresos.

La frecuencia inicial de casos para los efectos evaluados en este trabajo se calculó con información del régimen vinculado de salud debido a que no se encontró información completa para los otros regímenes. Se supuso que la proporción de casos registrada en este régimen es representativa para toda la población de la ciudad. Según cifras del Ministerio de Protección Social el régimen vinculado representa alrededor del 30% de la población bogotana. Teniendo en cuenta las características de este régimen el supuesto utilizado puede representar una sobreestimación de la línea base.

- Línea base: después de hacer una revisión detallada de las bases de datos de salud disponibles para la ciudad, se decidió utilizar los registros de salud del año 2006 para el establecimiento de la línea base. Al momento del desarrollo de este estudio la información del año 2006 constituye la información más completa y reciente sobre los efectos en salud de la población de Bogotá. Se

supuso que las tasas de incidencia son constantes entre la línea base (año 2006) y el periodo de análisis de este estudio (2010-2020).

– Efectos en salud incluidos en la valoración: la selección de los efectos incluidos en la valoración del impacto de la calidad del aire en la salud depende de tres aspectos principales: 1) la existencia de la relación causal entre la exposición al contaminante y el efecto evaluado, 2) la disponibilidad de información para el uso de la función concentración respuesta, incluyendo la existencia misma de la FCR y 3) la relevancia del efecto en términos de salud y en términos económicos.

De estos aspectos, la disponibilidad de información específicamente de la proporción de casos que se presentan actualmente en la ciudad para cada efecto en la salud fue la principal limitación para la valoración realizada en este trabajo. La información disponible en los registros locales de salud limitó la evaluación de algunos efectos de la línea base de morbilidad sentida. La no inclusión de la totalidad de los efectos implica una potencial subestimación de los beneficios estimados en salud. Por ejemplo, no se cuenta con información local acerca de la tasa de incidencia de la bronquitis crónica. El estudio desarrollado por Larsen (2004) utilizando una tasa de incidencia de otro país estimó que la bronquitis crónica podría representar el 17% de los costos en morbilidad asociados a la contaminación del aire.

– Fracción  $PM_{2.5}/PM_{10}$ : en este estudio se utilizó 0.5 como la fracción  $PM_{2.5}/PM_{10}$  para el aire ambiente de la ciudad. Este valor fue identificado en la caracterización de material particulado que se realizó en Bogotá (SDA-SUR, 2008). La fracción  $PM_{2.5}/PM_{10}$  depende entre otros factores, de las características de las fuentes de emisión y de las condiciones meteorológicas, y por lo tanto podría variar espacialmente en la ciudad y a lo largo del periodo de análisis del plan de descontaminación.

En la literatura internacional, generalmente se reportan valores para esta fracción en el rango entre 0.5-0.7 (WHO, 2005).

– Métrica de la exposición: los efectos en la salud de la población se evalúan con respecto a cam-

bios en la concentración anual de material particulado. Para la evaluación de los efectos por exposición aguda se supone que cambios en los niveles de concentración diaria se ven reflejados en el valor de la concentración anual. Si bien esto es matemáticamente correcto, la suposición utilizada impide observar el efecto de los picos de concentración.

– Escenario de concentración: la evaluación se realizó para los escenarios de concentración disponibles en el PDDDB en la fecha de consulta (junio de 2010). Pueden presentarse cambios diferencias frente a los escenarios de concentración definitivos publicados en el PDDDB.

– Tiempo de respuesta de los efectos sobre la salud de la población: los efectos en la salud derivados de cambios en la calidad del aire se pueden clasificar en dos grupos según el tiempo en que tardarían en presentarse respecto al momento en que se dan los cambios en los niveles de contaminación: 1) Efectos asociados con exposición aguda, éstos hacen referencia a los efectos en salud por cambios diarios en los niveles de exposición. Se supone que los efectos en la salud se presentan de manera inmediata con el cambio en la concentración de material particulado; 2) Efectos por exposición crónica, hacen referencia a los efectos en salud por cambios prolongados en la exposición al material particulado. En este trabajo se supuso que la manifestación de los efectos en la salud asociados a exposición crónica se presentan de forma gradual desde el momento en que cambian las condiciones de la calidad del aire y se completan en un periodo de 10 años. Este tiempo de respuesta depende de la causa de la mortalidad y por lo tanto la expresión máxima de los efectos podría observarse en un periodo de tiempo diferente.

– Uso de proporciones locales para evaluar efectos en salud: la estimación del número de casos para efectos en morbilidad atendida para los cuales no se cuenta con RR específicos para la población de América Latina, se realizó mediante el uso de proporciones identificadas en los registros de información local de salud (ver Sección 2.3). Estas proporciones no necesariamente son las mismas para la fracción de estos efectos atribuida a la contaminación atmosférica.

- Niveles de exposición personal: la literatura científica ha demostrado que los niveles de contaminantes registrados por las estaciones fijas de monitoreo no son necesariamente representativas de los niveles de contaminación a los que se expone la población en los diferentes microambientes que hacen parte de su rutina diaria, y que los niveles de exposición en éstos últimos pueden ser incluso varias veces superiores (Hernández, 2009). Sin embargo, los estudios epidemiológicos utilizados como base para este estudio definen la exposición de la población con base en los registros de las redes de monitoreo de las ciudades. De manera consistente con dichos estudios, los niveles de exposición utilizados para la valoración de efectos en salud en este trabajo se basan en los niveles de calidad del aire registrados por la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad.
- Análisis espacial de los efectos ( $Pe=1$ ): en la estimación de efectos sobre la salud se supuso que los beneficios en la calidad del aire derivados de la implementación del plan de descontaminación se presentan de manera uniforme para toda la ciudad y afectan en igual proporción a toda la población (esto se evidencia en el  $Pe=1$ ). Este supuesto implica que toda la población está expuesta al mismo riesgo por la contaminación atmosférica.  
Si bien es cierto que toda la población se encuentra expuesta al material particulado, la información de la red de monitoreo de calidad del aire evidencia que la concentración de material particulado no es uniforme en la ciudad. En adición a lo anterior, es posible que la aplicación de ciertas medidas de reducción de la contaminación presente impactos diferenciados en la ciudad. Acorde a lo anterior es de esperarse que la población de la ciudad experimente diferentes reducciones en los niveles de concentración de  $PM_{10}$ .  
El supuesto busca la simplificación en el cálculo del número de casos evitados, e implica suponer que la reducción en la concentración es homogénea en toda la ciudad. Las limitantes en la fuentes de información (línea base de efectos y concentración de  $PM_{10}$ ) impiden realizar un análisis espacial detallado durante el periodo de análisis.
- Determinación de los valores de costos de enfermedad: los valores usados para los costos de

atención pueden ser una subestimación de los costos reales. Esto debido a que no incluyen costos indirectos como los gastos de transporte u otros adicionales que puedan generarse por la enfermedad.

El valor usado para la estimación de las pérdidas de productividad es un estimativo muy general que puede no representar adecuadamente este valor. No obstante una evaluación más precisa supone dificultades adicionales ya que no se cuenta con información específica de las características laborales de la población potencialmente afectada por los cambios en la concentración de material particulado. Se genera incertidumbre adicional al considerar que toda la población aporta de igual manera en términos de productividad.

- Determinación de los valores de disponibilidad a pagar: la disponibilidad a pagar para los efectos evaluados incluye los valores de COI más la valoración que realizan las personas por la pérdida de bienestar. Debido a que se usaron valores por transferencia de beneficios es posible que estos no representen adecuadamente el caso colombiano.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Número de casos potencialmente evitados

Los resultados esperados como resultado de la reducción en la concentración de  $PM_{10}$  propuesta por el PDDB se presentan en la Tabla 3.

Según estos resultados la población infantil (menores de 5 años) recibe beneficios muy importantes en salud por la reducción de los niveles de  $PM_{10}$  en la ciudad. Cerca del 72% de los casos evitados en hospitalización corresponde a niños menores de 5 años. La reducción propuesta por el plan de descontaminación representaría una reducción cercana a las 27,500 hospitalizaciones por causas respiratorias en niños, 74,200 atenciones en salas ERA y alrededor de 5,500 casos evitados en Unidad de Cuidados Intensivos. Adicionalmente, 1,500 casos potencialmente evitables de mortalidad en niños.

En adultos (población mayor a 30 años de edad), los beneficios de la implementación del plan representan alrededor de 13,700 muertes evitadas, más de 38,300 casos de atención en urgencias evitados y alrededor de 10,900 casos evitados en admisiones hospitalarias por causas respiratorias.

Tabla 3. Casos potencialmente evitables por la implementación del PDDB periodo 2010-2020.

Efecto	Edad	Casos evitados (IC 95%) <sup>a</sup>
Mortalidad por exposición crónica	>30	13,700 (4,700-24,500)
Mortalidad infantil	< 1	1,500 (550-2,400)
Admisiones hospitalarias: causas respiratorias	< 5	27,500 (6,000-35,700)
Admisiones hospitalarias: causas respiratorias	> 5	10,900 (2,400-14,200)
Admisiones hospitalarias: causas cardiovasculares	Todas	3,200 (1,600-4,900)
Atención en urgencias: causas respiratorias	< 5	8,200 (1,800-10,700)
Atención en urgencias: causas respiratorias	> 5	38,300 (8,400-49,700)
Atención en salas ERA <sup>b</sup>	< 5	74,200 (16,300-96,400)
Atención en unidad de cuidados intensivos	< 5	5,500 (1,200-7,100)
Síntomas respiratorios	< 5	550,000 (121,000-714,000)

<sup>a</sup>Los valores entre paréntesis representan el intervalo de confianza del RR. <sup>b</sup>Enfermedad respiratoria aguda. Los resultados fueron aproximados a la centena más cercana.

### 3.2 Estimación de costos

En la Tabla 4 se presentan los valores estimados para los efectos seleccionados. Para los efectos en que se tienen discriminados por grupos etáreos no se contó con suficiente información para diferenciar los COI según grupo de edad. De manera similar, los valores de WTP no presentan datos diferenciados. Por esta razón, para un mismo efecto en morbilidad se cuenta con una única valoración indistintamente del grupo de edad evaluado.

Las salas ERA son una estrategia de atención de la Secretaría Distrital de Salud basado en un modelo chileno. En las salas ERA, se atiende de forma costo-efectiva pacientes menores de 5 años con bronquiolitis que en caso contrario deberían ser tratados en sala de urgencias. No se encontraron valores de WTP para el uso de salas ERA. Tampoco se encontró información para estimar la atención en unidad de cuidados intensivos mediante WTP.

De acuerdo a lo esperado, los valores de WTP fueron mayores que los de COI. Para efectos respiratorios, Guh et al (2008) estima en promedio la relación WTP/COI en el intervalo 1.6-8.0. Si bien pueden presentarse proporciones significativamente mayores puede observarse que los valores hallados en este estudio se encuentran dentro de dicho rango

Tabla 4. Valores unitarios (miles de pesos, 2009)

Efecto	C.A.	PP	COI	WTP	WTP/COI
VSL	---	---	---	1,008,000	---
Admisiones hospitalarias: causas respiratorias	1,290	115	1,400	4,000	2.9
Admisiones hospitalarias: causas cardiovasculares	1,370	130	1,500	4,600	3.1
Atención en urgencias: causas respiratorias	310	30	340	670	2.0
Atención en salas ERA	50	15	60	---	---
Atención en unidad de cuidados intensivos	6,590	250	6,840	---	---
Síntomas respiratorios (menores de 5 años)	---	25	---	400	---

C.A: Costos de atención. PP: Pérdida de productividad. COI: Costos de enfermedad (corresponde a la suma de C.A.+PP). WTP: Disponibilidad a pagar. WTP/COI: Relación entre WTP/COI. Valores aproximados a la decena más cercana (127=130).

En la Tabla 5 se presentan los valores de pérdida de productividad y costos de atención para los efectos en morbilidad. Estos son los componentes de la evaluación por COI. Puede observarse que para los efectos evaluados los costos de atención son mayores que los asociados a la pérdida de productividad (con excepción de la aparición de síntomas respiratorios en menores de 5 años y la atención en Salas ERA). En el caso de las salas ERA, esto ocurre debido a que son una alternativa de atención costo-eficiente que logra redireccionar a los niños que llegan a atención a urgencias atendiéndolos en un menor tiempo e incurriendo en menores costos.

Se destaca nuevamente el impacto en la población infantil: más del 85% de los costos evitados asociados a la pérdida de productividad (18,760 millones de pesos) se atribuye a los días perdidos por la enfermedad del niño que obliga a los padres a quedarse cuidándolo. En el caso de los costos de atención el 66% de los beneficios (72,200 millones de pesos) corresponden a la valoración de los casos de hospitalización y atención en unidades de cuidados intensivos para niños menores a 5 años. En todos los

casos, los costos de atención son mayores que la pérdida de productividad.

Tabla 5. Costos de atención y pérdida de productividad para los casos evitados por el PDDB (millones de pesos, VPN 2009)

Efecto	CA (IC 95%) <sup>a</sup>	PP (IC 95%) <sup>a</sup>
Admisiones hospitalarias: causas respiratorias (menores de 5 años)	35,700 (7,900-46,400)	3,200 (700-4,150)
Admisiones hospitalarias: causas respiratorias (mayores de 5 años)	14,200 (3,100-18,400)	1,270 (280-1,650)
Admisiones hospitalarias: causas cardiovasculares (todas las edades)	4,500 (2,250-6,700)	420 (210-620)
Atención en urgencias: causas respiratorias (menores de 5 años)	2,600 (600-3,300)	260 (60-330)
Atención en urgencias: causas respiratorias (mayores de 5 años)	11,900 (2,600-15,400)	1,190 (260-1,540)
Atención en salas ERA (menores de 5 años)	3,400 (700-4,400)	1,150 (250-1,500)
Atención en unidad de cuidados intensivos (menores de 5 años)	36,500 (8,000-47,400)	1,360 (300-1,770)
Síntomas respiratorios (menores de 5 años)	---	12,790 (2,810-16,610)
Morbilidad total	108,720 (25,170-142,090)	21,630 (4,870-28,170)

CA: Costos de atención. PP: Pérdida de productividad. ERA: Enfermedad respiratoria aguda. <sup>a</sup>El intervalo de confianza corresponde específicamente al estimado para el RR en el estudio epidemiológico. Tasa de descuento: 3%. VPN 2009: Valor presente neto, año de referencia 2009.

En la Tabla 6, se presenta la comparación de la valoración económica de la morbilidad mediante COI y WTP. Debe considerarse que no se cuenta con valores de WTP para todos los efectos, por lo cual es de esperarse que la valoración total mediante WTP sea mayor que la estimada en este estudio.

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 6, la evaluación de los beneficios económicos de la morbilidad mediante el uso de la WTP es más de 3 veces mayor que los resultados obtenidos mediante COI. Aunque consistente, se resalta esto debido a que los valores de WTP fueron estimados mediante transferencia de beneficios y de manera independiente de los COI. Los beneficios en morbilidad usando WTP se acercan a los 425,000 millones de pesos frente a los 130,000 millones estimados mediante la evaluación de los costos de enfermedad.

En la Tabla 7 se consigna la valoración económica de la reducción de los casos de mortalidad. Los

beneficios económicos por reducción en la mortalidad alcanzan los 15.5 billones de pesos. Estos representan el mayor porcentaje de los beneficios del plan.

Tabla 6. Valoración económica de los beneficios en morbilidad del PDDB (millones de pesos, VPN 2009).

Efecto	COI (IC 95%) <sup>a</sup>	WTP (IC 95%)
Admisiones hospitalarias: causas respiratorias (menores de 5 años)	38.900 (8,600-50.600)	110,800 (24,400-143,900)
Admisiones hospitalarias: causas respiratorias (mayores de 5 años)	15,400 (3,400-20,000)	43,900 (9,700-57,100)
Admisiones hospitalarias: causas cardiovasculares (todas las edades)	4,900 (2,500-7,300)	15,100 (7,500-22,500)
Atención en urgencias: causas respiratorias (menores de 5 años)	2,800 (600-3,700)	5,600 (1,200-7,200)
Atención en urgencias: causas respiratorias (mayores de 5 años)	13,100 (2,900-17,000)	25,900 (5,700-33,600)
Atención en salas ERA (menores de 5 años)	4,500 (1,000-5,900)	---
Atención en unidad de cuidados intensivos (menores de 5 años)	37,900 (8,300-49,200)	---
Síntomas respiratorios (menores de 5 años)	12,800 (2,800-16,600)	223,700 (49,200-290,600)
Morbilidad total	130,300 (30,000-170,300)	425,000 (97,700-554,900)

COI: Costos de enfermedad. WTP: Disponibilidad a pagar. ERA: Enfermedad respiratoria aguda. <sup>a</sup>El intervalo de confianza corresponde específicamente al estimado para el RR en el estudio epidemiológico. Tasa de descuento: 3%. VPN 2009: Valor presente neto, año de referencia 2009.

Tabla 7. Valoración económica de los beneficios en mortalidad del PDDB (millones de pesos, VPN 2009).

Efecto	Valoración económica (IC 95%) <sup>a</sup>
Mortalidad por exposición crónica (mayores de 30 años)	13,972,000 (4,774,000-24,893,000)
Mortalidad infantil (menores de 5 años)	1,503,000 (557,000-2,402,000)
Mortalidad total	15,475,000 (5,331,000-27,295,000)

<sup>a</sup>El intervalo de confianza corresponde específicamente al estimado para el RR en el estudio epidemiológico. Tasa de descuento: 3%. VPN 2009: Valor presente neto, año de referencia 2009.

Los beneficios totales del plan (morbilidad y mortalidad) se estiman en cerca de 16 billones de pesos como se muestra en la Tabla 8. Esto corres-

ponde al 0.8% del PIB de la ciudad para el periodo de análisis. Este valor es consistente con resultados de otros estudios. Según Cifuentes et al (2005), la contaminación atmosférica representa entre el 0.4% y el 1.4% del PIB en América Latina. El Banco Mundial, estima el valor entre el 1% – 2% del PIB (World Bank, 2006).

Tabla 8. Resumen de beneficios económicos del PDDB (millones de pesos, VPN 2009).

Efecto	Valoración económica (IC 95%) <sup>b</sup>
Morbilidad <sup>a</sup>	467,400 (107,000-610,000)
Mortalidad	15,475,000 (5,331,000-27,295,000)
Total	15,942,400 (5,438,000-27,905,000)

<sup>a</sup>Valoración usando disponibilidad a pagar. Para atención en salas ERA y en unidad de cuidados intensivos se utilizó COI. <sup>b</sup>El intervalo de confianza corresponde específicamente al estimado para el RR en el estudio epidemiológico. Tasa de descuento: 3%. VPN 2009: Valor presente neto, año de referencia 2009.

El análisis usando diferentes tasas de descuento y la valoración usando precios constantes de 2009 se presenta en la Tabla 9. Debe destacarse, que en todos los escenarios contemplados se presenta una relación beneficio/costo positiva. Adicionalmente debe considerarse que debido a las características de los beneficios en salud, estos continuaran presentándose por fuera del periodo evaluación. Lo anterior resulta en que los beneficios totales son mayores a los evaluados en el periodo de análisis. Es de esperarse entonces que se presenten beneficios después del año 2020 (no valorados en este estudio).

Tabla 9. Análisis beneficio/costo usando diferentes tasas de descuento (billones de pesos).

Escenario	PC	TD1	TD2	TD3
Tasa de descuento (%)		3.0	variable	12.0
Beneficios en salud <sup>a</sup>	15.8	15.9	15.1	8.0
Costos de implementación <sup>a</sup>	2.3	2.3	2.2	1.5
Relación B/C	6.9	7.0	6.9	5.4

PC: Precios constantes, TD1: Escenario 1, TD2: Escenario 2, TD3: Escenario 3.<sup>a</sup>Billones de pesos, precios constantes de 2009 para PC y valor presente neto con referencia año 2009 para los escenarios con tasa de descuento

#### 4 CONCLUSIONES

- La valoración realizada permitió identificar que el beneficio económico de la reducción en el número de casos de morbilidad y mortalidad debido a

la implementación del plan de descontaminación es cercano a 16.0 billones de pesos para el periodo 2010-2020. Esto representa el 0.8% del PIB de la ciudad para el mismo periodo.

- El mayor componente del costo evitado con la implementación del plan de descontaminación corresponde a la valoración de los casos evitados en mortalidad.
- Los costos evitados en morbilidad por la implementación del plan se estiman en cerca de 470,000 millones de pesos.
- Los resultados del presente estudio permitieron corroborar la magnitud del impacto de la contaminación atmosférica sobre la población infantil (menores de 5 años). En términos de hospitalización cerca del 72% de los casos evitados corresponde a niños menores de 5 años. La reducción propuesta por el plan de descontaminación representaría una reducción cercana a las 27,500 hospitalizaciones por causas respiratorias en niños, 74,000 atenciones en salas ERA y alrededor de 5,500 casos evitados en Unidades de Cuidados Intensivos. Adicionalmente, 1,500 casos de mortalidad potencialmente evitables.
- La implementación del plan evitaría alrededor de 13,700 muertes para el periodo 2010-2020 por exposición crónica, en la población mayor a 30 años de edad. El número de muertes evitadas al año por esta causa alcanzaría en el año 2020 alrededor de 3,000 casos evitados.
- Los resultados obtenidos muestran un alto impacto derivado de la implementación del plan de descontaminación, no solo en términos económicos sino sociales (casos de mortalidad evitados y efectos en población infantil) y constituyen una razón de peso para priorizar la inversión en el control de la contaminación atmosférica en la ciudad de Bogotá.

#### 5 AGRADECIMIENTOS

Este estudio hizo parte de la elaboración del plan decenal de descontaminación de Bogotá, proyecto elaborado entre la Secretaría Distrital de Ambiente

de Bogotá, Transmilenio y la Universidad de los Andes. El autor agradece la valiosa contribución de Juan Carlos Correa de la Fundación Santa Fe de Bogotá y Ana María Ibáñez de la Facultad de Economía, Universidad de los Andes, quienes fueron jurados de esta tesis y de Eduardo Behrentz, director del trabajo. Asimismo, la asesoría de Luis Jorge Hernández de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, Juan Pablo Ramos del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de los Andes y Mónica Espinosa del Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR) de la Universidad de los Andes.

## 6 REFERENCIAS

- American Heart Association (AHA). 2008. Heart Disease and Stroke Statistics-2008 Update: A Report From the American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. *Circulation*. Journal of the American Heart Association, 117(4): e25-e146.
- American Thoracic Society. 1996. Health Effects of Outdoor Air Pollution. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 153(1): 3-50 y 153(2): 477-498.
- Arigoni Ortiz, R., Markandya, A., & Hunt, A. 2009. Willingness to Pay for Mortality Risk Reduction Associated with Air Pollution in São Paulo. *RBE*: 3-22.
- Bell, L., et al. 2006. The Avoidable Health Effects of Air Pollution in three Latin American cities: Santiago, Sao Paulo and Mexico City. *Environmental Research*. 100. 431-440.
- Bowland, B., & Beghin, J. 2001. Robust estimates of value of a statistical life for developing economies. *Journal of Policy Modeling*: 385-369.
- Brouwer, R. 2000. Environmental value transfer: state of the art and future prospects. *Ecological economics*: 137-152.
- Bustillo, A. M. 2009. Valoración del Impacto del Material Particulado en Enfermedades Asociadas con la Contaminación del Aire. Tesis de Maestría. Universidad de los Andes. Bogotá.
- Calixto, D.C. & Díaz, A.V. 1995. Valoración económica del Impacto Ambiental del Aire sobre la salud de habitantes menores de 5 años en Bogotá. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Javeriana, Bogotá
- Carriazo, F., Ibáñez, A. M., & García, M. 2003. Valoración de los beneficios económicos provistos por el sistema de parques nacionales naturales: una aplicación del análisis de transferencia de beneficios. Bogotá.
- Cesar, H. 2002. Improving Air Quality in Metropolitan Mexico City: An Economic Valuation. Policy Research Working Paper 2785, Latin America and Caribbean Environment Department, World Bank, Environmentally and Socially Sustainable Development Sector Unit, México D.F
- Cifuentes, L.A.; Krupnick, A.J.; O’Ryan, R.; Toman, M.A. 2005. Urban Air Quality and Human Health in Latin America and the Caribbean. Interamerican Development Bank. Washington.
- Clean Air for Europe (CAFE). 2005. Methodology Paper for the Cost-Benefit Analysis for CAFE. Volume 2: Health Impact Assessment. European Commission DG Environment.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. 2005. CONPES 3344: Lineamientos para la Formulación de la Política de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica. Bogotá.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2004. Air Quality Criteria for Particulate Matter. Volume II. National Center for Environmental Assessment-RTP Office. Office of Research and Development.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2004a. The Integrated Environmental Strategies Handbook: A Resource Guide for Air Quality Planning.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2004b. Value of Statal Life Analysis and Environmental Policy: A White Paper. National Center for Environmental Economics.
- Freeman III, A. M. 2003. *The Measurement of Environmental and Resource Values*. Washington: RFF Press book.
- Griffin, R. D. 2007. Principles of Air Quality Management (2nd Ed. ed.). Taylor & Francis Group.
- Gouveia, N., Mendonça, G. A., Ponce de Leon, A., de Menezes Correia, J. E., Junger, W. L., de Freitas, C. U., Paiva Dumas, R., Martis, L.C., Giussepe, L., Conceição G.M.S., Manerich A., & Cunha-Cruz, J. 2003. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 12(1): 29-40.
- Guh, S., et al. 2008. Comparison of cost-of-illness with willingness-to-pay estimates to avoid shigellosis: evidence from China. *Health Policy and Planning* 2008;23:125-136
- Hernandez, L.J., 2009. Asociación entre la Contaminación el Aire y la Morbilidad por Enfermedad Respiratoria Aguda en Menores de 5 Años en Tres Localidades de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Programa de Doctorado en Salud Pública. Tesis Doctoral
- Ibáñez, A. M., & McConnell, K. 2001. Valuing Morbidity: Acute Respiratory Illnesses in Bogota, Colombia. Draft. Department of Agricultural and Resource Economics. University of Maryland. College Park. Paper prepared for AERE Workshop
- Ibáñez, A. M., & Uribe, E. 2002. Medio Ambiente y Desarrollo Económico: priorización de la inversión ambiental con criterios económicos. Banco Interamericano de Desarrollo. Bogotá, Colombia.
- Ibáñez, A. M. 2003. Benefits and Costs of Environmental Policy in Colombia: A Review of Valuation Studies. Bogotá. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2005. Evaluación Económica de los Beneficios y Costos de la Política y las Normas de Calidad de Aire en Colombia. Anexo 2. Bogotá.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2005a. Documento Soporte Norma de Calidad del Aire.
- Instituto de Seguridad Social (ISS), Asociación Colombiana de Facultades de Medicina (ASCOFAME). 1998. Guías de Práctica Clínica Basadas en la Evidencia. Infección Respiratoria Aguda.
- Larsen, B. 2004. Cost of Environmental Damage: A Socio-Economic and Environmental Health Risk Assessment. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), Bogotá.
- Le Tertre, A., et al., 2002. Short-term effects of particulate air pollution on cardiovascular diseases in *eight European ci-*

- ties. *J Epidemiology Community Health*. 56 (10): p. 773-779.
- Liao, L., Jollis, J. G., Anstrom, K. J., Whellan, D. J., Kitzman, D. W., Aurigemma, G. P., Marck, D. B., Schulman, K. A., & Gottdiener, J.S. 2006. Costs for Heart Failure With Normal vs Reduced Ejection Fraction. *Arch Intern Med*, 166: 112-118.
- Llorca, J., Fariñas-Álvarez, C., & Delgado-Rodríguez, M. 2001. Fracción atribuible poblacional: cálculo e interpretación. *Gaceta Sanitaria*, 15(1): 61-67.
- Loomis, D., et al. 1999. Air pollution and infant mortality in Mexico City. *Epidemiology* 10, 118-123.
- Lozano, N. 2004. A Concentration-Response Approach for Air Pollution in Bogota. *Desarrollo y Sociedad*. Facultad de Economía. Universidad de los Andes, ISSN 1900-7760 (54): 133-177.
- Mendieta, J.C. 2005. Manual de valoración económica de bienes no mercadeables. Documento CEDE. Centro de estudios sobre desarrollo económico. Facultad de economía. Universidad de los Andes.
- Miller, B., & Hurley, J. 2002. Life table methods for quantitative impact assessments in chronic mortality. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 200-206.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). 2003. Metodologías para la Valoración Económica de Bienes, Servicios Ambientales y Recursos Naturales.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). 2008. Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Manual para la Elaboración de Planes de Gestión de la Calidad del Aire. Contrato FONADE 2062438, Bogotá.
- Montealegre M. 1993. Afecciones respiratorias y contaminación del aire en Santafé de Bogotá, Una aplicación de la regresión Lave-Seskin. Programa de Economía para Graduados, Facultad de Economía, Universidad de los Andes.
- Muñoz, N., & Behrentz, E. 2009. Compilación y Análisis de Datos Epidemiológicos en Bogotá. Tesis de Grado de Maestría, Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil & Ambiental, Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana Regional (SUR), Bogotá.
- Ostro, B., Sánchez, J. M., Aranda, C., & Eskeland, G. 1995. Air Pollution and Mortality: Results from a Study of Santiago, Chile. The World Bank, Policy Research Department, Public Economic Division, Policy Research Working Paper 1453.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). 2005. Evaluación de los Efectos de la Contaminación del Aire en la Salud de América Latina y el Caribe. Organización Mundial de la Salud, Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, Washington D.C.
- Pérez, L., et al. 2009. Estimating the health and economic benefits associated with reducing air pollution in the Barcelona metropolitan area (Spain). *Gaceta Sanitaria*, 23 (4), 287-294
- Pope, C. I., Burnett, R., & Thun, M. 2002. Lung Cancer, Cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of the American Medical Association*, (287): 1132-1141.
- Rodríguez, A.A. 1999. Valoración Económica de los Efectos de la Contaminación del Aire sobre la Salud de los habitantes de Santa Fe de Bogotá. Tesis de Maestría. Universidad de los Andes. Bogotá.
- Rööslí, M., Künzli, N., Braun-Fahrländer, C., & Egger, M. 2005. Years of life lost attributable to air pollution in Switzerland: dynamic exposure-response model. *International Journal of Epidemiology*, 1029-1035
- Saavedra, S. 2009. Estimación de una tasa social de descuento ambiental para Colombia. Memoria de grado; pregrado en Economía. Facultad de Economía. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.
- Sánchez, J. M., Ostro, B., & Valdés, S. 1998. Estimación de los Beneficios en Salud del Plan de Descontaminación de Santiago. Santiago de Chile, CONAMA.
- Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) & Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR). 2008. Definición de elementos técnicos para la formulación de políticas distritales encaminadas al mejoramiento de la calidad del aire en Bogotá. Universidad de los Andes, Bogotá.
- Solarte, I. 1999. Contaminación Atmosférica y Enfermedad Respiratoria en niños menores de 14 años en Santa Fe de Bogotá. Universidad Javeriana, Bogotá.
- Urdaneta S. 1999. Mortalidad por infecciones respiratorias agudas (IRA) y Contaminación del Aire: Una estimación de funciones dosis-respuesta para Santafé de Bogotá. Universidad de los Andes, Bogotá.
- World Bank. 2006. Vulnerability to Air Pollution in Latin America and the Caribbean Region. Sustainable Development Working Paper No 28.
- World Economic Outlook Database. April 2010. International Monetary Fund. Disponible en línea.
- World Health Organization. 2002. The World Health Report 2002: Reducing Risks, Promoting Healthy Life. Geneva. Switzerland.
- World Health Organization. 2005. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment.
- World Health Organization. 2005a. An Assessment of Health Effects of Ambient Air Pollution in Latin America and the Caribbean. Pan-American Health Organization Office: Washington, DC.

## Anexo 1. Estudios incluidos en la revisión Colombia.

**Tabla 1.** Cuadro resumen de los casos de estudio analizados.

Autor	Objetivo	Efectos en salud (Número de casos)			Costo evitado		
		Morbilidad <sup>1</sup>	Mortalidad <sup>1</sup>	Metodología	Morbilidad	Mortalidad	Metodología
IDEAM (2005)	Estimación de beneficios en salud de la reducción de la contaminación atmosférica en Bogotá <sup>2</sup>	Días de actividad restringida: 2'500,000 Síntomas respiratorios: 15'000,000 Ataques de asma: 9'600,000 Consultas por síntomas respiratorios: 2'250,000 Hospitalizaciones por síntomas respiratorios: 675,000 Consultas por ataques de asma: 1'440,000 Hospitalizaciones por asma: 430,000	760 casos	Funciones dosis-respuesta  (valores internacionales y nacionales Solarte)	1.0 billón de pesos 2004  0.75 billones de pesos 2000	0.24 billones de pesos 2004  0.18 billones de pesos 2000	<u>Morbilidad:</u> costos del tratamiento + días de actividad restringida  <u>Mortalidad:</u> VSL
LARSEN (2004)	Estimación de efectos y costos en salud asociados a la contaminación atmosférica en el país	Bronquitis crónica: 740 Admisiones hospitalarias: 12,970 Admisiones a urgencias: 255,000 Días de actividad restringida: 42'000,000 Síntomas respiratorios en sistema respiratorio inferior en niños: 585,000 Síntomas respiratorios: 135'000,000	6,040 casos	Funciones dosis-respuesta  (valores internacionales)	0.52 billones de pesos 2004  0.39 billones de pesos 2000	0.2-1.765 billones de pesos 2004  0.15-1.32 billones de pesos 2000	<u>Morbilidad:</u> costos tratamiento + días actividad restringida + dolor e incomodidad  <u>Mortalidad:</u> HCA <sup>3</sup> y VSL <sup>4</sup>
SOLARTE (1999)	Determinación de relación PM <sub>10</sub> y morbilidad por ERA <sup>5</sup> en niños menores de 14 años en Bogotá y estimación de costos	Un aumento de 10 µg/m <sup>3</sup> de PM <sub>10</sub> genera un aumento del 8% en las consultas por síntomas respiratorios en niños menores de 14 años	---	Estudio de cohorte	1,200 millones de pesos 1999  1,310 millones de pesos 2000	---	Costos de tratamiento
IBÁÑEZ (2001)	DAP <sup>8</sup> por evitar episodios de ERA en Bogotá	Encuesta sobre síntomas respiratorios agudos. Episodio suave - episodio fuerte	---	---	22.77 - 26.85 US\$ 2002 / habitante-día  40,000-47,000 pesos 2000/ habitante-día	---	DAP <sup>8</sup> calculado para Colombia por medio de encuestas
LOZANO (2004) <sup>6</sup>	Estimación de función dosis respuesta para HRA en Bogotá	Un aumento del 25% en la concentración de PM <sub>10</sub> , implicaría en un aumento del 22% en el número de admisiones hospitalarias por síntomas respiratorios. Estimación a partir de función dosis respuesta	---	Bases de datos, función logarítmica	69,000-106,000/día US\$ 1995  50,000-77,000/año millones pesos 2000	---	DAP <sup>8</sup> (valores de EEUU corregidos por PIB)

<sup>1</sup>Para el caso de Larsen corresponde al número de casos (en morbilidad y mortalidad) atribuibles anualmente a la contaminación atmosférica. En el caso de IDEAM 2005 corresponde al número de casos evitados por una reducción de 10 µg/m<sup>3</sup> en la concentración de PM<sub>10</sub>. <sup>2</sup>Se consignan en la tabla los resultados de la evaluación la reducción de 10 µg/m<sup>3</sup> en la concentración de PM<sub>10</sub>. <sup>3</sup>Enfoque en capital humano (Human capital approach). <sup>4</sup> Valor estadístico de la vida (Statistical value of life-SVL). <sup>5</sup>Enfermedad respiratoria aguda. <sup>6</sup>El año del estudio es 1998. La referencia bibliográfica es 2004. <sup>7</sup>Admisiones hospitalarias por enfermedad respiratoria. <sup>8</sup> Disponibilidad a pagar.

**Tabla 2.** Otros estudios de valoración en salud realizados en Colombia.

Autor	Título	Análisis realizado	Efectos en salud (Número de casos)			Valoración económica		
			Morbilidad	Mortalidad	Metodología	Resultados		Metodología
Bustillo (2008)	Valoración del impacto del material particulado en enfermedades asociadas con la contaminación del aire	Valoración económica de los efectos en salud de la contaminación en Bogotá. Análisis para los años 2004 – 2007 por una disminución en 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{10}$	Causas respiratorias: 401,003  Causas cardiovasculares: 211,658	Causas respiratorias: 222  Causas cardiovasculares: 785	Función dosis-respuesta a partir de bases de datos.	Morbilidad <sup>1</sup> : 0.9 billones 2006  0.6 billones de pesos año 2000	Mortalidad <sup>1</sup> : 1.7 billones 2006/año  1.2 billones de pesos año 2000	Morbilidad: costos de tratamiento  Mortalidad: VSL <sup>2</sup> (VSL de Chile)
Rodriguez (1999)	Valoración económica de los efectos de la contaminación del aire sobre la salud de los habitantes de Santafé de Bogotá	Valoración de la DAP <sup>3</sup> de los habitantes de Bogotá por la reducción en los niveles de contaminación del aire	----	----	----	Disminución de 1 $\mu\text{g}$ PST: \$4,283 pesos/hogar/año	Disminución de 1 ppb $\text{SO}_2$ : \$6,602 pesos/hogar/año	DAP
Urdaneta (1998)	Mortalidad por infecciones respiratorias agudas (IRA) y contaminación del aire: una estimación de funciones dosis-respuesta para Santafé de Bogotá	Estimación de la relación entre $\text{PM}_{10}$ y la mortalidad por IRA por grupos etarios en Bogotá	----	Establece una relación positiva entre concentración partículas suspendidas y su incidencia en la muerte por IRA	Análisis a partir de bases de datos	----	----	----
Calixto y Díaz (1995)	Valoración económica de la contaminación del aire: impactos sobre la salud de los niños menores de 5 años de edad en Santa Fe de Bogotá	Valoración del impacto en la salud (IRA, neumonía, influenza, bronquitis, enfisema y asma) de los niños menores de 5 años por efecto de los contaminantes en el ambiente. Se analizan mediante un promedio ponderado de los contaminantes en unidades estandarizadas	Aumento del 1% en el nivel de los contaminantes genera aumento de 3.3% en morbilidad (niños menores de 5 años)	----	Análisis de función dosis-respuesta a partir de bases de datos. Se evalúan de forma integrada los contaminantes	Morbilidad: \$184 - \$915 millones de pesos 1995  \$400 - \$2,000 millones de pesos año 2000		Costo Social Marginal
Montealegre (1993)	Afecciones respiratorias y contaminación del aire en Santafé de Bogotá, una aplicación de la regresión Lave-Seskin	Establecer la relación entre la contaminación del aire y morbilidad por enfermedades del sistema respiratorio. Análisis de contaminantes criterio	Reducción del 1% en PST reduce: 0.05% hospitalización, 0.04% neumonía, 0.04% bronquitis, enfisema y asma	Reducción de 1% en sulfuros y PST: reducción de 0.12% en mortalidad.	Análisis a partir de bases de datos usando función Lave-Seskin.	\$1,200 millones de pesos <sup>4</sup> 1993  \$3,900 millones de pesos año 2000		Costos de Tratamiento

<sup>1</sup>Morbilidad y Mortalidad asociadas a una disminución de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la concentración de  $\text{PM}_{10}$ . <sup>2</sup>Valor estadístico de la vida – Statical Value of Life. <sup>3</sup>Disposición a pagar (WTP – Willingness to Pay

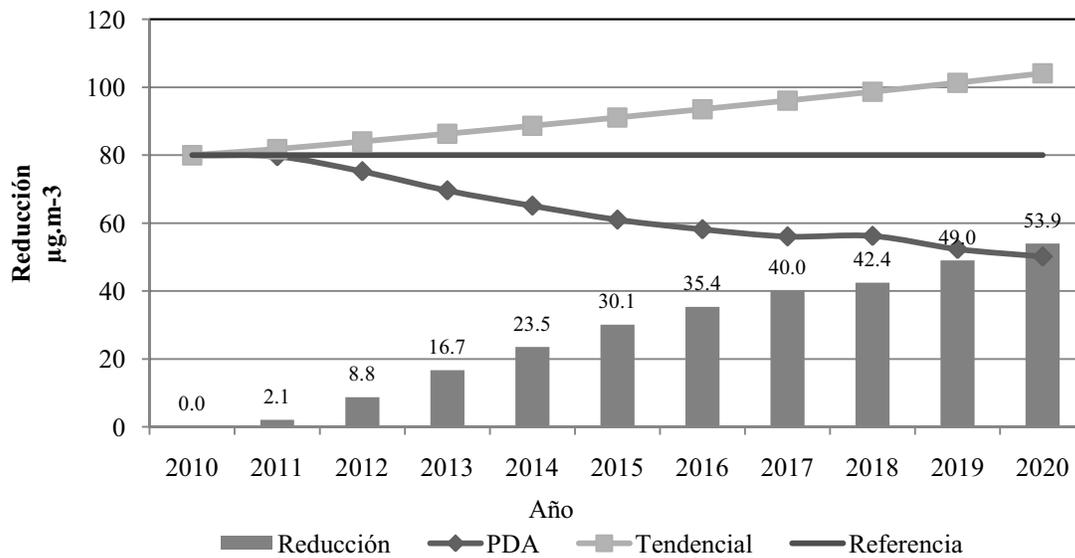
<sup>4</sup>Estimando una reducción del 40% en la concentración de  $\text{PM}_{10}$  esto equivale al cumplimiento de la norma.

**Anexo 2.** Elementos para la evaluación de los beneficios en salud.

1. Escenarios de evaluación.

Tabla 1. Escenarios de concentración evaluados.

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Escenario Tendencial	80.0	81.8	84.0	86.3	88.6	91.0	93.5	96.1	98.6	101.3	14.1
Escenario con plan	80.0	79.6	75.2	69.6	65.1	61.0	58.1	56.0	56.2	52.3	50.1
Referencia	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0	80.0



**Figura 1.** Escenarios de evaluación.

## 2. Proyección de crecimiento poblacional – Bogotá (2010-2020)

Se presentan en las tablas 1 y 2 los datos de proyección poblacional usados en la valoración. Los datos fueron obtenidos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

**Tabla 1.** Proyección poblacional, periodo 2010-2020.

Edad	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0	119,681	120,106	120,482	120,823	121,133	121,437	121,693	122,009	122,315	122,676	123,076
1	118,987	119,734	120,064	120,400	120,708	120,998	121,493	121,742	122,036	122,359	122,727
2	118,532	119,133	119,780	120,019	120,323	120,603	121,097	121,555	121,775	122,074	122,412
3	118,310	118,737	119,273	119,824	119,977	120,250	120,741	121,201	121,623	121,818	122,127
4	118,324	118,547	118,935	119,411	119,871	119,942	120,425	120,883	121,312	121,701	121,875
5	118,056	118,464	118,833	119,228	119,626	119,926	120,280	120,674	121,075	121,458	121,794
6	118,651	118,379	118,730	119,043	119,381	119,701	120,134	120,465	120,837	121,213	121,569
7	119,498	118,879	118,696	118,994	119,256	119,541	119,969	120,346	120,659	121,010	121,366
8	120,550	119,680	119,101	119,013	119,262	119,477	119,862	120,242	120,567	120,862	121,198
9	121,752	120,788	119,856	119,322	119,332	119,537	119,833	120,187	120,522	120,798	121,081
10	123,037	121,985	121,019	120,030	119,546	119,659	119,918	120,193	120,521	120,813	121,043
11	124,332	123,353	122,272	121,248	120,208	119,777	120,068	120,303	120,562	120,866	121,120
12	125,684	124,697	123,722	122,620	121,482	120,392	120,208	120,482	120,698	120,942	121,226
13	127,084	126,108	125,124	124,153	123,033	121,723	120,866	120,643	120,904	121,104	121,337
14	128,420	127,583	126,598	125,622	124,651	123,517	122,276	121,346	121,088	121,339	121,525
15	129,765	128,999	128,143	127,160	126,193	125,219	124,044	122,836	121,836	121,546	121,790
16	131,309	130,419	129,625	128,761	127,794	126,840	125,832	124,639	123,408	122,339	122,019
17	131,794	132,040	131,107	130,294	129,440	128,501	127,538	126,514	125,308	123,992	122,858
18	130,666	132,564	132,790	131,822	131,001	130,175	129,252	128,308	127,271	126,053	124,594
19	128,579	131,421	133,340	133,552	132,555	131,741	130,934	130,073	129,159	128,106	126,878
20	126,541	129,280	132,165	134,111	134,310	133,296	132,474	131,738	130,960	130,089	129,024
21	124,110	127,188	129,957	132,893	134,862	135,051	134,003	133,217	132,582	131,919	131,103
22	123,067	124,698	127,797	130,605	133,591	135,577	135,727	134,686	133,964	133,465	132,948
23	124,323	123,594	125,232	128,367	131,220	134,245	136,207	136,348	135,339	134,706	134,385
24	126,938	124,789	124,055	125,717	128,896	131,791	134,811	136,760	136,898	135,948	135,439
25-29	653,832	652,621	647,104	639,925	635,244	635,633	640,632	650,902	663,785	674,892	681,661
30-34	613,985	627,428	639,309	648,859	655,158	657,874	656,790	651,442	644,486	640,069	640,629
35-39	537,559	549,179	564,579	582,200	599,504	614,779	628,185	640,060	649,707	656,252	659,323
40-44	520,061	521,551	522,395	523,965	528,238	536,343	547,958	563,389	581,065	598,447	613,854
45-49	495,361	503,618	509,122	512,515	514,821	516,837	518,352	519,261	520,926	525,310	533,554

Edad	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
50-54	414,252	431,580	448,718	464,821	478,709	489,703	497,879	503,389	506,868	509,299	511,478
55-59	321,090	337,090	353,888	371,249	388,770	406,084	423,052	439,872	455,762	469,570	480,594
60-64	244,282	256,642	269,007	281,693	295,228	309,925	325,516	341,916	358,802	375,761	392,504
65-69	175,590	185,477	196,057	207,178	218,601	230,197	241,887	253,646	265,872	279,068	293,398
70-74	122,464	127,792	134,186	141,559	149,789	158,670	167,928	177,853	188,188	198,716	209,398
75-79	84,141	87,224	90,537	94,219	98,439	103,406	107,806	113,108	119,382	126,640	134,870
> 80	83,175	86,437	89,747	93,151	96,693	100,416	104,331	108,506	112,985	117,810	123,024
TOTAL	7,363,782	7,467,804	7,571,345	7,674,366	7,776,845	7,878,783	7,980,001	8,080,734	8,181,047	8,281,030	8,380,801

**Tabla 2.** Proyección poblacional por grupos de interés, periodo 2010-2020.

Edad	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
< 1 año	119,681	120,106	120,482	120,823	121,133	121,437	121,693	122,009	122,315	122,676	123,076
< 5 años	593,834	596,257	598,534	600,477	602,012	603,230	605,449	607,390	609,061	610,628	612,217
> 5 años	6,769,948	6,871,547	6,972,811	7,073,889	7,174,833	7,275,553	7,374,552	7,473,344	7,571,986	7,670,402	7,768,584
> 30 años	3,611,960	3,714,018	3,817,545	3,921,409	4,023,950	4,124,234	4,219,684	4,312,442	4,404,043	4,496,942	4,592,626
TOTAL	7,363,782	7,467,804	7,571,345	7,674,366	7,776,845	7,878,783	7,980,001	8,080,734	8,181,047	8,281,030	8,380,801

### 3. Evaluación anual del riesgo relativo.

En las tablas 1 y 2 se presenta la evaluación anual del RR en el escenario de referencia comparado con el escenario con plan y escenario de referencia comparado con el escenario tendencial. Los valores de RR que se presentan se encuentran afectados según los cambios en la concentración de PM para cada escenario. En el escenario de referencia se considera que la concentración se mantiene constante durante todo el periodo (2010-2020). Para una concentración de PM<sub>10</sub> igual a la del escenario de referencia el RR=1.0, si la concentración es mayor, el RR se hace mayor a 1.0 (aumenta el riesgo) y si es menor el RR es menor a 1.0 (disminuye el riesgo).

**Tabla 1. Evaluación anual del riesgo relativo para los efectos evaluados - Escenario con plan frente a escenario de referencia.**

Efecto	Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Mortalidad por exposición crónica (< 1 año) (RR)	Inferior	1.000	1.000	0.998	0.996	0.993	0.991	0.989	0.987	0.985	0.982	0.980
	Central	1.000	1.000	0.995	0.987	0.980	0.973	0.967	0.961	0.958	0.950	0.943
	Superior	1.000	0.999	0.990	0.977	0.965	0.953	0.942	0.932	0.926	0.913	0.902
Mortalidad infantil (< 1 año) (RR)	Inferior	1.000	1.000	0.994	0.987	0.982	0.977	0.974	0.971	0.971	0.967	0.964
	Central	1.000	0.999	0.984	0.966	0.952	0.939	0.930	0.924	0.924	0.912	0.906
	Superior	1.000	0.998	0.975	0.946	0.924	0.904	0.890	0.880	0.881	0.863	0.853
Admisiones hospitalarias (causas respiratorias) (<5 años) (RR)	Inferior	1.000	1.000	0.998	0.996	0.994	0.992	0.991	0.990	0.991	0.989	0.988
	Central	1.000	0.999	0.991	0.981	0.973	0.966	0.961	0.957	0.958	0.951	0.947
	Superior	1.000	0.999	0.989	0.976	0.965	0.956	0.950	0.945	0.945	0.937	0.932
Admisiones hospitalarias (causas cardiovasculares) (RR)	Inferior	1.000	1.000	0.999	0.997	0.996	0.994	0.993	0.993	0.993	0.992	0.991
	Central	1.000	1.000	0.997	0.994	0.991	0.989	0.987	0.986	0.986	0.984	0.982
	Superior	1.000	1.000	0.996	0.991	0.987	0.983	0.981	0.979	0.979	0.976	0.974

**Tabla 2. Evaluación anual del riesgo relativo para los efectos evaluados. Escenario tendencial frente a escenario de referencia.**

Efecto	Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Mortalidad por exposición crónica (< 1 año) (RR)	Inferior	1.000	1.001	1.002	1.003	1.004	1.006	1.007	1.009	1.011	1.013	1.016
	Central	1.000	1.002	1.005	1.008	1.012	1.017	1.022	1.027	1.033	1.040	1.048
	Superior	1.000	1.004	1.009	1.015	1.022	1.030	1.039	1.049	1.061	1.074	1.088
Mortalidad infantil (< 1 año) (RR)	Inferior	1.000	1.002	1.005	1.008	1.011	1.014	1.017	1.020	1.023	1.026	1.030
	Central	1.000	1.006	1.013	1.021	1.029	1.037	1.046	1.055	1.064	1.073	1.083
	Superior	1.000	1.010	1.022	1.034	1.047	1.061	1.075	1.090	1.105	1.121	1.137
Admisiones hospitalarias (causas respiratorias) (<5 años) (RR)	Inferior	1.000	1.001	1.002	1.003	1.003	1.004	1.005	1.006	1.007	1.009	1.010
	Central	1.000	1.003	1.007	1.012	1.016	1.020	1.025	1.030	1.035	1.040	1.045
	Superior	1.000	1.004	1.010	1.015	1.021	1.027	1.033	1.039	1.045	1.052	1.059
Admisiones hospitalarias (causas cardiovasculares) (RR)	Inferior	1.000	1.001	1.001	1.002	1.003	1.003	1.004	1.005	1.006	1.006	1.007
	Central	1.000	1.001	1.002	1.004	1.005	1.007	1.008	1.010	1.011	1.013	1.015
	Superior	1.000	1.002	1.004	1.006	1.008	1.010	1.012	1.015	1.017	1.019	1.022

### Anexo 3. Información soporte de costos

#### 1. Valores unitarios: costos de atención.

**Tabla 1.** Costos de atención: causas respiratorias (pesos colombianos, 2009).

<b>1. Admisión Hospitalaria.</b>					
Código manual tarifario	Descripción	Valor unitario	Cantidad	Valor Total	Observaciones
38121	Habitación unipersonal - Nivel II	\$ 152,880	5	\$ 764,398	5 días promedio de estancia (niños y adultos mayores)
29117	Sesión terapia respiratoria: higiene bronquial (espirómetro incentivo, percusión, drenaje y ejercicios respiratorios).	\$ 35,000	15	\$ 525,000	3 sesiones por día
	Total Admisión Hospitalaria			\$1,289,398	
<b>2. Atención en Urgencias.</b>					
Código manual tarifario	Descripción	Valor unitario	Cantidad	Valor Total	Observaciones
39145	Consulta de urgencias			\$ 32,630	
38925	Sala de observación - Nivel II			\$ 46,874	
29117	Sesión terapia respiratoria: higiene bronquial (espirómetro incentivo, percusión, drenaje y ejercicios respiratorios).	\$ 40,000	5	\$ 200,000	
39143	Consulta ambulatoria de medicina especializada			\$ 28,655	
	Total Atención en Urgencias			\$ 308,159	
<b>3. Unidad de Cuidado Intensivo.</b>					
Código manual tarifario	Descripción	Valor unitario	Cantidad	Valor Total	Observaciones
38525	Sala Especial	\$ 823,363	8	\$ 6,586,906	
<b>4. Sala ERA.</b>					
Código manual tarifario	Descripción	Valor unitario	Cantidad	Valor Total	Observaciones
---	Sala ERA	\$ 45,000	1	\$ 45,000	Sesión de 3 horas

**Tabla 2.** Costos de atención: causas cardiovasculares (pesos colombianos, 2009).

<b>1. Admisión Hospitalaria.</b>					
Código manual tarifario	Descripción	Valor unitario	Cantidad	Valor Total	Observaciones
38121	Habitación unipersonal - Nivel II	\$152,880	5.5	\$ 840,838	(AHA, 2008)
25102	Electrocardiograma	\$27,164	1	\$27,164	
25115	Cateterismo izquierdo y derecho, con o sin angiografía	\$476,361	1	\$476,361	
39143	Consulta ambulatoria de medicina especializada			\$ 28,655	
	Total Admisión Hospitalaria			\$ 1,373,018	

## 2. Valores unitarios: pérdida de productividad.

**Tabla 3.** Pérdida de productividad (pesos colombianos, 2009)

Efecto	Días	Pproductividad
Admisiones hospitalarias: causas respiratorias	15	\$ 115,375
Admisiones hospitalarias: causas cardiovasculares	16.5	\$ 126,913
Consulta en urgencias: causas respiratorias	4	\$ 130,767
Visita a salas ERA	2	\$ 15.383
Atención en unidad de cuidados intensivos: causas respiratorias	32	\$ 246,133
Síntomas respiratorios: niños	3	\$ 23,075

Pproductividad: pérdida de productividad mínima, se evalúa con el 50% SMMLVD (\$7,691).

## 3. Evaluación de la disponibilidad a pagar.

**Tabla 4.** Valores de referencia para transferencia de beneficio. US\$ corrientes

Efecto	Chile <sup>a</sup> (1997)	México <sup>b</sup> (2000)	México <sup>b</sup> (2003)	Colombia <sup>d</sup> (1995)	Colombia <sup>d</sup> (1995)
Admisiones hospitalarias: causas respiratorias	2,050	153*	330*	628	410
Admisiones hospitalarias: causas cardiovasculares	2,622	153*	330*		
Atención en urgencias: causas respiratorias	190				
Síntomas respiratorios (< 5 años)	114				

<sup>a</sup>Sánchez (1998) valores transferidos. <sup>b</sup>Cifuentes (2005). <sup>c</sup>Lozano (2004), valores transferidos. \* Valor por día.

**Tabla 5.** Valores de referencia para VSL.

Ciudad	Autor	Estudio Base	VSL - USD			Título
			Inferior	Promedio	Superior	
Ciudad de Mexico	Hammitt, J., & Ibarrán, M. (2002).	Encuestas directas. (2002). Valores en dólares de 2002	150,000	325,000	500,000	Estimating the economic value of reducing health risks by improving air quality in Mexico City
Santiago de Chile	Bowland, B., & Beghin, J. (2001).	Transferencia de beneficios. A partir de estudios en países industrializados. Corrección por educación, ingresos y edad. (2001). Valores en USD PPP 2010	519,000	597,000	675,000	Robust Estimates of Value of a Statistical Life for Developing Economies. An Application to Pollution and Mortality in Santiago.
Sao Pablo	Arigoni Ortiz, R., Markandya, A., & Hunt, A. (2009).	Encuestas directas. (2009). Valores en USD de 2009	770,000	1,040,000	1,310,000	Willingness to Pay for Mortality Risk Reduction Associated with Air Pollution in São Paulo

**Tabla 6.** Base de datos de PIBpc en términos de PPP (fuente World Economic Outlook – Fondo Monetario Internacional)

Año	GDP PCapita PPP			
	Brasil	Mexico	Chile	Colombia
1990	5,335.4	7,272.1	4,809.1	4,023.7
1991	5,487.9	7,702.8	5,287.5	4,179.5
1992	5,497.0	8,022.5	5,976.3	4,376.6
1993	5,801.9	8,209.1	6,428.5	4,636.9
1994	6,172.8	8,596.5	6,828.3	4,883.3
1995	6,466.3	8,089.9	7,594.4	5,150.2
1996	6,628.9	8,535.3	8,191.7	5,253.4
1997	6,868.9	9,140.4	8,771.8	5,423.5
1998	6,845.9	9,562.3	9,037.8	5,412.9
1999	6,861.0	9,939.7	9,017.5	5,165.2
2000	7,203.5	10,672.6	9,501.5	5,337.4
2001	7,353.8	10,651.7	9,934.3	5,480.0
2002	7,559.8	10,769.3	10,189.3	5,606.3
2003	7,697.9	11,044.3	10,712.6	5,890.5
2004	8,231.3	11,824.2	11,454.7	6,265.3
2005	8,603.4	12,489.9	12,240.5	6,744.6
2006	9,167.5	13,440.2	13,067.5	7,331.1
2007	9,854.3	14,159.2	13,926.4	7,982.9
2008	10,465.8	14,534.1	14,528.9	8,229.1
2009	10,455.6	13,541.6	14,299.4	8,205.8
2010	10,882.4	14,056.2	14,922.4	8,405.7
2011	11,327.3	14,806.5	15,627.0	8,727.8
2012	11,838.6	15,741.1	16,532.2	9,181.3
2013	12,421.2	16,738.7	17,520.4	9,675.3

**Tabla 7.** Base de datos de inflación (fuente World Economic Outlook – Fondo Monetario Internacional)

Año	Inflación Anual			
	Brasil	Chile	Colombia	México
1990	---	27.2	32.4	---
1991	---	18.8	26.8	---
1992	---	12.9	25.1	---
1993	---	12.6	22.6	---
1994	---	9.2	22.6	---
1995	---	8.3	19.5	---
1996	---	6.6	21.6	---
1997	---	6.0	17.7	---
1998	---	4.7	16.7	---
1999	---	2.3	9.2	---
2000	6.0	4.6	8.8	9.0
2001	7.7	2.7	7.6	4.4
2002	12.5	2.9	7.0	5.7
2003	9.3	1.1	6.5	4.0
2004	7.6	2.4	5.5	5.2
2005	5.7	3.7	4.9	3.3
2006	3.1	2.6	4.5	4.1
2007	4.5	7.8	5.7	3.8
2008	5.9	7.6	7.7	6.5
2009	4.2	-0.5	3.8	4.3
2010	4.4	2.5	3.6	3.2
2011	4.5	3.0	3.6	3.0
2012	4.5	3.0	3.5	3.0
2013	4.5	3.0	3.3	3.0