

**ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS EN SALUD CAUSADOS POR LA PRESENCIA
DEL PM10 EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE PALMIRA**

**ANA MARÍA MEJÍA GIRALDO
CÓDIGO: 0551695**

**KEWIN EDUARDO RAMÍREZ VARELA
CÓDIGO: 0551762**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE PALMIRA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADÍSTICA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
PALMIRA
2011**

**ESTIMACION DE LOS COSTOS EN SALUD CAUSADOS POR LA PRESENCIA
DEL PM10 EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE PALMIRA**

ANA MARÍA MEJÍA GIRALDO

CÓDIGO: 0551695

KEWIN EDUARDO RAMÍREZ VARELA

CÓDIGO: 0551762

Trabajo de Grado presentado para optar el Título de Ingeniero Industrial

Director

JUAN CARLOS BURBANO

Ingeniero Ambiental

Codirectora

LUZ ADRIANA GIRALDO

Economista

**UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE PALMIRA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADÍSTICA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
PALMIRA
2011**

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Palmira, febrero 16 de 2011

AGRADECIMIENTOS

Ante todo y por encima de todo agradezco a mi creador, a mi **DIOS** que está por sobre todas las cosas en este mundo, por darme esto tan hermoso que llamamos *vida* y por darme motivos para seguir siempre adelante.

Agradezco a mis padres por toda su atención brindada, por tratar de creer en mí y por haber colaborado económicamente en mis estudios brindarme su hogar y una familia en quien contar.

A mis dos hermanos Miguel y Brandon, por ver en mí un ejemplo vivo a seguir; en especial agradezco a ellos, porque en estos momentos son el motivo por el cual deseo siempre continuar adelante, sin ellos hoy mi vida no tendría sentido.

A todos mis compañeros y amigos de la Universidad del Valle, en especial a Lina Osorio por ser el gradiente emocional en mi carrera, mi apoyo incondicional y regalarme todo su amor, por tolerarme tanto y brindarme una segunda familia en quien poder confiar.

A nuestro director de trabajo de grado, al ingeniero ambiental Juan Carlos Burbano, por creer desde un principio en nuestro potencial y por colaborar activamente en la realización de tan excelente proyecto. A nuestra codirectora, la economista Luz Adriana Giraldo quien aún sin pertenecer a nuestra sede, decidió abrirnos sus puertas, brindarnos su conocimiento del tema y colaborar en una de las etapas más cruciales de este trabajo.

A la Universidad del Valle, a sus profesores porque ellos depositaron en mí toda su sabiduría y aprendizaje. A todas las demás personas que de una u otra forma influenciaron positivamente con la realización de mi carrera, mil y mil gracias.

*"Vivir en un mundo sin percatarse del significado del mismo es como deambular por
una gran biblioteca sin tocar sus libros".*

The Secret Teaching of All Ages

Kewin.

Contenido

	Pág.
LISTA DE ANEXOS.....	8
LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE GRÁFICAS	12
LISTA DE ECUACIONES	13
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
INTRODUCCIÓN	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.1. ANTECEDENTES	20
1.2. ENUNCIADO DEL PROBLEMA	26
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	28
2. OBJETIVOS	29
2.1. OBJETIVO GENERAL	29
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
3. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	30
3.1. JUSTIFICACIÓN	30
3.2. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO	31
4. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN	32
4.1. MARCO CONTEXTUAL	32
4.1.1. Caracterización del Área de Estudio	32
4.1.1.1. Población, educación, vivienda, economía, hogares.	33

4.2. MARCO TEÓRICO	34
4.2.1. Enfoques para los Cambios en la Tasa de Mortalidad.....	40
4.2.1.1. El Método del Capital Humano	41
4.2.1.2. El Método de los Salarios Hedónicos	43
4.2.1.3. El Método de Valoración Contingente (MVC)	45
4.2.1.4. Valoración del Riesgo de Mortalidad en Colombia.....	51
4.2.2. Enfoques para los Costos en Morbilidad.....	53
4.2.2.1. Enfoque de los Costos Directos Asociados	53
4.2.2.2. Enfoque de los Gastos Preventivos	53
4.2.2.3. Enfoque de Valoración Contingente	53
4.2.3. El PM10 y su incidencia en Palmira	54
4.3. MARCO LEGAL	56
4.4. MARCO CONCEPTUAL	58
4.4.1. Contaminantes del Aire.....	58
4.4.1.1. Aire.....	58
4.4.1.2. Contaminación del Aire.....	59
4.4.1.3. Fuentes de Contaminación.....	59
4.4.2. Contaminación por Material Particulado	59
4.4.2.1. Clasificación del Material Particulado	60
5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	61
5.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	62
5.2. METODOLOGÍA E INCERTIDUMBRE EN EL USO DE LAS FDR.....	63
5.3. METODOLOGÍA PARA CAMBIOS EN LA TASA DE MORTALIDAD	66
5.3.1. Definición del bien a valorar	66
5.3.2. Población	67
5.3.3. Elementos de Simulación del Mercado.....	67

5.3.4.	Modalidad de la Entrevista.....	68
5.3.5.	Muestra	69
5.3.6.	Redacción y Estructura del Cuestionario	71
5.3.6.1.	Precios de partida y diseño óptimo del vector de pago	72
5.3.7.	Realización de las Entrevistas.....	85
5.4.	METODOLOGÍA APLICADA A LA VALORACIÓN EN MORBILIDAD ...	86
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	88
6.1.	CALIDAD AMBIENTAL EN EL ÁREA DE ESTUDIO	88
6.2.	ESTIMACIÓN NÚMERO DE CASOS EVITADOS EN SALUD	91
6.3.	VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS BENEFICIOS EN SALUD	96
6.3.1.	Valoración Económica del Riesgo en Mortalidad	97
6.3.1.1.	Estadísticas Descriptivas en el MVC	98
6.3.1.2.	Análisis Econométrico de la DAP	101
6.3.2.	Valoración Económica en Morbilidad	104
6.3.2.1.	Valoración Económica de Días de Actividad Restringida.....	105
6.3.2.2.	Valoración por Síntomas Respiratorios Agudos.....	106
6.3.2.3.	Valoración Económica por Ataques de Asma.....	108
6.3.3.	Valoración Económica Total de los Beneficios en Salud	108
7.	CONCLUSIONES.....	110
8.	RECOMENDACIONES	113
	BIBLIOGRAFÍA	116
	BIBLIOGRAFÍA REFERENCIADA	116
	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	125
	ANEXOS	126

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Plano Urbano Comunas Municipio de Palmira	127
Anexo B. Efecto de los Contaminantes Comunes del Aire	128
Anexo C. Valor Económico Total de un bien	129
Anexo D. Diseño de las Encuestas en el MVC	130
Anexo E. Estructura del Modelo de Hanemann	136
Anexo F. Modelo de la Encuesta	139
Anexo G. Cálculo límites máximos permisibles a condiciones locales	147
Anexo H. Proyecciones poblacionales de Palmira	148

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Superficie y área del municipio de Palmira	33
Tabla 2. Funciones Dosis-Respuesta para el PM10	38
Tabla 3. Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes.	57
Tabla 4. Valores propuestos aplicados para el Diseño de la Muestra	70
Tabla 5. Muestreo Estratificado por Comunas: Área urbana de Palmira	71
Tabla 6. Rango inferior superior y media DAP Encuesta Piloto	73
Tabla 7. Pruebas de Normalidad de la Pre encuesta.....	75
Tabla 8. Modelos Ajustados para obtener el “n” para cada “m”	77
Tabla 9. Pruebas de Error para los modelos	78
Tabla 10. Distribución de la cantidad Óptima de Pagos m* y Submuestras n*.....	79
Tabla 11. Factor de probabilidad	80
Tabla 12. Hoja de Excel usada para hallar el vector de pagos	81
Tabla 13. Modelos obtenidos de la hoja de cálculo	81
Tabla 14. Estadísticos de la simulación de los modelos propuestos	82
Tabla 15. Distribución de los precios de pago por Comunas.....	83
Tabla 16. Vectores de Pago a utilizar para la Encuesta Final.....	84
Tabla 17. Soluciones propuestas a los principales sesgos del MVC.	85
Tabla 18. Pm10 en la atmósfera de los municipios del Valle del Cauca.....	91
Tabla 19. Estimación de Casos de Muerte Prematura evitados	93
Tabla 20. Estimación de los Días de Actividad Restringida evitados.....	95
Tabla 21. Estimación de casos de Síntomas Respiratorios Agudos evitados.....	95
Tabla 22. Estimación de casos de Ataque de Asma evitados	95
Tabla 23. Resumen de los Efectos Evitados	96
Tabla 24. Estimación del modelo Logit	102
Tabla 25. Valoración del Riesgo en Mortalidad Prematura.....	104
Tabla 26. Valoración pérdida de productividad Días de Actividad Restringida	106

Tabla 27. Valoración total de los casos de Síntoma Respiratorio Agudo.....	107
Tabla 28. Valoración total de los casos de Ataques de Asma	108
Tabla 29. Costo Total en Salud por Efectos del PM10 en Palmira	109
Tabla 30. Forma Funcional y Medidas de Bienestar: Modelo de Hanemann.....	138

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Situación Geográfica del Área de Estudio	32
Figura 2. Enfoques para los Cambios en la Tasa de Mortalidad y Morbilidad	40
Figura 3. Enfoques para los Costos en Mortalidad en el MVC	49
Figura 4. El Aire	58
Figura 5. Marco Metodológico de la presente investigación	61
Figura 6. Delimitación Geográfica del Área de Estudio.....	67
Figura 7. Uso del formato Dicotómico Doble en la Encuesta final	85

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Porcentaje de contribución del PM10 en Palmira.....	54
Gráfica 2. Consultas IRA por grupos de edad, 2004.....	55
Gráfica 3. Test Gráfico Q-Q Normal.....	75
Gráfica 4. Test Gráfico de la Pre encuesta	76
Gráfica 5. Comportamiento Anual PM10 Palmira	89
Gráfica 6. Comportamiento PM10 máximo diario	90
Gráfica 7. Motivo de la Negativa DAP	99
Gráfica 8. Ingresos Mensuales del Hogar	100

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Valor Estadístico de una Vida: Método del Capital Humano	42
Ecuación 2. Función de los Salarios Hedónicos	44
Ecuación 3. Tamaño de la Muestra para una Población Finita.....	69
Ecuación 4. Muestreo Aleatorio Estratificado	70
Ecuación 5. Función de Utilidad Indirecta de Hanemann	136
Ecuación 6. Valor esperado para la Media: Modelo de Hanemann	137
Ecuación 7. Norma de calidad a condiciones locales	147

RESUMEN

La contaminación del aire en los corredores industriales y en las principales ciudades del país es el mayor generador de los costos sociales -después de la contaminación del agua y los desastres naturales- estimándose este costo en cerca de 1.500 billones de pesos anuales en efectos sobre la salud pública, mortalidad y morbilidad.

La presente investigación permitió estimar los costos en salud asociados a la presencia de material particulado menor a $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10) sobre los habitantes de la zona urbana del municipio de Palmira. Para tal objetivo, este estudio planteó la utilización de funciones dosis-respuesta expuestas en la literatura económica para el PM10 a partir de los dos (2) escenarios planteados por los autores.

Para hallar el costo estimado en mortalidad prematura, se procedió a encontrar el valor de una vida estadística mediante el uso del Método de Valoración Contingente. Posteriormente, se utilizó el enfoque de los Costos Directos Asociados para las enfermedades encontradas en las funciones dosis-respuesta para así estimar los costos en salud por morbilidad relacionados a la presencia de PM10 por este ítem. Por último, una vez se obtuvieron los datos y costos en salud asociados a la morbilidad y mortalidad, se procedió a estimar económicamente los beneficios en salud generados por una reducción en las concentraciones de PM10 sobre los habitantes de la zona urbana del Municipio de Palmira.

Los principales resultados encontrados permitieron concluir que de reducir las concentraciones de PM10 en $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, y evitando sólo los casos en salud mencionados en el presente informe, se obtendría un ahorro en sobre-costos para el sistema de salud en la ciudad del orden de 32 mil millones de pesos al año.

ABSTRACT

Air pollution in industrial zones and in major cities is the greatest generator of social costs -after water pollution and natural disasters- this cost has been estimated at about 1,500 billion dollars per year on public health impacts, mortality and morbidity.

This research allowed us to estimate the health costs associated with the presence of particulate matter less than $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10) over the inhabitants of the urban area of the town from Palmira. For this purpose, this study illustrated the use of dose-response functions displayed in the economic literature for PM10 from the two (2) scenarios presented by authors.

Finding the estimated cost of premature deaths, we proceeded to find the value of a statistical life (VSL) using the Contingent Valuation Method (CVM). Subsequently, we used the Approach of the Direct Costs for Diseases found in dose-response functions to estimate the health costs of morbidity related to the presence of PM10 for this item. Finally, once extracted data and health costs associated with morbidity and mortality, we proceeded to estimate the health benefits economically generated by reduction in PM10 concentrations over the inhabitants of the urban area from Palmira.

The main results allowed concluding that to reduce PM10 concentrations at $10\mu\text{g}/\text{m}^3$, and only preventing health cases referred to in this report; there would be savings on over-costs for the health system in the city of order 32 thousand billion pesos by year.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire ha sido directa o indirectamente un indicador del desarrollo de un país, no obstante su interpretación ha sufrido importantes cambios con el conocimiento sobre sus efectos en la salud humana. En el siglo *XIX*, la percepción que se tenía de una imagen de una chimenea humeante en centros urbanos desarrollados como Londres y Estados Unidos era un sinónimo de prosperidad económica y crecimiento; sin embargo, esta percepción cobró un significado fatal a mediados del siglo *XX*, cuando en un evento de altísima contaminación del aire en Londres conocido como “smog” estuvo asociado con la muerte de 4.000 personas en el año de 1952. (Harrison 2000)¹.

Un medio ambiente sano permite el correcto desarrollo físico y mental de las personas. En consecuencia, los cambios en la calidad del medio ambiente alteran de forma positiva o negativa la calidad de vida, aumentando o disminuyendo la probabilidad de enfermedad o muerte. Un cambio negativo en el medio ambiente, como el aumento de la contaminación, ocasiona un incremento en la morbilidad y mortalidad que se traduce en una reducción del bienestar de la sociedad, y del nivel y calidad de vida de los individuos expuestos a estos riesgos.

En la actualidad, las políticas de control de la contaminación ambiental han cambiado recíprocamente debido al impacto del ser humano sobre el medio ambiente y sus recursos; las nuevas tendencias mundiales apuntan hacia el logro de acciones del tipo preventivas, las cuales constituyen el principal fundamento de lo que se conoce hoy con el nombre de Producción Más Limpia (PML), buscando de este modo, no sólo la mejor manera de realizar el proceso productivo, sino

¹ Harrison, R. «Particulate matter in the atmosphere: ¿which particle properties are important for its effects on health? » *The Science of the Total Environment* 249 (2000): 85-101.

también, el de hacer que el proceso productivo sea más respetuoso con el medio ambiente.

En Colombia, la PML se empieza a asumir como estrategia para mejorar las condiciones ambientales a partir de la década de los noventa. El gobierno nacional, a través del Ministerio de Medio Ambiente y el Departamento de Planeación Nacional (1994)², definió mediante el documento CONPES 2750 la Política Nacional Ambiental en la que se considera la promoción de la PML como objetivo de dicha política. Además, el Ministerio de Medio Ambiente (1997)³, declaró la Política Nacional de Producción más Limpia, con el propósito de prevenir la contaminación desde la fuente en vez de tratarla luego de ser generada, para mejorar la competitividad y productividad de las industrias.

El objetivo fundamental del presente trabajo es estimar los costos en salud humana causados por la presencia del material particulado menor a 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10) en la zona urbana del municipio de Palmira. Este trabajo se enfoca esencialmente en el PM10, porque en numerosos estudios epidemiológicos el material particulado, y en especial la fracción respirable PM10, ha sido relacionado con una serie de efectos adversos sobre la salud humana.

El Material Particulado es el término utilizado para definir una mezcla de partículas sólidas y líquidas encontradas en el aire. Algunas de estas partículas son grandes y oscuras que pueden ser vistas, tales como el hollín y el humo. El PM10 está compuesto por partículas de sulfatos, nitritos, amoníaco, carbón, entre otras sustancias, que pueden penetrar al organismo a través de las vías respiratorias superiores alojándose en la laringe, tráquea y bronquios.

² DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, DNP. «Política Nacional Ambiental: Salto Social hacia el Desarrollo Humano Sostenible.» Documento CONPES 2750. Bogotá, 1994.

³ MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE «Política Nacional de Producción más Limpia.» Bogotá, 1997.

Según Cifuentes (2000)⁴, los efectos por material particulado respirable (PM10) en la población se manifiestan principalmente como muertes prematuras, aumento en la frecuencia de cáncer pulmonar, síntomas respiratorios severos, irritación de ojos y nariz, irritación de las vías respiratorias y bronco constricción.

El PM10 presente en la atmósfera del municipio de Palmira proviene generalmente de las quemas agrícolas a cielo abierto, los vehículos de transporte y las actividades industriales (Dávalos Álvarez 2007)⁵.

Los impactos de la contaminación ambiental generan un costo económico a la sociedad, estos impactos se pueden reflejar en efectos en la salud, en efectos directos e indirectos en la productividad, en efectos en los ecosistemas y en efectos estéticos.

Específicamente, para el presente estudio, interesa evaluar los efectos en salud (morbilidad y mortalidad) y productividad de la población expuesta a la contaminación ambiental por PM10 en la zona urbana del Municipio de Palmira.

En este sentido, la contaminación del aire en Colombia es el generador de los mayores costos sociales después de la contaminación del agua y de los desastres naturales; estos costos han sido estimados en cerca de 1.500 billones de pesos anuales, y están relacionados con efectos en salud pública, mortalidad y morbilidad, siendo por lo general los grupos sociales pobres los más expuestos a la contaminación del aire y los más afectados por ella. Además, se estima una ocurrencia al año de cerca de 6.000 muertes prematuras, 7.400 nuevos casos de

⁴ Cifuentes, L., L. Lave, J. Vega, y K. Kopfer. «Effect of the fine fraction of particulate matter vs. The Coarse mass and other pollutants on daily mortality in Santiago, Chile.» *Journal of the Air & Waste Management Association* 50 (2000): 1287-1298.

⁵ Dávalos Álvarez, Eleonora. «La Caña de Azúcar: ¿Una Amarga Externalidad?» *Desarrollo y Sociedad* 59 (2007): 117-164. ISSN: 1900-7760.

bronquitis crónica, 13.000 hospitalizaciones y 255.000 visitas a salas de emergencia debido a la contaminación del aire del país. (Larsen 2004)⁶.

Para el desarrollo del presente estudio, se hace necesaria la identificación y medición del impacto del PM10 sobre la salud de la población expuesta, obteniéndose así el número de casos en morbilidad y mortalidad mediante el uso de las funciones dosis-respuesta para el PM10. Una vez estos impactos son determinados, se hace necesaria la valoración monetaria de éstos, para lo cual, se proponen el uso del Método de Valoración Contingente para mortalidad y el uso del Enfoque de los Costos Directos asociados a la Enfermedad para el caso de la morbilidad. Al final, se relaciona el número de casos encontrados con su valoración, lo cual permite estimar económicamente el impacto monetario causado por esta externalidad a la población urbana del municipio de Palmira.

La importancia del presente estudio radica en la aproximación, mediante un modelo de funciones dosis-respuesta, para estimar los costos asociados a problemas de salud generados por las concentraciones de este tipo de contaminante en la atmósfera.

La estimación se hace en cuatro etapas. En la primera, se intenta identificar los casos en salud por morbilidad y mortalidad según los escenarios planteados; en la segunda, se determinarán los costos en mortalidad por PM10 mediante el uso del Método de Valoración Contingente; en la tercera, se determinarán los costos por efectos en morbilidad mediante el Enfoque de los Costos Directos asociados a la enfermedades estimadas en la primera etapa; y por último, en la cuarta etapa se procederá a estimar económicamente los beneficios en salud generados por una reducción en las concentraciones de PM10 en la zona urbana del Municipio de Palmira según los escenarios planteados.

⁶ Larsen, Bjorn. «Cost of environmental damage: A Socio-Economic and Environmental Health Risk Assessment.» Informe preparado para el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES

La contaminación del aire tiene una serie de efectos negativos sobre el bienestar de las personas, numerosos estudios a nivel mundial han evidenciado una estrecha relación entre la calidad del aire de una región y la salud de la población expuesta a ella. De igual forma, existen también evidencias científicas aceptadas internacionalmente las cuales afirman que las enfermedades respiratorias están ampliamente ligadas a la contaminación atmosférica, y en especial a aquella causada por Material Particulado⁷ (en adelante PM por sus siglas en inglés).

Es así como para el caso de Estados Unidos, Lester y Seskin (1973)⁸ presentan evidencia estadística significativa de que los contaminantes en el aire pueden iniciar o agudizar la bronquitis crónica, enfisema, asma y posiblemente cáncer de pulmón. Así mismo, Pope III y otros (1995)⁹ evidenciaron para Estados Unidos en su estudio, que el PM tiene una relación positiva y altamente significativa con la mortalidad por enfermedades respiratorias en las personas adultas de ese país.

Por otro lado, en Europa Strukova, Golub y Markandya (2006)¹⁰ encontraron para Ucrania que el riesgo en mortalidad atribuido a la contaminación por Partículas Suspendidas Totales (PST) es significativo, causándole al país cerca de 27.000 muertes al año y un costo monetario asociado cercano a 13 billones de grivynas (el equivalente al 4% del GDP de Ucrania). Así mismo, en Europa, Samakovlis y

⁷ Mezcla tanto de partículas sólidas como líquidas que se encuentran suspendidas en la atmósfera.

⁸ Lester y Seskin. "An Analysis of the Association Between U.S. Mortality and Air Pollution." 1973.

⁹ Pope III, et al. "Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of US Adults." *Am. J. Respir. Crit. Care. Med.* 15 (1995): 669-674.

¹⁰ Strukova, Golub y Markandya. "Air Pollution Costs in Ukraine.", 2006.

otros (2004)¹¹ hallaron mediante el uso de funciones concentración-respuesta una relación positiva entre la calidad del aire y la morbilidad en 29 ciudades de Suecia.

Para el continente Asiático, Ostro (1994)¹² mediante la aplicación de funciones dosis-repuesta concluyó para la ciudad de Yakarta que un mejoramiento en la calidad del aire reduce la morbilidad, las muertes prematuras y las discapacidades de aprendizaje de los niños, atribuyendo la principal causa de estos problemas a la contaminación por PM y plomo.

Para Latinoamérica y el Caribe, la problemática de la contaminación del aire con la mortalidad y morbilidad de la población ha sido abordada ampliamente. Dichos trabajos fueron evidenciadas en: México, Chile, Brasil, Cuba, Perú y Venezuela.

En Suramérica, para el caso de Chile, la mayoría de las investigaciones realizadas utilizan como parámetro contaminante el Material Particulado menor a 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10) debido a que la norma anual de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que regula este contaminante es excedida hasta en 2.17 veces su valor permitido¹³. En un trabajo conjunto para Santiago de Chile, Sánchez C, Valdés de Ferari y Ostro (1998)¹⁴ presentan una metodología para estimar los impactos en salud que se pueden asociar a un programa que reduce las concentraciones de PM10. Para la estimación de los valores monetarios asociados a la mortalidad se utilizó el enfoque de capital humano y para los asociados a la morbilidad utilizaron el enfoque de costos directos estimados.

¹¹ Samakovlis, et al. "Air Quality and Morbidity: Concentration-Response Relationships for Sweden." *Working Paper No. 87, National Institute of Economic Research*, 2004.

¹² Ostro, B. "Estimating the Health Effects of Air Pollutants: A Method with an Application to Jakarta.", 1994.

¹³ Sánchez C y Morel L, "Una estimación de los Beneficios en Salud de reducir la Contaminación atmosférica en Santiago." *Centro de Estudios Públicos CEP, Chile*, 162-182.

¹⁴ Sánchez, Valdés y Ostro, "Los Efectos en Salud de la Contaminación atmosférica por PM10 en Santiago.", *Centro de Estudios Públicos* 69 (1998): 30.

Para el caso específico de Brasil y de la contaminación generada por la quema de caña de azúcar, Arbex y otros (2000)¹⁵ encontraron en Araraquara, Brasil, una significativa y positiva relación entre esta quema agrícola y la cantidad de terapias respiratorias, llegando a la conclusión que esta práctica ocasiona un deterioro en la salud de la población expuesta a la contaminación generada por la quema de la caña de azúcar. Por su parte, Cançado y otros (2006)¹⁶ hallaron en Piracicaba, Brasil, comparando los períodos de zafra¹⁷ y no zafra una fuerte relación entre la quema de caña de azúcar y el incremento en las admisiones por enfermedades respiratorias en individuos menores de 13 años y en mayores de 64 años.

Aunque hay evidencia de que existe esta relación, los esfuerzos de estimar los costos en salud que la contaminación impone sobre los habitantes de Colombia, han sido escasos, o no han sido aún cuantificados.

Para el caso de Colombia, la contaminación del aire en las ciudades es el problema ambiental de mayor preocupación para los colombianos y el generador de los mayores costos sociales después de la contaminación del agua y de los desastres naturales (Banco Mundial, como se cita en Departamento Nacional de Planeación, 2005)¹⁸.

Los estudios realizados a nivel nacional que relacionan contaminación del aire con efectos a la salud, han sido hasta cierto punto estudios e investigaciones locales y no del orden nacional; sin embargo, Larsen (2004)¹⁹ en un informe preparado para

¹⁵ Arbex, et al. «Assessment of the effects of sugar cane plantation burning on daily counts of inhalation therapy» *Journal of the Air & Waste Management* 50 (2000): 1745–1749.

¹⁶ Cançado, et al. «The Impact of Sugar Cane–Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly. » *Environmental Health Perspectives* 114, nº 5 (2006): 725–729.

¹⁷ Períodos en los cuales se pueden efectuar quemas agrícolas de caña de azúcar a cielo abierto.

¹⁸ Departamento Nacional de Planeación, DNP. “Lineamientos para la Formulación de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire.” *Documento Conpes 3344*, 2005.

¹⁹ Larsen, Bjorn. Op. Cit.

el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) concluyó que el costo anual promedio estimado para la contaminación del aire está alrededor de 1500 billones de pesos, en donde cerca del 65% de este costo está asociado con morbilidad y el 35% con mortalidad. Además, Larsen estima una ocurrencia al año de cerca de 6.000 muertes prematuras, 7.400 nuevos casos de bronquitis crónica, 13.000 hospitalizaciones y 255.000 visitas a salas de emergencia debido a la contaminación del aire del país.

El estudio acerca de la problemática del aire, tiene su origen en la creciente preocupación de la población colombiana por el impacto que producen las quemas agrícolas a cielo abierto, en especial en el Valle geográfico del Río Cauca. Como resultado de ello, la Universidad de La Salle (1991)²⁰ mediante un estudio de impacto ambiental, recomendó la necesidad de instalar una red de estaciones meteorológicas y eliminar las quemas efectuadas por los miembros de la Asociación de Cultivadores de la Caña de Azúcar (ASOCAÑA) alrededor de las poblaciones y los aeropuertos como principal medida de regulación.

Para Santiago de Cali, Ortiz Quevedo, Martínez y García (1996)²¹ en un trabajo conjunto con el Departamento de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) y el Centro de Investigaciones y Documentación Socioeconómica (CIDSE) de la Universidad del Valle, estimaron el impacto de la contaminación del aire en la salud de la población menor a 15 años ubicada en la zona industrial de Cali. Los valores estimados obtenidos implican una elasticidad de 0,7. Es decir, que si se presenta un incremento del 10% en la contaminación por PM se aumentan en un 7% los casos de enfermedades respiratorias.

²⁰ Universidad de la Salle. "Estudio de impacto ambiental de la quema de la caña de azúcar en el Valle del Cauca", 1991.

²¹ Ortiz, Escobar y García. "Contaminación atmosférica y salud: Estimación de una función dosis-respuesta para Cali." Departamento de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) y CIDSE Universidad del Valle. 1996.

Para el caso de Bogotá, Montealegre (1993)²² halló que una disminución del 40% en los niveles anuales de PST implicaría una disminución aproximada de: 284 enfermedades respiratorias agudas (ERA), 632 casos de neumonías y una disminución 269 casos de hospitalización por bronquitis, enfisema y asma. De nuevo para Bogotá, Solarte Rodríguez (2002)²³ en un trabajo que obtuvo el Premio Internacional en Ciencias de la Salud encontró que el número total de consultas por enfermedad respiratoria en niños está asociado con la concentración de PM10 en los días previos al pico del contaminante y que un aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de PM10 produce un aumento de por lo menos el 8% en el número de consultas por enfermedad respiratoria en los niños menores de 14 años. En un estudio realizado por Lozano (2004)²⁴ titulado “Air Pollution in Bogotá, Colombia: A Concentration-Response Approach” se pudo evidenciar que cuando se duplican las emisiones de PM10, el número de admisiones hospitalarias se incrementa en un 120% para la población total y se incrementan en un 207% para los individuos mayores de 65 años. Para el caso del NO₂, cuando se duplican estas emisiones, las admisiones hospitalarias se incrementan en 12%, siendo el grupo de edad más vulnerable el de niños entre 0 y 6 años con un incremento del 24,5%.

Finalmente, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)²⁵ en el 2005 realizó un estudio para determinar los casos evitados al reducir las concentraciones de PM10 utilizando la metodología expuesta en Sánchez C, Valdés de Ferari y Ostro (1998) tanto en morbilidad como en mortalidad bajo distintos niveles usados de la literatura (alto, medio y bajo) al

²² Montealegre Murcia, Libardo. “Afecciones respiratorias y contaminación del aire en Santafé de Bogotá, una aplicación de la regresión Lave-Seskin.” ,1993.

²³ Solarte Rodríguez, Iván. “Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá.” *Revista Médica Sanitas, Volumen 5, Número 2*. 2002.

²⁴ Lozano, Nancy. “Air Pollution in Bogotá, Colombia: A Concentration-Response Approach.” 2004.

²⁵ Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. “*Documento de Soporte Norma de Calidad del Aire.*”, 2005.

proyectarlos mediante distintos escenarios de PM10 (los escenarios para este estudio fueron, pasar de 80 a 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, de 80 a 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, de 80 a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Una vez evidenciados los resultados de algunas investigaciones realizadas en este campo tanto a nivel internacional como nacional, será entonces conveniente revisar los estudios en el sitio de estudio de esta investigación, el municipio de Palmira (Valle). Tal es el caso, del estudio realizado por Olaya y Ramírez (2003)²⁶ quienes realizaron un inventario de las fuentes móviles y fijas del municipio para evaluar la calidad del aire, obteniendo una alta correlación entre PST y PM10.

Por último, en un reciente estudio realizado por Dávalos Álvarez (2007)²⁷, titulado “La Caña de Azúcar: ¿Una Amarga Externalidad?” utilizando funciones concentración-respuesta halló una asociación positiva entre aumentos en la quema de la caña de azúcar y el PM10, seguida de una relación positiva entre el PM10 y el número de consultas médicas por IRA especialmente en niños menores de 10 años y en los adultos mayores de 60 años. Así mismo, se permitió concluir que la principal fuente de contaminación atmosférica es la quema de la caña de azúcar, que emite cerca del 50% del total de la contaminación por PM10 de la ciudad de Palmira.

Como se pudo evidenciar en este apartado, existen numerosos estudios que identifican al PST como una amenaza para la salud de la población. Se estima que aproximadamente 200.000 personas mueren cada año en las ciudades de Latinoamérica debido a la exposición a altos niveles de concentración de material particulado (OMS, como se cita en Rojas 2005)²⁸.

²⁶ Olaya y Ramírez. “Evaluación preliminar de la calidad del aire asociada con partículas suspendidas totales y partículas respirables en el casco urbano de Palmira.” 2003.

²⁷ Dávalos, Eleonora. Op. Cit.

²⁸ Rojas, Néstor. Material Particulado Atmosférico y Salud. Universidad de los Andes, 2005.

1.2. ENUNCIADO DEL PROBLEMA

La contaminación ambiental es un problema que afecta, en igual medida, a países desarrollados y países en desarrollo. Estudios de la Organización Mundial de la Salud, OMS (2005) ²⁹ sostienen que hay riesgos para la salud con las concentraciones de contaminantes que se registran en muchas ciudades de los países desarrollados y en desarrollo, y que cada vez se atribuyen más efectos negativos sobre la salud al Material Particulado presente en el aire.

El PM10 está compuesto por partículas de sulfatos, nitritos, amoníaco, carbón, entre otras sustancias, puede penetrar al organismo a través de las vías respiratorias superiores alojándose en la laringe, tráquea y bronquios. Según la OMS, numerosos estudios epidemiológicos evidencian que la exposición a la contaminación del aire incrementa el riesgo de morbilidad y mortalidad, porque puede generar problemas en la salud que van desde mortalidad prematura, enfermedades respiratorias crónicas, visitas a salas de urgencia por enfermedades respiratorias, ataques de asma, síntomas respiratorios y disminuciones de la función pulmonar hasta iniciar enfermedades carcinogénicas.

La contaminación del aire en los corredores industriales y en las principales ciudades del país es uno de los problemas ambientales y sociales sobre cuya importancia existe una amplia conciencia en Colombia siendo éste el generador de los mayores costos sociales después de la contaminación del agua y de los desastres naturales. Según Larsen (2004) estos costos han sido estimados en 1.500 billones de pesos anuales y están relacionados con efectos sobre la salud pública, mortalidad y morbilidad, siendo por lo general los grupos sociales pobres los más expuestos a la contaminación del aire y los más afectados por ella.

²⁹ World Health Organization, WHO. «Guías de la calidad del aire de la OMS con relación al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno, el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005.» 2006.

De acuerdo con el CONPES 3343 de 2005 “Lineamientos para la Formulación de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire”, en el ámbito urbano se concentran las principales fuentes de emisión por contaminación del aire. Se calcula que en el 2002, el 34% de la emisión total nacional contaminante se generó en 8 ciudades y de acuerdo con proyecciones del DANE, para el mismo año, el 45% de la población colombiana urbana habitaba en estos lugares.³⁰

Según los registros de la estación meteorológica ubicada en Palmira controlada por la CVC, durante los últimos años las concentraciones anuales promedio de PM10 han estado aproximadas al nivel máximo permisible anual de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido por la Agencia de Protección Ambiental, EPA (por sus siglas en inglés). Sin embargo, según un estudio realizado por Dávalos (2007) en el año 2004 se llegó a registrar una concentración diaria máxima de 285 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor que se encuentra muy alejado del nivel máximo permisible de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ diario, valor que además fue superado en diez ocasiones en tan sólo 119 días. Límite que según la EPA sólo puede ser excedido una vez al año para garantizar la adecuada calidad del aire y salud de una región.³¹

El PM10 presente en el aire del municipio de Palmira proviene de las emisiones liberadas por las industrias durante y después de los procesos productivos, quemas abiertas controladas y no controladas, las fuentes móviles (vehículos automotores) y los hogares. Es pertinente hacer una valoración de los costos de la morbilidad y la mortalidad asociados a la presencia de PM10 en el aire de la ciudad porque puede poner en evidencia la magnitud de la problemática que existe, y los beneficios de reducir la contaminación.

³⁰ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. «Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire.» 2007.

³¹ Cabe anotar que los límites permisibles de PM10 establecidos por la EPA y otras organizaciones como la OMS no son un indicador del valor a partir del cual las concentraciones de PM10 alteran el estado de salud de las personas, pues aún las investigaciones no han demostrado que exista un nivel debajo del cual el PM10 no sea perjudicial para la salud.

La literatura económica proporciona funciones dosis respuesta donde se relacionan las concentraciones del PM10 con efectos en salud humana de una región afectada por el contaminante. Estas funciones proporcionan el número de casos o efectos en morbilidad y mortalidad que podrían reducirse por efecto de una disminución en la concentración anual de este contaminante. Una vez cuantificados dichos efectos, se hace necesaria la valoración monetaria de ellos para lo cual se propone el uso del Método de Valoración Contingente (MVC) para medir el valor estadístico de una vida y para el caso en morbilidad se propone el uso del Enfoque de los Costos Asociados a la Enfermedad.

El MVC consiste en la realización de encuestas en las que se pregunta a las personas su disposición a pagar (DAP) por reducir la probabilidad de una muerte prematura. Según Sánchez, Valdés y Ostro (1997)³², este no es un método fácil de emplear puesto que se requiere diseñar y procesar una encuesta de un tamaño de muestra significativo para que la prueba tenga validez estadística, y se indaga tratando de valorar un recurso intangible.

Por otra parte, el Enfoque de Costos Directos Asociados a la Enfermedad se fundamenta en la evaluación de los costos directos de la enfermedad (diagnóstico y tratamiento) y los salarios que se dejan de percibir dada la incapacidad para laborar, que se estiman como el valor de la productividad perdida durante la enfermedad.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es posible estimar los costos asociados al PM10 mediante el método de valoración contingente para mortalidad y el método de valoración de los costos directos para morbilidad en el municipio de Palmira?

³² Sánchez C, José Miguel, Sebastián Valdés de Ferari, y Bart Ostro. 1997. Op. Cit.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Estimar los costos en salud asociados a la presencia de material particulado menor a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10) en la zona urbana del municipio de Palmira.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar el número de casos en morbilidad y mortalidad generados por la presencia del contaminante PM10.
2. Calcular los costos asociados a problemas de salud generados por la presencia del contaminante PM10.
3. Estimar económicamente los beneficios en salud asociados a una posible reducción en la concentración del PM10 en la zona urbana del municipio de Palmira.

3. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En este apartado se presentan las razones por las cuales amerita hacer la investigación y se define la dimensión del respectivo estudio.

3.1. JUSTIFICACIÓN

Las condiciones del medio ambiente siguen siendo un tema de interés actual que llama la atención de la mayoría de las personas que habitan en el globo terrestre por el impacto que tiene sobre la existencia de la humanidad. Es común ver en los medios de comunicación, notas sobre cómo cuidar el medio ambiente y sobre los científicos que están en búsqueda de nuevas formas de energía o nuevos materiales y maquinarias que generen menos contaminación.

Es importante que en el campo de la ingeniería no solo se busquen acciones encaminadas a mitigar el impacto de las actividades humanas desarrolladas en el medio ambiente, sino también que se hagan estudios que permitan cuantificar, en términos monetarios, los efectos de la contaminación sobre las personas en asociación con expertos en diferentes áreas del conocimiento como la medicina, la economía, la física, entre otras. Es pertinente para los ingenieros industriales, la elaboración de modelos matemáticos que permitan analizar el comportamiento de diferentes variables, en este caso, se definirá un modelo para estimar los costos asociados a problemas de salud generados por la contaminación por PM10.

El PM10 que se encuentra en la atmósfera proviene de fuentes naturales, como la re-suspensión de polvo por el viento, y antropogénicas, como los incendios forestales y las emisiones de las industrias. Afecta las vías respiratorias de las personas según el nivel de exposición y las concentraciones de este en la

atmósfera provocando enfermedades agudas y crónicas que pueden finalmente llevar a la muerte.³³

La estimación de los costos generados por problemas de salud al proyectar mediante escenarios las concentraciones de PM10, permitirá definir el impacto de la implementación de un plan de control de la contaminación del aire para el municipio de Palmira que mostraría la importancia del cuidado del medio ambiente para mantener y mejorar la calidad de vida de las personas. También se pueden apreciar los costos de tener una atmósfera contaminada en el municipio con el fin de llamar la atención de las autoridades competentes para que se formulen nuevas políticas ambientales y se tomen las medidas necesarias en cuanto a legislación que conduzcan a la prevención de las enfermedades y muertes prematuras.

Con los resultados de los estudios a realizar para el desarrollo del proyecto, se pretende demostrar que es necesario que las industrias y la comunidad entera contribuyan a reducir la contaminación del medio ambiente y se adopten políticas de producción más limpia, de la mano de las buenas prácticas de manufactura, que les permitan conseguir un aumento en la productividad por la optimización en el uso de los recursos y la consecuente reducción de los residuos generados.

3.2. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

El presente estudio se circunscribe a los habitantes de la zona urbana del municipio de Palmira. Por tal razón, los valores estimados en este proyecto son sólo aplicables a esta zona de Palmira.

³³ EPA. «The Particle Pollution Report. Current understanding of air quality and emissions through 2003.» Diciembre de 2004. <http://www.epa.gov> (último acceso: 27 de Noviembre de 2009).

4. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente apartado pretende exponer la plataforma contextual, teórica, conceptual y legal que fundamentan la presente investigación.

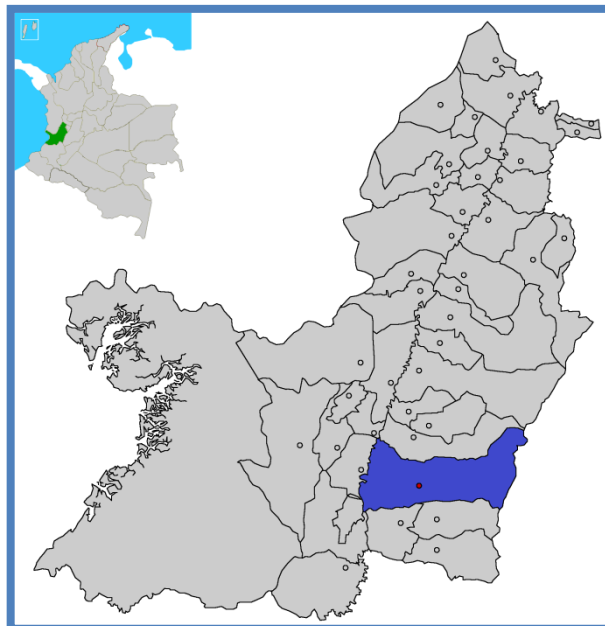
4.1. MARCO CONTEXTUAL

En el presente marco se especifica el área objeto de estudio, es decir, la región geográfica donde serán aplicables los resultados del presente estudio.

4.1.1. Caracterización del Área de Estudio

El área de estudio para la presente investigación es el municipio de Palmira, su cabecera está situada a $3^{\circ}31'48''$ de latitud norte y $76^{\circ}81'13''$ de longitud al oeste de Greenwich; en la región sur del Departamento del Valle del Cauca, Colombia.

Figura 1. Situación Geográfica del Área de Estudio



Fuente: Adaptado de archivos DANE 2005

Tabla 1. Superficie y área del municipio de Palmira

Superficie:	1.162 km ²
Área urbana:	19,34 Km ²
Zonas topográficas (superficie):	
Plana	505 Km ²
Pie de monte	201 km ²
Alta montaña	455 Km ²

4.1.1.1. Población, educación, vivienda, economía, hogares.³⁴

- Población total: 278.388 habitantes
- Cabecera urbana: 223.049 habitantes.
- Rural: 55.339 habitantes.
- N° de hogares: 74.948.
- N° de viviendas: 70.797.
- Tipo de vivienda: 78.1% casa; 17.5% tipo apartamento, y otros 4.4%.
- N° de unidades económicas: 10.303.
- N° de unidades agropecuarias: 4.576.
- Tasa de alfabetismo: 93.6%.
- Nivel educativo: Básica primaria, 35.1%; secundaria, 35.1%; profesional, 7.2%; otros, 12.6%.
- Establecimientos económicos-comercio, sector urbano: 56.3%; servicios, 32.6%; industria, 9.6%.

³⁴ Datos recopilados del Plan de Desarrollo 2008-2011 del Municipio de Palmira.

4.2. MARCO TEÓRICO

Con el fin de fundamentar teóricamente la presente investigación, a continuación se expondrán los diversos enfoques provistos por la literatura para estimar los costos en salud humana que se encuentran asociados a la contaminación del aire.

Valorar económicamente bienes de no-mercado como el medio ambiente o la vida humana, significa poder contar con un indicador de su importancia en el bienestar de la sociedad, que permita compararlo con otros componentes del mismo. Para ello, se deberá utilizar un denominador común, que en general, no es otro que el *dinero*. Para algunos autores esto constituye ya un anatema: proponer valoración monetaria, crematística, de algo que, por definición es invaluable. Sin embargo, argumentar algo así supondría incurrir en una confusión de conceptos: valoración *monetaria* no quiere decir valoración de *mercado*. Lo que se quiere entonces, es utilizar el *dinero* como un denominador común, para reflejar cambios heterogéneos en el bienestar de la *sociedad*. (Azqueta 1994)³⁵

La contaminación y los impactos negativos sobre el medio ambiente por parte de las actividades humanas pueden imponer costos económicos a la sociedad y a los individuos. Estos costos económicos se pueden clasificar en cuatro categorías: impactos en la salud, efectos directos e indirectos en la productividad, efectos en los ecosistemas, y efectos estéticos. (WORLD BANK 1998)³⁶

Específicamente, para el presente estudio, interesa evaluar los efectos en salud (mortalidad y morbilidad) de la población expuesta a la contaminación ambiental.

³⁵ Azqueta, Diego. «Valoración Económica de la Calidad Ambiental.» 1994: p. 11.

³⁶ WORLD BANK. *Pollution Prevention and Abatement Handbook*. Economic Analysis of Environmental Externalities, Washington D.C.: Banco Mundial, 1998: p. 34.

Los impactos de la contaminación ambiental en la salud humana son denominados externalidades³⁷. En un sistema de mercado quienes causan una externalidad negativa (por ejemplo: los dueños de los vehículos o las industrias) no pagan por ello a pesar del perjuicio que estos causan, sino que ellos los trasladan al resto de la población. Estos costos externos causan un problema a la economía al no estar incluidos en el precio del mercado y llevan a tomar decisiones erradas, por ejemplo en la regulación de quemas agrícolas.

De acuerdo a Mendieta (2000)³⁸ los efectos de la contaminación ambiental sobre la salud de las personas pueden ser definidas en términos de mortalidad o morbilidad. La mortalidad puede definirse como el número total de muertes a partir de diferentes causas para un período de tiempo determinado dividido entre el número de personas totales correspondiente a una población. Esta tasa también puede ser interpretada como la probabilidad de riesgo de muerte de un individuo de la población para un período de tiempo determinado. Específicamente, Freeman (1993) citado por Mendieta (2000), define que la medición de un cambio en el estatus de salud estaría expresada como el cambio en la probabilidad de muerte para los miembros de una población.

Por otra parte, los cambios en salud también pueden ser definidos y medidos a través de la morbilidad, la cual se puede definir como el número total de personas afectadas por una enfermedad, tanto en su estado físico como mental, durante un período de tiempo determinado, dividiéndolo entre el número de personas totales correspondiente a una población. Al final, las restricciones de información, pueden hacer que la morbilidad se defina a través del número de casos reportados de una enfermedad. Esta medida puede ser utilizada tanto para enfermedades crónicas

³⁷ De acuerdo a Azqueta (1994, pág. 5) se dice que estamos en presencia de una externalidad (economía externa), cuando la actividad de una persona (o empresa) repercute sobre el bienestar de otra (o sobre su función de producción), sin que se pueda cobrar un precio por ello, en uno u otro sentido.

³⁸ Mendieta, Juan Carlos. «Economía Ambiental.» Universidad de los Andes, 2000: p. 256.

como agudas. El inconveniente es que no se puede distinguir el grado de severidad de la enfermedad en las personas.

En este contexto, autores como Rojas P., (1995)³⁹ han logrado estimar el costo en salud humana causada por la contaminación, asumiendo que existen costos tanto en morbilidad como en mortalidad para una región afectada por su contaminación industrial. Por su parte, organismos internacionales como la *Environmental Protection Agency*, EPA, mencionan que los efectos de los contaminantes atmosféricos sobre la población se evidencian en síntomas en la función pulmonar y en la función cardiovascular, los cuales, aumentan algunas enfermedades, y finalmente, pueden llevar al individuo a una muerte prematura (*ver Anexo B*).

Los investigadores, conocedores del valor que se puede asociar a la salud de las personas por la influencia de la contaminación del aire, han encontrado mediante estudios econométricos⁴⁰ una elasticidad marcada entre algunos contaminantes atmosféricos y la salud de la población expuesta a ellos.

Es así como los cambios en los efectos en salud se cuantifican utilizando las llamadas “funciones dosis-respuesta”⁴¹ (en adelante FDR) para un conjunto de efectos en salud para los cuales existen relaciones estadísticas bien establecidas en la literatura científica. Hay una amplia literatura epidemiológica que vincula

³⁹ Rojas P., J. «Contaminación del aire por la industria y costos sobre la salud en Yumbo 1994.» 1995.

⁴⁰ Según lo expresa Ramanathan (2002) la econometría se ocupa de la aplicación de métodos estadísticos a la economía. En términos más generales, la econometría se ocupa de **(1)** estimar relaciones económicas, **(2)** confrontar la teoría económica con los datos y contrastar hipótesis relativas al comportamiento económico, y **(3)** predecir el comportamiento de variables económicas.

⁴¹ Según lo expone Sánchez C, Valdés de Ferari y Ostro (1998), las funciones dosis-respuesta provienen en su mayoría de estudios epidemiológicos que toman una muestra amplia de personas a través del tiempo (serie de tiempo) o entre lugares expuestos a distintos niveles de contaminación (corte transversal), para estimar los efectos en salud que pueden ser atribuidos a la contaminación atmosférica una vez que se ha controlado apropiadamente por otras variables que también pueden afectar la probabilidad de sufrir los efectos en salud, tales como: hábitos alimenticios, temperatura, exposición al aire libre, hábito tabáquico, etc.

efectos adversos en salud y concentraciones ambientales de PM10, es así como la literatura provee FDR para algunos contaminantes como el PM10 y el ozono.

Las “Funciones Dosis-Respuesta para el PM10”⁴² han sido utilizadas ampliamente en la literatura económica para hallar la relación entre el número de casos reportados por la influencia de la concentración del PM10. El Banco Mundial, por ejemplo, ha utilizado este enfoque para evaluar los efectos en salud de la contaminación atmosférica en Jakarta (Ostro 1994), y para estimar los beneficios en salud de un Programa de Control de Contaminación Atmosférica en la ciudad de Santiago (Sánchez C, Valdés de Ferari y Ostro 1998). Recientemente, en Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM (2005), ha utilizado esta sistemática para hallar el número de casos en salud asociados por la influencia del PM10 en la ciudad de Bogotá.

Como se evidencia en la **Tabla 2**, los efectos del PM10 sobre la salud humana pueden ser cuantificables sobre efectos en la mortalidad y la morbilidad de la población (mortalidad, admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias, admisiones hospitalarias por enfermedades cardiovasculares, visitas a salas de emergencia por enfermedades respiratorias, días de actividad restringida en adultos, enfermedades respiratorias bajas en niños, bronquitis crónica, síntomas respiratorios agudos y ataques de asma). Una reducción en los niveles de PM10 debería ser benéfica para las personas debido a que se reducirían algunos o todos los efectos anteriormente mencionados y su equivalente monetario sería una medida de los beneficios económicos que experimentarían las personas por mejoras en el medio ambiente.

⁴² La mejor manera de medir los efectos de la polución en la salud de las personas sería el desarrollo de estudios epidemiológicos propios para el municipio de Palmira, intentando establecer las funciones dosis – respuesta (FDR) entre variables ambientales con efectos en la salud de las personas que pueden ser detectados y medidos en esta ciudad. Dado lo extenso y costoso de tales estudios (ver por ejemplo los problemas que tuvieron Ortiz, Escobar y García (1996) para Santiago de Cali; y Dávalos Álvarez (2007) para Palmira), como también los problemas con la disponibilidad de datos, nos vemos obligados a usar resultados de este tipo de estudios realizados en otras partes del mundo.

Tabla 2. Funciones Dosis-Respuesta para el PM10

Mortalidad	
Nivel alto:	Número de casos anuales = $0.336 * dPM-10(\mu g/m^3)/100 * \text{tasa mortalidad cruda} * \text{población afectada}$.
Nivel medio:	Número de casos anuales = $0.1 * dPM-10(\mu g/m^3)/100 * \text{tasa mortalidad cruda} * \text{población afectada}$.
Nivel bajo:	Número de casos anuales = $0.0864 * dPM-10(\mu g/m^3)/100 * \text{tasa mortalidad cruda} * \text{población afectada}$.
Morbilidad	
Cambio en Admisiones Hospitalarias por Enfermedades Respiratorias (CIE 466,480-486,490-494,496)	
Nivel alto:	Nº casos anuales = $0.000788 * (\text{Admisiones Hospitalarias por Enfermedades Respiratorias} / \text{Población Total}) * dPM10 \text{ concentraciones anuales } (\mu g/m^3) * \text{Población Expuesta}$.
Nivel medio:	N.C.A = $0.000673 * (\text{Admisiones Hospitalarias por Enfermedades Respiratorias} / \text{Población Total}) * dPM10 \text{ concentraciones anuales } (\mu g/m^3) * \text{Población Expuesta}$.
Nivel bajo:	N.C.A = $0.000588 * (\text{Admisiones Hospitalarias por Enfermedades Respiratorias} / \text{Población Total}) * dPM10 \text{ concentraciones anuales } (\mu g/m^3) * \text{Población Expuesta}$.
Cambio en Admisiones Hospitalarias por Enfermedades Cardiovasculares (CIE 410, 413, 427 y 428)	
Nivel alto:	Nº casos anuales = $0.00079 * (\text{Admisiones Hospitalarias por Enfermedades Cardiovasculares} / \text{Población Total}) * dPM10 \text{ concentraciones anuales } (\mu g/m^3) * \text{Población Expuesta}$.
Nivel medio:	N.C.A = $0.00064 * (\text{Admisiones Hospitalarias por Enfermedades Cardiovasculares} / \text{Población Total}) * dPM10 \text{ concentraciones anuales } (\mu g/m^3) * \text{Población Expuesta}$.
Nivel bajo:	N.C.A = $0.00048 * (\text{Admisiones Hospitalarias por Enfermedades Cardiovasculares} / \text{Población Total}) * dPM10 \text{ concentraciones anuales } (\mu g/m^3) * \text{Población Expuesta}$.
Visitas a Sala de Emergencia por Enfermedades Respiratorias	
No se usa función dosis-respuesta directamente. Se usa la relación entre el Total de Visitas a Sala de Emergencia y el Total de Admisiones Hospitalarias para el año base.	

• Días de Actividad Restringida
Nivel alto: Número de casos anuales = $0.0238 * \text{dPM10 concentraciones anuales } (\mu\text{g}/\text{m}^3) * \text{población de adultos}$
Nivel medio: N.C.A = $0.0168 * \text{dPM10 concentraciones anuales } (\mu\text{g}/\text{m}^3) * \text{población de adultos}$
Nivel bajo: N.C.A = $0.0097 * \text{dPM10 concentraciones anuales } (\mu\text{g}/\text{m}^3) * \text{población de adultos}$

• Enfermedades Respiratorias bajas en Niños (Bronquitis y Tos)
Nivel alto: Número de casos anuales = $0.0016 * \text{dPM10 concentraciones anuales } (\mu\text{g}/\text{m}^3) * \text{Tasa Anual de Consultas por Infecciones Respiratorias Bajas} * \text{población niños}$
Nivel medio: N.C.A = $0.0011 * \text{dPM10 concentraciones anuales } (\mu\text{g}/\text{m}^3) * \text{Tasa Anual de Consultas por Infecciones Respiratorias Bajas} * \text{población niños}$
Nivel bajo: N.C.A = $0.0007 * \text{dPM10 concentraciones anuales } (\mu\text{g}/\text{m}^3) * \text{Tasa Anual de Consultas por Infecciones Respiratorias Bajas} * \text{población niños}$.

• Bronquitis Crónica
Nivel alto: Número de casos anuales = $0.000093 * \text{dPM10 concentraciones anuales } (\mu\text{g}/\text{m}^3) * \text{población mayores de 25 años}$
Nivel medio: N.C.A = $0.000061 * \text{dPM10 concentraciones anuales } (\mu\text{g}/\text{m}^3) * \text{población mayores de 25 años}$
Nivel bajo: N.C.A = $0.00003 * \text{dPM10 concentraciones anuales } (\mu\text{g}/\text{m}^3) * \text{población mayores de 25 años}$

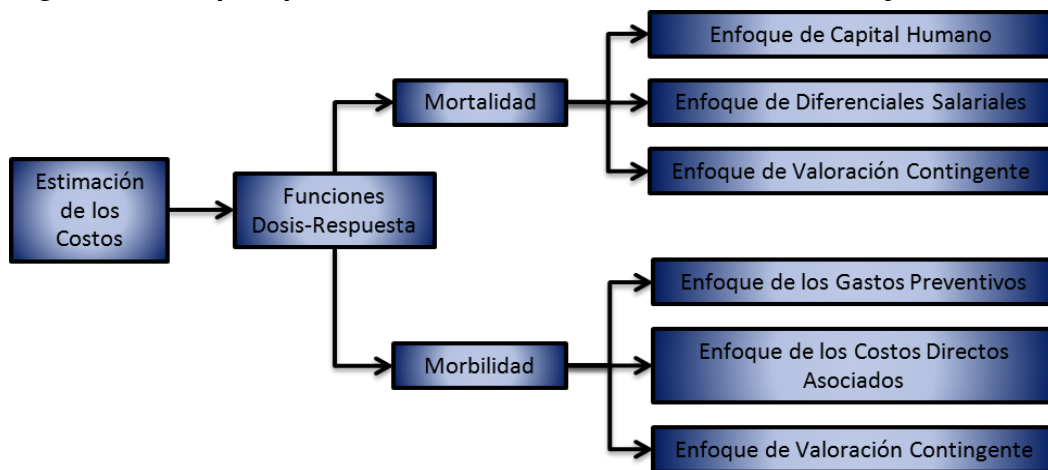
• Síntomas Respiratorios Agudos
Nivel alto: N.C.A = $0.2555 * \text{dPM10 concentraciones anuales } (\mu\text{g}/\text{m}^3) * \text{población expuesta}$.
Nivel medio: N.C.A = $0.1679 * \text{dPM10 concentraciones anuales } (\mu\text{g}/\text{m}^3) * \text{población expuesta}$.
Nivel bajo: N.C.A = $0.0803 * \text{dPM10 concentraciones anuales } (\mu\text{g}/\text{m}^3) * \text{población expuesta}$.

• Ataques de Asma
Nivel alto: Número de casos anuales = $0.1971 * \text{dPM10 concentraciones anuales } (\mu\text{g}/\text{m}^3) * 4.7\% * \text{población expuesta}$.
Nivel medio: N.C.A = $0.0584 * \text{dPM10 concentraciones anuales } (\mu\text{g}/\text{m}^3) * 4.7\% * \text{población expuesta}$.
Nivel bajo: N.C.A = $0.0329 * \text{dPM10 concentraciones anuales } (\mu\text{g}/\text{m}^3) * 4.7\% * \text{población expuesta}$.

Fuente: Sánchez C, Valdés de Ferari y Ostro (1998)

Ahora bien, los problemas de evaluar los impactos en la salud humana de la contaminación atmosférica son de dos clases: la primera dificultad es con la identificación y medición del impacto actual sobre la salud. La segunda es que una vez estos impactos son establecidos se hace necesaria la valoración monetaria de ellos. A continuación se hará un referente teórico acerca de los enfoques provistos por la literatura para el desarrollo y valoración monetaria de dichas funciones. (Estos enfoques se evidencian en la **Figura 2**).

Figura 2. Enfoques para los Cambios en la Tasa de Mortalidad y Morbilidad



Fuente: el autor, tomando los enfoques provistos por la literatura económica

4.2.1. Enfoques para los Cambios en la Tasa de Mortalidad

Algunas de las formas de contaminación pueden incrementar la mortalidad o las expectativas de reducción de vida, debido a esto, los investigadores han tenido que tocar el delicado punto de valorar la vida. La valoración económica de la vida es uno de los aspectos más controvertidos, debido a que trasciende argumentos de tipo económico e involucra argumentos de tipo ético y moral que generan rechazo ante la idea de asignarle un valor monetario a la vida.⁴³

⁴³ Mendieta, Juan Carlos. 2000. Op. Cit. p. 257.

Por tal razón, cuando se trata de valorar económicamente la vida humana, es particular encontrar cierta resistencia en valorar siquiera lo que en un principio parece invaluable o con un valor infinito.

La afirmación de que la vida es invaluable es digna de respeto, pero no ayuda mucho en la toma de decisiones. Por otra parte, afirmar que la vida humana tiene un valor infinito también es respetable, pero no parece que sea precisamente la opinión de la sociedad al respecto. En efecto si así fuera, estaría justificada cualquier inversión que redujera la probabilidad de un accidente mortal, por pequeña que fuera esta reducción se debería entonces realizar cualquier inversión que salvara un número de vidas, aunque fuera muy pequeño. No se explicaría por tanto que se viva en una sociedad donde, por ejemplo, no existe un cubrimiento a nivel básico en salud, no existan puentes peatonales, etc. Entonces, si todas estas inversiones no se llevan a cabo tiene que ser porque implícitamente se considera que la vida tiene un valor finito, que multiplicado por la probabilidad de salvar una vida adicional, no justifica su inversión.⁴⁴⁻⁴⁵

Basándose en el preludio anterior, el análisis económico ha adoptado varios enfoques para afrontar el problema de valorar económicamente cambios en la tasa de mortalidad que se traduce entonces en un número de vidas salvadas (o perdidas), estos enfoques son: el Enfoque de Salarios Hedónicos, de Capital Humano y el Enfoque de Valoración Contingente.

4.2.1.1. El Método del Capital Humano

El *enfoque de capital humano* es el más simple, pero probablemente el menos exacto. Tiene la gran ventaja de requerir relativamente poca información para la

⁴⁴ Rojas P. Op. Cit. p. 68.

⁴⁵ Azqueta, Diego. Op. Cit. p. 211-212.

valoración. Considera a las personas como unidades de capital humano que producen bienes y servicios para la sociedad. El enfoque supone que el valor de cada unidad de capital humano es equivalente al valor presente de los ingresos que el individuo hubiese generado de no haber muerto en forma prematura. Por tal razón, el método de capital humano subestima el valor de la verdadera disposición a pagar por la vida, los derechos de las personas y sus preferencias.⁴⁶

El valor presente de los ingresos futuros depende de la esperanza de vida y de la estructura de los salarios y se estima de la siguiente manera:

Ecuación 1. Valor Estadístico de una Vida: Método del Capital Humano

$$PV_j = \sum_{n=1}^j \frac{Prob [n/j] * W_n}{(1 + r)^{n-j}}$$

Dónde:

PV_j : Es el valor presente de los ingresos futuros de un individuo de edad j ;

$Prob [n/j]$: Es la probabilidad que un individuo de edad j esté vivo a la edad n ;

W_n : Es el promedio de ingresos laborales anuales para un individuo de edad n ;

r : Es la tasa de descuento para los años posteriores a la muerte.

Se puede apreciar que por ejemplo, a medida que la edad avanza, la vida de un individuo cada vez vale menos, pudiendo llegar a ser cero si el individuo ya no trabaja. Obviamente, los valores no instrumentales⁴⁷ no pueden ser reflejados bajo esta metodología por lo cual se estima sólo como una *cota inferior* en lo que se refiere al verdadero costo de la mortalidad.

⁴⁶ Sánchez C, Valdés de Ferari y Ostro, 1997. Op. Cit. p. 32-35.

⁴⁷ Un valor no instrumental es el valor o utilidad inherente a alguna cosa, independientemente de si sirve para satisfacer necesidades y aspiraciones del ser humano.

Según Cropper y Freeman (1991), como se cita en Mendieta (2000)⁴⁸, existen una serie de problemas que pueden presentarse a la hora de implementar este enfoque. El primer problema tiene que ver con la consideración del concepto de productividad, es decir, la productividad debe ser considerada como neta o debe incluir el consumo del individuo. El segundo problema tiene que ver con el papel de la producción no mercadeable en la medida de productividad y el cálculo del valor, el efecto de no incluir la productividad no mercadeable es particularmente seria e inconveniente en el caso de amas de casa y familiares que no trabajan. El tercer problema, es la tasa de descuento utilizada en el cálculo del valor presente neto de los beneficios, el valor del capital humano de un niño y de un adulto joven es muy sensible a la elección de la tasa de descuento r .

Otra implicación de este modelo que puede ser determinante a la hora de estimar el valor económico de las reducciones en el riesgo de muerte es la evidente subestimación de los resultados cuando se valora la vida de niños debido a que el periodo de descuento de las ganancias esperadas solamente se hace hasta que el niño ha alcanzado la edad para hacer parte de la fuerza de trabajo activa.

4.2.1.2. El Método de los Salarios Hedónicos

El modelo de los precios hedónicos para la valoración de externalidades ambientales y bienes de no mercado, lo formalizó e impulsó Thaler y Rosen (1975)⁴⁹ quienes realizaron la primera estimación del método y desarrollaron gran parte de la terminología empleada hasta hoy día (Riera, Ripoll y Mateau 2007).⁵⁰

⁴⁸ Mendieta, Juan Carlos. 2000. Op. Cit. p. 258-259.

⁴⁹ Thaler, R., y S. Rosen. «The Value of Saving a Life: Evidence from the Labor Market.» *Household Production and Consumption*, 1975.

⁵⁰ Riera, Antoni, Aina Ripoll, y Josep Mateau. «Estimación del valor estadístico de la vida en España: Una aplicación del Método de Salarios Hedónicos.» *Revista de Economía Pública* 181, nº 2 (2007): 29-48.

Este modelo desglosa el precio de un bien privado, de mercado, en función de varias características. Estas características tienen un precio implícito cuya suma determina, en una proporción estimable, el precio del bien de mercado que se observa. Así, el precio de una vivienda puede determinarse por la agregación de los precios implícitos de sus características y de las del entorno en el que está ubicada. Un ejemplo clásico del uso del modelo de los precios hedónicos, es el de la externalidad negativa que producen los aviones sobre los residentes próximos a aeropuertos, en este caso, el valor de la pérdida de bienestar debido al ruido y riesgo de accidentes se puede medir por la disminución en el precio de la vivienda debida a esta externalidad (Riera 1994)⁵¹.

Según Azqueta (1994)⁵², la técnica de los precios hedónicos no tiene por qué circunscribirse, en efecto, al ámbito de los precios de algunos bienes de consumo final. Al igual que el precio de la vivienda es una función de las características de todo tipo de la misma, el salario de equilibrio de un determinado puesto de trabajo será una función de todas las características del mismo. Éste es el punto de partida para la construcción de la *función de los Salarios Hedónicos (Ecuación 2)*. La teoría indica, en efecto, que el salario de equilibrio de un puesto de trabajo determinado es una función de muchas variables. Por tanto, es posible mediante la inferencia estadística, estimar una función de los salarios hedónicos del tipo:

Ecuación 2. Función de los Salarios Hedónicos

$$W_h = (E_h, R_h, S_h, X_h)$$

En la que el salario de un determinado puesto de trabajo h depende, entre otras cosas, de: E_h es el vector de características de *capital humano* de la persona que lo ocupa (nivel de educación, experiencia, edad, etc.); R_h es el vector de

⁵¹ Riera, Antoni. «Manual de Valoración Contingente.» Instituto de Estudios Fiscales, 1994: p. 9-10.

⁵² Azqueta, Diego. Op. Cit. p. 141.

características de *riesgo* (donde este vector del precio implícito puede ser interpretado como el valor estadístico de una vida humana), salubridad, higiene, que el puesto de trabajo conlleva; S_h el vector de característica sindicales del mismo (presencia de sindicatos en el sector, tamaño de la empresa, entre otras); X_h el vector, finalmente de características *medioambientales* del puesto de trabajo (localización geográfica, nivel de contaminación ambiental, ruido, etc.).

4.2.1.3. El Método de Valoración Contingente (MVC)

En el enfoque de valoración contingente se pregunta, mediante cuestionarios a las personas, su disposición a pagar por la reducción en la probabilidad de muerte prematura. El MVC plantea un esquema de disponibilidad a pagar (DAP) para el caso en que se presente una reducción en la probabilidad de morir ya sea por un accidente o por una enfermedad, y un esquema de disponibilidad a aceptar (DAA) como una compensación para el caso contrario.

Este método se distingue de los dos expuestos previamente por ser el único método directo o hipotético. En otras palabras, este método a diferencia de los anteriores - indirectos u observables - tiene como objetivo que las personas declaren sus preferencias con relación a un determinado bien o servicio ambiental, en lugar de realizar estimaciones sobre la base de conductas que se observan en el mercado. De este modo, el MVC es el único que permite calcular el valor económico total (VET)⁵³ de un bien o servicio ambiental, dado que es capaz de estimar tanto valores de uso como de no uso, siendo estos últimos los responsables de su gran difusión debido a que ningún otro método puede

⁵³ VET = Valor Uso + Valor No Uso. El *valor de uso* se refiere al valor de los servicios del ecosistema que son utilizados por el hombre con fines de consumo y de producción. Por *valor de no uso*, se entiende al disfrute que experimentan las personas simplemente por saber que un servicio ambiental existe, aún si no esperan hacer uso del mismo de forma directa o indirecta a lo largo de sus vidas (Cristeche y Penna 2008, pág. 9). En el **Anexo C**, se desarrolla la óptica del VET desde Cerda (2005).

capturarlos. Igualmente, es considerado también el método más controvertido de valoración económica de servicios ambientales. (Ecosystemvaluation 2006)

El origen de este método se remite a la década del setenta en los EEUU, cuando Robert Davis (1963)⁵⁴ lo desarrolló como parte de su tesis doctoral realizando encuestas a cazadores sobre el valor que le atribuían a los bosques del estado de Maine. Algunos desastres ecológicos llevaron ante los tribunales norteamericanos la discusión sobre la validez del MVC como forma razonable de calcular las compensaciones por la pérdida de utilidad de usuarios y usuarios potenciales (valor de no uso, de uso pasivo, de existencia o de opción) de los espacios naturales dañados.⁵⁵ Entre los autores que han utilizado este método para valorar la vida se encuentran Mishan (1971)⁵⁶, y Jones-Lee y otros (1985)⁵⁷.

El hecho de que este enfoque se base en el supuesto de las preferencias tiene validez si se toma en cuenta que, los individuos en la mayoría de situaciones que enfrentan, actúan como si sus funciones de preferencias incluyeran las expectativas de vida o la probabilidad de supervivencia como argumentos directos, en tales casos, las personas deben percibir con cuales alternativas seleccionadas experimentan una mejor situación, o si debieran seleccionar otro conjunto de alternativas con el objetivo de llegar a una mejor situación. Cuando es posible medir, en términos monetarios, la ganancia generada por estar en estas mejores

⁵⁴ Davis, Robert. «The Value of outdoor recreation. An economic study of the Maine Woods. » PhD Dissertation, Harvard University, 1963.

⁵⁵ Indudablemente, el acontecimiento que ha supuesto un verdadero hito en la controversia sobre la aceptabilidad del MVC lo constituyó la publicación, en 1993, del informe del *Blue Ribbon Panel* sobre el desastre ecológico originado por el vertimiento de petróleo causado por el accidente del *Exxon Valdez* en Alaska. El informe presidido por dos economistas de indudable prestigio: los premios Nobel Kenneth Arrow y Robert Solow, concluyó que en definitiva, el MVC es “capaz de proporcionar una estimación fiable”, acorde con los requerimientos de la magistratura, y, por tanto, utilizable como evidencia incluso en un juicio para el cálculo de las compensaciones debidas, con respecto a los valores de no-uso de los recursos ambientales.

⁵⁶ Mishan giró el foco hacia la compensación monetaria que requerirían los individuos a cambio de una reducción de la salud, o cuánto estaría dispuesto a pagar por mejorarla (Drummond, y otros 2001, pág. 240).

⁵⁷ Jones-Lee, Hammerton y Philips. «The Value of Safety: Results of a National Sample Survey. » 1985.

situaciones, la disponibilidad a pagar por las alternativas seleccionadas es revelada por la persona. Estas elecciones son la base para la medición del valor económico del riesgo de muerte. (Mendieta 2000)⁵⁸

No obstante, el enfoque de disponibilidad a pagar también enfrenta una serie de dificultades. Al referirse a la frase “valor de la vida”, se corre el riesgo que en las preguntas de disponibilidad a pagar no se capte el verdadero significado de la frase, debido a que la persona a la cual se le hace la pregunta no delimita la verdadera dimensión de la pregunta. Es muy común encontrar casos en que las personas no reportan valores de disponibilidad a pagar finitos debido a que la frase “valor de la vida” encierra juicios de valor que puede generar confusiones en la interpretación de la pregunta de disponibilidad a pagar (Mendieta 2000).

Lo más recomendado para evitar situaciones de este tipo, es tratar de enfocar las preguntas de disponibilidad a pagar en términos de cuanto estaría dispuesto a pagar una persona por una reducción o un cambio en la probabilidad de morir durante un período determinado. O por el contrario, cuál sería la cantidad de dinero que un individuo estaría dispuesto a aceptar por permitir un incremento en la probabilidad de morir durante un período determinado. Según Mendieta (2000), es más seguro que la formulación de estas dos preguntas lleve a la obtención de resultados que expresen la disponibilidad a pagar en montos de dinero finitos.

En consecuencia, de los tres enfoques, el MVC es la medida más completa de los beneficios personales de reducir la mortalidad (Mendieta 2000). La principal limitación es que es un método costoso de aplicar debido a la necesidad de diseñar, realizar y procesar una encuesta de tamaño suficiente para tener significancia estadística.

⁵⁸ Mendieta, Juan Carlos. 2000. Op. Cit. p. 259-261.

En cuanto al formato a utilizar para obtener la DAP, según la opinión de expertos, el dicotómico se perfila como el más adecuado (Arrow, y otros 1993).⁵⁹

4.2.1.3.1. El Método de Valoración Contingente con Formato Dicotómico

El MVC intenta averiguar, como se mencionó inicialmente, a través de la pregunta directa, la valoración que otorgan las personas a los cambios en el bienestar que les produce la modificación en las condiciones de oferta de un bien ambiental.

En el MVC el diseño de la encuesta es determinante en la calidad de los resultados obtenidos; es por esto que se debe invertir todo el tiempo necesario en su preparación. La idea de la encuesta es simular una transacción de mercado donde el entrevistado está comprando un cambio en el bien (Cruz Cerón 2005)⁶⁰. Visto desde otro modo, el enfoque del MVC depende tanto del mecanismo de encuestación como del formato de la pregunta a realizar (*ver Figura 3*).

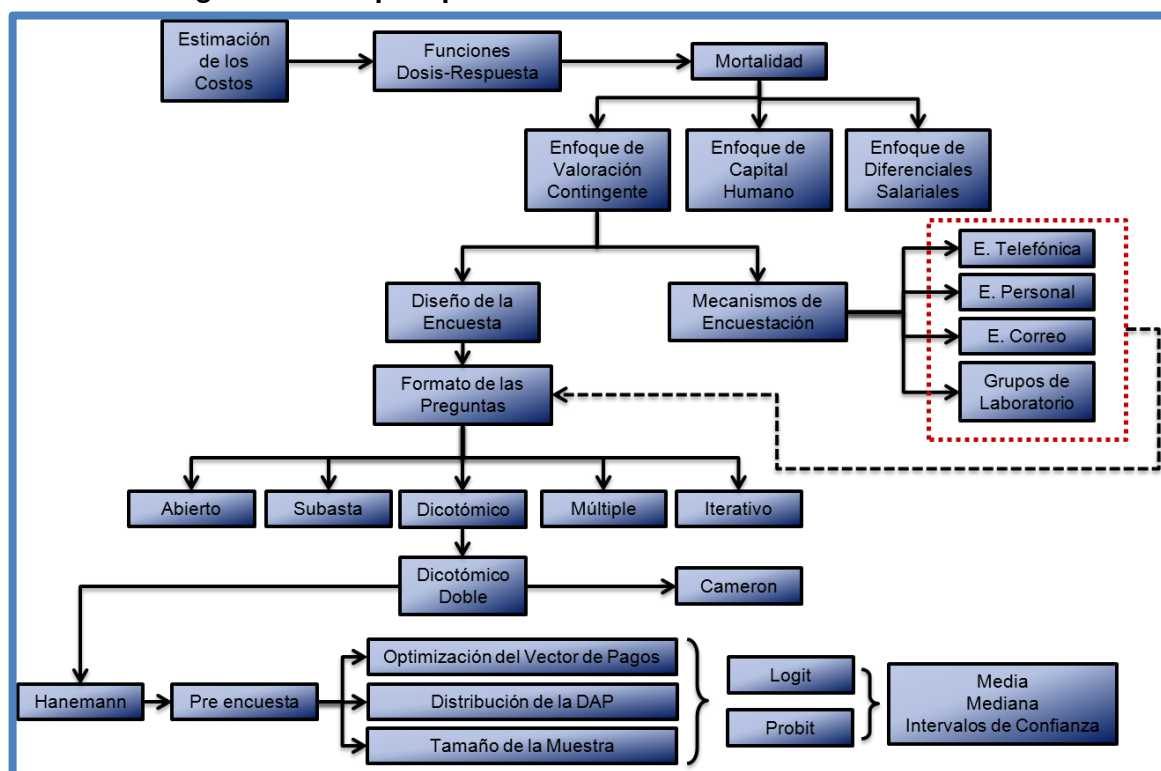
El proceso de “preguntar” puede hacerse a través de una encuesta directa, telefónica, o por correo, o bien mediante técnicas experimentales en condiciones de laboratorio (*ver con más detalle el Anexo D*). La elección de una u otra dependerá, entre otras cosas, de la complejidad de las preguntas, del tiempo y del presupuesto con el que se cuente.

Una vez definido el tipo de encuesta a llevarse a cabo, es importante encontrar la manera más clara en que las preguntas puedan ser formuladas, de tal manera que el entrevistado responda de la manera más sincera posible y el entrevistador obtenga los resultados que está buscando.

⁵⁹ Arrow y otros. «Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation.» 1993.

⁶⁰ Cruz Cerón, Gabriel. *Economía Aplicada a la Valoración de Impactos Ambientales*. Manizales: Universidad de Caldas, 2005: p. 159.

Figura 3. Enfoques para los Costos en Mortalidad en el MVC



Fuente: El autor, tomando los enfoques provistos por la literatura económica

En este sentido, existen distintos formatos de preguntas (*ver con más detalle “**Formato de las Preguntas**” en el Anexo D*): formato abierto (el entrevistador simplemente espera la respuesta a la pregunta formulada); formato subasta (el entrevistador adelanta una cifra y pregunta al entrevistado si estaría dispuesto a pagar esa cifra o más); formato múltiple (se le presenta al entrevistado un cuadro con varias cifras, ordenadas de mayor a menor, y se le pide al entrevistado seleccionar una); Bishop y Heberlein (1979)⁶¹ introdujeron una variante del método, llamada referéndum (formato dicotómico ó MVC FD), que requiere de los entrevistados, únicamente respuestas del tipo SI/NO, a diferencia de los métodos anteriores que exigían repreguntar varias veces hasta que el entrevistado cambiaba el signo de su respuesta. Esta variante tiene enormes ventajas en

⁶¹ Bishop, R., y T. Heberlein. «Measuring Values of Extra Market Goods: Are Indirect Measures Biased? » *American Journal of Agricultural Economics* 61 (1979): 926-930.

comparación con los procedimientos anteriores, porque elimina el sesgo⁶² que induce el hacer las repreguntas. (*Ver con más detalle “Sesgos en la Respuesta” en el Anexo D*).

En forma específica, el formato dicotómico consiste en solicitar al entrevistado que conteste si está dispuesto o no a pagar una determinada cantidad de dinero, elegida al azar de un rango de valores, para la implementación del proyecto propuesto. Según McConnell y Ducci (1989)⁶³ la valoración, usando el formato dicotómico, requiere solo respuesta “Sí” o “No” y no un estimado de lo que los consumidores tienen que pagar. Entre las bondades de este formato, está el situar al individuo en una situación similar a la que encuentra cuando realiza sus decisiones de consumo, que consiste en decidir si compra o no un bien a un precio que no puede modificar. Como consecuencia, se obtienen tasas de rechazos menores que con otros formatos, se reducen las posibilidades de respuestas de adivinación, se reduce el sesgo de punto de partida y la inducción de respuestas (Freeman 1993)⁶⁴. Sin embargo, su principal ventaja radica en que no crea incentivos para que el entrevistado tenga comportamiento estratégico, es decir, sobrevalúe o subvalúe su disposición a pagar (Azqueta 1994, pág. 163).

Por otra parte, Bowker y Stoll (1988) y Boyle y Bishop (1988) como se cita en Cerda, Rojas y García (2007)⁶⁵, mencionan que su desventaja radica en que es un indicador discreto de los deseos a pagar reales y que la selección de la forma funcional puede afectar los resultados. Este problema en cierta forma se ha visto solucionado con el formato dicotómico doble, aquí la verdadera disposición a

⁶² Los sesgos son definidos por Riera (1994, pág. 12) como aquellos errores que se cometen sistemáticamente debido a algún aspecto del ejercicio de Valoración Contingente y que resultan en una divergencia entre el valor estimado y el verdadero. Estos pueden ser instrumentales o no instrumentales.

⁶³ McConnell y Ducci. «Valuing Environmental Quality in developing Countries: Two case studies. » 1989.

⁶⁴ Freeman, A. Myrick «The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods » Resource for the future, 1993.

⁶⁵ Cerda, Arcadio, José Rojas, y Leidy García. «Disposición a Pagar por un Mejoramiento en la Calidad Ambiental en el Gran Santiago, Chile.» *Lecturas de Economía* 67 (2007): p. 147.

pagar se encuentra en cuatro tipos de intervalos posibles, obteniéndose una función logarítmica de verosimilitud para todas las observaciones muestrales.

El modelo dicotómico doble provee una ganancia en la precisión de la matriz de varianza-covarianza de los coeficientes estimados, resultando en intervalos de confianza más pequeños con respecto al modelo dicotómico simple. Además, se encuentra que el estimador puntual de la mediana de la disposición a pagar de los modelos dicotómicos doble es menor (Hanemann, Loomis y Kanninen 1991)⁶⁶.

Para la estimación paramétrica de la DAP, Hanemann (1984)⁶⁷ y Cameron (1988)⁶⁸ desarrollaron formulaciones teóricas del MVC FD que permiten estimar cambios en el bienestar de las personas. McConnell (1990)⁶⁹ demostró que las fracciones determinísticas de los dos modelos sugeridos son duales entre sí. Finalmente, una vez obtenida la media DAP mediante el ejercicio econométrico, se comparan los estimadores de las medidas de bienestar mediante intervalos de confianza para determinar la significancia de las medidas de bienestar obtenidas.

4.2.1.4. Valoración del Riesgo de Mortalidad en Colombia

Encontrar en Colombia un estudio en donde se valore la vida es complejo; en este contexto, autores como Muñoz y Moller (2004)⁷⁰ han utilizado la cifra de 90 mil dólares estadounidenses -que al intercambio a pesos colombianos equivaldría a

⁶⁶ Hanemann, Loomis y Kanninen. «Statistical Efficiency of Double-bounded: Dichotomous Choice Contingent Valuation. » *American Agricultural Economics Association*, 1991: 1255-1263.

⁶⁷ Hanemann, Michael. «Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses. » 1984. El modelo expuesto por Hanemann se precisa en el **Anexo E. Estructura del Modelo de Hanemann**.

⁶⁸ Cameron, Trudy A. «A New Paradigm for Valuing Non-market Goods Using Referendum, Data: Maximum Likelihood Estimation by Censored Logistic Regression. » *Journal of Environmental Economics and Management* 15, nº 3 (1988): 35-379.

⁶⁹ McConnell, Kenneth E. «Models for Referendum Data: The Structure of Discrete Choice Models for Contingent Valuation. » *Journal of Environmental Economics and Management* 18, nº 1 (1990): 19-34.

⁷⁰ Muñoz, Julian, y Rolf Moller. «La valoración económica de los daños en la salud humana, causados por la contaminación del aire como consecuencia del transporte motorizado en Santiago de Cali.» 2004.

unos 270 millones de pesos (a pesos de 2002)- para visualizar de alguna manera los costos del número de muertos en accidentes de tránsito en Santiago de Cali.⁷¹

Otro de los cálculos que han sido utilizados en Colombia, datan al valor registrado por Rojas (1995)⁷² en su documento de tesis titulado “Contaminación del aire por la industria y costos sobre la salud en Yumbo” donde se toma el valor para una vida estadística del orden de unos 17.411.712 (diecisiete millones cuatrocientos once mil setecientos doce) pesos para el año 1994.⁷³

Por último, se encuentra el documento elaborado para el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, por Bjorn Larsen (2004)⁷⁴, en donde se estima el valor de una vida estadística para Colombia entre un rango alto de 365 millones de pesos y un rango bajo de 220 millones de pesos.

⁷¹ Si bien estos autores no quisieron definir el valor de una vida debido a que argumentan que el valor de una vida es mucho más que la producción económica de una persona en toda su vida, al final, utilizan este valor sólo para reflejar de forma visual el espectro de tal valor económico. Ellos parten del supuesto que no existe razón alguna para suponer que una persona muerta en accidente de tránsito valga menos que una persona muerta en una guerra, y por ende, utilizan la cifra de 90 mil dólares entregada por el gobierno de Estados Unidos a los familiares de las personas muertas por combate en la guerra contra Iraq.

⁷² Rojas P. Op. Cit. 1995.

⁷³ Este autor recurrió a tal vez la única investigación realizada en ese momento en Colombia llevada a cabo por el doctor Harold Banguero (profesor de la facultad de Economía de la Universidad del Valle) en su estudio titulado “El costo monetario neto de un hijo en Colombia” llevada a cabo en 1979 donde se obtenía el valor económico de una vida estadística en 128.929 pesos de 1979.

⁷⁴ Larsen, Bjorn. Op. Cit. 2004.

4.2.2. Enfoques para los Costos en Morbilidad

Para estimar los costos asociados a la morbilidad, generalmente se utilizan tres enfoques alternativos: *costos directos asociados con la enfermedad*, gastos preventivos (defensivos) y la *valoración contingente*. (Ver **Figura 2**).

4.2.2.1. Enfoque de los Costos Directos Asociados

La valoración de los beneficios por disminución en la morbilidad utilizando el *enfoque de los costos directos estimados* consiste en obtener el costo directo de la enfermedad, que incluye los costos directos de tratamiento y los salarios perdidos, donde este último es estimado como el valor de la productividad perdida durante el episodio de la enfermedad. Constituye una cota mínima de la verdadera disposición a pagar por reducciones en las enfermedades debido a que no considera otros costos tales como el dolor, la inconveniencia, entre otros costos.

4.2.2.2. Enfoque de los Gastos Preventivos

El *enfoque de los gastos defensivos*, se basa en la idea de que los individuos que viven en una zona contaminada toman medidas defensivas para reducir su riesgo por enfermedades. De este modo, a partir de los gastos que ellos realizan por este concepto es posible inferir cual es la mínima cantidad que están dispuestos a pagar para reducir ese riesgo. Este enfoque no es muy utilizado, pues es común que la gente no esté informada acerca de los riesgos de la contaminación, y por lo tanto no haga nada para evitarla.

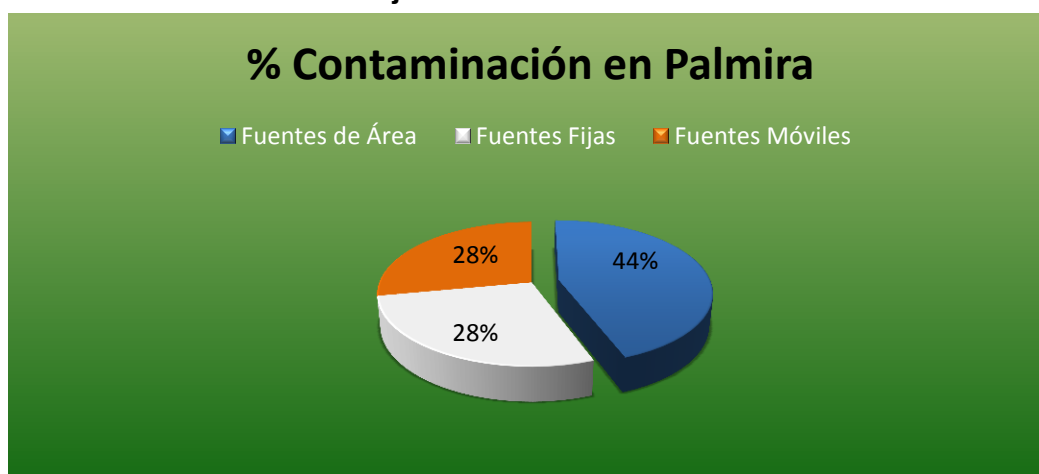
4.2.2.3. Enfoque de Valoración Contingente

El *enfoque de valoración contingente* constituye la más completa medición de los beneficios, pero tiene la limitación de la complejidad en su aplicación.

4.2.3. El PM10 y su incidencia en Palmira

El PM10 en el municipio de Palmira puede provenir de los tres tipos de fuentes existentes: fija, móviles y de área⁷⁵. Según el estudio realizado por Dávalos (2007)⁷⁶ se estima que el parque automotor emite cerca del 28% de la contaminación por PM10, la industria por su parte emite cerca del 28% de ésta, y cerca del 44% de la contaminación por PM10 diaria es emitida por la quema de la caña de azúcar (*ver Gráfica 1*).

Gráfica 1. Porcentaje de contribución del PM10 en Palmira



Fuente: el autor, tomando como base los resultados encontrados en Dávalos (2007).

Según este mismo estudio, existe una asociación positiva entre aumentos en la quema de la caña de azúcar y la concentración del contaminante PM10, seguida de una relación positiva entre las concentraciones de PM10 y el número de consultas médicas por Infecciones Respiratorias Agudas (IRA)⁷⁷ para este mismo

⁷⁵ Aunque estas son las principales fuentes, estudios recientes han tomado en sus variables también como fuente la generada por los hogares (la contaminación in door o contaminación en interiores).

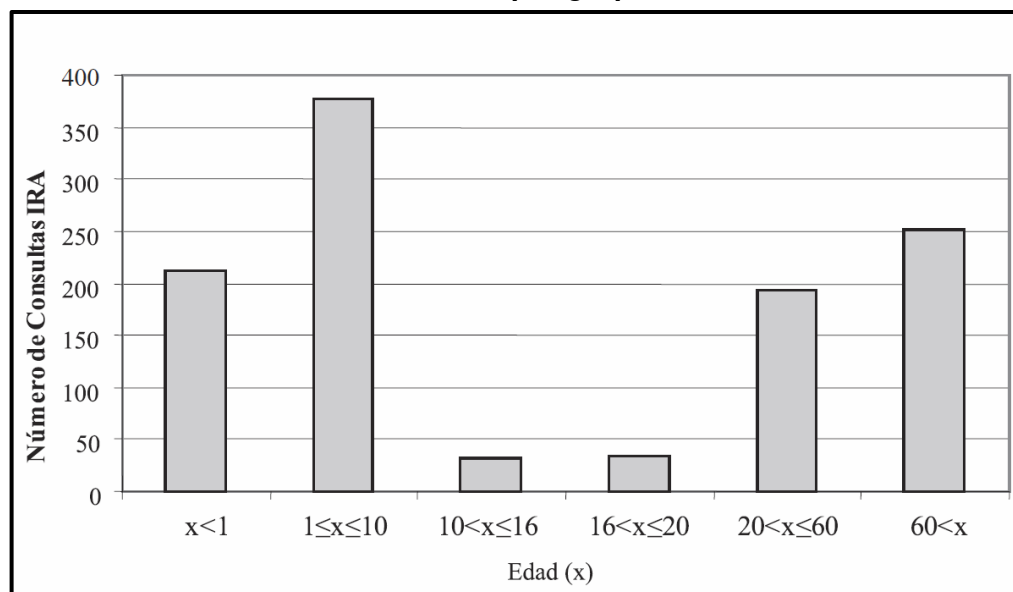
⁷⁶ Dávalos, Eleonora. Op. Cit.

⁷⁷ En el diagnóstico por IRA se incluyen tanto las afecciones respiratorias altas como las bajas. Todas estas enfermedades respiratorias presentan procesos inflamatorios que se desarrollan entre dos y cinco días después de la exposición al virus o a la contaminación y generalmente tienen una duración máxima de diez días. (Committee on Environmental Health 2004).

municipio. En términos de elasticidad, si se incrementa la quema de caña de azúcar en 10%, la concentración máxima diaria de PM10 aumenta en 4%. Por otra parte, un aumento del 10% en la concentración del PM10 máximo diario cinco días atrás, generaría hoy un aumento del 2,5% en el aumento de consultas por Infecciones Respiratorias Agudas (IRA).

De acuerdo a la base de datos levantada por Dávalos (2007)⁷⁸, en el municipio de Palmira, el 23% del total de las consultas médicas atendidas durante el 2004 en el Hospital San Vicente de Paúl de Palmira (HSVPP) fueron diagnosticadas como IRA, en donde los niños menores de diez años y los adultos mayores de sesenta años fueron los dos grupos de la población que más consultaron⁷⁹, alcanzando el 77% del total de las consultas por IRA en el 2004 (*ver Gráfica 2*).

Gráfica 2. Consultas IRA por grupos de edad, 2004.



Fuente: Dávalos (2007).

⁷⁸ Dávalos, Eleonora. Op. Cit.

⁷⁹ Estos dos grupos de edad son, justamente, los que la literatura sugiere como la población más vulnerable, ya que los niños aún están en desarrollo y los ancianos entran en una inevitable inmunosupresión.

4.3. MARCO LEGAL

La historia de la normatividad ambiental relacionada con calidad del aire se remonta a 1973 cuando se expidió la Ley 23 con el propósito de “Prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del territorio nacional”. Posteriormente, en 1979 el Congreso de la República expidió la Ley 09, conocida como el Código Sanitario Nacional. Luego, en 1982 el Ministerio de Salud Pública expidió el Decreto 02, que reglamentó las primeras normas en cuanto a emisiones atmosféricas en Colombia.

La Constitución Nacional de 1991 estableció una serie de deberes y derechos en lo relacionado con el medio ambiente sano. El Capítulo *III* establece en los artículos 79 y 80 que “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizara la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo”, y “Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados”. Consecuentemente, en 1993 se aprobó la Ley 99, por la cual se creó el Ministerio de Medio Ambiente (hoy Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT) y se organizó el Sistema Nacional Ambiental (SINA)

En 1995 el MAVDT estableció la norma marco para el componente aire a través del Decreto 948. El cual mediante el artículo 30 del Capítulo *III*, establece la eliminación de las quemas agrícolas para el 2005, es decir, se establece un período de diez años para tomar medidas y acciones que se orienten a las BPM en este sector. Durante este mismo período se firma el Convenio de concertación para una Producción más Limpia entre el gobierno nacional, las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y Asocaña.

Paradójicamente, por medio del Decreto 4296 del 2004, el Ministerio de Agricultura, el Ministerio de Protección Social, y el MAVDT derogan el artículo 30 del Decreto 948 ***dando vía libre a las quemas agrícolas a cielo abierto hasta tiempo indefinido***⁸⁰. Adicionalmente, para el año de 2006 se publicó la Resolución 601, por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional a condiciones de referencia (25°C y 1 atm. de presión), valores que se encuentran en actual vigencia.

Tabla 3. Niveles Máximos Permisibles para Contaminantes.

Contaminante	Unidad	Límite máximo permisible	Tiempo de Exposición
PST	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	Anual
		300	24 horas
PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	70	Anual
		150	24 horas
SO₂	$\text{ppm } (\mu\text{g}/\text{m}^3)$	0.031 (80)	Anual
		0.096 (250)	24 horas
		0.287 (750)	3 horas
NO₂	$\text{ppm } (\mu\text{g}/\text{m}^3)$	0.053 (100)	Anual
		0.08 (150)	24 horas
		0.106 (200)	1 hora
O₃	$\text{ppm } (\mu\text{g}/\text{m}^3)$	0.041 (80)	8 horas
		0.061 (120)	1 hora
CO	$\text{ppm } (\text{mg}/\text{m}^3)$	8.8 (10)	8 horas
		35 (40)	1 hora

Fuente: Resolución 601 del 2006, MAVT.

No obstante, para opacar aún más el panorama del cuidado ambiental del aire, para el caso específico del contaminante PM10, se adoptan límites anuales máximos permitidos de $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ (*ver **Tabla 3***), nivel que se encuentra por encima del máximo permitido por organismos internacionales como la EPA ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$), es decir, los habitantes de Colombia deben tolerar un nivel de contaminación superior al adecuado para llevar una vida sana.⁸¹

⁸⁰ Alegando textualmente que: “esta alternativa se considera como la opción de mayor beneficio tanto para el sector productivo como para la calidad del ambiente y vida de la población circunvecina”.

⁸¹ Para el caso de PM10, se estableció un límite de $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el año 2009 y de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el 2011.

4.4. MARCO CONCEPTUAL

En el presente marco se precisan aquellos conceptos relevantes utilizados en la investigación, con el fin de dar claridad sobre el significado técnico y contextual de algunos conceptos claves del presente trabajo.

4.4.1. Contaminantes del Aire

La evidencia de numerosos estudios en diferentes partes del mundo relaciona las altas concentraciones de contaminantes del aire con efectos agudos y crónicos en la salud. “El exceso de mortalidad por causas cardiovasculares, respiratorias, cáncer de pulmón e infecciones respiratorias agudas en los niños ha sido asociada con la presencia de niveles de contaminación que exceden las normas de calidad del aire exterior” (Cohen 2004)⁸².

4.4.1.1. Aire

El aire es una mezcla gaseosa compuesta por nitrógeno (78%), oxígeno (21%) y pequeñas cantidades de dióxido de carbono, argón, ozono y trazas de otros gases (1%). Una capa densa de aire denominada atmósfera rodea la tierra. El aire, al igual que otros gases, no tiene una forma fija. Se esparce y llena todo espacio disponible, pero el aire no puede escapar de la atmósfera dado que la fuerza de gravedad evita que se aleje de la tierra.⁸³

Figura 4. El Aire



Fuente: tomado de archivos ATSDR, 2007.

⁸² Cohen 2004, como se cita en Muñoz, Quiroz y Paz (2006, pág. 33).

⁸³ AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES & DISEASE REGISTRY, ATSDR. “El Aire”. 2007, p1.

4.4.1.2. Contaminación del Aire

La contaminación del aire es producida por toda sustancia no deseada que ingresa a la atmósfera. A pesar de que la contaminación del aire es generalmente un problema peor en las ciudades, los contaminantes afectan el aire en todos los lugares⁸⁴. La contaminación del aire se puede definir como “cualquier condición atmosférica en la que las sustancias presentes producen un efecto adverso medible, en la salud humana, de los animales y vegetales, o bien un daño físico en los materiales como el caso de edificaciones y monumentos” (Nevers 1998)⁸⁵.

4.4.1.3. Fuentes de Contaminación

Según la Organización Panamericana de la Salud, OPS (2005)⁸⁶ las fuentes de contaminación atmosférica están clasificadas en fuentes fijas y fuentes móviles, entre las primeras se encuentran las emisiones de procesos industriales, canteras, entre otras; y las segundas las producen principalmente el parque automotor. Generalmente la contaminación se vuelve más crítica principalmente en los grandes centros urbanos, donde los factores como el crecimiento acelerado de las industrias, del parque automotor, construcciones, quemas a cielo abierto, mal manejo de desechos sólidos, entre otros, aumentan los prejuicios y daños en la salud.

4.4.2. Contaminación por Material Particulado

El material particulado (PM) atmosférico es el conjunto de pequeñas porciones de material sólido o líquido que permanecen suspendidas individualmente en la mezcla de gases de la atmósfera. En conjunto, partículas y gases forman el aerosol atmosférico. Las partículas pueden provenir de erupciones volcánicas o de

⁸⁴ IBID, p1.

⁸⁵ Nevers, N. En *Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire.*, 546p. Mc Graw-Hill, 1998.

⁸⁶ ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, OPS. «Evaluación de los Efectos de la Contaminación del Aire en la Salud de América Latina y el Caribe.» Washington DC, 2005.

la erosión de las montañas, edificios o vías. Pueden ser emitidas por plantas como granos de polen, o ser en sí mismas, bacterias, hongos o virus. También pueden ser el producto de la combustión incompleta de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, tanto fósiles como renovables (Rojas 2005)⁸⁷. Según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, ATSDR (2007)⁸⁸, cuando se respira el PM, este puede irritar y dañar los pulmones con lo cual se producen problemas respiratorios. Las partículas delgadas se inhalan de manera fácil profundamente dentro de los pulmones donde se pueden absorber en el torrente sanguíneo o permanecer arraigadas por períodos prolongados de tiempo.

4.4.2.1. Clasificación del Material Particulado

Existen diversas formas de clasificar el material particulado, una de ellas es por su tamaño, se evidencian entonces todas las partículas de tamaño menor que $10\mu\text{m}$, que es a lo que se refiere el conocido término PM_{10} , y además, partículas respirables por los humanos. De manera similar, $PM_{2.5}$, la llamada fracción alveolar por no ser retenidas en las vías respiratorias superiores, se refiere a la agrupación de todas las partículas de tamaño menor que $2,5\mu\text{m}$. A las partículas de tamaño menor que $0,1\mu\text{m}$ (100nm) se les ha acuñado el término de *partículas ultrafinas*, y a aquellas con un tamaño menor que $0,05\mu\text{m}$, el de *nanopartículas*. La agrupación de todas las partículas constituye las partículas suspendidas totales, o *TSP*, por sus siglas en inglés.⁸⁹

⁸⁷ Rojas, Néstor. Op. Cit. p3.

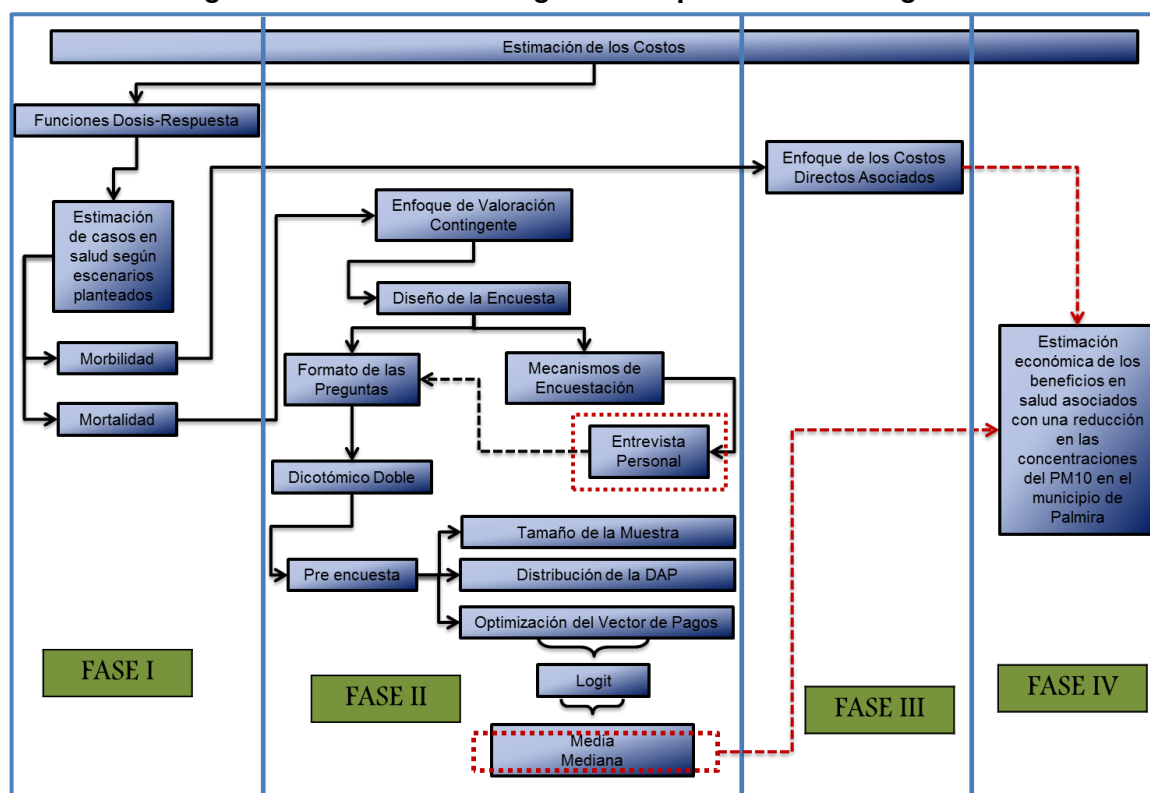
⁸⁸ AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES & DISEASE REGISTRY, ATSDR. Op. Cit. p1.

⁸⁹ Rojas, Néstor. Op. Cit. p6.

5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La Metodología del presente estudio responde el “cómo” hacer la investigación basándose no sólo en el marco referencial, sino también en los objetivos diseñados y en el aporte de la literatura a la solución de la situación problema del presente estudio.

Figura 5. Marco Metodológico de la presente investigación



Fuente: el autor.

Este proyecto se realiza mediante cuatro fases (ver **Figura 5**). Fase I : determinación de los casos en morbilidad y mortalidad generados por la presencia del PM10 según los escenarios planteados; Fase II: determinación de los costos en mortalidad por PM10; Fase III : valoración de los costos en morbilidad

asociados a las enfermedades estimadas en la primera fase; Fase IV: Estimación económica de los beneficios en salud generados por una reducción en las concentraciones del PM10 en la zona urbana del municipio de Palmira.

5.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación plantea una estimación del costo en la salud humana tanto en mortalidad como morbilidad que sobrepone el PM10 a los habitantes de la zona urbana del municipio de Palmira. Para hallar tal estimación, este estudio plantea el uso de las funciones dosis-respuesta (*denotadas en la **Tabla 2***) expuestas en Sánchez C, Valdés de Ferari y Ostro (1997)⁹⁰ a partir de los escenarios propuestos por los autores. Se plantean así dos escenarios, en el Escenario 1 se plantea reducir la emisión anual de PM10 de 46,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (última emisión anual registrada) hasta el valor de implementación de la norma de calidad local; y en el Escenario 2, se plantea reducir en 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ las emisiones anuales para este mismo contaminante. Ambas estimaciones se realizan para el año 2009.

Una vez concluida la cuantificación de casos en salud evitados, se hace necesaria la valoración monetaria de estos.

Para hallar el costo en mortalidad (valor de una vida estadística), se realizaron encuestas personales a una muestra estadísticamente significativa de los habitantes de la zona urbana del municipio de Palmira utilizando el Método de Valoración Contingente (MVC) en su formato dicotómico doble. Posteriormente, se utiliza el Enfoque de los Costos Directos Asociados para las enfermedades encontradas en las funciones dosis-respuesta, para así estimar los costos en

⁹⁰ El Banco Mundial, por ejemplo, ha utilizado este enfoque para evaluar los efectos en salud de la contaminación atmosférica en Jakarta (Ostro 1994); y recientemente, en Colombia el IDEAM (2005) ha utilizado esta sistemática para hallar el número de casos en salud asociados por la influencia del PM10 en la ciudad de Bogotá.

salud por morbilidad relacionados a la presencia del PM10 de este ítem. Por último, una vez obtenidos los datos y costos en salud asociados a la morbilidad y mortalidad, se procede a estimar económicamente los beneficios en salud generados por una reducción en las concentraciones del PM10 en la zona urbana del municipio de Palmira.

5.2. METODOLOGÍA E INCERTIDUMBRE EN EL USO DE LAS FDR

Las funciones dosis respuesta expuestas en la **Tabla 2** corresponden a los resultados de los trabajos epidemiológicos a nivel internacional, su aplicación depende en parte de la disponibilidad de información en morbilidad y mortalidad que disponga el país. Para el caso del PM10, los efectos cuantificables son:

- Muerte prematura
- Cambios en admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias
- Cambios en admisiones hospitalarias por enfermedades cardiovasculares
- Visitas a salas de emergencia por enfermedades respiratorias
- Días de actividad restringida en adultos
- Enfermedades respiratorias bajas en niños
- Bronquitis crónica
- Síntomas respiratorios agudos
- Ataques de asma.

La epidemiología que se ocupa de estudiar los efectos en salud de la contaminación atmosférica es un área de mucha investigación científica en todo el mundo, sin embargo en Colombia esta investigación recién está comenzando. En consecuencia, los resultados logrados en este estudio pueden verse afectados en el futuro en la medida que se realicen investigaciones específicas respecto a la situación colombiana. Esto es importante de tener en cuenta porque al seleccionar funciones dosis-respuesta para una aplicación empírica se utiliza la mejor

información disponible en el momento sobre cuestiones que son objeto de investigación activa y también sujeto de legítimo debate científico.

Como se mencionó en apartados anteriores, las FDR para el caso del municipio de Palmira requiere de complejos estudios epidemiológicos, que no han sido realizados para la ciudad, por lo cual es necesario entonces recurrir a los resultados obtenidos en otros estudios para realizar dichos postulados, centrando principal atención en el estudio realizado por Sánchez C, Valdés de Ferari y Ostro (1997) de donde se tomarán las funciones dosis respuesta de ese estudio.

Al aplicar las funciones dosis-respuesta, el resultado es la cuantificación de los efectos físicos en salud que se obtienen producto de la disminución de las concentraciones propuestas. Para la aplicación de estas funciones es importante tener en cuenta las siguientes limitantes:

- a)** En general las FDR miden efectos agudos en salud; aunque se dispone para el caso de la mortalidad por PM₁₀, del trabajo de Pope y otros (1995), en el cual el parámetro alto permite considerar algún efecto crónico.
- b)** Se asume que los resultados de las funciones dosis-respuesta estimadas en otros medios y para otras poblaciones, describen adecuadamente la relación existente entre contaminación y salud de las personas en el área en que se evalúa la norma de calidad del aire. Este es un supuesto bastante fuerte pues implica que el estado general de salud de la población, el acceso a la salud, los hábitos alimenticios de la población, el tiempo que pasan al aire libre y la composición química de los contaminantes, entre otros, son similares a las existentes en los lugares donde se realizaron los estudios. Sin embargo, al no contar con ellas, este es el único camino posible, ante la imposibilidad de disponer de FDR estimadas para el lugar y la población en la cual se desea realizar la evaluación económica.

- c) Otro supuesto que se utiliza en la aplicación de esta metodología es que la función se puede aplicar en forma lineal cualquiera sea el nivel de las concentraciones en que se esté evaluando la FDR, es decir, suponiendo que la pendiente de la FDR es la misma para cualquier nivel de concentración, sin considerar los niveles base de contaminación. Si la verdadera FDR no es lineal, entonces los efectos podrían ser mayores a niveles de concentraciones menores. En el caso del PM10, cuando se ha tratado de identificar la existencia de un umbral donde no existan afecciones, se ha podido concluir que no existe alguno, debido al estado actual del conocimiento científico.
- d) Se debe considerar que existen efectos en salud que no han sido cuantificados en este análisis y cuya incorporación no es posible por la disponibilidad de información en salud y por el estado actual de conocimiento científico.
- e) Una forma de minimizar la incertidumbre en las FDR se presentan tres estimaciones: valor alto, medio y bajo⁹¹. El valor central es típicamente obtenido del valor medio del rango reportado por los estudios epidemiológicos. El valor alto como se mencionó permite un cálculo probable de efectos crónicos.
- f) Existe evidencia de que los efectos adversos en salud ocurren incluso a niveles de exposición por debajo de la norma de calidad, es decir, no existe un umbral en el cual los niveles no produzcan cambios en salud.

⁹¹ Estos rangos para las funciones no intentan representar cotas máximas o mínimas absolutas para los efectos, sino que son rangos razonables para los efectos estudiados. Por ejemplo, rangos basados en un solo estudio se eligen como más/menos una desviación estándar del valor central y no los valores máximos y mínimos encontrados. Cuando hay varios estudios que pasan los criterios de selección para un efecto dado, el rango seleccionado refleja la variación en los resultados a través de los estudios. Estos rangos no pretenden capturar toda la incertidumbre en las funciones dosis-respuesta debido a que esta no es cuantificable. Sin embargo, es un intento para presentar de manera más realista el grado de incertidumbre presente y en buena parte refleja el juicio de los investigadores.

5.3. METODOLOGÍA PARA CAMBIOS EN LA TASA DE MORTALIDAD

La metodología a emplear para hallar el costo de una reducción en la tasa de mortalidad de la zona urbana del municipio de Palmira, es la Valoración Contingente. El método de análisis que se presenta a continuación sigue las principales recomendaciones del Blue Ribbon Panel de la NOAA (Arrow, y otros 1993)⁹², que se han convertido en prácticas habituales a la hora de llevar a cabo estudios de valoración contingente. Dichas metodologías están aún en proceso de desarrollo y perfeccionamiento.

1. Definir con precisión lo que se desea valorar en unidades monetarias
2. Definir la población relevante
3. Concretar los elementos de simulación del mercado
4. Decidir la modalidad de entrevista
5. Seleccionar la muestra
6. Redactar el cuestionario
7. Realizar las entrevistas
8. Explotar estadísticamente las respuestas
9. Presentar e interpretar los resultados

Fuente: Riera, 1994.

5.3.1. Definición del bien a valorar

Según Riera (1994)⁹³, es de vital importancia que al iniciar el estudio se sepa exactamente lo que se quiere medir en unidades monetarias. Con el presente estudio, lo que se desea valorar es la disposición a pagar de los habitantes de Palmira por una reducción en la probabilidad de una muerte prematura.

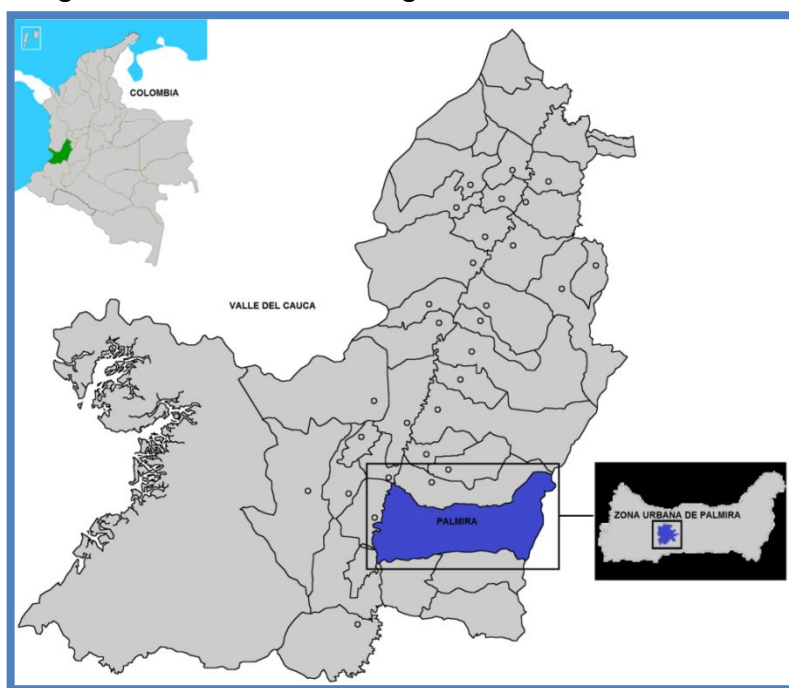
⁹² Arrow y otros. Op. Cit. 1993.

⁹³ Riera, Antoni. Op. Cit.

5.3.2. Población

En primer lugar, se definió la población de la cual se tenía que extraer la muestra, el área de estudio proporciona el contexto geográfico y demográfico, para este caso, se delimitó la población a los hogares de la zona urbana del Municipio de Palmira (*ver* **Figura 6**) debido tanto a limitaciones económicas como del objetivo inicial propuesto.

Figura 6. Delimitación Geográfica del Área de Estudio



Fuente: Adaptado de archivos DANE 2005

5.3.3. Elementos de Simulación del Mercado

En esta fase, el investigador intenta simular mediante el procedimiento de encuesta un mercado real. Con esto se quiere, elegir la pregunta de la disposición a pagar y la forma de presentar tal pregunta. Tomando como base que el valor de una vida no es un bien transable en ningún mercado específico, se debe crear un

mercado hipotético lo suficientemente creíble como para obtener respuestas realistas por parte de los encuestados.

En primera instancia, el ejercicio del MVC se plantea en términos de valoración monetaria, pero se introduce también una valoración por puntos o variables cualitativas para familiarizar al encuestado con el bien a valorar, sin llegar a la difícil cuestión de preguntar su DAP, de forma que cuando tuvieran que responder a la pregunta de la DAP pudieran hacerlo con mayor rigor y facilidad.

Para este estudio, se formuló un mercado hipotético de reducción de la contaminación del aire en el municipio, donde se le preguntaba al encuestado sobre su disposición a pagar para contribuir a la ejecución de un programa de descontaminación ambiental que permitiese reducir la probabilidad de una muerte prematura de 0,04% a 0,03% por año en que se implemente dicho proyecto.

Siguiendo las recomendaciones de la NOAA, la valoración se hizo apoyándose en la pregunta de disposición a pagar (DAP), y mediante el uso del formato dicotómico doble en la pregunta de valoración.

5.3.4. Modalidad de la Entrevista

La siguiente decisión relevante es la modalidad de entrevista o método de encuestación. La decisión más importante en este punto era el de establecer una muestra o bien familiar o bien personal. Se optó por la primera, al considerar que podía presentar un menor sesgo y que se obtenían valores más reales que tomando la otra opción.

En el presente estudio, se plantea la utilización de las entrevistas personales para la realización de las encuestas (representados por un mayor de 18 años por cada hogar escogido), debido a que este método es más directo, permite mantener el

orden de las preguntas y resolver dudas que puedan aparecer en el cuestionario o en la mente de la persona entrevistada, y, al mismo tiempo, permite utilizar material gráfico que ayude a comprender el bien y la simulación del mercado.

5.3.5. Muestra

Como la población suele ser demasiado grande para ser entrevistada en su totalidad, se selecciona sólo una parte, que suele ser relativamente pequeña. El tamaño de la muestra viene dado por el grado de fiabilidad (nivel de confianza) y ajuste (margen de error) que se desee para los valores que se vayan a obtener.⁹⁴

En este contexto, la definición del tamaño de la muestra " n " vino dada por dos factores: el nivel de fiabilidad y ajuste que se pretendía conseguir con el sondeo respecto a los resultados principales, y las posibilidades económicas para realizar el sondeo. De acuerdo a estas limitaciones, se optó finalmente por tomar los valores propuestos en la **Tabla 4**, para luego estimarlos mediante la **Ecuación 3**, obteniéndose al final una muestra de 268 observaciones útiles.

Ecuación 3. Tamaño de la Muestra para una Población Finita

$$n = \frac{NZ_{1-\alpha/2}^2 * P(1 - P)}{e^2(N - 1) + Z_{1-\alpha/2}^2 * P(1 - P)}$$

Fuente: Cochran, (1996).

En donde:

⁹⁴ Si bien se realizó una encuesta piloto y de esta se pudo conocer la proporción de los encuestados dispuestos a pagar ($p=0,9$ y $q=0,1$), tomando estos valores y utilizando muestras por proporciones con un nivel de confianza del 95% y un error muestral del 5% el número de encuestados finales era de 142 hogares, valor que a juicio de los autores era insuficiente para reflejar la opinión estadística del valor de una vida, motivo por el cual, se decidió ampliar este tamaño de muestreo mediante las fórmulas estadísticas para obtener un tamaño de muestra con población finita omitiendo que se conocía de la población su proporción de aceptación y usando igualdad de proporción, es decir, suponer que el 50 por cien de las personas entrevistadas están dispuestas a pagar.

Tabla 4. Valores propuestos aplicados para el Diseño de la Muestra

N	Tamaño de la población	55.000 hogares
Z	Distribución de Gauss	1,64 (Nivel de Confianza 90%)
P	Prevalencia esperada	0.5
q	(1-p)	0.5
E	Error Admisible	0.05

Fuente: el autor.

Con 268 observaciones, se puede asegurar estadísticamente que en el 90 por ciento de veces que se realice la encuesta de manera aleatoria, el error cometido entre el valor observado en la muestra encuestada y el valor que resultaría de preguntar a toda la población diferirá en menos de cinco puntos porcentuales en el peor de los casos, cuando la mitad de la muestra escoja una determinada opción (por ejemplo, el 50 por cien de las personas entrevistadas manifiesten que sí están dispuestas a pagar).⁹⁵

Una vez determinado el tamaño de la muestra, se procedió a escoger la forma de muestreo. Aplicando este tamaño de la muestra a las siete comunas que conforman la zona urbana de Palmira, se procedió a efectuar muestreo estratificado según el número de habitantes por comuna utilizando la **Ecuación 4**.

Ecuación 4. Muestreo Aleatorio Estratificado

$$\eta i = n \frac{Ni}{N}$$

Fuente: Cochran, (1996).

En donde:

ηi = % del estrato aplicado a la muestra

⁹⁵ Cualquier intento de mejora que pasase por una ampliación del tamaño de la muestra comportaba unos costes económicos y de tiempo excesivos para las posibilidades del presente estudio.

n = Tamaño de la muestra total

N_i = Tamaño de la población del estrato

N = Tamaño de la población total.

El muestreo aleatorio estratificado es uno de los métodos usados en el diseño de muestreo, el cual permite reducir los costos de sondeos de la opinión pública o de los consumidores al dividir en segmentos llamados estratos la población de estudio. Se seleccionan muestras aleatorias dentro de cada estrato; después se combina esta información para hacer una inferencia acerca de toda población en estudio (UNES 1997, como se cita en Mejía 2000)⁹⁶.

Tabla 5. Muestreo Estratificado por Comunas: Área urbana de Palmira

Comuna	Población	% del Total	Observaciones por Comuna
1	38.464	15,49%	42
2	41.773	16,82%	45
3	32.901	13,25%	35
4	27.450	11,05%	30
5	43.893	17,68%	47
6	27.177	10,94%	29
7	36.656	14,76%	40
Total	248.314	100%	268

Fuente: elaboración propia.

En la **Tabla 5** se relaciona el número de encuestas que hacen que toda la población tenga igual probabilidad de ser escogida para cada comuna.

5.3.6. Redacción y Estructura del Cuestionario

Una vez definido claramente el problema de valoración y la modalidad de entrevista, así como la muestra a la que se va a encuestar, puede procederse a la

⁹⁶ Mejía, Cristóbal. Op. Cit. p. 44.

redacción del cuestionario. Según Riera, esta es seguramente la fase que más tiempo suele -o debería- consumir (junto con la explotación de los datos). La encuesta final tendrá que pasar por varias versiones piloto, las cuales se prueban con un número reducido de personas, hasta llegar a un texto final satisfactorio. La buena redacción del cuestionario es esencial para obtener valores poco sesgados.

Para el presente estudio, se estructuró el cuestionario final en cuatro fases (el modelo de la encuesta se denota en el **Anexo F**):

- **Introductoria:** destinada a mostrar la seriedad y autenticidad del trabajo, y de dar a conocer la objetividad del tema a tratar.
- **De percepción:** la cual está destinada a medir la actitud, grado de conocimiento y opinión de los habitantes de Palmira frente al tema de la contaminación del aire.
- **De valoración:** destinada a la valoración económica propiamente dicha en el cual se enfrenta el entrevistado a la pregunta de la disponibilidad a pagar.
- **Fase de caracterización del encuestado:** destinada a conocer las características de los encuestados como por ejemplo: ingreso familiar, nivel cultural ambiental, formación académica, entre otras características.

5.3.6.1. Precios de partida y diseño óptimo del vector de pago

Una vez decidido que las preguntas referentes a la DAP se harían por el procedimiento dicotómico y conocida la muestra, deben fijarse los precios de partida. La encuesta del formato dicotómico ⁹⁷ está compuesta por varios elementos: número total de la muestra, límite inferior y superior de la cantidad

⁹⁷ Sin embargo, en este formato, tanto su diseño como su análisis son relativamente complejos y la mayoría de los problemas de este formato están relacionados con el diseño de la encuesta. Entre los autores que se han referido a este tema se encuentran: Duffield y Patterson, 1991; Cooper y Loomis, 1992; Kanninen y Kriström, 1993; y Cooper, 1993.

ofrecida (los pagos), niveles específicos (rangos) de la cantidad ofrecida y la distribución de la muestra total entre los rangos específicos.

Pre Encuesta con Formato Abierto

Una parte determinante del estudio del MVC resulta de la aplicación de una encuesta piloto. Según Barzev (2002)⁹⁸, antes de la encuesta final, se le pregunta (a por lo menos el 10% de lo determinado para la encuesta final) abiertamente a la muestra sobre la máxima cantidad DAP por una mejora de un bien ambiental. La encuesta piloto, no sólo se realiza para determinar la media DAP, sino también para verificar el funcionamiento general de la encuesta final, determinar los límites inferior y superior del vector de pagos y seleccionar la distribución de la DAP.

Al final, se realizaron en total 39 pre-encuestas, valor que supera el 10% del total del número de encuestas final establecido. En la pregunta de valoración contingente, se le preguntó abiertamente al encuestado sobre la cantidad máxima que está Dispuesto a Pagar (DAP) por una disminución en la probabilidad de una muerte prematura por efectos de la contaminación ambiental en Palmira.

Una vez realizada la encuesta piloto, se obtuvieron sus estadísticos descriptivos procesándolos en el programa estadístico PASW Statistics 18 (conocido años atrás como SPSS). Estos valores se reflejan en **Tabla 6**.

Tabla 6. Rango inferior superior y media DAP Encuesta Piloto

Media	\$ 15.428
Límite Inferior	\$ 5.000
Límite Superior	\$ 35.000

⁹⁸ Barzev, Radoslav. «Guía Metodológica de Valoración Económica de Bienes, Servicios e Impactos Ambientales.» *Corredor Biológico Mesoamericano*, CCAD. 2002. p. 64.

En este caso se tiene un tamaño muestral de 268 hogares, un límite inferior de \$5mil y superior de \$35mil, restando así por obtener el vector óptimo de pagos y asumir una distribución para la DAP.

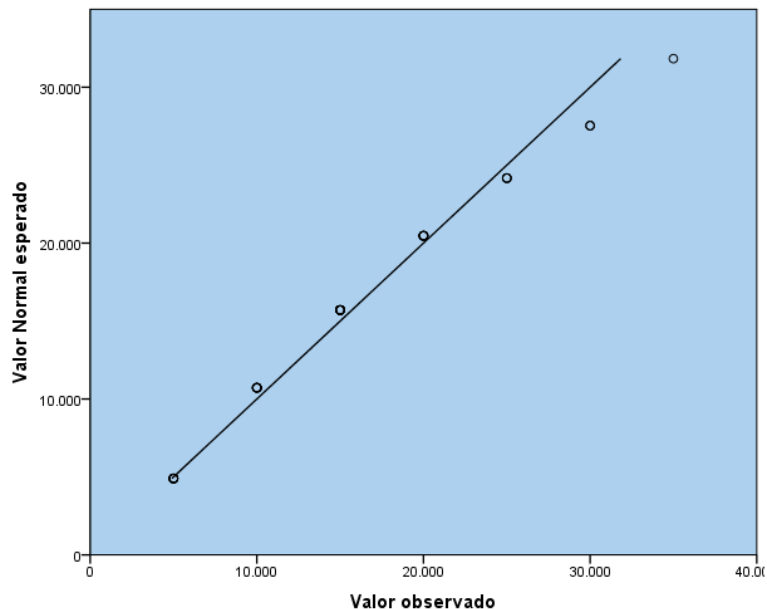
Distribución de la DAP

Debido a que la teoría económica no da ninguna orientación sobre la distribución estadística esperada, es difícil determinar la naturaleza de la distribución. En la mayoría de los estudios de Valoración Contingente se ha asumido que la DAP, obtenida a partir de una pre-encuesta con formato abierto, tiene distribución normal o logística-simétrica. Sin embargo, hay poca evidencia que demuestra que la DAP se distribuye simétricamente. Cooper (1993), analizando varias bases de datos de pre-encuestas obtenidas con formato abierto, ha demostrado que la DAP de muchas de ellas tiene distribución lognormal-asimétrica.

Por tanto, es importante determinar la distribución de la DAP utilizando algún test antes de optimizar el vector de pagos. Existen varias técnicas para determinar cuál distribución es apropiada; en este trabajo se utilizan el Test Grafico Q-Q Plot, el Test de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefor, el Test D'Agostino Sesgamiento, el Test D'Agostino Kurtosis y el Test D'Agostino Omnibus para verificar la normalidad de los datos a partir de la pre-encuesta.

Con el Test Q-Q Plot se grafican los cuantiles de la muestra versus una situación hipotética donde los cuantiles están distribuidos normalmente (los datos hipotéticos forman una línea recta). Si los puntos de los dos gráficos sobrepuestos están cerca se puede asumir la normalidad de los datos. Como se puede observar en la **Gráfica 3** se puede asumir normalidad entre el valor normal esperado y el valor observado.

Gráfica 3. Test Gráfico Q-Q Normal



Fuente: el autor, utilizando los datos de la pre-encuesta en el programa PASW Statistics 18.

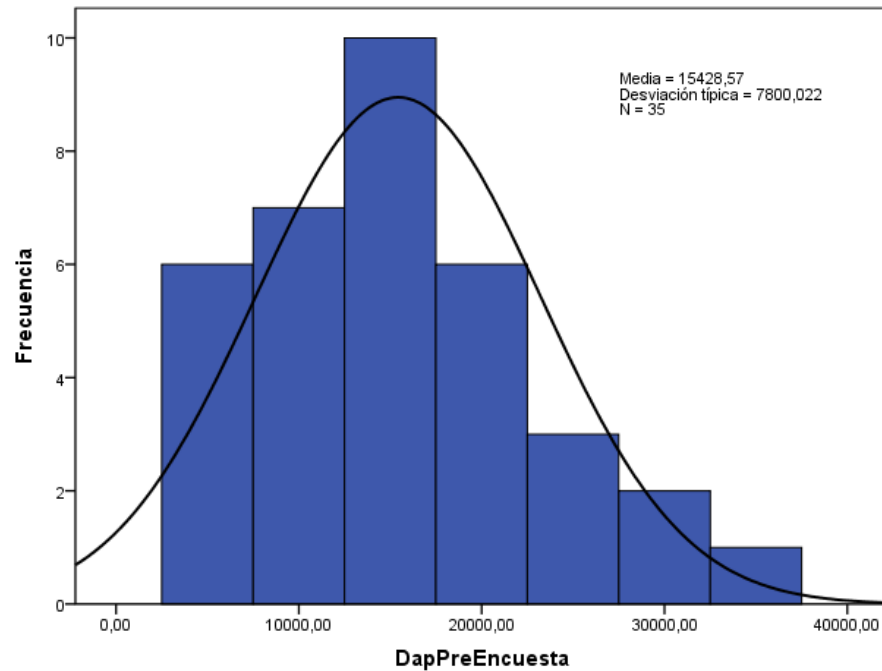
Como se muestra en la **Tabla 7**, las pruebas de normalidad permiten establecer que los datos provienen de una normal como conclusión al 10%.

Tabla 7. Pruebas de Normalidad de la Pre encuesta

Pruebas de Normalidad			
Serie #1 (Var1)			
Tamaño muestral	35	Media	15428,57143
Desviación Típica	7800,0215	Mediana	15000
Sesgamiento	0,5636	Kurtosis	2,795179005
Sesgamiento Alterno (de Fisher)	0,5891	Kurtosis Alternativa (de Fisher)	-0,044224335
	Estadísticas de la Prueba	nivel p	Conclusión: (10%)
W de Shapiro-Wilk	0,9273	0,023332	Aceptar la Normalidad **
D'Agostino Sesgamiento	1,5040	0,132574	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Kurtosis	0,1668	0,867493	Aceptar la Normalidad
D'Agostino Omnibus	2,2899	0,318233	Aceptar la Normalidad
**Aceptar la Normalidad al 2%			

Fuente: El autor con base en los datos obtenidos a partir de la pre-encuesta realizada, las pruebas fueron realizadas con BioStat Professional, versión 2007.

Gráfica 4. Test Gráfico de la Pre encuesta



Fuente: el autor, utilizando los datos de la pre-encuesta en el programa PASW Statistics 18.

Mediante la realización de las anteriores pruebas estadísticas se verifica la distribución de los datos a partir de la encuesta piloto, y se asume que la población posee la misma distribución que la de su muestra. Al final los resultados permitieron inducir que los datos provienen de una distribución normal, y por ende asumir una distribución simétrica-logística.

Diseño del Vector De Pagos

Existen varios métodos para determinar el vector de pagos “m”, entre ellos se encuentran el enfoque tradicional⁹⁹ y el enfoque de Joseph Cooper (1993)¹⁰⁰.

⁹⁹ En este enfoque, dado el N, los límites inferior y superior de la DAP, se procede a dividir N (tamaño muestral) entre “m” (número aleatoriamente seleccionado de rangos de pagos).

¹⁰⁰ Cooper, Joseph. «Optimal Bid Design for Dichotomous choice Contingent Valuation Surveys» *Journal of Environmental Economics and Management* 24 (1993):25-40.

Para el diseño óptimo del vector de pagos¹⁰¹ se aplica el proceso iterativo del modelo de “Distribución de los Rangos de Pago con Áreas Iguales de Selección” (denominado DWEABS por sus siglas en inglés) desarrollado por Cooper (1993).

Pero frente a la imposibilidad de obtener dicha rutina por parte de los autores, se procedió a realizar un procedimiento similar en una hoja de Excel en donde se adaptaron estudios en los cuales se utilizaba dicha rutina, para luego evaluarla y definir la distribución que presentaba menor sesgo y error en sus datos. La **Tabla 8** muestra los modelos acoplados al tamaño de muestra “N” para obtener la cantidad óptima del vector de pagos “m” para cada submuestra “n”.

Tabla 8. Modelos Ajustados para obtener el “n” para cada “m”

¹⁰² m	b	Barzev, (s.f.)	Cerda, 2005 (a)	Cerda, 2005 (b)	Basset, 2009	Autor
1	b1	19	18	20	16	14
2	b2	40	35	34	36	21
3	b3	32	32	32	29	35
4	b4	29	31	31	27	42
5	b5	29	31	31	26	44
6	b6	29	32	32	26	42
7	b7	32	34	34	27	35
8	b8	40	38	38	29	21
9	b9	18	17	16	36	14
10	b10				16	
Total		268	268	268	268	268

Fuente: elaboración propia, tomando como base los modelos encontrados.

¹⁰¹ En este estudio no se utiliza el enfoque tradicional, debido a que si bien es muy utilizado, este enfoque no posee un criterio formal que justifique su uso.

¹⁰² Para el caso del número de rangos (m) a utilizar, como no se tenía idea de algún número en especial, los autores, antes de realizar este proceso decidieron hallar este valor mediante la siguiente fórmula estadística para hallar el número de rangos:

$$I = 1 + \frac{\log N}{\log 2},$$

donde reemplazando N por el tamaño de muestra de 268 se obtiene un valor de 9,1 es decir, debe dividirse el vector de pagos (m) en nueve o diez rangos, lo cual validó de alguna forma los modelos encontrados.

En este sentido, fueron encontrados en total cinco modelos¹⁰³ que utilizaban el proceso iterativo del modelo DWEABS, los cuales al presentar diferente tamaño de muestra (N) se hizo necesario acondicionarlos al tamaño muestral definido para este estudio.

El siguiente paso consistió en encontrar cuál de los cinco modelos propuestos en la **Tabla 8** presentaba menor error en su media y en su varianza para lo cual, según los resultados (*ver* **Tabla 9**) se halló que la distribución expuesta por Basset y otros (2009) registró el menor error en la media, menor desviación típica, menor varianza, menor error típico de asimetría y menor error típico de curtosis que los demás modelos examinados en el programa PASW Statistics 18.

Tabla 9. Pruebas de Error para los modelos

		Barzev	Cerda (a)	Cerda (b)	Basset	Autor
N	Válidos	9	9	9	10	9
	Perdidos	1	1	1	0	1
Media		29,7778	29,7778	29,7778	26,8000	29,7778
Error típica de la media		2,57001	2,43686	2,36160	2,14372	4,09531
Mediana		29,0000	32,0000	32,0000	27,0000	35,0000
Moda		29,00	31,00	31,00	16,00	14,00
Desviación típica		7,71002	7,31057	7,08480	6,77905	12,28594
Varianza		59,444	53,444	50,194	45,956	150,944
Asimetría		-,256	-1,201	-1,274	-,420	-,208
Error típica de asimetría		,717	,717	,717	,687	,717
Error típica de curtosis		1,400	1,400	1,400	1,334	1,400

Fuente: el autor, utilizando los datos de la pre-encuesta en el programa PASW Statistics 18.

De acuerdo con los cálculos realizados en el programa PASW Statistics 18, que se denotan en la **Tabla 9**, es posible determinar la distribución óptima del vector de pagos “m” y submuestras “n” como se refleja en la **Tabla 10**.

¹⁰³ Estos modelos corresponden a los encontrados en Barzev (s.f., pág. 20), Cerda (2005, pág. 79), (Basset, y otros (2009, pág. 72) y otro modelo el cual fue sugerido por los autores.

Tabla 10. Distribución de la cantidad Óptima de Pagos m^* y Submuestras n^*

m	b_m	n_m
1	b1	16
2	b2	36
3	b3	29
4	b4	27
5	b5	26
6	b6	26
7	b7	27
8	b8	29
9	b9	36
10	b10	16

Por último, es necesario optimizar el rango de pagos (b_m) para lo cual, a partir de los resultados de la pre-encuesta, se tiene una media de \$15.428 y una mediana de \$15.000. Suponiendo que la distribución predeterminada es la verdadera, el encuestado va a estar igualmente dispuesto a aceptar o a rechazar el rango de pagos, por lo tanto se estará maximizando la probabilidad de que las respuestas estén equitativamente balanceadas entre “unos” y “ceros”. Debido a que estos valores no coinciden exactamente (media y mediana) se probaron tres modelos tomando como referencia un valor de la mediana de \$15.250 y \$15.500 teniendo en cuenta el límite inferior de 5 mil y el superior de \$35 mil registrado a partir de la pre-encuesta.

En primera instancia se debía conocer el modo de operar de la rutina DWEABS. En la **Tabla 11** se evidencia la forma en cómo se encontró un factor que interactuaba a distancias iguales a partir de la media/mediana de la disposición a pagar según el estudio de Basset y otros (2009), el cual reflejó de cierta manera la forma de perpetrar del proceso iterativo DWEABS.

Tabla 11. Factor de probabilidad

m	b_m	C_m=b_m-b_{m-1}	Factor_m=C_m/C_{m+1}
1	374		
2	1338	964	Factor _{m2} =1,52773376
3	1969	631	Factor _{m3} =1,23968566
4	2478	509	Factor _{m4} =1,11868132
5	2933	455	Factor _{m5} =1,03644647
6	3372	439	Eje central
7	3828	456	Factor _{m7} =Factor _{m5}
8	4337	509	Factor _{m8} =Factor _{m4}
9	4968	631	Factor _{m9} =Factor _{m3}
10	5932	964	Factor _{m10} =Factor _{m2}

Fuente: Elaboración propia, tomando como base el estudio realizado por Basset (2009).

En la **Tabla 12** se precisa la simulación de la hoja de Excel usada, en donde la “columna A” hace referencia al vector de pagos (b_m) y la “columna B” es donde se ubica el factor de probabilidad (f_m) hallado del estudio de Basset y otros (2009) donde existe un multiplicador probabilístico donde los valores están separados por valores iguales tanto al lado izquierdo de la media como a su lado derecho por tratarse de áreas bajo la curva simétricas, tal y como se evidencia en la **Tabla 11** donde el factor multiplicador f_{m5} es igual a f_{m7} .

En la **Tabla 12** se deben cumplir varios supuestos del modelo DWEABS: en primera instancia, se debe tener en cuenta el valor central encontrado a través de la pre-encuesta con formato abierto realizada a la muestra, y situar este valor como mediana de los datos, como en este caso los rangos son impares el valor de la media debe ser resultado de la resta entre la celda “A6-A5” y dividir este resultado entre dos; por otro lado, se debe tener en cuenta que la casilla “A1” contenga el rango inferior registrado por la pre-encuesta de \$5mil es decir sea menor o igual a este valor pero positivo.

Tabla 12. Hoja de Excel usada para hallar el vector de pagos

	A	B
1	=A2-B2	
2	=A3-B3	=B3*Factor _{m2}
3	=A4-B4	=B4* Factor _{m3}
4	=A5-B5	=B5* Factor _{m4}
5	=A6-B6	=B6* Factor _{m5}
6	valores a simular	valores a simular
7	=B6+C7	=B5
8	=B7+C8	=B4
9	=B8+C9	=B3
10	=B9+C10	=B2

Fuente: elaboración propia simulando una hoja de Excel para explicar la rutina utilizada.

Bajo estos supuestos, y utilizando los cálculos proporcionados por la **Tabla 12** variando las celdas “A6” y “B6” se hallaron tres modelos los cuales cumplen los criterios antes mencionados. Estos modelos se enuncian en la **Tabla 13**.

Tabla 13. Modelos obtenidos de la hoja de cálculo

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Valor celda A6	16000	16000	16500
Valor celda B6	1610	1684	1756
Media/Mediana	15250	15250	15500
Valor Inicial	5000	4500	4500
b1	5000	4500	4500
b2	8500	8000	8000
b3	11000	10500	10500
b4	13000	12500	12500
b5	14500	14500	14500
b6	16000	16000	16500
b7	17500	18000	18500
b8	19500	20000	20500
b9	22000	22500	23000

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
b10	25500	26000	26500

Fuente: elaboración propia, de acuerdo a los resultados de la simulación de la hoja de Excel.

Una vez obtenidos los tres modelos, el paso siguiente consiste en realizar la simulación de sus valores y escoger el modelo que menor error presente. La **Tabla 14** muestra el resultado de la simulación realizada en el programa PASW Statistics 18. Los resultados obtenidos permiten concluir que el **Modelo 1** con media/mediana \$15.250 y con valor inicial de \$5.000 es el modelo óptimo para asegurar el menor error para la encuesta final por presentar menor error de la media, menor desviación muestral y menor varianza que los demás modelos.

Tabla 14. Estadísticos de la simulación de los modelos propuestos

Estadísticos de la Prueba				
Modelo		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Media/Mediana		15250	15250	15500
Valor inicial		5000	4500	4500
N	Válidos	268	268	268
	Perdidos	0	0	0
Media		15250	15250	15500
Error típico de la media		278,82653	299,63170	310,50276
Mediana		15250	15250	15500
Moda		8500	8000	8000
Desviación típica		5463,86181	5871,55821	6084,58653
Varianza		2,985E7	3,448E7	3,702E7
Asimetría		,000	,000	,000
Error típico de asimetría		,125	,125	,125
Curtosis		-,795	-,919	-,982
Error típico de curtosis		,248	,248	,248
Rango		20500	21500	22000
Mínimo		5000	4500	4500
Máximo		25500	26000	26500

Fuente: el autor, utilizando los vectores de pago obtenidos y simulándolos en el PASW Statistics 18.

Finalmente, una vez obtenido el vector óptimo de pagos es necesario adecuar estos valores al muestreo por comunas denotado en la **Tabla 5**, para lo cual se tomaron en cuenta las siete comunas que conforman la zona urbana de Palmira, los precios de salida y el número de éstas, dando como resultado la **Tabla 15**.

De la **Tabla 15** se puede observar el resultado de los rangos de pagos y la estratificación por comunas realizada a la zona urbana del municipio de Palmira, el número óptimo de rangos hallado fue de diez rangos donde el total de encuestas debía ser el número total de la muestra (268 en este caso). Por ejemplo, tomando como caso el rango tres (m3) su precio de salida es de \$11.000 y se deben realizar 29 encuestas con este precio inicial de las cuales se deben efectuar cinco encuestas en la Comuna 1, cinco en la Comuna 2, cuatro en la Comuna 3, tres en la Comuna 4, cinco en la Comuna 5, tres en la Comuna 6 y cuatro encuestas en la Comuna 7 para un total de 29 encuestas con precio de partida igual a \$11.000.

Tabla 15. Distribución de los precios de pago por Comunas

m	Precios	Comunas							Encuestas
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	
1	5.000	3	3	2	2	3	1	2	16
2	8.500	6	6	5	4	6	4	5	36
3	11.000	5	5	4	3	5	3	4	29
4	13.000	4	5	4	3	5	3	3	27
5	14.500	4	4	3	3	5	3	4	26
6	16.000	4	4	3	3	4	3	5	26
7	17.500	4	5	3	3	5	3	4	27
8	19.500	4	5	4	3	5	3	5	29
9	22.000	6	6	5	4	6	4	5	36
10	25.500	2	2	2	2	3	2	3	16
		42	45	35	30	47	29	40	268

Fuente: elaboración propia tomando los datos obtenidos en la investigación.

Luego de realizar los cálculos pertinentes y simular varios modelos mediante el programa PASW Statistics 18, se definieron los siguientes vectores de pago para el uso del formato dicotómico doble en la encuesta final:

Tabla 16. Vectores de Pago a utilizar para la Encuesta Final

Vector m	Precio Inicial Propuesto	Repregunta para respuesta Si	Repregunta para respuesta No
1	\$ 5.000 (Si/No)	\$ 8.500 (Si/No)	\$ 1.000 (Si/No)
2	\$ 8.500	\$ 11.000	\$ 5.000
3	\$ 11.000	\$ 13.000	\$ 8.500
4	\$ 13.000	\$ 14.500	\$ 11.000
5	\$ 14.500	\$ 16.000	\$ 13.000
6	\$ 16.000	\$ 17.500	\$ 14.500
7	\$ 17.500	\$ 19.500	\$ 16.000
8	\$ 19.500	\$ 22.000	\$ 17.500
9	\$ 22.000	\$ 25.500	\$ 19.500
10	\$ 25.500	\$ 35.000	\$ 22.000

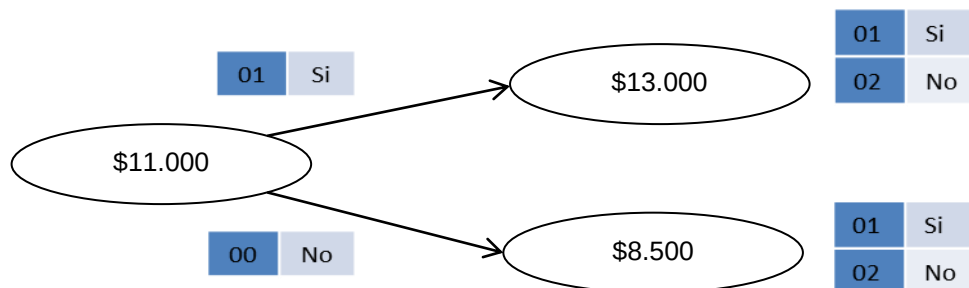
Fuente: el autor.

Para la ejecución de la encuesta, cada individuo recibirá aleatoriamente un precio inicial propuesto (ver columna 2 de la **Tabla 16**) al cual responde “sí” o “no”. Si el encuestado responde “sí”, entonces recibe una cantidad a pagar superior (columna 3) y se le pregunta de nuevo su DAP sobre su disposición a pagar. Si por el contrario, el encuestado responde “no” al precio inicial propuesto se procede a ofrecer una cantidad inferior a esta, sobre la cual el individuo decide.

Por ejemplo, como se indica en la **Figura 7**, si un individuo recibe aleatoriamente un precio inicial de \$ 11.000 éste debe decidir si está dispuesto o no a pagar este monto. Si su respuesta a este valor inicial es afirmativa, se procede a sugerir un pago de \$ 13.000 sobre el cual debe responder “sí” o “no”. Si la respuesta del encuestado es negativa al monto inicial propuesto, se procede a sugerir un pago de \$ 8.500 sobre el cual debe escoger “sí” o “no”. Si la respuesta del individuo es

negativa en ambas oportunidades, se pregunta a éste sobre el motivo por el cual no está dispuesto a hacer ninguna contribución.

Figura 7. Uso del formato Dicotómico Doble en la Encuesta final



Fuente: el autor, tomando como base el formato dicotómico doble y acoplándolo al rango de pago.

5.3.7. Realización de las Entrevistas

Este apartado se realizó utilizando una clase de soluciones propuestas para tratar de mitigar los sesgos a los cuales se ve involucrado un análisis de valoración contingente. Las entrevistas se llevaron a cabo durante los meses de noviembre y diciembre de 2010. En la **Tabla 17** se precisan las propuestas realizadas para minimizar cada uno de los sesgos característicos de un estudio de valoración contingente.

Tabla 17. Soluciones propuestas a los principales sesgos del MVC.

PROBLEMA	SOLUCIONES A APLICAR
Naturaleza Hipotética de la pregunta	Usar DAP (en vez de DAA), y especificar en forma realista el escenario de la pregunta.
Sesgo de Información	Usar formato dicotómico y dicotómico doble.
Sesgo de Método de Pago	Incluir variable para hacer más realista el escenario.
Sesgo Estratégico	Usar preguntas dicotómicas.
Baja tasa de respuesta y falta de veracidad a las respuestas	Entrevista personal (en vez de teléfono o por correo).

Fuente: el autor.

5.4. METODOLOGÍA APLICADA A LA VALORACIÓN EN MORBILIDAD

Una vez obtenidos los casos en morbilidad producto de la aplicación de las funciones dosis respuesta para PM10, es necesaria su valoración. Para tal objetivo se plantea la utilización del *Enfoque de los Costos Asociados a la Enfermedad* considerando los costos directos de tratamiento (consulta y hospitalización) y productividad perdida. Esta metodología, si bien tiene la ventaja de la simpleza en su aplicación, no está exenta de limitaciones. En primer lugar, se está obteniendo una subestimación de los costos, ya que no se están computando todos los costos de la enfermedad. Además, no se toma en cuenta el hecho que las personas pueden tomar una serie de medidas defensivas.

Los valores del costo de consulta y hospitalización se tomarán del estudio realizado por el IDEAM (2005)¹⁰⁴⁻¹⁰⁵, y el valor de la pérdida de productividad por días de actividad restringida se computará como la pérdida de una fracción del salario mínimo diario legal vigente para el año base. En los casos de actividad restringida, se afectan las empresas, por la menor productividad del trabajador que se traduce en una menor producción y en pérdidas para la empresa; este costo se contabiliza con un porcentaje de acuerdo al salario.

Los valores unitarios correspondientes a costos de hospitalización por enfermedades respiratorias presentados en IDEAM (2005), corresponden a datos del estudio realizado por la Secretaria de Salud de Bogotá, titulado “Estudio de costos de las actividades de promoción y prevención por grupo evolutivo y estudio de costos de las patologías más frecuentes atendidas en los hospitales de I, II, y III nivel de la red adscrita a la Secretaría Distrital de Salud. Segunda parte: Estudio

¹⁰⁴ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. «Documento de Soporte Norma de Calidad del Aire.» 2005.

¹⁰⁵ Si bien se tenía un estudio de algunos costos de patologías entregadas por el documento de trabajo realizado por Muñoz y Moller (2004) para Cali, este documento no contenía todos los costos de estos ítems, motivo por el cual se tuvo que recurrir a los trabajos contemplados en IDEAM (2005) realizados para Bogotá.

de Costos de las patologías más frecuentes atendidas en los hospitales de I, II y III nivel de la Red adscrita a la Secretaría Distrital de Salud”¹⁰⁶. En esta investigación tuvo como objetivo encontrar los costos existentes de cada una de las 15 patologías más frecuentes, de acuerdo con las características de las mismas y teniendo en cuenta los costos administrativos de los Hospitales adscritos a la Secretaría de Salud de Bogotá en 1999.

En lo concerniente a los costos de consulta, en su documento de trabajo, el IDEAM (2005) recopila la información del informe “Cuánto Impacta en salud y a Nivel Económico la Calidad del Aire en Bogotá D.C.” de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá D.C. (2005)¹⁰⁷.

Por otra parte, para estimar un valor aproximado del total de personas que consultan o requieren hospitalización, se retoma de nuevo el trabajo realizado por Aristizábal y Hernández (2005) para asumir que del total de pacientes que presentan síntomas respiratorios y ataques de asma, sólo el 15% de éstos realizan una consulta médica; y que de éste total de consultas, tan sólo el 30% de los pacientes requieren hospitalización alguna.

Los anteriores valores recopilados de consulta y hospitalización, son proyectados para el cálculo por los autores a valores de 2009 a través de los Índices de Precios al Consumidor (IPC)¹⁰⁸.

¹⁰⁶ SECRETARÍA DE SALUD DE BOGOTÁ. «Estudio de Costos de las patologías más frecuentes atendidas en los hospitales de I, II y III nivel de la Red adscrita a la Secretaria Distrital de Salud.» Bogotá D.C., 1999. Investigadores Principales: Andrea Portella, David Andrés Rojas. Investigadores Secundarios: Martha Cielo Gutiérrez, Francisco Nicolay Pedraza. Asistentes: Michael Alonso Espinel, Maria Paola Rojas.

¹⁰⁷ Aristizábal, Gustavo, y Luis Jorge Hernández. «Cuánto Impacta en salud y a Nivel Económico la Calidad del Aire en Bogotá D.C.» Secretaría Distrital de Salud de Bogotá D.C., 2005.

¹⁰⁸ DANE, Índice de Precios al Consumidor, IPC (2009), variaciones porcentuales 1994-2009.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se exponen los resultados de este estudio. El análisis se presenta de la siguiente manera: en primera instancia se hace una apreciación de la calidad ambiental del área de estudio; posteriormente, se presenta la estimación del número de casos evitados en salud por efectos del PM10; y por último, se establece la valoración económica de los beneficios en salud por efectos de una reducción en los niveles del contaminante PM10.

6.1. CALIDAD AMBIENTAL EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Para realizar un monitoreo continuo de la calidad del aire la CVC instaló en el Municipio de Palmira desde el 2001 una estación permanente de calidad del aire, la cual se encuentra ubicada en predios de la sede del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA¹⁰⁹ - Carrera 30 No. 40-25 de la nomenclatura urbana del municipio. La ubicación geográfica es: 3° 32" latitud norte, 76° 19" longitud oeste y 965 m.s.n.m. En esta estación se miden las concentraciones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxidos de azufre, ozono y material particulado PM10; además de los parámetros meteorológicos: vientos, precipitación, temperatura, humedad relativa y radiación solar.

Los niveles máximos permisibles para el PM10 a condiciones de referencia¹¹⁰ establecida por organismos internacionales como la EPA son de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el

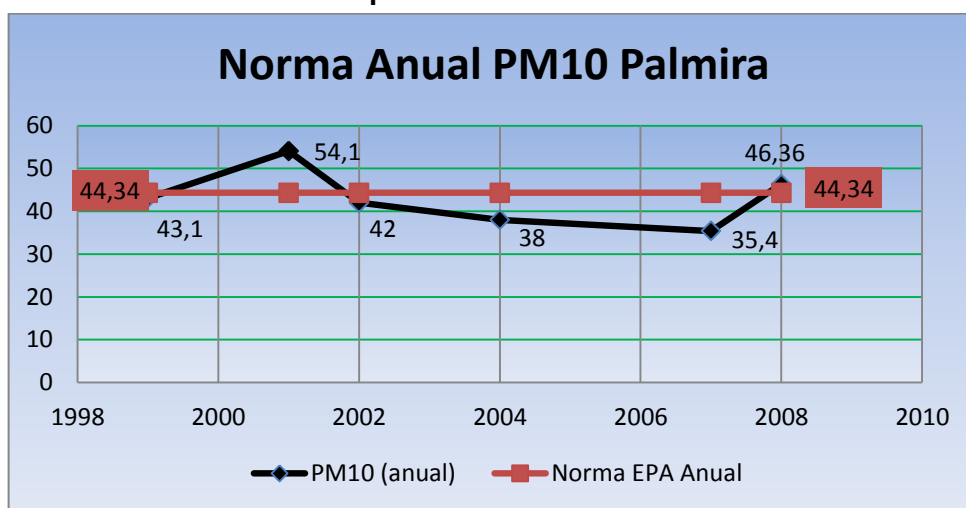
¹⁰⁹ De acuerdo a la "Agenda Ambiental del Municipio de Palmira (2002)" este terreno se considera un sitio homogéneo y representativo del área de Palmira, presenta ausencia de obstáculos en un radio no menor de 20 metros al sitio de la estación y a una distancia mayor a 50 metros de las vías de alto tráfico y con fácil acceso.

¹¹⁰ **Condiciones de referencia** son los valores de temperatura y presión con base en los cuales se fijan las normas de calidad del aire y de las emisiones, que respectivamente equivalen a 25°C y 760 mm Hg (1 atmósfera de presión).

límite anual y de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el límite permisible diario, que a condiciones locales¹¹¹ para Palmira serán de $133 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y de $44.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente (*ver los respectivos cálculos de esta conversión en el Anexo G*).

Según los registros encontrados de la estación meteorológica, divulgados por la CVC, durante los últimos años las concentraciones anuales promedio de material particulado respirable PM10 han estado aproximadas al nivel máximo permisible local de $44,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*ver Gráfica 5*). Sin embargo, los niveles de PM10 en la ciudad durante los dos últimos años se incrementaron en un 31% para el 2008 con respecto al registro anual del 2007. Llegando incluso a sobrepasarse la norma anual local de este contaminante en el 2008.

Gráfica 5. Comportamiento Anual PM10 Palmira



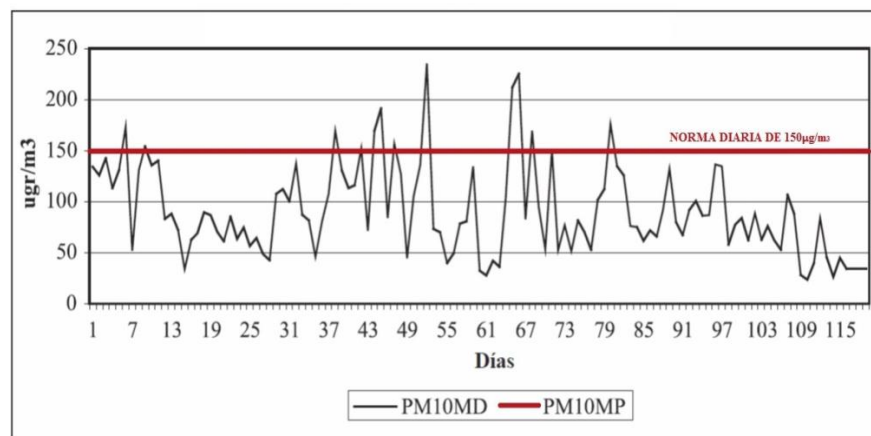
Fuente: elaboración propia, con base en los registros anuales encontrados en CVC (2002), CVC (2008), IDEAM (2007) y CVC (2009).

En el análisis histórico diario, los datos son un poco más escasos, en este contexto se encuentran los datos registrados en el documento de trabajo “La caña

¹¹¹ **Condiciones Locales** son las condiciones determinadas por la presión y temperaturas promedio de un lugar o sitio, localizados a alturas diferentes a la del nivel del mar.

de azúcar: ¿una amarga externalidad?”¹¹², en donde el nivel máximo permitido diario de la concentración de PM₁₀ fue sobrepasado en diez ocasiones en tan sólo 119 días que tomó este estudio, alcanzando niveles de hasta 235,62 µg/m³ (ver **Gráfica 6**), límite que según la EPA, es apenas aceptable exceder este límite en una ocasión por año (EPA 1990)¹¹³, pues los efectos podrían ser un aumento en la morbilidad y la mortalidad por causas relacionadas a la contaminación.

Gráfica 6. Comportamiento PM₁₀ máximo diario



Fuente: Dávalos (2007).

Aunque no se tiene el histórico diario del año 2008, del “Plan de Acción 2010-2011”¹¹⁴ de la CVC (2009) se puede observar que el nivel máximo permisible diario supera ampliamente la norma diaria local de 133 µg/m³ registrando una máxima concentración de 250,4 µg/m³ (ver **Tabla 18**), lo cual hace ver, que aún se están quebrantando de una u otra forma, las normas de calidad del aire diaria y anual en el municipio de Palmira.

¹¹² Dávalos, Eleonora. Op. Cit.

¹¹³ EPA, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. «National Ambient Air Quality Standards (NAAQS).» 1990.

¹¹⁴ CVC, CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA. «Plan de Acción 2010-2011.» Versión Preliminar, Santiago de Cali, 2009.

Tabla 18. Pm10 en la atmósfera de los municipios del Valle del Cauca

Estadísticos	Año 2008			
	Palmira	Cerrito	Tuluá	Candelaria
Promedio	46,36	22,86	21,59	28,26
Desviación Estándar	30,13	11,39	7,05	11,53
Máximo	250,4	116,71	71,35	96,17
Mínimo	3,38	1,35	5,77	8,5

Fuente: CVC, Plan de Acción 2010-2011.

6.2. ESTIMACIÓN NÚMERO DE CASOS EVITADOS EN SALUD

En la actualidad, existe suficiente evidencia respecto a las relaciones cuantitativas entre los efectos agudos en salud y la contaminación atmosférica aun cuando los mecanismos a través de los cuales ocurren estos efectos no son completamente entendidos por la ciencia médica. De esta literatura se obtienen las funciones dosis-respuesta utilizadas en este trabajo (*ver* **Tabla 2**).

Con el fin de obtener una reducción en las concentraciones del PM10 anual y analizar los beneficios de disminuir los niveles de contaminación, en la **Tabla 19** se estima la reducción de casos de muertes prematuras que se evitan de acuerdo a los siguientes supuestos:

- a) La función dosis respuesta para mortalidad y morbilidad en los niveles alto, medio y bajo se asumen las funciones dosis respuesta utilizadas en el trabajo titulado “Estimación de los Beneficios en Salud del Plan de Descontaminación de Santiago”¹¹⁵. El nivel alto en la función dosis respuesta se puede aplicar para tomar posibles efectos crónicos en salud.

¹¹⁵ Sánchez C, José Miguel, Sebastián Valdés de Ferari, y Bart Ostro. «Estimación de los Beneficios en Salud del Plan de Descontaminación de Santiago.» *Centro de Estudios Públicos CEP*, 1997: 52.

- b) Los escenarios de reducción de la concentración de las emisiones anuales de PM10 son:

Escenario 1. Reducir la concentración de las emisiones anuales de 46,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 44,34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (valor de implementación de la norma a condiciones ambiente para Palmira) de PM10 a 2009.

Escenario 2. Reducir la concentración de las emisiones anuales de 44,34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a una reducción de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 a 2009.

- c) Se asume la tasa de mortalidad cruda para Palmira, de acuerdo a los resultados del trabajo de consultoría presentado al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por Larsen (2004) ¹¹⁶ calculada aproximadamente en 5,35 por 1.000 habitantes¹¹⁷.
- d) La población expuesta a los distintos niveles de concentración de PM10, se calcularon como el total de la población urbana de Palmira proyectada de acuerdo al promedio anual de crecimiento estimada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (D. A. DANE 2005).¹¹⁸
- e) Número de casos año ¹¹⁹: corresponde a la reducción de casos de mortalidad para la población expuesta como consecuencia de la disminución de los niveles de concentración de PM10.

¹¹⁶ Larsen. Op. Cit.

¹¹⁷ Al no contar con un indicador directo de la tasa de mortalidad cruda para el municipio de Palmira se procedió a usar el valor medio entre la tasa de mortalidad cruda de Cali (5,7) y la tasa de mortalidad cruda para ciudades con una población entre 100.000 y 500.000 habitantes (5,0) obteniéndose así nuestro valor propuesto medio de 5,35 por cada 1.000 habitantes.

¹¹⁸ DANE, "Proyecciones Municipales de Población 2005-2011 Sexo y Grupos de Edad", 2005. Estas proyecciones utilizadas se reflejan en el **Anexo H**, las cuales son computadas por el autor, debido a que sólo se encuentran registros censales para toda la población de Palmira y no para su zona urbana.

¹¹⁹ Valores redondeados al entero más cercano a cero debido a la orientación conservadora del estudio.

Tabla 19. Estimación de Casos de Muerte Prematura evitados

MORTALIDAD					
Nivel	Valor	Escenario 1	Tasa Mortalidad Cruda	Población	# Casos a 2009
Alto	0,336	0,0202	0,00535	260.910	9
Medio	0,1	0,0202	0,00535	260.910	2
Bajo	0,0864	0,0202	0,00535	260.910	2
Nivel	Valor	Escenario 2	Tasa Mortalidad Cruda	Población	# Casos a 2009
Alto	0,336	0,1	0,00535	260.910	46
Medio	0,1	0,1	0,00535	260.910	13
Bajo	0,0864	0,1	0,00535	260.910	12

Fuente: elaboración propia, con base en la funciones dosis respuesta tomadas de la literatura.

Para la aplicación de las funciones dosis respuesta en morbilidad se requiere cierta información sobre incidencia base de los efectos en salud considerados, fue así como a partir de la información con que se cuenta se pudieron estimar los siguientes efectos:

- Días de actividad restringida
- Síntomas respiratorios agudos
- Ataques de asma

Para el caso específico de Palmira, no fue posible estimar los efectos reducidos en la morbilidad para las siguientes funciones¹²⁰:

- Cambio en admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias (CIE 466,480-486,490-494,496) por cuanto se requiere el número de Admisiones Hospitalarias por Enfermedades Respiratorias.

¹²⁰ Problema similar es registrado en IDEAM (2005), en el cual tampoco fue posible estimar dichos efectos para la ciudad de Bogotá por la falta de información sistematizada en morbilidad actual del país.

- Cambio en admisiones hospitalarias por enfermedades cardiovasculares (CIE 410, 413, 427 y 428) debido a que se requiere del número de Admisiones Hospitalarias por Enfermedades Cardiovasculares.
- Visitas a sala de emergencia por enfermedades respiratorias, se requiere de información sobre el Total de Visitas a Sala de Emergencia y el Total de Admisiones Hospitalarias.
- Bronquitis Crónica, debido a que las funciones dosis-respuesta para efectos crónicos en salud aún no son lo suficientemente confiables para ser utilizadas en este análisis debido a la orientación conservadora del presente estudio.

Al no poder medir totalmente los aspectos que incriminan al contaminante PM10, este trabajo presenta entonces valores en casos y efectos menores a los que la literatura implica, por lo tanto, los valores en el presente informe reflejan solo una cota inferior del valor que se le atribuye en comparación con los obtenidos en otros lugares donde si se tienen estas variables.

En la **Tabla 20** se estiman los resultados de la aplicación de la función días de actividad restringida evitados, en la **Tabla 21** los casos de síntomas respiratorios agudos y en la **Tabla 22** el número de casos de Asma evitados.

Con el fin de evitar una posible doble contabilización de los casos, según lo plantea Sánchez C, Valdés de Ferari y Ostro (1997) es necesario realizar una serie de ajustes para restar algunas de las potenciales superposiciones de los efectos. Se asume que todos los días de ataque de asma son también días de actividad restringida, y por lo tanto se restan del total de los Días de Actividad Restringida. Por otra parte, se asume que todos los días de actividad restringida se contabilizan en síntomas respiratorios agudos, y por lo tanto se restan de los Síntomas Respiratorios Agudos.

Tabla 20. Estimación de los Días de Actividad Restringida evitados

DÍAS DE ACTIVIDAD RESTRINGIDA				
Nivel	Valor	Escenario 1	Población Adultos (>15)	# Casos a 2009
Alto	0,0238	2,02	199.677	4.717
Medio	0,0168	2,02	199.677	5.330
Bajo	0,0097	2,02	199.677	3.098
Nivel	Valor	Escenario 2	Población Adultos (>15)	# Casos a 2009
Alto	0,0238	10	199.677	23.354
Medio	0,0168	10	199.677	26.384
Bajo	0,0097	10	199.677	15.334

Fuente: elaboración propia, con base en la funciones dosis respuesta tomadas de la literatura.

Tabla 21. Estimación de casos de Síntomas Respiratorios Agudos evitados

SÍNTOMAS RESPIRATORIOS AGUDOS				
Nivel	Valor	Escenario 1	Población Expuesta	# Casos a 2009
Alto	0,2555	2,02	260.910	129.941
Medio	0,1679	2,02	260.910	83.159
Bajo	0,0803	2,02	260.910	39.223
Nivel	Valor	Escenario 2	Población Expuesta	# Casos a 2009
Alto	0,2555	10	260.910	643.272
Medio	0,1679	10	260.910	411.684
Bajo	0,0803	10	260.910	194.177

Fuente: elaboración propia, con base en la funciones dosis respuesta tomadas de la literatura.

Tabla 22. Estimación de casos de Ataque de Asma evitados

ATAQUES DE ASMA				
Nivel	Valor	Escenario 1	Población Expuesta	# Casos 2009
Alto	0,1971	2,02	12.263	4.882
Medio	0,0584	2,02	12.263	1.446
Bajo	0,0329	2,02	12.263	814
Nivel	Valor	Escenario 2	Población Expuesta	# Casos 2009
Alto	0,1971	10	12.263	24.169
Medio	0,0584	10	12.263	7.161
Bajo	0,0329	10	12.263	4.034

Fuente: elaboración propia, con base en la funciones dosis respuesta tomadas de la literatura.

En la **Tabla 23** se resumen los efectos de la reducción de la concentración de PM10 en Palmira de acuerdo a los efectos en salud, los niveles de la función dosis respuesta y el escenario propuesto. Luego de obtener el número de casos en salud humana posibles a estimar generados por la presencia del contaminante PM10 se hace necesaria la valoración de estos casos.

Tabla 23. Resumen de los Efectos Evitados

Efecto	Nivel	Escenario1	Escenario2
Mortalidad prematura evitada	Alto	9	46
	Medio	2	13
	Bajo	2	12
Estimación Días de Actividad Restringida evitada	Alto	4.717	23.354
	Medio	5.330	26.384
	Bajo	3.098	15.334
Estimación de Síntomas Respiratorios Agudos evitados	Alto	129.941	643.272
	Medio	83.159	411.684
	Bajo	39.223	194.177
Estimación de Ataques de Asma evitados	Alto	4.882	24.169
	Medio	1.446	7.161
	Bajo	814	4.034

Fuente: elaboración propia, con base en la funciones dosis respuesta tomadas de la literatura.

6.3. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS BENEFICIOS EN SALUD

Existe incertidumbre relacionada con los valores unitarios asignados a los distintos efectos en salud porque son resultados de estimaciones y en consecuencia tienen un margen de error asociado; en este caso, las estimaciones son conservadoras y llevan asociadas ajustes en los costos de consultas y hospitalización por cambios en el índice de precios al consumidor dentro del periodo analizado; también se consideran el crecimiento de la población de acuerdo a las estadísticas entregadas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE.

Algunos de estos valores son traídos de otras ciudades de Colombia, lo cual crea otra clase de incertidumbre a la hora de valorar el costo en morbilidad asociado a la ciudad de Palmira. Es probable que los beneficios cuantificados solo correspondan a un pequeño grupo del espectro total de beneficios, y por tanto la valoración corresponda a una subestimación de los verdaderos beneficios en la salud que se obtienen.

6.3.1. Valoración Económica del Riesgo en Mortalidad

Valorar económicamente la vida es uno de los aspectos más controvertidos, existen demasiadas reservas y juicios éticos a este tipo de valoración; sin embargo, los investigadores han tenido que tocar este delicado punto de vista, y por lo tanto, pasar a valorar económicamente lo que en un principio para algunos es algo invaluable o con un valor infinito.

En este punto, se ha optado por realizar un estudio de valoración contingente para estimar el valor de una vida estadística por efectos de la contaminación ambiental.

Como se ha mencionado en apartados anteriores, en el enfoque del Método de Valoración Contingente (MVC) se intenta averiguar a través de la pregunta directa, la valoración que otorgan las personas a los cambios en el bienestar que les produce la modificación en las condiciones de oferta de un bien; en este caso, se indaga mediante cuestionarios la disposición a pagar por la reducción de la probabilidad de una muerte prematura por contaminación ambiental.

El cuestionario final pasó por varias versiones piloto, las cuales se probaron con un número reducido de personas y con la colaboración de personas más versadas

del método¹²¹. Cuando se obtuvo por fin una versión final del cuestionario, se procedió a realizar una pre-encuesta con “formato abierto” a un número reducido de la muestra; en este sentido, se llevaron a cabo 39 encuestas.

En la encuesta final se realizaron las mismas preguntas que en la encuesta piloto, con la diferencia de que la DAP se obtiene mediante una pregunta cerrada. En el **Anexo F** se bosqueja el modelo y estructura de la encuesta piloto.

6.3.1.1. Estadísticas Descriptivas en el MVC

En este apartado se busca analizar algunos estadísticos descriptivos y caracterizar los principales resultados de las encuestas. De las 268 encuestas realizadas a la población del municipio de Palmira, 188 personas (70,1%) están dispuestas a colaborar con el proyecto propuesto y 80 personas (29,9%) declararon no estar dispuestas a pagar los montos solicitados por el estudio.

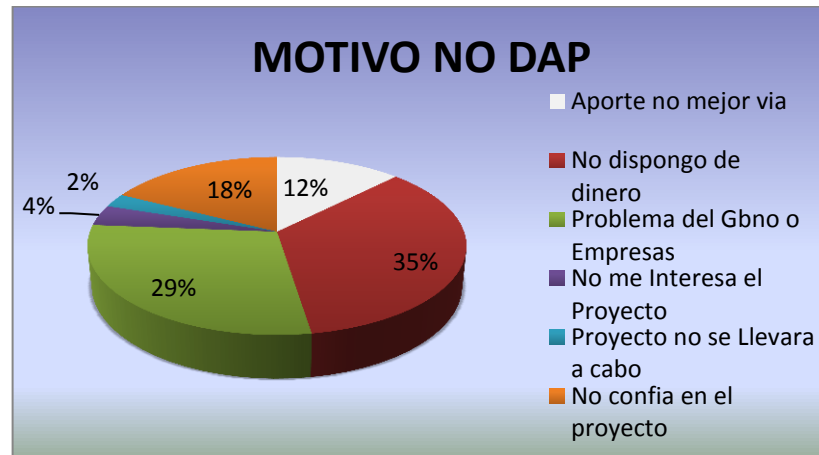
En cuanto al monto inicial propuesto, se encontró que 148 encuestados (55,2%) mostraron una respuesta positiva, y que 120 encuestados (44,8%) mostraron una negativa frente al monto inicial propuesto. En cuanto a la respuesta doble, las estadísticas muestran que 119 encuestados (44,4%) estaban dispuestos a pagar el segundo monto sugerido y 149 (55,6%) personas expresaron su negativa frente a un segundo precio.

Ahora bien, una vez evidenciado que 80 encuestados no estaban dispuestos a pagar los montos sugeridos, se les preguntó sobre el motivo de su respuesta. De esta forma, como se muestra en la **Gráfica 7**, el 35% de estos encuestados manifestaron “no disponer de dinero”, un 28,8% manifestó que este era un “problema de las grandes empresas o del gobierno” y por lo tanto no les

¹²¹ En este contexto, se contó con el apoyo y colaboración de la economista Luz Adriana Giraldo, profesora de la Facultad de Ciencias Sociales y Económicas de la Universidad del Valle.

comprometía colaborar con la propuesta; también se encontró que un 17,5% “no confía en el proyecto”, el 12,5% piensa que “el aporte no es la mejor vía para solucionar el problema” el 3,8% de estos “no le interesa el proyecto” y finalmente sólo un 2,5% piensa “que el proyecto no se llevará a cabo por falta de garantías”.

Gráfica 7. Motivo de la Negativa DAP



Fuente: el autor

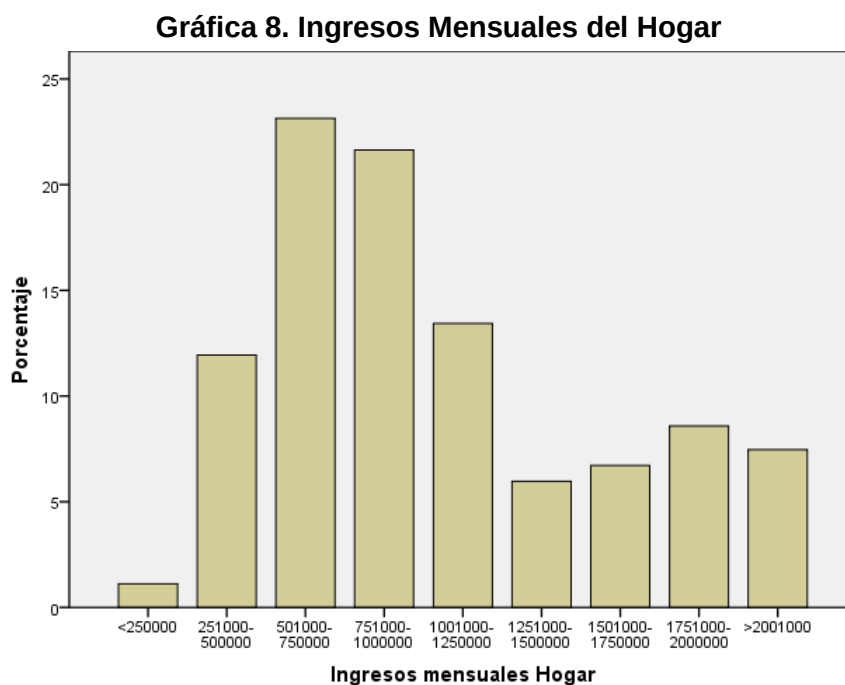
Estos resultados muestran que la mayor barrera hacia la disposición a pagar es el “dinero” seguida de “creer que este es un problema de las grandes empresas o del gobierno y que en nada les concierne a ellos” lo cual muestra que en el municipio existen hogares de muy bajos ingresos y altos gastos que no permiten alguna inversión extra en el momento; y por el otro lado, pensar que este es un problema de otros, refleja una carencia de cultura y compromiso para con los mismos encuestados y para con la ciudad, debido a que este es un problema de todos.

Por otra parte, en cuanto a su estado civil se encontró que: el 47% es soltero(a), el 27,6% está casado(a), el 19,8% vive en unión libre y un 5,6% muestra un estado civil separado(a). En cuanto al género del encuestado, el 54,9% eran hombres y el 45,1% eran mujeres. De estos, un 41,4% manifestó ser jefe del hogar y el 58,6% expresó no ser jefe de hogar.

En cuanto al nivel de educación alcanzado por la muestra, un 0,7% expresó no haber terminado su primaria, el 1,5% terminó la primaria, el 3,4% manifestó no haber culminado su bachillerato, un 26,1% declaró haber terminado su bachillerato, un 38,4% de los encuestados manifestaron haber realizado una carrera técnica, un 24,3% haber realizado un nivel universitario y un 5,6% del total de la muestra declaró ser profesional especializado.

La edad del encuestado promedio fue de 32 años. En cuanto al estrato socioeconómico de los hogares de los encuestados, el 6,7% provienen del estrato 1, el 31,3% de estos pertenece al estrato 2, un 48,1% son de vivienda estrato 3 y el 13,8 provienen de viviendas de estrato 4 en adelante.

Para el caso de las estadísticas de los ingresos mensuales del hogar, se obtuvo que el rango medio se encuentra entre \$751.000 y \$1.250.000. La **Gráfica 8** muestra la distribución porcentual de los ingresos mensuales del hogar.



Fuente: el autor.

6.3.1.2. Análisis Econométrico de la DAP

Una vez realizado el sondeo, se procedió a estimar la disposición a pagar; para lo cual, se construyó un modelo de elección discreta, en el que la variable dependiente (denominada RPTAFINALBID) es la respuesta dada por el individuo, codificada en una hoja de cálculo con el valor de 1 si es afirmativa y 0 en caso contrario, y como explicativas figuran las variables socioeconómicas (de la fase de caracterización del encuestado de la encuesta) y el pago propuesto.

En este trabajo inicialmente se considera la forma funcional lineal de Hanemann (1984) y sus respectivas medidas de bienestar. Para esta forma funcional desaparece la variable Ingreso, pero para la muestra de este trabajo, la variable ingreso resultó estadísticamente significativa al igual que otras variables que se relacionan con las características socioeconómicas del hogar. Por ello, para un completo análisis de las medidas de bienestar del modelo, se decidió adaptar la forma funcional lineal de Hanemann agregándole la variable Ingreso y otras variables independientes, obteniendo así la siguiente expresión:

$$\Delta v = \alpha - \beta_1 b_i + \beta_2 Y + \beta_3 Z + n,$$

donde b_i , representa el pago al que se ve enfrentado el individuo, Y el ingreso y Z otras variables socioeconómicas.

Siguiendo a Cooper (1993), se utiliza una adaptación de la forma funcional lineal de Hanemann (1984) para ΔV para estimar las medidas de bienestar. La Media C+ y la Mediana C*. Aunque hay que notar que la media es igual a la mediana (α/β), para esta forma funcional; por lo tanto, se presentan como un único resultado. Dado que la forma funcional lineal está dada por la expresión $\Delta V = \alpha - \beta Z$ (donde Z es cualquier variable), por lo que se estiman regresiones con el modelo Logit, y

con todas las variables descritas que resultaron significativas una vez analizados los z estadísticos.

Con esta información, se realizó una primera estimación del modelo logit en el programa EViews 7 utilizando todas las variables que se obtuvieron en las encuestas, encontrándose que muchos de los coeficientes estimados no son significativos. Considerando esto, se realizó una nueva estimación del modelo logit donde se obtuvieran las variables explicativas significativas del modelo. Esta regresión se denota en la **Tabla 24**.

Tabla 24. Estimación del modelo Logit

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	1.945208	0.736394	2.641530	0.0083
BIDINICIAL	-0.000136	2.89E-05	-4.722102	0.0000
PERSONASHOGAR	-0.323722	0.109930	-2.944804	0.0032
ACTAIRELIBRE	0.508551	0.298612	1.703050**	0.0886
PERSAPORTHOGAR	0.754888	0.251338	3.003471	0.0027
INGMENSHOGAR	0.155365	0.079542	1.953251**	0.0508

Fuente: estimaciones realizadas por el autor en el programa EViews 7. ** variable significativa al 10%

Se puede observar que las variables precio propuesto (BIDINICIAL), número de personas en el hogar (PERSONASHOGAR), realiza alguna actividad al aire libre (ACTAIRELIBRE), número de personas que aportan ingresos al hogar (PERSAPORTHOGAR), y los ingresos mensuales del hogar (INGMENSHOGAR) son significativas para el modelo al 5%, y poseen además el signo del coeficiente esperado para su análisis de relación con la variable principal.

Como se observa en la **Tabla 24**, las variables significativas son consistentes con la teoría económica. Primero, la variable BIDINICIAL, tiene signo negativo, porque a mayor cantidad de pago propuesta hay una menor probabilidad de responder afirmativamente a la pregunta de disposición a pagar por parte de los encuestados. Segundo, la decisión del individuo depende de su restricción

presupuestaria, que se determina por el ingreso familiar, donde a mayor ingreso, mayor disponibilidad a pagar. La realización de alguna actividad al aire libre se relaciona positivamente con la disposición a pagar de los individuos. Por otro lado, el número de personas en el hogar se relaciona negativamente con la variable dependiente, debido a que a mayor número de personas mayores son los gastos del hogar y por tal motivo menor oportunidad de pagar otros servicios. En contraste a esta, la variable que incorpora el número de personas que aportan ingresos en el hogar (PERSAPORTHOGAR) posee signo positivo, el cual indica un impacto positivo sobre la Disponibilidad a Pagar, debido a un mejor bienestar en el hogar del encuestado.

Ahora es necesaria la cuantificación monetaria de los encuestados. Para calcular las medidas de bienestar, a partir de los coeficientes obtenidos en la **Tabla 24**, se procede de la siguiente forma: se utiliza la expresión α/β , donde, $\alpha = \alpha_1 + \beta_2 PERSONASHOGAR + \beta_3 ACTAIRELIBRE + \beta_4 PERSAPORTHOGAR + \beta_5 INGMENSHOGAR$ y $\beta = \beta_1$.

En otras palabras, el cálculo de la disponibilidad a pagar para hallar el valor de una vida estadística, se obtiene a través de multiplicar el valor de los coeficientes de cada variable, excepto el precio hipotético propuesto, por la media de cada variable y luego se divide este resultado por el coeficiente del precio propuesto.

$$DAP (\$) \cong \frac{3.14537}{1.9452}$$

De esta forma, \$23.000 representan el valor promedio del potencial de recaudo de los habitantes de la zona urbana de Palmira por motivo de una reducción en la probabilidad de una muerte prematura por contaminación ambiental.

Considerando la estimación puntual del modelo dicotómico doble (\$23.000) por familia y extrapolando a todas las familias de la región urbana del municipio de

Palmira, que alcanzan cerca de 55.000 hogares da una disposición a pagar de \$1.265 millones. Ahora, si se ajusta el número de familias consideradas descontando proporcionalmente las personas que manifestaron un rechazo a la pregunta de disposición a pagar (30%), daría como resultado una disposición a pagar agregada de \$885.500.000 (ochocientos ochenta y cinco millones quinientos mil pesos) a pesos de 2009. Este monto sería entonces el resultado del valor de una vida estadística para los habitantes de la zona urbana del municipio de Palmira. Este valor unitario multiplicado por el número estimado de casos de la **Tabla 19** por posible muerte prematura daría como resultado la valoración económica de este ítem denotado en la **Tabla 25**.

Tabla 25. Valoración del Riesgo en Mortalidad Prematura

VALORACIÓN MORTALIDAD (\$ 2009)		
Nivel	Escenario 1	Escenario 2
Alto	\$ 7.969.500.000	\$ 40.733.000.000
Medio	\$ 1.771.000.000	\$ 11.511.500.000
Bajo	\$ 1.771.000.000	\$ 10.626.000.000

Fuente: Elaboración propia.

6.3.2. Valoración Económica en Morbilidad

La valoración de los casos de morbilidad para el presente estudio, establece la valoración de los casos registrados para los Días de Actividad Restringida, Estimación de Síntomas Respiratorios Agudos y Estimación de Ataques de Asma que se resumen en la **Tabla 23** mediante el uso del enfoque de *Costos Directos Asociados* con la enfermedad.

Estos costos representan la pérdida de salud de la persona afectada, e indirectamente una pérdida de bienestar para la sociedad, en cuanto a la pérdida de bienestar derivada del costo de hospitalización, del tratamiento y de los medios

de diagnóstico; los días de trabajo perdido o de actividad restringida con el consiguiente perjuicio económico; la pérdida de bienestar del no poder disfrutar plenamente del tiempo libre y el costo que para la familia representa la enfermedad de un paciente.

Con relación a los costos de hospitalización, estos son diferentes según el tipo de enfermedades y las características del sistema de afiliación en salud. En los regímenes contributivo y subsidiado, los costos repercuten en lo fundamental en la sociedad, que los financia a través de impuestos. Sin afiliación a ningún régimen, la familia debe asumir los costos; en otros casos, los costos se cubren mediante pólizas de seguros médicos y recaen sobre las compañías y, eventualmente, sobre el resto de aseguradores. En general la sociedad de una forma u otra asume los costos de la morbilidad.

Con relación al impacto económico que se ocasiona la enfermedad a la actividad laboral o escolar, éste recae directamente sobre el paciente, la empresa y finalmente la sociedad y se refleja en los ingresos dejados de percibir durante los días de incapacidad, esto quiere decir que el costo se reparte de acuerdo al tipo de trabajo (informal, formal o contratado), a las características del puesto de trabajo y a los mecanismos de las empresas ante esta eventualidad.

6.3.2.1. Valoración Económica de Días de Actividad Restringida

Los resultados de las funciones dosis respuesta se mantienen de igual forma para la morbilidad, es decir, por la presencia de enfermedades agudas, malestar general, imposibilidad de trabajar o necesidad de cuidados médicos y que son importantes para la economía por sus efectos sobre la productividad en las empresas, el estado de salud de las personas y el impacto social en las familias y la comunidad y que se expresa como Días de Actividad Restringida.

Para la valoración económica de los efectos que se mencionan para este aparte, se requieren estimaciones de costos unitarios para cada uno de los efectos, en el caso del cálculo de los Días de Actividad Restringida (*ver* **Tabla 20**), se asume la definición de costo que establece el trabajo “Estimación de los Beneficios en Salud del Plan de Descontaminación de Santiago”, y que corresponde a una fracción del salario que refleje la pérdida de productividad ocasionada por la enfermedad, que se considera en el 50% del salario del mercado. Para el caso de Palmira se asume el salario diario mínimo legal vigente que corresponde para el año 2009 a \$16.563, para el caso de la valoración se asume un 50% que corresponde a \$8.282 para el 2009. En la **Tabla 26** se presenta la valoración total de la pérdida de productividad por días de actividad restringida.

Tabla 26. Valoración pérdida de productividad Días de Actividad Restringida

VALORACIÓN DÍAS DE ACTIVIDAD RESTRINGIDA (\$ de 2009)			
Nivel	Escenario 1		Escenario 2
Alto	\$	39.064.622	\$ 193.410.043
Medio	\$	44.141.283	\$ 218.503.493
Bajo	\$	25.656.603	\$ 126.991.077

Fuente: Elaboración propia.

6.3.2.2. Valoración por Síntomas Respiratorios Agudos

Con el fin de estimar lo que representa en términos de beneficios económicos la disminución de Síntomas respiratorios agudos y Estimación de Ataques de asma, se asume que del total de casos que se estimaron, *ver* **Tabla 23**, no todos acuden a una consulta médica ni mucho menos todos los pacientes requieren hospitalización. En este sentido, de acuerdo a la información del documento de trabajo “Cuánto Impacta en salud y a Nivel Económico la Calidad del Aire en

Bogotá D.C.” de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá D.C. (2005)¹²² se asume que el 15% de los pacientes que presentan síntomas respiratorios y ataques de asma realizan una consulta médica; y que de éste total de consultas, el 30% de pacientes requieren hospitalización.

Además se asume un costo de consulta y de hospitalización promedio de \$38.000 ¹²³ (\$2005) y \$ 724.480 ¹²⁴ (\$ 2004) respectivamente, que se han proyectado para el cálculo a través del periodo a través de los Índices de Precios al Consumidor¹²⁵ (IPC), dando como resultado un costo promedio de consulta y hospitalización de \$46.084 y \$ 921.206 (\$ 2009) respectivamente.

Tabla 27. Valoración total de los casos de Síntoma Respiratorio Agudo

VALORACIÓN SÍNTOMAS RESPIRATORIOS AGUDOS (\$ de 2009)			
Valoración	Nivel	Escenario 1	Escenario 2
Consultas por Síntomas Respiratorios Agudos (del total de casos el 15% acude a consulta)	Alto	\$ 898.220.592	\$ 4.446.634.676
	Medio	\$ 574.838.782	\$ 2.845.776.514
	Bajo	\$ 271.130.023	\$ 1.342.253.637
Hospitalizaciones por Síntomas Respiratorios Agudos (del total de consultas el 30% requiere hospitalización)	Alto	\$ 5.386.609.600	\$ 26.666.372.666
	Medio	\$ 3.447.295.832	\$ 17.066.060.647
	Bajo	\$ 1.625.960.923	\$ 8.049.466.237

Fuente: Elaboración propia.

¹²² Aristizábal, Gustavo, y Luis Jorge Hernández. «Cuánto Impacta en salud y a Nivel Económico la Calidad del Aire en Bogotá D.C.» Secretaría Distrital de Salud de Bogotá D.C., 2005.

¹²³ Valor promedio costo de consulta Urgencias de un ERA (pesos 2005), Aristizábal y Hernández (2005).

¹²⁴ Valor promedio de hospitalización de un ERA (pesos 2004), Secretaría de Salud (1999). Actualización de precios a 2004, IDEAM (2005). En esta investigación se tuvo como objetivo encontrar los costos reales de cada una de las 15 patologías más frecuentes, de acuerdo con las características de las mismas y teniendo en cuenta los costos administrativos de los Hospitales adscritos a la Secretaría de Salud en 1999.

¹²⁵ DANE, Índice de Precios al Consumidor, IPC (2009), variaciones porcentuales 1994-2009.

6.3.2.3. Valoración Económica por Ataques de Asma

Para el desarrollo de la estimación de la valoración de la morbilidad por ataques de asma, fueron tenidas en cuenta igualmente las funciones dosis respuesta expuestas anteriormente. Para la valoración se toman los casos reducidos por ataques de asma presentados en la **Tabla 22** y se les imputa el mismo porcentaje de pacientes que se asumen en el caso de los síntomas respiratorios agudos. Una vez realizados dichos cálculos y relacionarlos con su costo de consulta u hospitalización según fue el caso se encontraron los valores de la **Tabla 28**.

Tabla 28. Valoración total de los casos de Ataques de Asma

VALORACIÓN ATAQUES DE ASMA (\$ de 2009)			
Valoración	Nivel	Escenario 1	Escenario 2
Consultas por Ataques de Asma (del total de casos el 15% acude a consulta)	Alto	\$ 33.746.954	\$ 167.068.850
	Medio	\$ 9.995.513	\$ 49.500.601
	Bajo	\$ 5.626.796	\$ 27.885.131
Hospitalizaciones por Ataques de Asma (del total de consultas el 30% requiere hospitalización)	Alto	\$ 202.379.757	\$ 1.001.908.308
	Medio	\$ 59.942.878	\$ 296.854.044
	Bajo	\$ 33.743.778	\$ 167.226.535

Fuente: Elaboración propia.

6.3.3. Valoración Económica Total de los Beneficios en Salud

De acuerdo a los datos y cifras recopiladas en las valoraciones anteriores, se puede obtener el costo del beneficio en salud causado como consecuencia de una posible reducción en las emisiones de PM10 para la zona urbana del Municipio de Palmira.

Las cifras denotadas en la **Tabla 29** representan valores económicos importantes que ya por si solas ameritan un esfuerzo para evitar estos gastos a través de una política ambiental adecuada. Es importante estar muy consciente de que estas cifras representan solo una parte de los costos verdaderos que producen las fuentes generadoras del municipio (vehículos, la industria y las quemas agrícolas) en la salud humana y en el medio ambiente: en las cifras anteriores no están incluidos valores económicos para el dolor y la pérdida de bienestar que representan para las personas sufrir las enfermedades anteriormente mencionadas, por lo tanto estos valores representan a juicio del autor una cota inferior de los verdaderos costos de esta externalidad.

Tabla 29. Costo Total en Salud por Efectos del PM10 en Palmira

COSTO TOTAL (a pesos de 2009)		
Nivel	Escenario 1	Escenario 2
Alto	\$ 14.529.521.525	\$ 73.208.394.543
Medio	\$ 5.907.214.288	\$ 31.988.195.300
Bajo	\$ 3.733.118.123	\$ 20.339.822.616

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados de los anteriores estimaciones, y evitando sólo los casos de enfermedades mencionadas en el presente informe, en el municipio de Palmira al disminuir en $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ los niveles de PM10 se pudiera tener un ahorro en sobre-costos para el sistema de salud en el nivel medio del orden de los \$31.988.195.300 teniendo en cuenta que el promedio anual de este contaminante referencia fue en el año 2008 de $46,36 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Por otra parte, de llevar el último valor conocido de la calidad del aire de $44,36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a la implementación de la norma de calidad del aire internacional al año 2009 causaría un ahorro en sobre-costos medio al sistema de salud del orden de \$5.907.214.288 para el municipio de Palmira, Valle.

7. CONCLUSIONES¹²⁶

En este apartado es necesario reiterar que este tipo de evaluación siempre estará sujeta a un grado elevado de incertidumbre por el gran número de variables y supuestos que intervienen. Se puede y se debe tratar de minimizar las fuentes de esas incertidumbres, lo que se logrará en la medida que se cuente con mayor y mejor información local de donde se piensa desarrollar el uso de las funciones dosis respuesta. En este sentido, resulta de suma utilidad contar con funciones dosis-respuesta estimadas para la población en donde se piensa aplicar esta metodología, debido a que estos esfuerzos recién están comenzando en los países menos desarrollados.

Mediante la presente investigación, se pudo evidenciar que existen casos en salud humana en morbilidad y mortalidad evitados, resultado de una posible reducción en los niveles de concentración del material particulado menor 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -PM10- para los habitantes de la zona urbana del Municipio de Palmira mediante el uso de las funciones dosis respuesta expuestas por la literatura para este tipo de contaminante.

Los costos de esta externalidad producida por la contaminación atmosférica por efectos del PM10 sobre la salud de la población de la zona urbana de Palmira asciende a unos \$ 31.388.195.300 (\$ 2009), la cual -si bien es una cifra bien significativa- corresponde a una subestimación de su “costo real”¹²⁷, debido a que

¹²⁶ Las conclusiones presentadas en este aparte (a menos que se denote lo contrario), se harán teniendo en cuenta los resultados encontrados en el nivel medio del escenario 2 propuesto por el autor.

¹²⁷ En este sentido, compartimos la opinión y juicio de Muñoz y Moller (2004) y no creemos como Ortíz, Escobar y García (1996) en su artículo, que es posible calcular en algún momento los verdaderos costos económicos que produce la contaminación del aire en el bienestar de los habitantes de una región determinada. Para nosotros, es imposible definir el valor económico de muchos elementos relacionados con enfermedades y la muerte, como por ejemplo el sufrimiento que causa una enfermedad, o el dolor de perder a un ser amado. Para nosotros, las cifras económicas tienen unas funciones ilustrativas y

en el caso en morbilidad, no se incluyeron todos los componentes de la misma, debido a la carencia de información sistematizada del país, por lo cual, este valor debe ser considerado sólo como una cota inferior del verdadero costo de esta externalidad.

En este contexto se obtiene que, cerca de un 64% del costo total estimado se manifestó en morbilidad, y más específicamente en los Síntomas Respiratorios Agudos, los cuales, según la literatura tienden a cuantificarse cuando suceden altas excedencias en la norma diaria (situación actual de Palmira), pues son precisamente estos picos los que inducen la exacerbación de los síntomas respiratorios, debido a que el metabolismo humano tiene un rango de tolerancia ante la contaminación, pero cuando es expuesto a altas concentraciones, la tolerancia disminuye y se presenta la irritación en las mucosas oculares y nasales, la rinitis alérgica y el asma, entre otros (Arbex, y otros 2000); lo que al final conlleva a que el habitante del Municipio de Palmira realice bien sea una automedicación o una consulta al médico, y debido a su estado de salud pudiese hasta ser o no hospitalizado.

En contraste al resultado expuesto a levedad, a la mortalidad le corresponde un 36% del costo total estimado, pero la gravedad aquí de esta cifra, no es la cifra en sí, sino la imposibilidad de reponer una vida que se pierde o de aumentar el riesgo de ocurrencia de una muerte prematura. Este valor está sujeto a una infinidad de criterios del tipo ético y moral, por lo cual, este valor debe ser considerado como una cota mínima de un número indefinido de variables que involucran una muerte prematura (tales como inconveniencia, el dolor, y la pérdida laboral y anímica de los allegados al afectado que son en últimas valoraciones casi imposibles de realizar).

argumentativas dadas las circunstancias de que la sociedad está dando una alta importancia a todos los aspectos, valores y argumentos económicos.

Por otra parte, mediante el uso del estudio econométrico se pudo estimar que el valor estadístico para una vida estadística para los hogares en conjunto de la zona urbana del Municipio de Palmira es de unos \$885.500.000 valor que refleja una significativa preocupación de los encuestados por la calidad ambiental de su ciudad, y lo que representa para ellos una disminución en la probabilidad de una muerte prematura ocasionada por la contaminación ambiental.

Apoyando el estudio econométrico realizado, se puede concluir que las variables significativas en la regresión realizada, son consistentes con la teoría económica. Las variables que resultaron significativas fueron, el precio propuesto (BIDINICIAL), número de personas en el hogar (PERSONASHOGAR), realiza alguna actividad al aire libre (ACTAIRELIBRE), número de personas que aportan ingresos al hogar (PERSAPORTHOGAR), y los ingresos mensuales del hogar (INGMENSHOGAR); significativas para el modelo al 5% y con el signo del coeficiente especulado por la teoría económica.

Al final, se valida mediante los resultados hallados por el autor en el estudio de valoración contingente, que es posible generar fuentes alternativas de financiación de proyectos en conjunto con la sociedad del Municipio de Palmira, que permitan de una u otra forma mejorar la calidad ambiental de la región.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer énfasis en la puesta en marcha de investigaciones que logren establecer funciones dosis respuesta propias para el municipio de Palmira, y para Colombia mediante el desarrollo de estudios epidemiológicos. Tal acción logrará minimizar las fuentes de incertidumbre en el uso de estas funciones, por lo cual se tendrá entonces una mejor y más confiable estimación de los costos de la externalidad producida por la contaminación de PM10. Lo anterior no invalida en ninguna forma los resultados encontrados en el presente estudio, debido a que, como lo plantea la literatura, este es el único camino posible, ante la imposibilidad de disponer de FDR estimadas para el lugar y población en la cual se desea realizar la evaluación económica.
- Se recomienda tomar decisiones preventivas en cuanto a las regulaciones de las fuentes generadoras de contaminación en la ciudad, para ello, es necesario primero, actualizar el inventario de fuentes móviles y fijas realizado por Olaya y Ramírez (2003); realizar el inventario por fuentes de área (quemadas agrícolas) basado en los datos directos de ASOCAÑA; y por último, realizar un estudio econométrico de corte transversal¹²⁸ para conocer el aporte de los hogares a la contaminación; en segundo lugar una vez obtenidos dichos aportes, se hace necesaria la vinculación de políticas ambientales formales encaminadas hacia una reducción de las principales fuentes generadoras de material particulado; y en tercer lugar, realizar metas de reducción para cada una de las fuentes mediante el uso de las

¹²⁸ Un estudio de corte transversal es aquel que utiliza como medida de observación al individuo directamente, estos estudios establecen relaciones entre el estado de salud del individuo y los diferentes niveles de exposición al contaminante en un momento del tiempo determinado.

buenas prácticas de manufactura BPM para cada uno de los sectores involucrados en el aporte del contaminante PM10.

- Una vez obtenido un inventario de fuentes y de obtener registros históricos de meteorología, se podría implementar el uso de un “semáforo ambiental de PM10” en donde se realice un pronóstico de la calidad del aire en el Municipio de Palmira para que los residentes del municipio puedan con total libertad realizar sus actividades al aire libre sin tomar riesgo de respirar un aire que sea dañino para su salud, y así, hacer ahorrar al habitante de Palmira dinero en gastos de automedicación, consulta u hospitalización por ataques de asma o síntomas respiratorios agudos.

INDICES DE CALIDAD DE AIRE PARA MATERIAL PARTICULADO (ICAP) PPDA-RM				
ICAP	Categoría ICAP	PM10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 hrs)	Nivel	Episodio
0 a 100 BUENO	0	0	0	----
101 a 200 REGULAR	100	150	0	----
201 a 300 MALO	200	195	1	Alerta
301 a 400 CRÍTICO	300	240	2	Preemergencia
401 a 500 PELIGROSO	400	285	2	Preemergencia
> 501 EXCEDE	500	330	3	Emergencia

Se sugiere la creación de una línea verde o de una red en internet donde el usuario pueda conocer los pronósticos de los distintos índices de calidad del día, en especial atención al material particulado.

- Se sugiere evaluar la formulación de nuevas políticas o la reestructuración de otras ya existentes en común acuerdo con instituciones gubernamentales y no gubernamentales, para la implementación de acciones que encaminen hacia la generación de las Buenas Prácticas de Manufactura, que brinden la posibilidad de generar ingresos suficientes

para actividades de recuperación, protección y conservación de zonas verdes en el Municipio de Palmira.

- Se recomienda formular una nueva política de producción más limpia entre el municipio de Palmira y el subsector de la caña de azúcar, que tenga como objetivo principal una reducción significativa de la quema y re quema de caña de azúcar a cielo abierto; aumentado así el corte en verde¹²⁹, debido a que actualmente, tan sólo el 10% del área total en caña del país utiliza corte mecanizado, debido a que esta actividad, según lo expone Dávalos (2007) es la principal contribuyente de PM10 en la ciudad.
- En general, se sugiere como medidas y acciones elaborar un programa donde se considere: la modernización del parque automotor; reforzamiento de los programas de seguimiento al cumplimiento de la normatividad; ampliación en cobertura de áreas verdes; control a la resuspensión de material particulado; reconversión de vehículos a combustibles más limpios; integración de políticas de desarrollo urbano, transporte y calidad del aire; prevención a la población respecto a la exposición a niveles altos de contaminación; fortalecimiento de la educación ambiental, investigación y desarrollo tecnológico; pavimentación de calles y avenidas; promover el uso de combustibles limpios; establecimiento de pautas para la planeación del territorio, teniendo en cuenta el comportamiento y dispersión de los contaminantes monitoreados; programas de fiscalización y vigilancia; mejoramiento o implementación de sistemas de control ambiental de las industrias.

¹²⁹ Para cosechar la caña se pueden utilizar dos técnicas: el corte manual o el corte mecanizado. En países como Australia y Estados Unidos el 100% de la cosecha se realiza a través de la utilización de maquinaria, mientras que en Brasil (el mayor productor de caña en el mundo) y en Colombia se emplean ambos sistemas. La diferencia es que en Brasil el corte de caña mecanizada está creciendo de forma vertiginosa: en 2006 fue de 36%; en 2008, de 49% y se estima que será de 100% en el año 2016, por la restricción cada vez más amplia a las quemas en dicho país según lo afirma Asocaña en su Informe Anual 2008-2009.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA REFERENCIADA

- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES & DISEASE REGISTRY, ATSDR. «El Aire.» 2007. Documento imprimible disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/es> (último acceso: 20 de Abril de 2010).
- Arbex, M., G. Bohm, P. Saldiva, G. Conceição, III Pope, y A. Braga. «Assessment of the effects of sugar cane plantation burning on daily counts of inhalation therapy.» *Journal of the Air & Waste Management* 50 (2000): 1745–1749.
- Ardila, Sergio. «Guía para la utilización de modelos econométricos en aplicaciones del método de valoración contingente.» *BID*, 1993: 1-24.
- Aristizábal, Gustavo, y Luis Jorge Hernández. «Cuánto Impacta en salud y a Nivel Económico la Calidad del Aire en Bogotá D.C.» Secretaría Distrital de Salud de Bogotá D.C., 2005.
- Arrow, Kenneth, Robert Solow, Paul Portney, Edward Leamer, Roy Radner, y Howard Schuman. «Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation.» 1993.
- Azqueta, Diego. «Valoración Económica de la Calidad Ambiental.» 299p. ISBN: 8448118537. Bogotá: McGraw-Hill, 1994.
- Barzev, Radoslav. «Comparación de diseños de formato dicotómico cuando se asumen distintas distribuciones a pagar y se optimiza el vector de pagos.» Síntesis, s.f., 28.
- . «Guía Metodológica de Valoración Económica de Bienes, Servicios e Impactos Ambientales.» *Corredor Biológico Mesoamericano*. 2002. Documento imprimible disponible en: <http://www.ccad.ws> (último acceso: 22 de Abril de 2010).
- . «Guía Práctica sobre el uso de Modelos Econométricos para los Métodos de Valoración Contingente y el Costo de Viaje a través del programa Económico "LIMDEP".» 2004. Documento Imprimible disponible en: <http://www.scribd.com/doc/7289619> (último acceso: 8 de Marzo de 2010).
- Basset, Olivier, Axel Leclerc, Arcadio Cerda, y Leidy García. «Disposición a Pagar por la Mejora del Servicio de Recolección de los Residuos Sólidos Domiciliarios en la

- Ciudad de Talca.» *Panorama Socioeconómico* 27, nº 38 (2009): 68-78. ISSN: 0716-1921.
- Bishop, R., y T. Heberlein. «"Measuring Values of Extra Market Goods: Are Indirect Measures Biased?"» *American Journal of Agricultural Economics* 61 (1979): 926-930.
- Cameron, Trudy A. «A New Paradigm for Valuing Non-market Goods Using Referendum, Data: Maximum Likelihood Estimation by Censored Logistic Regression.» *Journal of Environmental Economics and Management* 15, nº 3 (1988): 35-379.
- Cançado, José, y otros. «The Impact of Sugar Cane–Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly.» *Environmental Health Perspectives* 114, nº 5 (2006): 725–729.
- Cerda, Arcadio. «Valuing Environmental and Natural Resources: An Introduction to the Econometrics of Non-Market Valuation.» *Ecological and Environmental Economics*, 2005: 138.
- Cerda, Arcadio, José Rojas, y Leidy García. «Disposición a Pagar por un Mejoramiento en la Calidad Ambiental en el Gran Santiago, Chile.» *Lecturas de Economía* 67 (2007): 143-160.
- Cifuentes, L., L. Lave, J. Vega, y K. Kopfer. «Effect of the fine fraction of particulate matter vs. The Coarse mass and other pollutants on daily mortality in Santiago, Chile.» *Journal of the Air & Waste Management Association* 50 (2000): 1287-1298.
- Cochran, William. *Técnicas de Muestreo*. México: CECSA, 1996.
- Committee on Environmental Health. «Ambient air pollution: Health hazards to children.» *American Academy of Pediatrics* 114, nº 6 (2004): 1699-707.
- Cooper, Joseph. «Optimal Bid Design for Dichotomous choice Contingent Valuation Surveys.» *Journal of Environmental Economics and Management* 24 (1993): 25-40.
- Cristeche, Estela, y Julio Penna. «Métodos de Valoración Económica de los Servicios Ambientales.» *Estudios Socioeconómicos de la Sustentabilidad de los Sistemas de Producción y Recursos Naturales*, nº 3 (2008): 55.

- Cropper, M., y M. Freeman. «Environmental Health Effects.» En *Measuring the Demand for Environmental Quality*, de J. Braden y C. Kolstad, 165-211. Amsterdam, North Holland: Elsevier Science Publishers, 1991.
- Cruz Cerón, Gabriel. *Economía Aplicada a la Valoración de Impactos Ambientales*. Manizales: Universidad de Caldas, 2005.
- CVC, CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA. «Estudio de la Calidad del Aire en el Valle del Cauca 1999-2001.» 2002.
- CVC, CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA. «Informe Calidad de Aire Estación Palmira 2007.» Dirección Técnica Ambiental, Santiago de Cali, 2008, 17.
- CVC, CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA. «Plan de Acción 2010-2011.» Versión Preliminar, Santiago de Cali, 2009, 77.
- DANE, DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. «Índice de Precios al Consumidor (IPC).» Variaciones porcentuales 1994-2009, Colombia, 2009.
- DANE, DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. «Proyecciones Municipales de Población 2005-2011 Sexo y Grupos de Edad.» Informe censal, Valle del Cauca, 2005.
- Dávalos Álvarez, Eleonora. «La Caña de Azúcar: ¿Una Amarga Externalidad?» *Desarrollo y Sociedad* 59 (2007): 117-164. ISSN 1900-7760.
- Davis, Robert. «The Value of Outdoor recreation. An economic study of the Maine Woods.» PhD Dissertation, Harvard University, 1963.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, DNP. «Documento Conpes 3344.» *Lineamientos para la Formulación de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire*, Marzo 2005: 30.
- . «Política Nacional Ambiental: Salto Social hacia el Desarrollo Humano Sostenible.» *Documento CONPES 2750*. Bogotá D.C., 1994.
- Drummond, Michael, Bernei O'Brien, Greg Stoddart, y George Torrance. *Métodos para la Evaluación Económica de los Programas de Asistencia Sanitaria*. Segunda. Díaz de Santos, S.A., 2001.

- Duffield, John, y David Patterson. «Inference and Optimal Design for a Welfare Measure in Dichotomous Choice Contingent Valuation.» *Land Economic* 67, nº 2 (1991): 225-239.
- Ecosystemvaluation. *Site funded by US Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service and National Oceanographic and Atmospheric Administration*. 2006. www.ecosystemvaluation.org (último acceso: 10 de Mayo de 2010).
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA. «Review of the National Ambient Air Quality Standard for Particulate Matter: Assesment of Scientific and Technical Information.» Research Triangle Park, 1982. NC 27711.
- . «The Particle Pollution Report. Current understanding of air quality and emmissions through 2003.» Diciembre de 2004. http://www.epa.gov/airtrends/aqtrnd04/pmreport03/report_2405.pdf#page=1 (último acceso: 27 de Noviembre de 2009).
- EPA, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. «National Ambient Air Quality Standards (NAAQS).» 1990. <http://www.epa.gov/air/criteria.html> (último acceso: 08 de Octubre de 2009).
- Freeman, A. Myrick. «The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods.» *Resource for the Future*., 1993.
- Hanemann, Michael W. «Welfare evaluations in contingent valuation experiments with discrete responses data: Reply.» *American Journal of Agricultural Economics*, 1989: 1057-1061.
- . «Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses.» *American Journal of Agricultural Economics*, 1984: 222-241.
- . «Valuing the Environment Through Contingent Valuation.» *Journal of Economic Perspectives*., 1994: 19-43.
- Hanemann, Michael W., John Loomis, y Barbara Kanninen. «Statistical Efficiency of Double-bounded: Dichotomous Choice Contingent Valuation.» *American Agricultural Economics Association*, 1991: 1255-1263.

- Harrison, R. «Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health?» *The Science of the Total Environment* 249 (2000): 85-101.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. «Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire.» 2007.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. «Documento de Soporte Norma de Calidad del Aire.» 2005.
- Jones-Lee, M., M. Hammerton, y P. Philips. «The Value of Safety: Results of a National Sample Survey.» *The Economic Journal* 95 (1985): 49-72.
- Larsen, Bjorn. «Cost of environmental damage: A Socio-Economic and Environmental Health Risk Assessment.» Informe preparado para el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004.
- Lester, L, y E P Seskin. «An Analysis of the Association Between U.S. Mortality and Air Pollution.» *Journal of the American Statistical Association*, 1973.
- Lozano, Nancy. «Air Pollution in Bogotá, Colombia: A Concentration-Response Approach.» *Desarrollo y Sociedad* 54 (2004): 133-177.
- Madriñán, C. «Compilación y análisis sobre la contaminación del aire producida por la quema y la requema de la caña de azúcar.» Tesis de Especialización en Agroecología, Universidad Nacional, Palmira, 2002.
- McConnell, Kenneth E. «Models for Referendum Data: The Structure of Discrete Choice Models for Contingent Valuation.» *Journal of Environmental Economics and Management* 18, nº 1 (1990): 19-34.
- McConnell, Kenneth E., y Jorge Ducci. «Valuing Environmental Quality in developing Countries: Two case studies.» 1989.
- Mejía, Cristóbal. «Estimación del Valor de la Calidad del Agua en la Cuenca del Río Acelhuate de El Salvador.» CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA, CATIE., Turrialba, Costa Rica, 2000.
- Mendieta, Juan Carlos. «Economía Ambiental.» 303p. Bogotá: Facultad de Economía, Universidad de los Andes, 2000.

- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. «Decreto 4296 de 2004. Por el cual se modifica el artículo 30 del Decreto 948 de 1995.» Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2004.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. «Resolución 601 de 2006.» *Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia*, 2006: 12.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. «Decreto 948 de 1995. Por el cual se reglamenta la Protección y Control de la calidad del Aire.» Diario Oficial. Bogotá, D.C, 1995.
- . «Política Nacional de Producción más Limpia.» Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1997.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, CVC, y ALCALDÍA MUNICIPAL DE PALMIRA. «Agenda Ambiental del Municipio de Palmira.» Resumen ejecutivo, 2002.
- Mishan, E. *Cost-Benefit Analysis, an informal introduction*. Unwin Brothers Limited, 1971.
- Mitchell, R., y R. Carson. *Using surveys to value public goods: The Contingent Valuation Method*. Washington, D.C.: Resources for the future, 1993, 462p.
- Montealegre Murcia, Libardo. «Afecciones respiratorias y contaminación del aire en Santafé de Bogotá, una aplicación de la regresión Lave-Seskin.» Universidad de los Andes, Bogotá, 1993.
- Muñoz, Ana, Carlos Quiroz, y John Paz. «Efectos de la Contaminación Atmosférica sobre la Salud en Adultos que laboran a diferentes Niveles de Exposición.» Trabajo de Maestría en Salud Ocupacional y Salud Pública, Facultad Nacional de Salud Pública, "Héctor Abad Gómez", Medellín, 2006, 170p.
- Muñoz, Julian, y Rolf Moller. «La valoración económica de los daños en la salud humana, causados por la contaminación del aire como consecuencia del transporte motorizado en Santiago de Cali.» *Universidad del Valle - EIDENAR*, 2004: 20.
- Nevers, N. En *Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire.*, 546p. México: Mc Graw-Hill Interamericana, 1998.
- Olaya, L, y J Ramírez. «Evaluación preliminar de la calidad del aire asociada con partículas suspendidas totales y partículas respirables en el casco urbano de Palmira.» Tesis de Pregrado en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional, Palmira, 2003.

- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, OPS. «Evaluación de los Efectos de la Contaminación del Aire en la Salud de América Latina y el Caribe.» Washington DC., 2005.
- Ortíz, Carlos, Jaime Escobar, y Diego García. «Contaminación atmosférica y salud: Estimación de una función dosis–respuesta para Cali.» Departamento de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) y CIDSE Universidad del Valle, Cali, 1996.
- Ostro, Bart. «Estimating the Health Effects of Air Pollutants: A Method with an Application to Jakarta.» *Policy Research Working Paper Series 1301*, 1994: 70, World Bank.
- Park, Timothy, John Loomis, y Michael Creel. «Confidence Intervals for evaluating benefits estimates from Dichotomous choice Contingent Valuation studies.» *Land Economics* 67, nº 1 (1991): 64-73.
- Pope III, C A, M J Thun, D W Dockery, J S Evans, F Speizer, y C W Heath. «Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of US Adults.» *Am. J. Respir. Crit. Care. Med.* 15 (1995): 669-674.
- Ramanathan, R. *Introductory Econometrics with Applications*. 5th Edition. South-Western, Mason, Ohio, 2002.
- REPÚBLICA DE COLOMBIA. «Decreto 2811 de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.» Diario Oficial. Bogotá D.C., 1974.
- . «Ley 23 de 1973. Por la cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y protección al medio ambiente.» Diario Oficial. Bogotá D.C., 1973.
- . «Plan de Desarrollo 2008-2011 del Municipio de Palmira.» *Anexo 2. Palmira en Cifras*. 2008.
- Restrepo, Germán. «Monitoreo Calidad de Aire 1997 – 1998.» *Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC*, 1999: 150.
- Ridehout, D, y H Hessel. «Principles of forest environmental economics.» *Library of Congress*, 1997: 96p.
- Riera, Antoni. «MANUAL DE VALORACIÓN CONTINGENTE.» Informe preparado para el Instituto de Estudios Fiscales, 1994.

- Riera, Antoni, Aina Ripoll, y Josep Mateau. «Estimación del valor estadístico de la vida en España: Una aplicación del Método de Salarios Hedónicos.» *Revista de Economía Pública* 181, nº 2 (2007): 29-48.
- Rojas P., Johnny. «Contaminación del aire por la industria y costos sobre la salud en Yumbo 1994.» 1995. 101p.
- Rojas, Néstor. «Material Particulado Atmosférico y Salud.» 142p. ISBN: 9586952010. Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, 2005.
- Samakovlis, E, A Huhtala, T Bellander, y M Svartengren. «Air Quality and Morbidity: Concentration-Response Relationships for Sweden.» *Working Paper No. 87, National Institute of Economic Research*, 2004.
- Sánchez C, José Miguel, Sebastián Valdés de Ferari, y Bart Ostro. «Los Efectos en Salud de la Contaminación Atmosférica por PM10 en Santiago.» *Centro de Estudios Públicos*, 1998: 125-154.
- Sánchez C, José Miguel, Sebastián Valdés de Ferari, y Bart Ostro. «Estimación de los Beneficios en Salud del Plan de Descontaminación de Santiago.» *Centro de Estudios Públicos CEP*, 1997: 52.
- Sánchez C, José Miguel, y José Tomás Morel L. «Una estimación de los Beneficios en Salud de reducir la Contaminación atmosférica en Santiago.» Trabajo preparado para la Comisión del Medio Ambiente, Centro de Estudios Públicos CEP, Chile, s.f., 162-182.
- SECRETARÍA DE SALUD DE BOGOTÁ. «Estudio de Costos de las patologías más frecuentes atendidas en los hospitales de I, II y III nivel de la Red adscrita a la Secretaría Distrital de Salud.» Bogotá D.C., 1999.
- Shultz, S, y B Lindsay. «The Willingness to Pay for Groundwater Protection.» *Water Resources Research* 26, nº 9 (1990): 1869-1875.
- Solarte, Iván. «Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá.» *Revista Médica Sanitas* 5, nº 2 (2002).
- Strukova, Elena, Alexander Golub, y Anil Markandya. «Air Pollution Costs in Ukraine.» 2006. Documento Imprimible disponible en: <http://www.feem.it> (último acceso: 28 de Octubre de 2009).

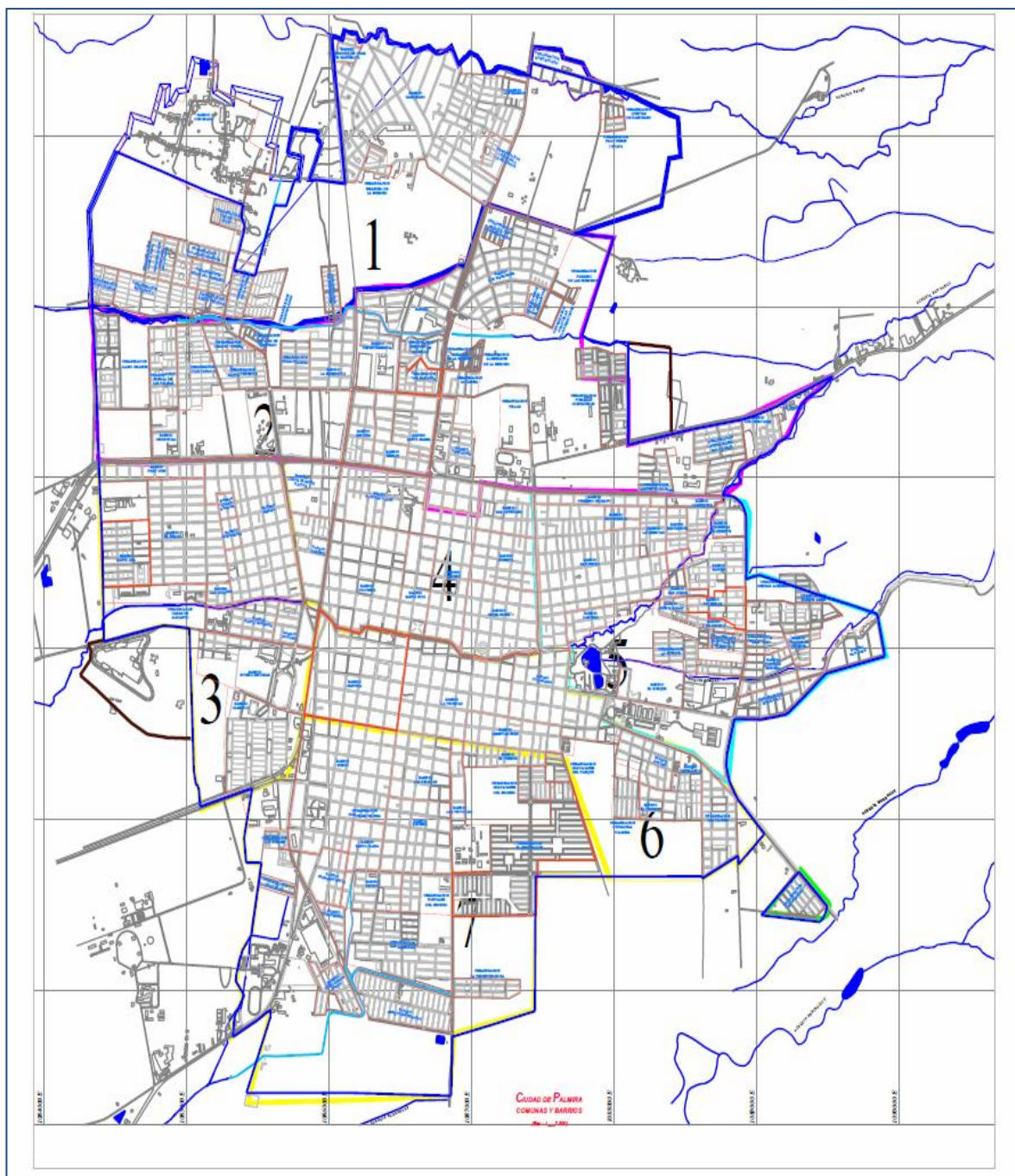
- Tchakhaidze, Karina. «Programa de Control Atmosférico.» *Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC*, 1995: 25.
- Thaler, R., y S. Rosen. «The Value of Saving a Life: Evidence from the Labor Market.» *Household Production and Consumption*, 1975: 265-300.
- UNIVERSIDAD DE LA SALLE. «Estudio de impacto ambiental de la quema de la caña de azúcar en el Valle del Cauca.» Bogotá, 1991.
- Valencia, Peter. «Estudio de Calidad de Aire Sector Proyecto Piloto para el Control de Quemadas de Caña de Azúcar.» *Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC*, 2000: 19.
- Vásquez, Felipe, Arcadio Cerda, y Sergio Orrego. *Valoración Económica del Ambiente. Fundamentos Económicos, Econométricos y Aplicaciones*. Buenos Aires, Argentina: Thomson Learning, 2007.
- WORLD BANK. *Pollution Prevention and Abatement Handbook*. Economic Analysis of Environmental Externalities, Washington D.C.: Banco Mundial, 1998.
- World Health Organization. «www.who.org/mediacentre.» 2006. (último acceso: 28 de Noviembre de 2009).

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- ASOCIACIÓN DE CULTIVADORES DE CAÑA DE AZÚCAR (ASOCAÑA). Manual de Procedimiento para Efectuar una Quema- Cosecha y Pos cosecha, 15p. 2004.
- ASOCAÑA-CENICAÑA. Evaluación y propuesta para regular las quemas controladas de caña de azúcar. Informe entregado al Ministerio del Medio Ambiente. 2003.
- BONILLA, J. La Política de Producción Más Limpia en Colombia, Fortalezas y Debilidades. Especialista Ambiental Senior Banco Mundial. (Presentación)
- Calixto, Diana Constanza, y Alexandra Victoria Díaz. «Valoración económica del impacto ambiental del aire sobre la salud de habitantes menores de 5 años en Bogotá.» Universidad Javeriana, Bogotá, 1997.
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). El conglomerado del azúcar del Valle del Cauca, Colombia. Unidad de Desarrollo Industrial y Tecnológico. Serie Desarrollo Productivo. 2002
- Convenio de Concertación Para Una Producción Más Limpia entre el MAVDT, la CVC, CARDER y CRC con el Subsector de la Caña de Azúcar. (1996-2004).
- FUNDACIÓN NEUMOLÓGICA COLOMBIANA. Evaluación del humo de la caña de azúcar en el sistema respiratorio, Asocaña. (1996,1999).
- HOOF, B. y HERRERA, C. La evolución y el futuro de la producción más limpia en Colombia. Revista de Ingeniería. ISSN. 0121-4993. 2007.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 14001. 2004.
- Östblom, Göran, y Eva Samakovlis. «Costs of Climate Policy when Pollution Affects Health and Labour Productivity. A General Equilibrium Analysis Applied to Sweden.» *Working Paper No. 93, The National Institute of Economic Research*, 2004: 24. ISSN: 1100-7818.
- Ostro, Bart. «Air Pollution and Morbidity Revisited: A Specification Test.» *Journal of Environmental Economics and Management* 14 (1987): 87-98.
- Ostro, Bart. «The Effects of Air Pollution on Work Loss and Morbidity.» *Journal of Environmental Economics and Management* 10 (1983): 372-382.
- Resolución 0532 del 26 de Abril de 2005, por el cual “se establecen requisitos, términos, condiciones y obligaciones, para las quemas abiertas controladas en áreas rurales en actividades agrícolas y mineras”.

ANEXOS

Anexo A. Plano Urbano Comunas Municipio de Palmira



Fuente: Archivos DANE, 2005.

Anexo B. Efecto de los Contaminantes Comunes del Aire

EFECTOS RESPIRATORIOS



Síntomas

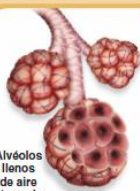
- Tos
- Fiebre
- Opresión en el pecho
- Respiración sibilante
- Falta de aire

Aumento de enfermedades y muerte prematura causado por:

- Asma
- Bronquitis (aguda o crónica)
- Enfisema
- Neumonía

Desarrollo de otras enfermedades

- Bronquitis crónica
- Envejecimiento prematuro de los pulmones



Cómo los contaminantes causan síntomas

Efectos en la función pulmonar

- Estrechamiento de las vías respiratorias (broncoconstricción)
- Reducción del flujo de aire



Inflamación de las vías respiratorias

- Afluencia de glóbulos blancos
- Producción anormal de mucosidad
- Acumulación de líquido e hinchazón (edema)
- Muerte y eliminación de las células que revisten las vías respiratorias



Mayor susceptibilidad a infección respiratoria

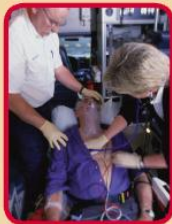


Normal



Pulmón con infección

EFECTOS CARDIOVASCULARES

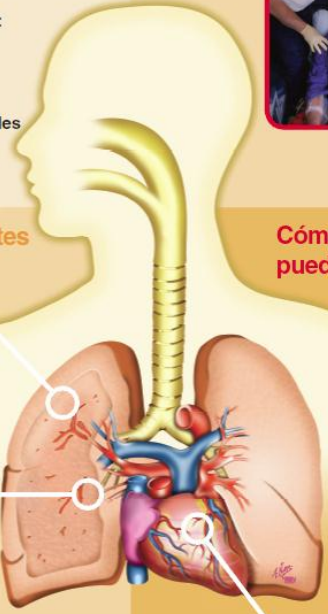


Síntomas:

- Opresión en el pecho
- Dolor de pecho (angina de pecho)
- Palpitaciones
- Falta de aire
- Fatiga inusual

Aumento de enfermedades y muerte prematura causado por:

- Enfermedad de las arterias coronarias
- Ritmos cardíacos anormales
- Insuficiencia cardíaca congestiva

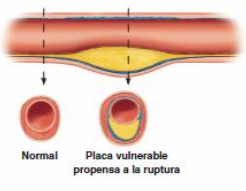


Cómo los contaminantes pueden causar síntomas



Efectos en la función cardiovascular

- Baja oxigenación de los glóbulos rojos
- Ritmos cardíacos anormales
- Alteración de la actividad cardíaca controlada por el sistema nervioso autónomo

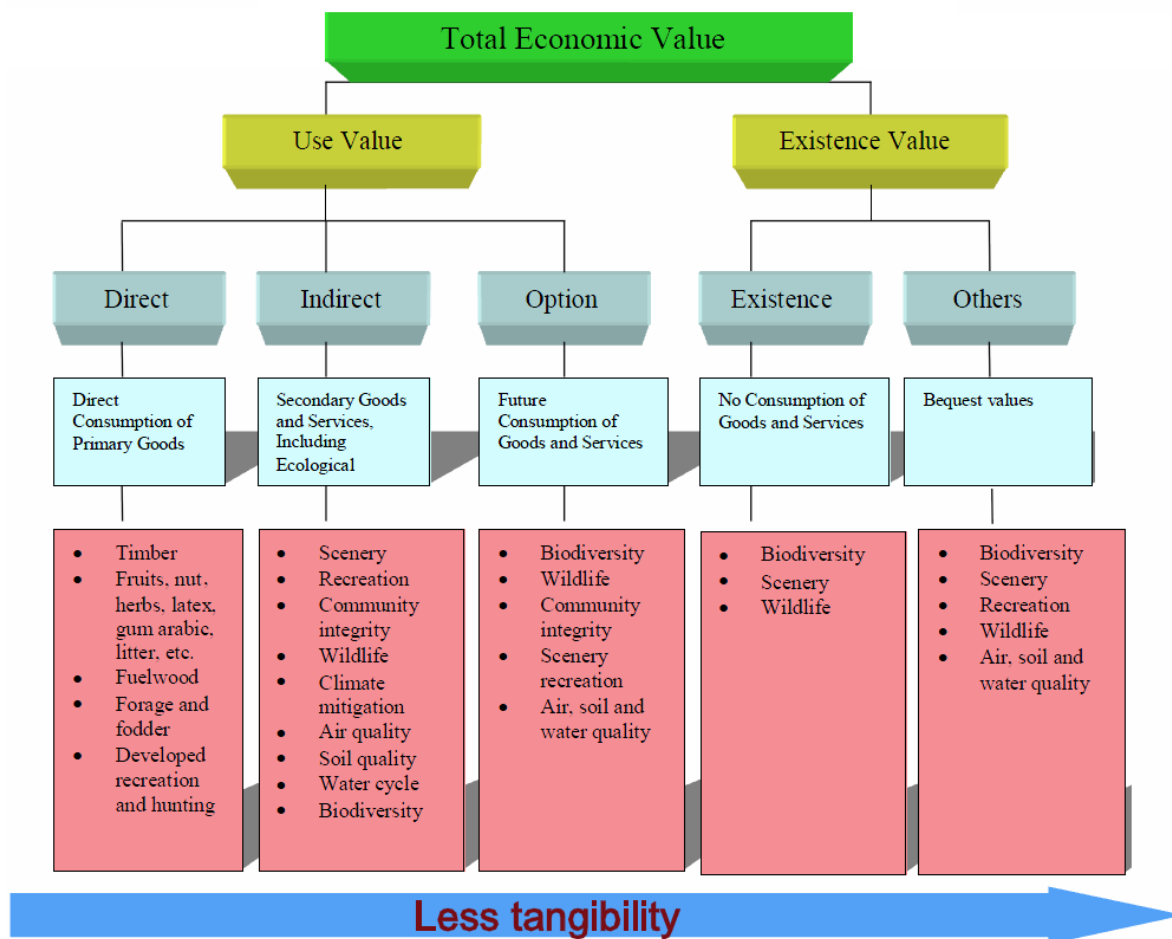


Inflamación vascular

- Mayor riesgo de formación de coágulos
- Estrechamiento de los vasos sanguíneos (vasoconstricción)
- Mayor riesgo de ruptura de la placa aterosclerótica

Fuente: archivos EPA.

Anexo C. Valor Económico Total de un bien



Fuente: Tomado de Cerda 2005.

Anexo D. Diseño de las Encuestas en el MVC

En el MVC los cuestionarios juegan un papel trascendental en la correcta aplicación del estudio. Así pues, se considera que las preguntas representan el mercado hipotético, donde la oferta se encuentra representada por la persona entrevistadora y la demanda por la entrevistada. Azqueta (1994)¹³⁰ sugiere estructurar la encuesta en tres bloques, una vez realizado este proceso, será entonces conveniente, revisar las alternativas en cuanto al mecanismo elegido para desarrollar las preguntas y posteriormente el formato de las mismas.

Mecanismos de Encuestación

Existen varios métodos para realizar encuestas, las cuales están sujetas a las características del problema de estudio y del presupuesto con el que se cuenta para realizar la investigación.

Entrevistas Personales.

Suelen ser la forma más común y el método más representativo para realizar encuestas. Presentan la ventaja de que permiten resolver dudas que puedan aparecer en el cuestionario o en la mente de la persona entrevistada y, al mismo tiempo, permite utilizar material gráfico que ayude a comprender el bien y la simulación del mercado que se pretende. Su desventaja es su alto costo.¹³¹

Entrevistas Telefónicas.

Tienen la ventaja de tener un costo reducido frente al de las entrevistas personales, pero presenta la imposibilidad de utilizar ayudas visuales, así como de presentar el problema de objetar que toda la población tenga este servicio.¹³²

¹³⁰ Azqueta, Diego. Op. Cit. p. 157-159.

¹³¹ IBID. p. 159-160.

¹³² IBID, p. 160.

Cuestionarios o Encuestas por Correo.

Las encuestas por correo suelen presentar el inconveniente del relativamente bajo porcentaje de cuestionarios retornados, lo que obliga a trabajar con muestras bastante mayores. Permiten las ayudas visuales, pero la ausencia del entrevistador no permite aclarar las dudas que puedan surgir, ni desarrollar un orden iterativo (en el que a una determinada respuesta sigue otra pregunta).¹³³

Experimentos de Laboratorio.

Este método consiste en reunir a un grupo seleccionado de personas en un lugar previamente fijado para realizar las preguntas. Su inconveniente radica principalmente en obtener un grupo representativo de personas, con las características deseadas, para llevar a cabo el experimento.¹³⁴

Formato de las Preguntas

En el MVC las preguntas se le hacen a la persona buscando que ésta revele una cantidad: su disposición a pagar DAP o su disposición a aceptar DAA por una mejora determinada (o por evitar un empeoramiento). Una vez determinado el medio de revelar tal cantidad, se debe elegir el tipo de formato de la pregunta.

Formato Abierto.

Para este tipo de formato, el entrevistador simplemente espera la respuesta a la pregunta formulada. Según Azqueta (1994)¹³⁵, este tipo de formato presenta la desventaja de un gran número de no-respuestas, por el hecho de que el entrevistado desconoce lo que podría ser una cantidad adecuada para lo que se le plantea, de tal manera, si la cantidad es cero, no necesariamente refleja la

¹³³ IBID, p. 160.

¹³⁴ IBID, p. 160.

¹³⁵ IBID. p. 161.

voluntad a pagar por el entrevistado, por lo que la precisión de las respuestas es dudosa. A pesar de esto, Shultz y Lindsay (1990)¹³⁶ como se cita en Mejía (2000)¹³⁷ recomiendan este tipo de formato para realizar encuestas piloto y así poder obtener valores más realistas de la verdadera valoración a pagar que se pueden utilizar como base para otros formatos de pregunta.

Formato Subasta (“bidding games”).

En esta modalidad el entrevistador propone una cifra, y pregunta al entrevistado si estaría dispuesto a pagar esa cifra, o más. Si la respuesta es positiva se eleva la cantidad, y si es negativa se reduce hasta encontrar una cantidad determinada.¹³⁸

Formato Múltiple.

Consiste en presentarle al entrevistado un cuadro o tabla en el que se ofrecen varias cifras, ordenadas de mayor a menor, y pedirle que seleccione una.¹³⁹

Formato Iterativo.

En esta modalidad, la pregunta varía dependiendo si la respuesta a la cantidad inicial denominada BID inicial es positiva o negativa, si es positiva el monto se aumenta y viceversa en el caso contrario; se repite el procedimiento hasta que por último la persona rechaza o acepta un valor de BID final según sea el caso. Esta modalidad presenta la desventaja de la presencia del sesgo de punto de inicio cuando se define la BID inicial, aunque permite a los encuestados considerar sus preferencias en un rango amplio de valores de pago. (Shultz y Lindsay 1990, como se cita en Mejía 2000).¹⁴⁰

¹³⁶ Shultz, S, y B Lindsay. «The Willingness to Pay for Groundwater Protection.» 1990.

¹³⁷ Mejía, Cristóbal. «Estimación del Valor de la Calidad del Agua en la Cuenca del Río Acelhuate de El Salvador». 2000. p. 17.

¹³⁸ Azqueta, Diego. Op. Cit. p. 162.

¹³⁹ IBID, p. 162.

¹⁴⁰ Mejía, Cristóbal. Op. Cit. p. 17.

Formato Binario o Dicotómico.

Las preguntas se realizan de manera binomial, donde las posibilidades de respuesta son un “sí” o un “no” por parte de los entrevistados para el pago de un determinado BID por la mejora de un bien. Este es uno de los formatos más utilizados por presentar la ventaja de asemejar una transacción de mercado, el tiempo de respuesta es más corto y por lo general las respuestas obtenidas son más confiables, disminuyendo el efecto de los sesgos hipotético y estratégico de cada una de las respuestas (Barzev 2004)¹⁴¹. Sin embargo, presentan la desventaja de requerir un tamaño muestral grande, un elevado costo y de conocimientos especiales para trabajar con modelos logit y probit.¹⁴²

Formato Dicotómico Doble.

Es una variante del formato dicotómico simple, la idea se implementa de la siguiente manera. Cada individuo recibe aleatoriamente un precio al cual responde “sí” o “no”. Si responde “sí”, entonces recibe otro precio mayor y se le pregunta de nuevo su DAP, respondiendo “sí” o “no”. Si responde “no” a la primera pregunta, recibe un precio inferior sobre el cual decide.¹⁴³

Sesgos en la Respuesta

Para Azqueta (1994) los sesgos se clasifican en dos grandes categorías: Sesgos instrumentales y no instrumentales.

Sesgos Instrumentales

Son de carácter operativo, dependen en gran medida de la manera en que se estructura la encuesta. Se encuentra por una parte, el **sesgo originado por el**

¹⁴¹ Barzev, Radoslav. «Guía Práctica sobre el uso de Modelos Econométricos para los Métodos de Valoración Contingente y el Costo de Viaje a través del programa Económico "LIMDEP".» 2004.

¹⁴² Azqueta, Diego. Op. Cit. p. 162-163.

¹⁴³ IBID, p. 163.

punto de partida, el cual se presenta cuando el pago inicial sugerido condiciona la respuesta final durante el desarrollo de las preguntas. Esto suele suceder porque el encuestado considera que esta cantidad inicial sugerida es “razonable” debido a que proviene de alguien quien aparentemente tiene mayor información al respecto¹⁴⁴. Por otra parte, es posible encontrar el **sesgo del vehículo de pago** cuando la respuesta de las personas esta sugestionada por el medio de pago a usar, pues lo puede considerar inadecuado o no realista (para evitar este sesgo se recomienda usar un medio de pago neutral)¹⁴⁵. En cuanto a la descripción del escenario, se puede presentar el **sesgo de la información** cuando no se da a conocer a la población la situación real del problema que se está valorando, por lo que se tiende a responder con poca certeza en presencia de este sesgo¹⁴⁶. Según Mitchell y Carson (1993), no se debe llegar a los extremos en la descripción de los escenarios de forma ineficiente o muy exagerada y fuera de la realidad, porque puede causar sesgos importantes y de impacto en el entrevistado. Por último entre los sesgos instrumentales se encuentra el **sesgo del entrevistador** el cual ocurre principalmente cuando las encuestas se realizan de forma personal debido a que algunas personas dan respuestas exageradas ante el temor de verse como poco solidario o inconsciente del problema planteado.¹⁴⁷

Sesgos no Instrumentales

Estos sesgos son más difíciles de resolver debido a que dependen de la actitud de los entrevistados hacia la encuesta. Es posible observar en los encuestados el denominado **sesgo de la hipótesis**, el cual resulta cuando el entrevistado no tiene ningún incentivo en brindar una respuesta correcta, debido a que la pregunta está

¹⁴⁴ Mejía, Cristóbal. Op. Cit. p. 14-15.

¹⁴⁵ Azqueta, Diego. Op. Cit. p. 169.

¹⁴⁶ Mejía, Cristóbal. Op. Cit. p. 28.

¹⁴⁷ Azqueta, Diego. Op. Cit. p. 170.

basada en una situación hipotética¹⁴⁸. Tocando la delicada línea de la posición del entrevistado, es posible toparse con el denominado **sesgo estratégico** el cual ha planteado los mayores inconvenientes del método (sobre todo en los primeros años de su andadura), el cual aparece cuando el entrevistado no da una respuesta honesta, debido a que asume que con su declaración puede influir en la decisión final que se dé sobre la propuesta realizada¹⁴⁹. Este sesgo puede evitarse a través de un diseño cuidadoso de la encuesta, para hacer la valoración contingente realista, viable y dependiente de muchas valoraciones individuales. (Ridehout y Hesseln 1997)¹⁵⁰.

¹⁴⁸ Mejía, Cristóbal. Op. Cit. p. 14-15.

¹⁴⁹ Azqueta, Diego. Op. Cit. p. 172-173.

¹⁵⁰ Ridehout, D, y H Hesseln. «Principles of forest environmental economics.» Library of Congress, 1997: 96p.

Anexo E. Estructura del Modelo de Hanemann

El modelo de Hanemann es conocido como “diferencia en la función de utilidad indirecta” y es del tipo:

Ecuación 5. Función de Utilidad Indirecta de Hanemann

$$vj = vj(P, Y; q) + \varepsilon j$$

$j = 0$ para la situación inicial, $j = 1$ para la situación final (luego de la mejora)

P = precio de los bienes

Y = Ingreso

q = Calidad ambiental, y

εj = Error aleatorio de media 0 y varianza constante

En donde vj es la parte observable y εj la variable aleatoria. Si bien el individuo conoce su función de utilidad con certeza, no se puede decir lo mismo para el investigador, ya que para éste existen algunos componentes no observables ni perceptibles y que son tratados como estocásticos, los que sirven para generar la estructura estocástica del modelo de respuesta binaria.

Medidas de Bienestar para la DAP

Si se asume que el bienestar de las personas se origina a través de la satisfacción de sus preferencias, la medida de este bienestar y el valor económico pueden inferirse analizando los comportamientos sociales, individuales y colectivos. En el caso del cambio en la probabilidad de muerte prematura, que es un bien de no-mercado, aunque no tenga precio hay que valorarlo económicamente para determinar el cambio en el bienestar y expresarlo monetariamente. Para lograr esto, se puede utilizar la cantidad de dinero que pagarían las personas para evitar un cambio desfavorable en la calidad del recurso.

Según el enfoque sugerido por Hanemann (1984), un supuesto importante en el modelamiento del proceso de decisión es que el individuo conozca su función de utilidad con certeza, mientras que ésta contiene algunos componentes que no son observables por los investigadores y son tratados por éstos como estocásticos.

En este caso la medida de bienestar es la variación compensada, y es capturada por una pregunta de disposición a pagar (C). La variación compensada es la máxima cantidad de dinero que un individuo está dispuesto a pagar para acceder a un cambio favorable, o bien la mínima cantidad de dinero que un individuo está dispuesto a aceptar como compensación por aceptar un cambio desfavorable (Vásquez, Cerda y Orrego 2007)¹⁵¹.

Así, las medidas de bienestar pueden ser calculadas como la media y la mediana de la disposición a pagar (Hanemann 1994). La Media, es la esperanza matemática de la suma de dinero que el individuo estaría dispuesto a pagar para que se produzca la mejora, o sea, que se lleve a cabo el proyecto. Esta medida de bienestar es el valor esperado de C, denominado C^+ . Se calcula con el método de integración por partes, a partir de la función de probabilidad acumulada (Hanemann 1989)¹⁵², (Ardila 1993)¹⁵³:

Ecuación 6. Valor esperado para la Media: Modelo de Hanemann

$$C_+ = \int_0^{\infty} 1 - Gc(x) dx - \int_{-\infty}^0 Gc(x) dx$$

¹⁵¹ Vásquez, Felipe, Arcadio Cerda, y Sergio Orrego. *Valoración Económica del Ambiente. Fundamentos Económicos, Econométricos y Aplicaciones*. Buenos Aires, Argentina: Thomson Learning, 2007.

¹⁵² Hanemann, Michael W. «Welfare evaluations in contingent valuation experiments with discrete responses data: Reply. » *American Journal of Agricultural Economics*, 1989: 1057-1061.

¹⁵³ Ardila, Sergio. «Guía para la utilización de modelos econométricos en aplicaciones del método de valoración contingente.» 1993: 1-24.

Por su parte, la Mediana es la cantidad de dinero necesaria para que el individuo esté justo en el punto de indiferencia entre mantener el uso del bien o renunciar a éste.

FORMA FUNCIONAL

Se puede adoptar distintas formas funcionales para V , pero en todo caso, ΔV depende de x según la forma funcional asumida para V . Tomando lo expuesto anteriormente se hace un enfoque hacia la forma funcional de Hanemann.

Tabla 30. Forma Funcional y Medidas de Bienestar: Modelo de Hanemann

FORMA FUNCIONAL V	FORMA FUNCIONAL ΔV	MEDIA/MEDIANA	INTEGRAL POSITIVA C'
$V_i = +\beta y + \varepsilon_i$	$\Delta v = \alpha - \beta b_i + n$	$C = \alpha / \beta$	$\log(1 + e^\alpha) / \beta$

Fuente: Adaptado de Hanemann (1984), Bishop (1979), y Ardila (1993).

En este estudio se opta por la formulación sugerida por Hanemann (1984) considerando que es técnicamente mejor, ya que resulta más explícito el papel que juegan los cambios de bienestar en el proceso de decisión del individuo.

Anexo F. Modelo de la Encuesta



INTRODUCCIÓN ENCUESTA FINAL

Valoración Económica de la Calidad del Aire en el Municipio de Palmira

La persona portadora de esta carta, _____, se encuentra realizando su trabajo de grado en el Programa Académico de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle Sede Palmira cuyo objetivo es estimar los costos en salud por efecto(s) de la contaminación atmosférica (PM10) en el municipio de Palmira.

Dicho estudio está destinado a medir la actitud, grado de conocimiento y opinión de los habitantes del municipio de Palmira frente al tema de la contaminación del aire mediante la aplicación de una encuesta a las familias de algunos barrios del área urbana del municipio.

Su hogar ha sido seleccionado para la aplicación de esta encuesta, por lo cual, nos complacería que nos permitiese unos minutos de su valioso tiempo para responderla. Sus respuestas son muy importantes para la investigación. No hay respuesta correcta o equivocada, es decir, todas sus opiniones y apreciaciones son válidas. La información que usted suministre es confidencial, y será utilizada estrictamente con fines académicos.

De antemano agradecemos por el tiempo, la honestidad y la atención dedicada para responder el siguiente cuestionario.

Cordialmente,

JIMMY GILBERTO DÁVILA VÉLEZ

Coordinador

Programa Académico de Ingeniería Industrial

ENCUESTA SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE EN PALMIRA

Comuna: _____ Barrio: _____ Nº de Cuestionario: _____
 Fecha: _____ Hora inicio: _____ Hora Finalización: _____

• FASE DE PERCEPCIÓN

- 1) ¿Considera usted que la calidad del aire que se respira influye en la calidad de vida de las personas?

01 Si **00** No

- 2) ¿Considera usted que la calidad del aire puede inducir cambios en la probabilidad de una muerte prematura?

01 Si **00** No

- 3) Usted piensa que la calidad del aire que se respira en Palmira es:

01 Pésima **02** Mala **03** Regular **04** Buena **05** Excelente **99** NR/NR

- 4) ¿Considera usted que Palmira es una ciudad que presenta contaminación del aire?

01 Si **00** No

- 5) En una escala de 0-5, donde “0” es nada y “5” es demasiado, ¿qué tanto cree usted que contaminan el aire...?

A	Las industrias	B	Los vehículos
C	Los hogares	D	Las quemas agrícolas a cielo abierto
E	El polvo levantado por carreteras no pavimentadas	F	Las construcciones

- 6) ¿Cree usted que la legislación colombiana regula de forma adecuada el control de la contaminación del aire?

01 Si **00** No

- 7) En una escala de 0-7, donde “0” es nunca y “7” es siempre, ¿con qué frecuencia percibe usted que...?

A	El aire que lo rodea está contaminado
B	Los objetos de la casa están empolvados
C	Cae ceniza en las calles o en su hogar

- 8) Le parece a usted que dejarle un mejor medio ambiente a futuras generaciones es algo:

01	Sin importancia	02	De menor importancia	03	Importante	04	Muy importante	05	Extremadamente importante
-----------	-----------------	-----------	----------------------	-----------	------------	-----------	----------------	-----------	---------------------------

- 9) ¿Cree usted que la calidad del aire en Palmira dentro de 10 años será?

01 Pésima **02** Mala **03** Regular **04** Buena **05** Excelente

10) ¿Piensa usted que la contaminación del aire en el municipio de Palmira afecte negativamente su salud?

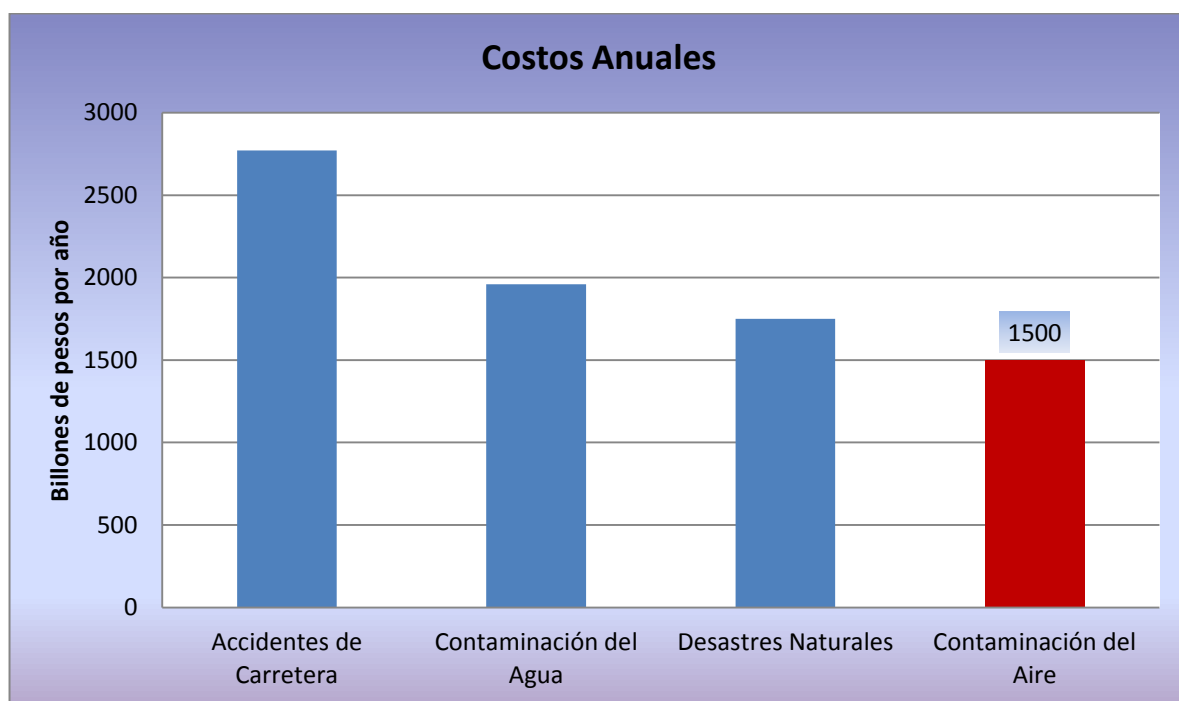
01 Si 00 No

11) ¿Qué tan importante es para usted que se disminuya la contaminación del aire en Palmira?

01	Sin importancia	02	De menor importancia	03	Importante	04	Muy importante	05	Extremadamente importante
----	-----------------	----	----------------------	----	------------	----	----------------	----	---------------------------

• FASE DE VALORACIÓN

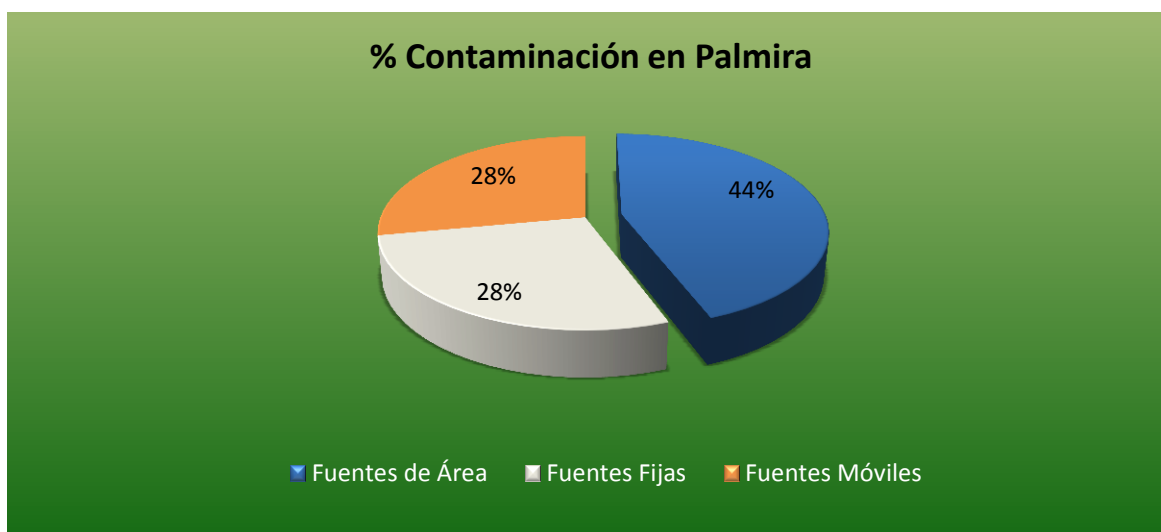
La contaminación del aire tiene una serie de efectos negativos sobre el bienestar de las personas (OMS, 2005). Según un informe realizado para el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) los costos que causa la contaminación del aire en nuestro país, se han estimado aproximadamente en 1.500 billones de pesos anuales, en donde cerca del 65% de este costo está asociado con morbilidad y el 35% con mortalidad. (Mostrar fotografía)



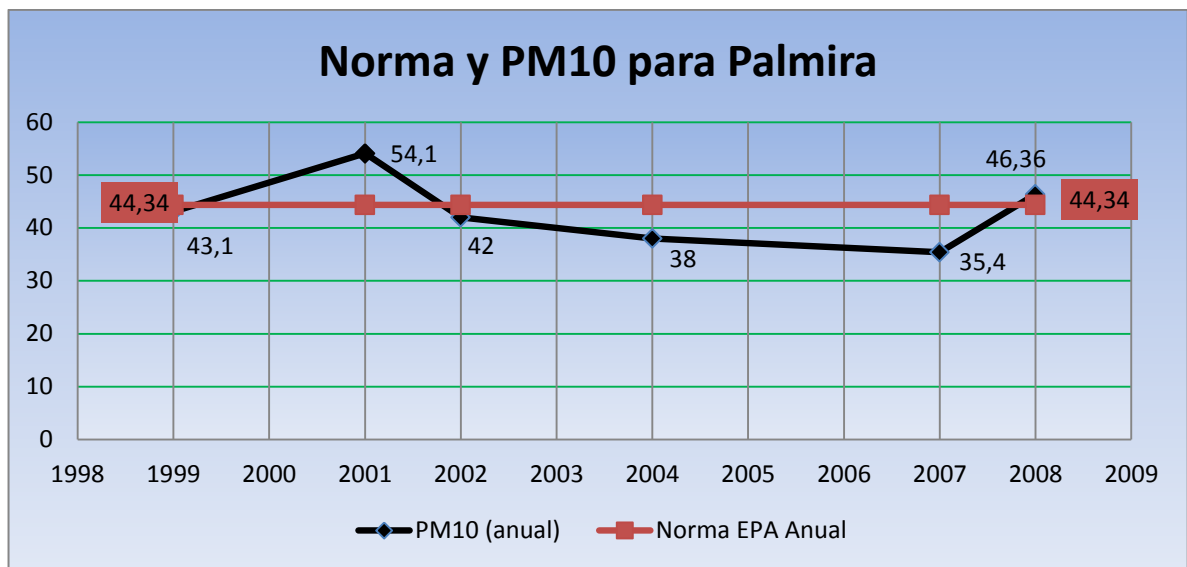
Además, según ese mismo informe, se le atribuye a la contaminación del aire una ocurrencia de cerca de 6.000 muertes prematuras, 7.400 nuevos casos de bronquitis crónica, 13.000 hospitalizaciones y 255.000 visitas a salas de emergencia al año en nuestro país. (Larsen, 2004). (Mostrar fotografía-tabla).

Casos estimados por Efectos de la Contaminación del Aire	
Categoría	Casos
Muertes Prematuras	6040
Casos de Bronquitis Crónica	7410
Hospitalizaciones	12970
Visitas a Salas de Emergencia	255mil
Días de Actividad Restringida	42millones
Problemas Respiratorios Bajos en Niños	585mil
Síntomas Respiratorios	135millones

Los contaminantes del aire, y en especial la fracción respirable (PM10) influyen negativamente la salud humana, este contaminante afecta las vías respiratorias de los individuos provocando enfermedades agudas y crónicas que pueden finalmente llevar a la muerte (EPA, 2004). Según un estudio realizado para el municipio de Palmira (Dávalos, 2007), este contaminante proviene generalmente de las quemas agrícolas a cielo abierto, los vehículos de transporte y las actividades industriales. ([Mostrar fotografía](#))

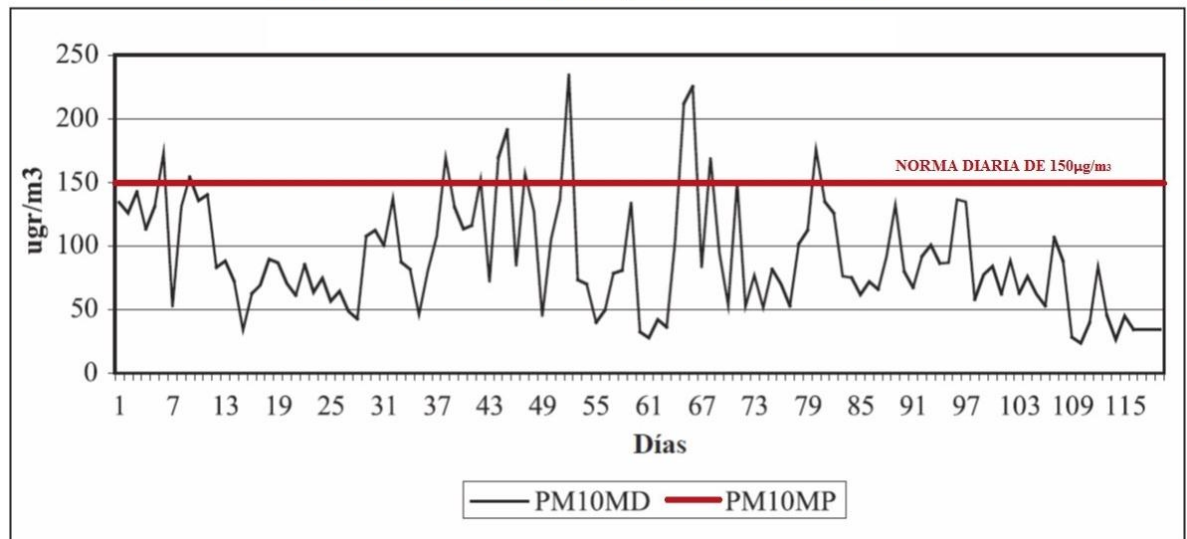


Según los registros de la estación meteorológica ubicada en Palmira controlada por la CVC, durante los últimos años las concentraciones anuales promedio de material particulado respirable han estado aproximadas al nivel máximo permisible anual establecido por organismos internacionales de control ambiental (como la Agencia para la Protección Medioambiental de E.U., EPA, por sus siglas en inglés) de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. ([Mostrar fotografía](#))



Sin embargo, en el año 2004 se llegó a registrar una concentración diaria máxima de $235 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cifra muy superior al nivel máximo permisible diario de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. ([Mostrar fotografía](#))

PM10 máximo diario emitido y PM10 máximo diario



Dicho nivel máximo permisible diario fue superado en diez ocasiones en tan sólo 119 días, límite que según la EPA sólo puede ser excedido una vez al año para garantizar la adecuada calidad del aire de una región. ([Mostrar fotografías](#))



PREGUNTA DAP

Conociendo usted ahora la situación del municipio de Palmira en materia de contaminación ambiental, a continuación le voy a formular una situación hipotética donde usted deberá responderme sobre su disposición de acceder o no a la situación planteada:

Suponga que el gobierno ha estado muy al tanto del problema de la contaminación ambiental del municipio de Palmira, y pretende mediante un proyecto reducir de forma significativa el problema de la contaminación del aire con la implementación de 4000 hectáreas de terreno verde (árboles) con lo cual también haría disminuir la probabilidad de una muerte prematura de 0.04% a 0.03% (un cambio de 0.01%). Suponga ahora además, que el gobierno debido a su restringido presupuesto, no cuenta con capital suficiente para abastecer totalmente dicha problemática, y que la única forma de continuar con el programa sea solicitando un aporte económico a los habitantes del municipio, el cual será recaudado a través de un fondo de apoyo neutro, que

contará bajo la supervisión y asesoría de la Contraloría (Auxiliar para Recursos Naturales y Medio Ambiente), la Universidad del Valle y la Secretaría de Salud Municipal de Palmira.

- 12)** De acuerdo con el tiempo que usted ha vivido en la localidad, su sentido de pertenencia con la ciudad, los ingresos y gastos mensuales de su hogar, y sabiendo que de esta forma se contribuirá a una mejoría en la calidad de vida de usted mismo y de la comunidad entera, ¿cuánto estaría usted dispuesto a invertir mediante un pago único (que serían recaudados a partir del próximo año) para contribuir a la ejecución de este programa? (Recuerde que lo más importante es que con su contribución se permitirá salvar una vida a futuro, con la incertidumbre de no saber qué individuo se salvará con este proyecto).

01 Si **00** No

\$ _____ .

(Si la respuesta es **No** pase a la pregunta **#13**), si la respuesta es **Sí**, ¿Por cuál medio de pago estaría usted dispuesto a realizar dicha inversión?

A	Recibo del Agua
B	Recibo de la Energía
C	Recibo del Gas
D	Un nuevo recibo
E	¿Otro? Cual _____

Si realizó la anterior pregunta sobre el medio de pago, entonces pase a la pregunta **#13**)

- 13)** ¿Podría decirme el motivo por el cual no desea hacer ninguna contribución?

01	El aporte no es la mejor vía para solucionar el problema	02	No dispongo de dinero
03	No creo que el proyecto se lleve a cabo	04	No me interesa el proyecto
05	Pienso que este es un problema de las grandes empresas y/o del gobierno	06	Existe corrupción y no confío en el proyecto
07	Pienso que el medio ambiente está bien		

• FASE DE CARACTERIZACIÓN DEL ENCUESTADO

- 14)** ¿Cuál es su estado civil?

01 Soltero(a) **02** Casado(a) **03** Unión libre **04** Separado(a)/Divorciado(a) **05** Viudo(a)

- 15)** ¿Es usted jefe del hogar?

01 Si **02** No

- 16)** ¿Cuál es el género del encuestado? (Nota: Ojo, no leer la pregunta)

01 Masculino **02** Femenino

- 17)** ¿Qué edad tiene usted? _____ (años)

- 18)** ¿Hace cuánto vive usted en Palmira? _____ (años)

- 19)** ¿Cuántas personas conviven en el hogar? _____

- 20)** Número de niños menores de 12 años en el hogar _____

21) ¿La vivienda donde actualmente usted reside es?

01 Propia 02 Propia pagando cuotas 03 En arriendo 04 Otra, ¿Cuál? _____

22) ¿Cuál de los siguientes ítems describe mejor su nivel de educativo?

01 Ninguno 02 Primaria Incompleta 03 Primaria 04 Bachillerato Incompleto
05 Bachillerato 06 Carrera Técnica 07 Universitaria 08 Profesional Especializado

23) ¿Realiza usted alguna actividad al aire libre?

01 Si 00 No

24) ¿Evita usted comprar productos nocivos para el medio ambiente?

01 Si 00 No

25) ¿Qué tan frecuente usted recicla papeles, vidrios, etc.?

01 Nunca 02 Ocasionalmente 03 Algo frecuente 04 Frecuentemente 05 Siempre

26) ¿Ha pertenecido o pertenece usted a algún grupo u organización ambiental?

01 Si 00 No

27) ¿En cuanto al hábito de fumar, usted se considera?

00 No fumador 01 Fumaba antes 02 Fumador leve 03 Fumador moderado 04 Fumador severo

28) ¿Sufre o ha sufrido usted (o alguien con quien usted convive) de alguna afección o enfermedad respiratoria?(tal como bronquitis o asma entre otras)

01 Si 00 No

Si su respuesta es SI, ¿Cuál? _____

29) Cuando a usted o algún menor a su cargo se le presenta un síntoma respiratorio tal como gripe, alergia respiratoria o tos, entre otras, ¿usted se automedica antes de asistir al médico?

01 Si 00 No

Si su respuesta es SI, ¿qué cantidad de dinero máxima invierte usted realizando este ejercicio? \$ _____ ocasión.

30) ¿A qué actividad se dedica usted? _____

31) ¿Cuál es el estrato socioeconómico de su residencia?

1 2 3 4 5 6

32) Número de personas que trabajan y/o aportan ingresos al hogar _____(personas)

33) Los ingresos mensuales de su hogar están entre: (Recuerde que su respuesta es confidencial)

01	Menos de \$250.000	02	Entre \$251.00 y \$500.000	03	Entre \$501.000 y \$750.000
04	Entre \$751.000 y \$1'000.000	05	Entre \$1'001.000 y \$1'250.000	06	Entre \$1'251.000 y \$1'500.000
07	Entre \$1'501.000 y \$1'750.000	08	Entre \$1'751.000 y \$2'000.000	09	Más de \$2'001.000

FIN

34) ¿Cómo evalúa el desempeño y calidad de la encuesta? (Pregunta para el encuestador)

01 Eficiente 02 Regular 03 Deficiente

Anexo G. Cálculo límites máximos permisibles a condiciones locales

Debido a que la norma de calidad del aire o nivel de inmisión se encuentra establecida a condiciones de referencia, es necesaria una actualización de estos valores para encontrar la norma de la calidad del aire a condiciones locales para el Municipio de Palmira, para ello se utiliza la **Ecuación 7**.

Ecuación 7. Norma de calidad a condiciones locales

$$N.L. = N.C.R \times (p.b \text{ local} / 760) \times (298^{\circ}K / 273 + t^{\circ}C)$$

Fuente: MAVDT, Resolución 601 (2006).

N.L. = Norma de la calidad del aire local.

N.C.R = Norma de la calidad del aire a condiciones referencia.

p.b local = Presión barométrica promedio local, en mm de mercurio (mm Hg).

t°C = Temperatura ambiente promedio local, en grados centígrados.

Tomando como base las condiciones referencia para el municipio de Palmira de:

p.b local = 674 mm Hg

t°C = 25°C

Norma anual de PM10 a condiciones referencia = 150 µg/m³

Norma diaria de PM10 a condiciones referencia = 50 µg/m³

Y reemplazando en la fórmula se encuentra que la norma anual máxima permisible para el PM10 es de 133 µg/m³ y que la norma diaria permisible es de 44,34 µg/m³ para el municipio de Palmira a condiciones locales.

Anexo H. Proyecciones poblacionales de Palmira

	Palmira Censo 2005	Proyección DANE 2009	Proyección Urbana 2009 ¹⁵⁴
Grupos de Edad	Total 2005	Total 2009	Total Urbana 2009
Total	284.470	292.510	260.910
0-4	21.756	21.150	18.865
5-9	24.707	22.179	19.783
10-14	27.305	25.321	22.586
15-19	26.321	27.055	24.132
20-24	24.380	25.411	22.666
25-29	22.122	23.376	20.851
30-34	20.589	21.344	19.038
35-39	21.617	20.476	18.264
40-44	20.895	21.528	19.202
45-49	17.172	20.168	17.989
50-54	14.165	16.219	14.467
55-59	11.707	13.241	11.811
60-64	9.397	10.707	9.550
65-69	7.712	8.372	7.468
70-74	6.003	6.648	5.930
75-79	4.374	4.483	3.999
80 Y MÁS	4.248	4.832	4.310

Población Urbana > 15 años a 2009 = 199.677 habitantes

¹⁵⁴ En cuanto a estos valores se asumió que el mismo porcentaje de personas provenientes de la zona urbana y del total guardan la misma relación en su población total que es de aproximadamente 89,20% y se procedió a multiplicar este valor por la proyección del DANE en ese mismo año.