

COSTO ECONÓMICO DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN MEDELLÍN Y EL VALLE DE ABURRÁ

Guillermo Rudas

- Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el material particulado suspendido en el aire afecta a más personas en el mundo que cualquier otro contaminante, con graves riesgos a la salud y a la expectativa de vida de la población.
- Los grandes centros urbanos en Colombia, tales como Medellín y los demás municipios del valle de Aburrá, presentan recurrentes emergencias y crecientes índices de muertes prematuras por la concentración de material particulado en el aire.
- Los camiones, las volquetas y los buses que usan diésel, así como el alto número de motos, aportan cerca del 90% de las emisiones vehiculares de material particulado fino, afectando gravemente a la población de la región.
- Esta contaminación se refleja en más de 3.900 muertes prematuras anuales por causas asociadas a la calidad del aire. Si no se toman medidas adecuadas y oportunas, controlando el uso del diésel, en 2030 morirán por estas causas más de diez mil personas en el valle de Aburrá.
- Estas muertes prematuras representan una pérdida equivalente entre 5,1 y 8,5% del producto interno bruto de la región.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Medellín, atravesada por el río que lleva su nombre, conforma con los municipios de Caldas, La Estrella, Sabaneta, Itagüí, Envigado, Bello, Copacabana, Girardota y Barbosa la unidad político administrativa denominada Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) con un área de 1.157 kilómetros cuadrados. De esta superficie, 15% está ocupada por sus cabeceras municipales. Según las proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en 2015 este territorio estaba ocupado por cerca de tres millones ochocientos mil habitantes, con 95% de esta población localizada en dichas cabeceras. Con algo más de 80 kilómetros de longitud a lo largo del río Medellín, este es un valle estrecho rodeado de altas montañas, lo cual dificulta las corrientes de aire hacia el exterior, situación que, conjugada con la alta densidad poblacional y las actividades que se desarrollan, genera altas concentraciones de sustancias contaminantes que afectan la salud de sus habitantes.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) reporta que el material particulado suspendido en el aire afecta a más personas en el mundo que cualquier otro contaminante. Según la OMS, aunque las partículas de 10 o menos micrones (PM) pueden alojarse dentro de los pulmones y generar daños a la salud, las partículas más dañinas son aquellas de 2,5 micrones o menos (PM_{2,5}), producidas principalmente por procesos de combustión, que pueden atravesar la barrera pulmonar y entrar en el sistema sanguíneo. La exposición crónica a ellas incrementa el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como de cáncer de pulmón (OMS, 2006).

Teniendo en cuenta estas dos condiciones, las características del valle de Aburrá y las afectaciones a la salud del material particulado fino (PM_{2,5}), estas notas se centran en el análisis de las fuentes de emisión y la concentración de este material en el aire de Medellín y sus municipios vecinos.

En primer lugar, se describen las características de las fuentes de emisión de material particulado, de los efectos de estas emisiones sobre la calidad del aire y de las proyecciones hacia futuro si se mantienen sus tendencias actuales de crecimiento.

Luego, se presentan las estimaciones del efecto de esta contaminación sobre las condiciones de vida de la población, usando como indicador la probabilidad de incremento de muertes prematuras como resultado de la exposición a material particulado fino.

En seguida, se ilustran los efectos económicos de estas afectaciones, desde dos perspectivas: primero, el límite inferior del costo, expresado como la pérdida de generación de valor como resultado de las muertes prematuras; y, más comprensivamente, lo que representan estas muertes prematuras en términos de deterioro de las condiciones de bienestar de la población en su conjunto.

Finalmente, se concluye mostrando los beneficios que se obtendrían si se adoptaran medidas recomendadas que incentiven los cambios de comportamiento de los principales agentes responsables de la contaminación, especialmente orientados a la modernización del parque automotor como principal generador de material particulado fino.

CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ

El inventario de fuentes de emisión realizado en 2015 por la Pontificia Universidad Bolivariana reporta que en el Área Metropolitana se emiten anualmente 1.852 toneladas de PM_{2,5}, de las cuales 18,6% proviene de las empresas industriales y el 81,4% restante de los vehículos¹.

1 Mientras no se indique otra cosa, la información de esta sección es tomada del *Plan integral de gestión de la calidad del aire - Pigecca (2017-2030)* del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA, CAI y PUB, 2017).

Estas emisiones están generando una concentración en el aire de material particulado fino con un promedio anual de 32 microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), muy superior al punto de referencia establecido por la OMS de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como el nivel por encima del cual no hay duda alguna de que se presentan efectos nocivos sobre la salud humana (OMS, 2006). Si no se toman medidas efectivas para modificar los patrones de emisión, se estima que, por el crecimiento de la población y de las diversas actividades económicas, en 2030 se estarán emitiendo 5.857 toneladas anuales de $\text{PM}_{2,5}$. Y, como resultado de estas emisiones, el aire del Área Metropolitana tendrá una concentración promedio anual de material particulado fino de $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es decir, cerca de siete veces el parámetro establecido por la OMS como punto de referencia para prevenir graves efectos sobre la salud.

FUENTES FIJAS DE EMISIÓN DE $\text{PM}_{2,5}$

Según el inventario mencionado, que cubrió 432 empresas con 1.448 puntos de emisión, 54% de la energía empleada por estas empresas proviene del gas natural, mientras que 37% corresponde a la combustión de carbón, 6% al fueloil y el 3% restante a biomasa, principalmente madera usada como combustible. Sin embargo, la participación del carbón como generador de emisiones de material particulado fino es ampliamente mayoritaria (70,7%),

seguida de la biomasa (19,0%) y del gas natural (9,3%). De las 344 toneladas de $\text{PM}_{2,5}$ que emiten estas empresas por año, 43% corresponde a la industria textil, 15% a actividades de madera, 11% a la industria química, 10% a cerámicas y vidrios (incluyendo ladrilleras) y 7% a la industria de papel e impresión.

FUENTES MÓVILES DE EMISIÓN DE $\text{PM}_{2,5}$

Dado el alto peso de las fuentes móviles en las emisiones de material particulado, su descripción amerita un mayor detalle. Como se observa en la tabla 1, de las 1.507 toneladas de material particulado fino que emiten anualmente este tipo de fuentes, los camiones y las volquetas tienen un peso determinante (64%), seguidos de lejos por las motos (14%), los buses (10%), los automóviles particulares (8%) y los taxis (2%). Esta distribución es el resultado de la combinación de tres factores esenciales: el número de vehículos, el tipo y la calidad del combustible empleado y la antigüedad del parque automotor.

De acuerdo con el inventario citado, en el Área Metropolitana están matriculados más de un millón trescientos mil vehículos, de los cuales setecientos diez mil corresponden a motos y cerca de quinientos cincuenta mil a carros particulares, en contraste con cuarenta mil taxis, veintitrés mil camiones, dieciocho mil buses, seis mil tractocamiones y tres mil volquetas. Sin em-

TABLA 1. DISTRIBUCIÓN DEL PARQUE AUTOMOTOR SEGÚN TIPO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO FINO ($\text{PM}_{2,5}$), 2015

TIPO	PARTICIPACIÓN EN EMISIONES DE $\text{PM}_{2,5}$	NÚMERO DE VEHÍCULOS	DEMANDA DE ENERGÍA SEGÚN TIPO DE COMBUSTIBLE		
			GASOLINA	DIÉSEL	GNV
Camiones	38%	23.002	5%	90 %	5%
Volquetas	26%	3.390	-	100%	-
Motos	14%	710.186	100%	-	-
Buses	10%	17.595	13%	79%	7%
Autos	8%	546.768	78%	15%	7%
Taxis	2%	40.194	58%	26%	16%
Tractocamiones	1%	6.197	-	100%	
Metroplús	0%	394	-	-	10%
Total	100%	1'347.726	49%	44%	7%

Fuente: cálculos propios con base en (AMVA y UPB, 2015) y (AMVA y PUB, 2015a).

bargo, aunque los camiones y las volquetas representan menos del 2% del total de vehículos, por su casi total dependencia del diésel aportan cerca de dos terceras partes de las emisiones de material particulado fino. Por una razón similar, los buses aportan 10% del PM_{2,5} emitido, cuando representan poco más del 1% del total de vehículos, pero con cerca del 80% de su dependencia del diésel. Un caso especial son las motos: aunque todas usan exclusivamente gasolina, al representar más de la mitad del total de vehículos, terminan aportando un significativo 14% de este material contaminante.

En síntesis, con un aporte del 44% de las fuentes energéticas de todo el parque automotor, el diésel termina contribuyendo con más del 70% del material particulado fino emitido por estas fuentes móviles. Resultado al que seguramente también contribuye la calidad del que se emplea en esta región.

Por otra parte, la calidad del diésel empleado en el país también tiene incidencia sobre el peso de este combustible en las emisiones de material particulado de la región. Según datos disponibles, antes de 2007 en el país se consumía diésel con 4.500 partes por millón (ppm) de azufre, pero para 2015 esta calidad había mejorado significativamente, para colocarse alrededor de 50 ppm (AMVA y UPB, 2015). Además, se anuncia que, para Medellín y en general para el valle de Aburrá, una buena cantidad de este combustible será entregada con menos de 25 ppm de azufre, para ser usada principalmente por el transporte de pasajeros y de carga (Ecopetrol, 2018). De todas formas, esta calidad del diésel sigue lejos de la establecida por la norma Euro 5 de 10 ppm de azufre, de carácter obligatorio a partir de 2009 para todo el diésel comercializado en los países de la Unión Europea².

En relación con el tipo de combustible, es notable la importancia que empieza a tener el uso

del gas natural vehicular (GNV) como combustible. Además de que toda la flota de Metroplús, el equivalente al Transmilenio de Bogotá, opera con él, al menos desde 2014 la renovación de la flota de recolectores y compactadores de basura empezó a privilegiar los vehículos a gas natural (*El Colombiano*, 2014). Estos vehículos se suman a más de veinticuatro mil carros particulares, once mil taxis y cinco mil buses y camiones que operan en el Área Metropolitana usando GNV que tiene un factor de emisión de material particulado sustancialmente menor que los demás combustibles (AMVA y UPB, 2015).

Por último, la edad del parque automotor incide significativamente en el nivel de emisiones de material particulado. El 56% de las volquetas y el 30% de los camiones tienen más de quince años de rodamiento, lo cual se constituye en un factor de alta incidencia en el lugar que ocupan como mayores emisores de ese material, sin que sea despreciable que el 39% de los carros particulares, el 21% de las motos y el 20% de los buses superen esta edad³.

CALIDAD DEL AIRE Y MATERIAL PARTICULADO FINO

Teniendo en cuenta las características de las distintas fuentes fijas y móviles de emisión de material particulado, así como las tendencias de crecimiento de unas y otras, el *Plan integral de gestión de la calidad del aire* estimó el crecimiento de las emisiones para cada una de las fuentes, año por año, desde 2015 hasta 2030. Como se observa en la figura 1, de las emisiones totales de 1.852 toneladas emitidas en 2015, se pasaría como resultado del crecimiento de las actividades productivas y de transporte a unas emisiones de 5.857 toneladas al año en 2030. Esto es, en un escenario inercial, si no se modifican los patrones de emisión de este tipo de material contaminante.

2 Directiva 2003/17/CE del Parlamento Europeo, 3 de marzo de 2003 (Anexo IV).

3 Cálculos propios con base en (AMVA y UPB, 2015).

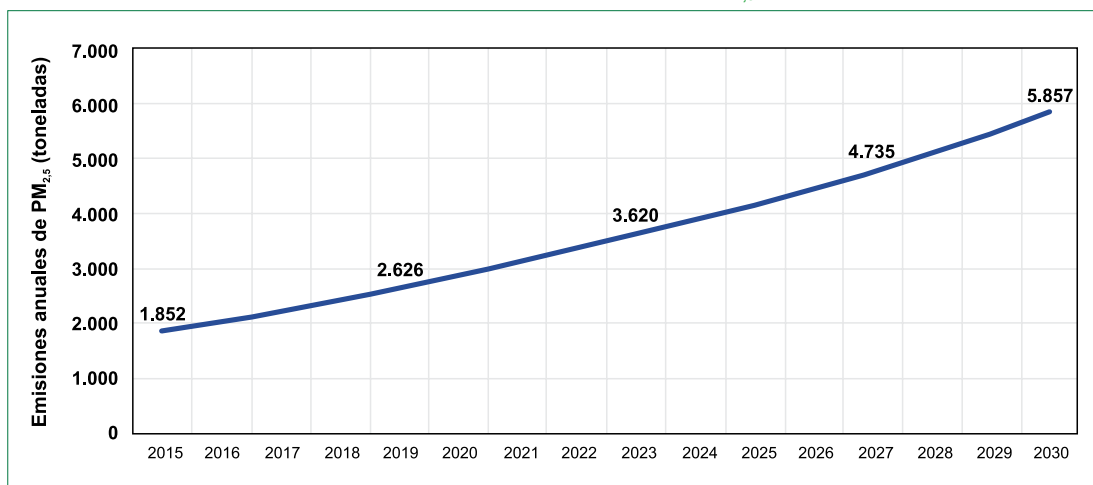
Si no se adoptan medidas para modificar estos patrones, este incremento de las emisiones vendría acompañado de cambios importantes en el deterioro de la calidad del aire, tal como se describe en la figura 1.

Para monitorear la calidad del aire, la Red de Monitoreo de Medellín y del Valle de Aburrá cuenta con treinta y ocho estaciones, de las cuales veintitrés miden de manera permanente la concentración de $PM_{2.5}$ en los distintos puntos del Área Metropolitana. Teniendo en cuenta las diferentes condiciones meteorológicas y aplicando un modelo de escala múltiple para

contaminación del aire por partículas y gases, con esta información se modelaron para el *Plan integral de gestión de la calidad del aire* los niveles de concentración de material particulado fino tanto para días típicos de 2015 como para las proyecciones de lo que se esperaría en 2030, en un escenario sin aplicar medidas de control de las emisiones (AMVA, CAI y PUB, 2017a).

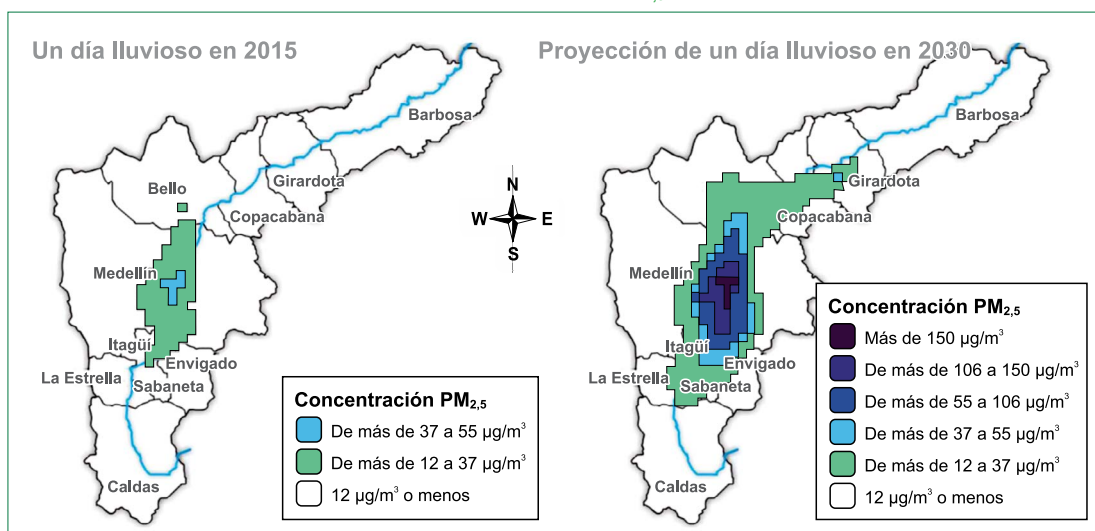
Como se observa en la figura 2, estas modelaciones arrojan que, por ejemplo, en 2015, en un día lluvioso típico, la mayor parte del territorio se encuentra con una concentración de $PM_{2.5}$ de 12 o menos $\mu g/m^3$, catalogada por la

FIGURA 1. ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ.
TENDENCIA DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO FINO ($PM_{2.5}$) ENTRE 2015 Y 2030



Fuente: Plan integral de gestión de la calidad del aire (AMVA, CAI y PUB, 2017).

FIGURA 2. ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ.
CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO FINO ($PM_{2.5}$) EN UN DÍA TÍPICO, 2015 Y 2030



Fuente: adaptado del Plan integral de gestión de la calidad del aire (AMVA, CAI y PUB, 2017a).

autoridad como *buena*⁴. Sin embargo, una parte importante de las áreas urbanas de Medellín, Itagüí y Envigado está entre más de 12 y 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ la cual, a pesar de ser catalogada como *aceptable*, se encuentra alrededor del punto de referencia crítico de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido por la OMS para un promedio de 24 horas (OMS, 2006). De todas formas, un área importante del centro de Medellín aparece con concentraciones de material particulado fino entre 37 y 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual da a la autoridad una señal para tomar medidas de *prevención*.

En la figura 2 se puede observar lo que sucedería en un día lluvioso, igualmente típico, en el año 2030, de mantenerse las tendencias actuales de crecimiento de las emisiones de material particulado. Las áreas con concentraciones de $\text{PM}_{2,5}$ alrededor del punto de referencia crítico de la OMS se amplían sustancialmente, llegando hasta Sabaneta y La Estrella, hacia el sur, y cubriendo un área importante de Bello, Copacabana y Girardota, hacia el norte. Por otra parte, las áreas con concentraciones de *prevención* terminan expandiéndose prácticamente en toda el área urbana de Medellín, especialmente en la franja a lado y lado del río, hasta llegar a Envigado por el sur y Bello por el norte. Aparece también una importante zona de *alerta*, con concentraciones de $\text{PM}_{2,5}$ entre 55 y 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que también cubre la franja alrededor del río Medellín, desde el centro de la ciudad y hacia el norte hasta llegar a Bello. Finalmente, en el centro de Medellín, una zona de *emergencia* que supera los 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de este material particulado fino.

Como puede observarse, con las tendencias de crecimiento de las emisiones de material particulado fino, si no se toman medidas correctivas oportunas y eficaces, los niveles promedio de concentración de este material en el aire ten-

derán a incrementarse de manera rápida, con efectos especiales en puntos específicos de la región, afectando gravemente la salud de las personas.

En efecto, a partir de varios estudios especializados, la OMS concluye que las pruebas epidemiológicas ponen de manifiesto efectos adversos tanto a exposiciones breves (24 horas) como prolongadas (promedio anual) al material particulado fino ($\text{PM}_{2,5}$). Además, aun cuando haya pocas pruebas que indiquen un umbral por debajo del cual no haya efectos adversos a la salud, señala que hay asociaciones estrechas entre la exposición a este material en concentraciones en el aire por encima de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, promedio anual; y, asimismo, por encima de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedios para 24 horas. En síntesis, señala que está plenamente demostrado que, ante estas exposiciones, se incrementa la probabilidad de fallecer por causas cardiopulmonares y de cáncer de pulmón (OMS, 2006).

CALIDAD DEL AIRE Y MUERTES PREMATURAS EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ⁵

Para el análisis de la relación entre la calidad del aire y los efectos adversos sobre la salud de las personas, el estudio de Econometría Consultores relacionó estadísticamente dos fuentes de información para el período entre 2008 y 2015: los niveles de exposición de los habitantes de los municipios del Área Metropolitana al material particulado fino; y las características de las personas residentes en esa Área que fallecieron en dicho período (Econometría, AMVA, BM, 2018).

Por una parte, se tuvo acceso a datos diarios de concentración de material particulado grueso

4 Según el AMVA, una concentración de $\text{PM}_{2,5}$ entre 0 y 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ es *buena*; entre más de 12 y 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ es *aceptable*; entre más de 37 y 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ es *prevención*; entre más de 55 y 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ es *alerta*; y más de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ es *emergencia* (http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/wz_material_didactico.aspx).

5 La información de este apartado, salvo que se indique lo contrario, es tomada del estudio "Asistencia técnica para el diseño de tasas por contaminación atmosférica y cobros por emisiones de gases efecto invernadero a nivel subnacional", preparado por Econometría Consultores para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá por encargo del Banco Mundial (Econometría, AMVA, BM, 2018).

y fino (PM_{10} y $PM_{2,5}$) reportados para el mismo período por veinticinco estaciones de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Medellín y del Valle de Aburrá, distribuidas en los centros urbanos de los distintos municipios del Área Metropolitana.

Por otra, para identificar las características de las personas residentes en el Área Metropolitana y fallecidas en dicho período, se usó la base de microdatos de las Estadísticas vitales del DANE. Allí se dispone de información detallada de cada persona fallecida la cual permite, usando modelos estadísticos especializados, establecer la relación entre la exposición al material particulado en su municipio de residencia y la probabilidad de fallecer prematuramente por enfermedades asociadas a esta exposición. A continuación se presentan los detalles de estos análisis.

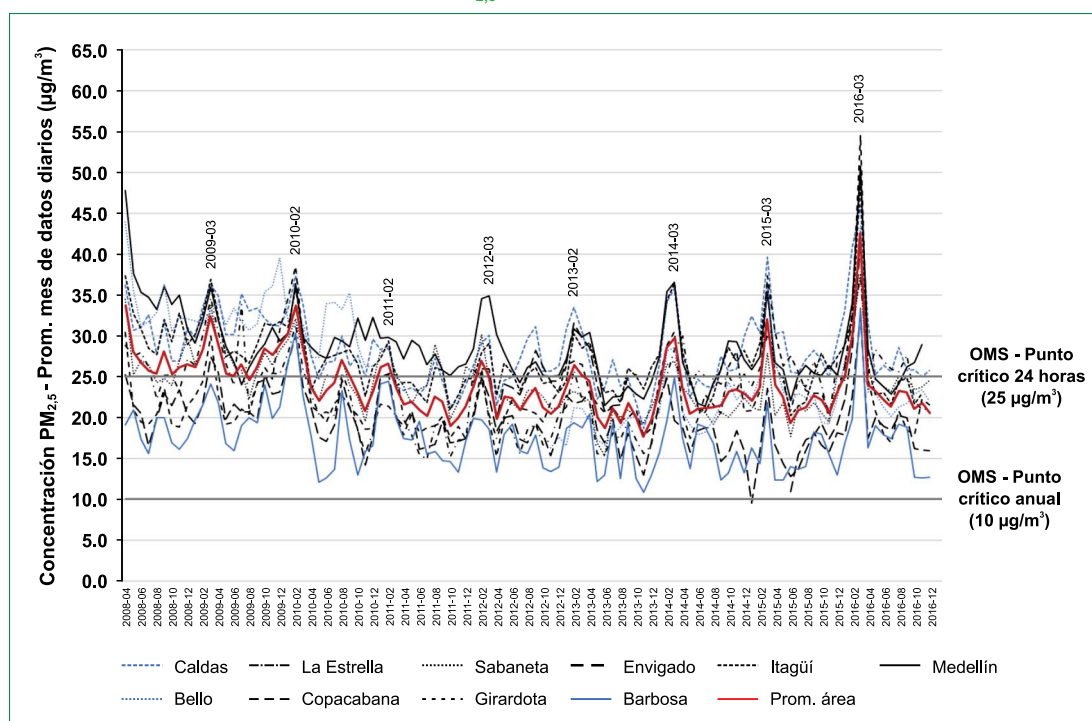
TENDENCIA HISTÓRICA DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, 2008-2016

Para el análisis de la relación entre la exposición a material particulado y la probabilidad de

muerres prematuras en el Área Metropolitana, Econometría Consultores dispuso de información de veinticinco estaciones de monitoreo de la Red de Calidad del Aire, con registros promedio diarios entre abril de 2008 y diciembre de 2016. De esas estaciones, dieciséis reportaron datos de concentración de PM_{10} y catorce reportaron además información de $PM_{2,5}$, con series no siempre continuas y sin cobertura completa para todos los municipios. Cuatro de estas estaciones presentaron registros simultáneos para estos dos tamaños de partículas, pudiéndose establecer una relación promedio $PM_{2,5}/PM_{10}$ de 0,51 en los casos en que se dispuso de mediciones simultáneas. Este factor se usó para calcular las concentraciones de material particulado fino a partir de mediciones de material particulado grueso, cuando no se reportaban datos del primero.

Con base en esta información, se procedió a calcular las series de concentraciones promedio mensual de $PM_{2,5}$ de cada uno de los diez municipios del Área Metropolitana que se muestran en la figura 3.

FIGURA 3. CALIDAD DEL AIRE EN LOS MUNICIPIOS DEL ÁREA METROPOLITANA (PROMEDIO MENSUAL DE $PM_{2,5}$ DE ABRIL DE 2008 A DICIEMBRE DE 2016)



Fuente: Econometría Consultores (Econometría, AMVA, BM, 2018) con datos de Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del AMVA



COSTO ECONÓMICO DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN MEDELLÍN Y EL VALLE DE ABURRÁ

De estas series de tiempo se resaltan algunas características:

- ◆ Entre 2008 y 2016 los registros mensuales promedio de $PM_{2,5}$ para toda el Área Metropolitana oscilaron entre 18 y 43 $\mu g/m^3$, para un promedio mensual para todo el período de 24 $\mu g/m^3$.
- ◆ Hay una marcada diferencia en los niveles de concentración promedio de los distintos municipios, con valores máximos durante casi todo el período en la ciudad de Medellín y mínimos en Barbosa.
- ◆ La mayoría de las series presentan un comportamiento estacional, con picos máximos de alta frecuencia en los meses de febrero y marzo de casi todos los años.
- ◆ Aunque no es estrictamente comparable, sí es notorio que las series de promedios mensuales de los valores diarios, especialmente de Medellín, Envigado, Itagüí y Caldas, sobrepasan la concentración de 25 $\mu g/m^3$ establecida por la OMS como valor crítico para el promedio de 24 horas. Este es un indicador indirecto de la alta frecuencia de días que tuvieron que presentar valores por encima de este valor crítico.
- ◆ En todos los casos, es notable que el valor promedio mensual esté por encima del valor crítico establecido por la OMS de 10 $\mu g/m^3$ para la concentración promedio anual de $PM_{2,5}$.

Las marcadas diferencias de las concentraciones promedio de material particulado fino entre los diez municipios, es una característica favorable para medir distintos grados de exposición de la población del Área Metropolitana a este material contaminante. Esta variabilidad permite establecer, en el modelo que se presenta más adelante, el grado de incidencia que tienen distintos niveles de exposición sobre la probabilidad de que las personas de cierto municipio fallezcan prematuramente.

TENDENCIA HISTÓRICA DE PERSONAS FALLECIDAS EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, 2008-2015

Con la información disponible en las Estadísticas vitales del DANE, persona a persona, fue posible identificar que entre 2008 y 2015 en el Área Metropolitana fallecieron 144.226 residentes, de los cuales, para el análisis de efectos de la calidad del aire, se excluyeron 21.852 casos correspondientes a muertes accidentales o violentas. En promedio, excluidos los casos mencionados, fallecieron 15.297 personas al año, para una tasa promedio anual de 423 fallecidos por cada cien mil habitantes. De este promedio anual, 3.220 personas murieron por causas que pueden ser asociadas potencialmente a la calidad del aire, para una tasa de 89 por cada cien mil habitantes, distribuidos así: 27% por cáncer respiratorio, 3% por causas cardiopulmonares, 40% por enfermedades crónicas de vías respiratorias inferiores y 30% por otras causas respiratorias⁶.

En términos de edades, de las 15.297 muertes anuales, 3,2% correspondieron a personas que fallecieron a una edad entre 0 y 4 años; 27,5 % entre 15 y 64; y el 69,2% restante, personas de 65 o más años.

En relación con las enfermedades que potencialmente se pueden asociar a la calidad del aire, los 3.220 muertos al año se concentraron aún más en las personas mayores, así: 1,3% fueron personas que murieron a la edad de entre 0 y 4 años; 20,4% entre 15 y 64; y 78,3% de 65 o más años.

En cuanto a la población total del Área Metropolitana según rangos de edades, entre 2008 y 2015 se identificaron 65 fallecidos entre 0 y 14 años por cada cien mil habitantes en dicho ran-

6 En particular, las principales causas de muerte registradas, en promedio, fueron de 1.287 personas fallecidas al año por enfermedades crónicas de vías respiratorias inferiores; 734 por tumores malignos de tráquea, bronquios o pulmón; y 697 por neumonía, clasificada aquí dentro de la categoría de otras causas.

go de edad; 153 entre 15 y 64 años por cada cien mil habitantes en dicho rango; y 3.568 muertos de más de 65 años por cada cien mil habitantes de esa misma edad. Presentado de otra forma, por cada persona de menos de 15 años que falleció durante el período, murieron 8 entre 15 y 64 años; y 21 de 65 o más.

En contraste con las muertes totales, para el caso de las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, fallecieron al año, en promedio, 5 personas por cada cien mil habitantes del Área Metropolitana localizadas en el rango entre 0 y 14 años; 26 por cada cien mil habitantes entre 15 y 64 años; y 850 personas por cada cien mil habitantes de 65 o más años. Lo cual corresponde a que, por cada persona muerta por estas causas entre los 0 y los 14 años, fallecieron 16 entre 15 y 64 años y 62 personas de más de 65 años. Es decir, quienes perecieron por causas que pueden asociarse a la calidad del aire se concentran más en las mayores edades que este indicador para el total de personas fallecidas por todas las causas.

RELACIÓN ESTADÍSTICA ENTRE CALIDAD DEL AIRE Y MUERTES PREMATURAS, 2008-2015

Para evaluar los efectos de la exposición a material particulado fino ($PM_{2,5}$) sobre los índices de mortalidad por causas asociadas a la calidad del aire en el Área Metropolitana, el estudio de Econometría Consultores aplicó modelos Cox de supervivencia (Econometría, AMVA, BM, 2018). Estos modelos se emplean en los estudios epidemiológicos para estimar la relación entre la probabilidad de morir por una causa específica y la probabilidad de morir por una causa distinta. Para este caso, se estimó la probabilidad de morir por causas asociadas a la contaminación del aire por material particulado fino, en relación con la probabilidad de morir por otras causas.

En términos generales, un modelo de supervivencia se emplea para relacionar el tiempo de ocurrencia de un evento, teniendo en cuenta el tiempo que transcurre desde un momento determinado hasta el momento de ocurrencia de dicho evento. Usualmente estos modelos se

emplean en estudios médicos para relacionar, por ejemplo, el tiempo que transcurre desde que se detecta que una persona padece cáncer hasta el momento en que ella muere. Una de las principales virtudes de estos modelos es que permiten identificar las variables que, de manera significativa, se constituyen en factores determinantes para explicar las variaciones en el tiempo de ocurrencia de un evento determinado (Cleves, Gould & Gutierrez, 2004).

Para aplicar el modelo de supervivencia, el estudio aquí citado dispuso, para cada persona residente en el Área Metropolitana y fallecida entre 2008 y 2015, de la siguiente información: edad al fallecer, sexo, nivel educativo, tipo de afiliación a la seguridad social (variable proxy de nivel de ingreso), municipio de residencia, zona de habitación (urbana o rural), actividad principal y causa de fallecimiento. Con base en esta información, y la disponible de promedios mensuales de concentración de $PM_{2,5}$ en cada municipio descrita en la sección anterior, el estudio generó un modelo Cox de supervivencia con base en los siguientes criterios⁷:

- ◆ *Causa de la defunción.* Cada persona se clasificó en una de las siguientes causas del fallecimiento: tumor canceroso; enfermedad cardiopulmonar; enfermedad crónica respiratoria; otra enfermedad respiratoria; o cualquier otra causa (variables *dummy*).
- ◆ *Magnitud de exposición a $PM_{2,5}$.* Concentración de $PM_{2,5}$ en el municipio de residencia de la persona fallecida, como promedio de los doce meses previos a la fecha de su defunción ($\mu g/m^3$).
- ◆ *Duración del estudio.* Se tomó el período del estudio iniciando en marzo de 2009 y finalizando en diciembre de 2015, con

7 Para mayores detalles de los criterios para usar estos modelos, véase el Anexo III. Estimación del impacto de $PM_{2,5}$ sobre la mortalidad en el AMVA (Dosis-Respuesta) del estudio de Econometría Consultores (Econometría, AMVA, BM, 2018).

una duración total de 82 meses⁸. Adquiere un valor desde uno para las personas fallecidas en el primer mes del estudio, hasta 82 para los que murieron en el último mes.

- ◆ *Tiempo de exposición.* Como tiempo de exposición se tomó la edad de la persona al fallecer. Para tal efecto, se asume que residió toda su vida en el municipio, ya que no se dispuso de información que permitiera identificar la movilidad.

Con este modelo, el estudio estimó la relación entre la probabilidad de fallecer en un determinado mes, dentro del período de duración del estudio, por alguna de las cuatro categorías de las enfermedades asociadas a la calidad del aire, en contraste con la probabilidad de morir por cualquier otra causa. Entre las variables explicativas el modelo incluyó la magnitud de exposición a material particulado fino ($PM_{2,5}$). Si el coeficiente de esta variable (es decir, la razón de proporcionalidad) resulta significativamente mayor que uno, se concluye que la probabilidad de fallecer por un incremento en la concentración del material particulado en el municipio de residencia de la persona es mayor que la de morir por la misma causa, pero de manera independiente de la calidad del aire. De esta forma, la magnitud de esta diferencia de probabilidades es el valor del coeficiente por encima de la unidad (es decir, el coeficiente menos uno).

Además de la variable explicativa central, se incluyeron las siguientes variables que reflejan factores conocidos (distintos a la calidad del aire), los cuales pueden incidir sobre la probabilidad de fallecer por el tipo de enfermedades en estudio: la ocupación de la persona en actividades con riesgo respiratorio (variable

dummy)⁹; el tipo de afiliación a seguridad social (variables *dummy* para no asegurado, régimen contributivo, régimen subsidiado u otra forma de afiliación); nivel educativo (variables *dummy* para ninguna educación o preescolar, primaria, secundaria, o superior); sexo (variable *dummy* para hombre o mujer); municipio de residencia (variables *dummy* para cada uno de los diez municipios del Área Metropolitana); y área de residencia (variable *dummy* para cabecera municipal o resto).

La tabla 2 muestra los resultados del estudio sobre la relación entre la probabilidad de morir por cada una de las causas señaladas debido a la exposición a material particulado fino, y la probabilidad de haber fallecido por la misma causa sin que el deceso dependa de dicha exposición. Es decir, todos los valores mayores a uno indican que es mayor la probabilidad de fallecer prematuramente por cada una de esas causas debido al incremento de un microgramo de $PM_{2,5}$ por metro cúbico en el aire, que la probabilidad de morir por la misma causa, pero de manera independiente de esa pérdida en la calidad del aire.

Estos resultados muestran que, por cada microgramo adicional de concentración de $PM_{2,5}$ en el aire, se incrementa en un 3,08% la probabilidad de morir prematuramente por un tumor maligno en el aparato respiratorio; en 4,02% la de fallecer por enfermedades cardiopulmonares; en 3,49% la de hacerlo por enfermedades crónicas respiratorias; y en un 2,62% la de fallecer por el resto de enfermedades respiratorias.

En síntesis, y de acuerdo con los resultados para el total de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, ante la pérdida de calidad del aire la probabilidad de fallecer por cualquiera de dichas enfermedades debido a una mayor exposición al material particulado se incrementa en 3,17% en relación con la probabilidad de que

8 Aunque había registros de $PM_{2,5}$ desde abril de 2008, el inicio del estudio se acotó en marzo de 2009 para disponer de información de exposición de doce meses previos para personas fallecidas en ese mes. El final del estudio se acotó en diciembre de 2015, última fecha con información de personas fallecidas.

9 A una variable *dummy* se le asigna uno (1) si cumple determinada condición, y cero (0) si no la cumple.

dicha muerte no tenga relación alguna con ese deterioro de la calidad del aire.

PROYECCIÓN DE MUERTES PREMATURAS ASOCIADAS AL DETERIORO DE LA CALIDAD DEL AIRE, 2015-2030

Para aplicar los resultados del efecto de la contaminación del aire sobre la salud hacia futuro, el estudio hizo un análisis en dos etapas: en primer lugar, usando las tasas de mortalidad para cada tipo de enfermedad identificadas históricamente, proyectó el número de personas que fallecerían entre 2015 y 2030, de acuerdo con el crecimiento de la población y sin contemplar los incrementos en la contaminación del aire por material particulado. Luego, conociendo las

proyecciones de crecimiento de la concentración de $PM_{2,5}$, se calcularon las muertes adicionales que se generarían por este crecimiento, aplicando los incrementos en la probabilidad de fallecer prematuramente por cada microgramo adicional de concentración del material particulado fino en el aire, tal como se muestra en la figura 4.

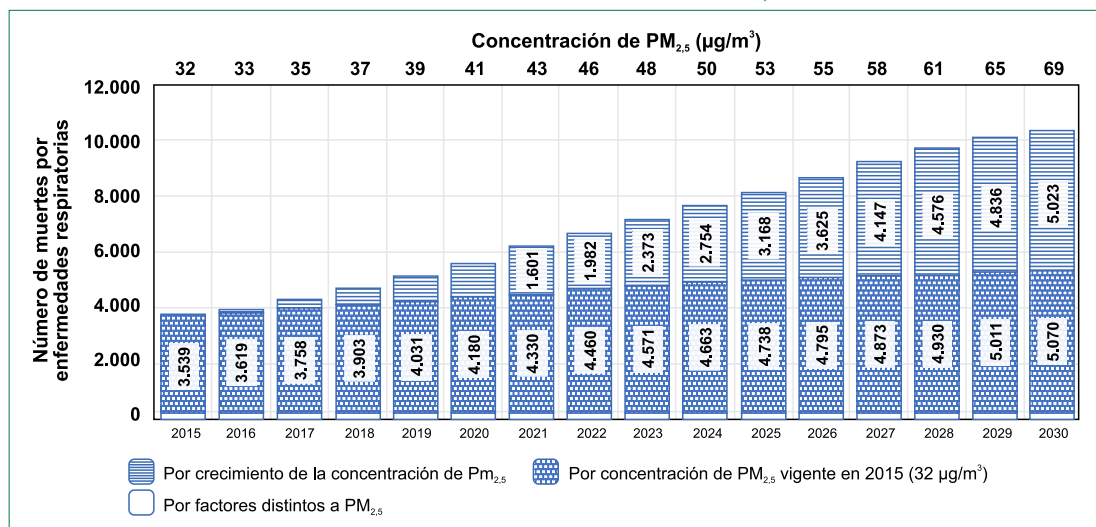
Para la primera etapa, el estudio partió de las proyecciones de crecimiento de la población por rangos de edad entre 2015 y 2030; y aplicó, a cada rango, las respectivas tasas históricas de mortalidad registradas en promedio durante el período de 2008 a 2015, para cada tipo de enfermedad respiratoria y cardiopulmonar. Todo esto asumiendo un escenario hipotético

TABLA 2. PROBABILIDAD DE FALLECER POR CAUSAS RESPIRATORIAS, ANTE UN INCREMENTO DE 1 MG/M^3 DE $PM_{2,5}$ (MODELO COX DE SUPERVIVENCIA)

CAUSA DE MUERTE PREMATURA POR MAYOR EXPOSICIÓN A CONCENTRACIÓN DE $PM_{2,5}$	RAZÓN DE PROPORCIONALIDAD		INTERVALO DE CONFIANZA (95%)	
Tumores malignos del aparato respiratorio	1.0308	***	1.0193	1.0425
Enfermedades cardiopulmonares	1.0402	**	1.0054	1.0761
Enfermedades crónicas respiratorias	1.0349	***	1.0252	1.0447
Resto enfermedades respiratorias	1.0262	***	1.0154	1.0372
<i>Total enfermedades respiratorias y cardiopulmonares</i>	<i>1.0317</i>	<i>***</i>	<i>1.0263</i>	<i>1.0371</i>
Nivel de significancia: *** menos de 1%; ** menos de 5%			Número de casos = 98.660	

Fuente: estudio de Econometría Consultores (Econometría, AMVA, BM, 2018) con datos del DANE y de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del AMVA.

FIGURA 4. ESTIMACIÓN MEDIA DE MUERTES POR CAUSAS RESPIRATORIAS Y CARDIOVASCULARES ASOCIADAS A EXPOSICIÓN A MATERIAL PARTICULADO FINO, 2015-2030



Fuente: resultados del estudio de Econometría Consultores (Econometría, AMVA, BM, 2018).

en donde la concentración anual de $PM_{2,5}$ se mantuviera en $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondiente a la del año base (2015).

Como resultado se obtuvo que, de las 3.741 muertes en 2015 reportadas por el DANE para habitantes del Área Metropolitana causadas por estas enfermedades, 3.539 estarían asociadas a la exposición a material particulado fino y 202 no tendrían relación con la calidad del aire. Y para el año 2030, de las 5.326 muertes estimadas por crecimiento vegetativo de la población, 5.070 estarían asociadas al nivel de contaminación del aire que ya venía desde el año 2015.

En la segunda etapa del estudio, al número de muertes anuales por cada causa y proyectadas según el crecimiento vegetativo de la población, se le aplicó el incremento de la probabilidad de fallecer debido a la pérdida de calidad del aire. Es decir, al crecimiento vegetativo de las muertes se le aplicó el incremento de la probabilidad de morir por un microgramo adicional en la concentración de $PM_{2,5}$ por metro cúbico, multiplicado por el crecimiento estimado de esa concentración en el respectivo año, si

no se toman medidas eficaces para reducir los parámetros actuales de emisión.

Las estimaciones que se muestran en la figura 4 señalan que, de la proyección para 2030 de 10.350 muertes por enfermedades respiratorias y cardiopulmonares, 5.070 estarían asociadas a la contaminación por $PM_{2,5}$ que ya estaba presente en 2015 (es decir, $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $PM_{2,5}$). Las otras 5.023 estarían asociadas al incremento de esta concentración hasta $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2030, según las proyecciones realizadas por el *Plan integral de gestión de la calidad del aire*, si no se actúa oportuna y eficazmente para modificar los actuales patrones de contaminación. Y el resto de muertes, apenas 257, no estarían relacionadas con la actual contaminación ni con el crecimiento esperado de la misma.

Como se observa en la tabla 3, en términos de edades estas estimaciones muestran que la población más vulnerable a las afectaciones por material particulado sería la de mayor edad ya que, como se describió en una sección previa, es la que presenta la mayor tasa de mortalidad por este tipo de enfermedades por cada cien mil habitantes de cada rango etario.

TABLA 3. ESTIMACIÓN MEDIA DE MUERTES POR CAUSAS RESPIRATORIAS Y CARDIOPULMONARES ASOCIADAS A EXPOSICIÓN A MATERIAL PARTICULADO FINO, SEGÚN RANGOS DE EDAD

RANGO DE EDAD	AÑO 2015	AÑO 2030	TOTAL MUERTES 2015-2030		
			NÚMERO	PORCENTAJE	% ACUMULADO
De 0 a 14 años	28	73	804	0,7	0,7
De 15 a 19 años	8	19	217	0,2	0,9
De 20 a 24 años	12	18	212	0,2	1,1
De 25 a 29 años	19	26	300	0,3	1,4
De 30 a 34 años	14	37	406	0,4	1,8
De 35 a 39 años	19	51	556	0,5	2,3
De 40 a 44 años	19	62	665	0,6	2,9
De 45 a 49 años	48	94	1,111	1,0	4,0
De 50 a 54 años	103	220	2,581	2,4	6,4
De 55 a 59 años	166	472	5,169	4,8	11,2
De 60 a 64 años	236	825	8,655	8,0	19,2
De 65 o más años	2.868	8.194	87.016	80,8	100
Total	3.539	10.093	107.691	100	

Fuente: resultados del estudio de Econometría Consultores (Econometría, AMVA, BM, 2018).

VALOR ECONÓMICO DE MUERTES PREMATURAS POR DETERIORO DE LA CALIDAD DEL AIRE¹⁰

Estimar el costo que genera a la sociedad la contaminación del aire por material particulado fino puede hacerse desde dos perspectivas: una, eminentemente financiera, calculando los ingresos que deja de percibir la economía por las muertes prematuras asociadas a esta contaminación; y otra, que también puede expresarse en términos monetarios, pero que refleje, de manera más comprensiva, la pérdida de bienestar general que afronta la sociedad como resultado de estas muertes prematuras. A continuación se presentan los resultados que obtuvo el estudio de Econometría Consultores al hacer estas estimaciones para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

VALOR ECONÓMICO DE MUERTES PREMATURAS, SEGÚN VALOR AGREGADO NO GENERADO

Una primera aproximación que empleó el estudio citado para identificar un costo económico mínimo de las muertes prematuras asociadas a la exposición a material particulado, en extremo conservadora, fue estimar el valor agregado que hubieran aportado a la economía las personas que fallecen prematuramente por esta causa. Es decir, el valor agregado que cada persona hubiese generado, en promedio, durante el resto de su vida si no hubiese fallecido así.

Un primer paso para esta estimación fue determinar cuántos años deja de generar valor agregado una persona que fallece prematuramente, según el rango de edad al que pertenecía en el momento de su muerte. Para tal efecto, el estudio empleó los siguientes parámetros:

- ◆ Para el cálculo de los años perdidos por una muerte prematura de cada rango de

edad (véase la tabla 3), tomó como referencia la edad media del respectivo rango y se contrastó con la expectativa de vida promedio del país que, según datos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, se encuentra actualmente para Colombia en 77,8 años (OECD, 2017). La diferencia entre esos dos valores se asumió como años económicamente perdidos por haber fallecido prematuramente la persona.

- ◆ Para el rango de edad entre 0 y 14 años, calculó los años perdidos tomando como referencia los mismos del rango entre 15 y 19 años, asumiendo que antes de los 15 una persona no es económicamente activa.
- ◆ De acuerdo con la información disponible en las proyecciones del DANE, el último rango de edades de la población que se puede establecer es de 65 años o más. Pero para este rango los microdatos de Estadísticas vitales del mismo DANE permiten identificar que en este rango las defunciones por las causas aquí consideradas entre 2008 y 2015 se distribuyeron de la siguiente manera: 13% de los casos de personas fallecieron con una edad entre 65 y 69 años; 16% lo hicieron con una edad entre 70 y 74 años; 18% de los casos fueron personas que murieron entre 75 y 79 años; y 53% de los casos de personas con 80 o más años. Teniendo en cuenta que en el último rango (80 o más años) no hay muerte prematura en relación con la expectativa de vida, y que en el penúltimo (de 75 a 79 años) sólo una porción fallece antes de llegar a dicha edad límite, el estudio calculó que el promedio de tiempo perdido para todas las personas que fallecen con 65 o más años es de 2,2 años. Es decir, aunque este rango de edad representa más del 80% de las muertes asociadas a la contaminación del aire, a cada una de estas sólo se les atribuyen, en promedio, 2,2 años antes de llegar a la edad de la expectativa de vida.

10 Al igual que en la sección anterior, salvo que se indique lo contrario, la información aquí presentada se tomó del estudio citado de Econometría Consultores (Econometría, AMVA, BM, 2018).

Una vez identificado el tiempo perdido por cada muerte prematura asociada a la contaminación del aire, se procedió a calcular la pérdida de valor agregado derivada de dicha muerte antes de llegar a la edad límite de la expectativa de vida. Para calcular este valor, que sin duda alguna es el *costo mínimo* de estas muertes prematuras, el estudio utilizó los siguientes criterios:

- ◆ A cada persona fallecida de manera prematura, dependiendo del año en que se proyectó su muerte y el rango de edad que tendría cuando esta ocurre, se le asignó un flujo anual de valor agregado no generado, equivalente al producto interno bruto anual per cápita (vigente y proyectado, según datos para el departamento de Antioquia)¹¹, desde el momento de su deceso y por el número de años que perdió al morir. Este flujo se trajo a valor presente, aplicando una tasa social de descuento del 5% anual, asumiendo que este valor es el costo monetario de dicha muerte prematura.
- ◆ El número de muertes prematuras asociadas a la exposición al material particulado, para cada rango de edad y para cada año de la proyección entre 2015 y 2030, se multiplicó por el costo monetario de dichas muertes.
- ◆ El costo total de todas estas pérdidas, para todos los rangos de edad, se contrastó con el producto interno bruto (PIB) proyectado para el Área Metropolitana en cada año entre 2015 y 2030. Se obtuvo así un indicador del costo anual de la contaminación por $PM_{2,5}$, expresado como el porcentaje del PIB que se perdería si no se toman oportunamente medidas para mejorar la calidad del aire.

Con estos criterios, el estudio procedió a valorar el costo mínimo de las muertes prematuras en el Área Metropolitana, bajo dos escenarios:

uno, muy moderado y en extremo conservador, en el que se supone que los efectos nocivos del material particulado sólo empiezan a manifestarse a partir del nivel de referencia indicado por la OMS como totalmente demostrado ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y que esos efectos son decrecientes a partir de cierto nivel de concentración; y otro, mucho más realista, que tiene en cuenta que no se ha demostrado la existencia de un umbral de concentración de material particulado fino por debajo del cual no se presenten efectos nocivos sobre la salud de las personas (OMS, 2006) y que, además, no hay evidencia de que esos efectos sean decrecientes.

Con base en estos escenarios, y ajustando el número de muertes prematuras presentadas en la tabla 3, hacia abajo en el escenario moderado y hacia arriba en el escenario más realista, el estudio obtuvo los resultados de costos de la contaminación del aire que se presentan en la tabla 4.

Esto significa que el costo mínimo para la economía regional del Área Metropolitana que se deriva de las muertes prematuras asociadas a la contaminación por material particulado del aire representa, en promedio, un valor entre 0,3 y 0,5 billones de pesos anuales; esto es, entre el 0,4% y el 0,7% del producto interno bruto anual de la región.

VALOR ECONÓMICO DE MUERTES PREMATURAS, SEGÚN VALOR ESTADÍSTICO DE LA VIDA PERDIDA

En la sección anterior se presentaron los resultados de pérdida de valor agregado, en términos monetarios, que generaría la contaminación del aire en el Área Metropolitana si no se toman medidas para corregir oportuna y eficazmente las tendencias actuales de contaminación del aire por material particulado, generado principalmente por el parque automotor y en especial por el uso que se hace del diésel como combustible. Sin embargo, esta estimación es apenas un valor mínimo y eminentemente financiero, ya que sólo contabiliza el ingreso que dejan de generar a la economía las personas que fallecen prematuramente.

11 Cálculos realizados con base en (DANE, 2016) y (Gobernación de Antioquia, 2016).

TABLA 4. COSTO MÍNIMO DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE. AÑOS PERDIDOS Y VALOR AGREGADO NO GENERADO POR MUERTES PREMATURAS, 2015-2030

RANGO DE EDADES	ESCENARIO MODERADO			ESCENARIO MÁS REALISTA		
	MUERTES POR EXPOSICIÓN A PM _{2,5} (2015 A 2030)	AÑOS PERDIDOS (2015 A 2018)		MUERTES POR EXPOSICIÓN A PM _{2,5} (2015 A 2030)	AÑOS PERDIDOS (2015 A 2018)	
		POR PERSONA	TOTAL		POR PERSONA	TOTAL
De 0 a 14 años	513	65,3	33.490	790	65,3	53.295
De 15 a 19 años	144	60,3	8.687	227	60,3	14.139
De 20 a 24 años	141	50,3	7.113	221	50,3	11.472
De 25 a 29 años	194	50,3	9.771	302	50,3	15.687
De 30 a 34 años	264	45,3	11.973	418	45,3	19.557
De 35 a 39 años	363	40,3	14.644	575	40,3	23.954
De 40 a 44 años	430	35,3	15.167	684	35,3	24.942
De 45 a 49 años	729	30,3	22.079	1.160	30,3	36.308
De 50 a 54 años	1.682	25,3	42.555	2.699	25,3	70.562
De 55 a 59 años	3.340	20,3	67.799	5.410	20,3	113.482
De 60 a 64 años	5.598	15,3	85.642	9.101	15,3	143.887
De 65 o más años	57.523	2,2	126.551	92.790	2,2	210.946
Total	70.921		445.469	114.375		738.231
Valor presente perdido (*) Promedio anual 2015 a 2030 (Miles de millones \$ de 2017)		310			514	
Porcentaje promedio del PIB anual perdido por muertes prematuras		0,42%			0,70%	
(*) Tasa social de descuento = 5% anual						

Fuente: resultados del estudio de Econometría Consultores (Econometría, AMVA, BM, 2018).

Desde el punto de vista económico, es decir, desde una perspectiva de bienestar social, esta valoración financiera es de lejos insuficiente, porque se limita a medir el ingreso que dejan de generar las personas que mueren prematuramente, sin tener en cuenta los daños reales generados por estas muertes, en términos de bienestar social, a las personas allegadas a quienes fallecen así.

Para tal fin, la economía no usa como indicador el ingreso dejado de percibir, sino un indicador estadístico que refleja lo que las personas, en promedio, estarían dispuestas a sacrificar, es decir, lo que estarían dispuestas a pagar para reducir el riesgo de sufrir una muerte prematura. Es decir, el monto de su ingreso que estarían dispuestas a sacrificar para disminuir el riesgo de morir prematuramente, el cual podrían usar para adquirir otros bienes que generan bienestar. En otras palabras, un indicador del valor estadístico de la vida, que refleja lo que está dispuesta a sacrificar la población, en promedio,

para disfrutar la vida por más tiempo (OECD, 2010).

La OECD ha venido haciendo durante varios años un seguimiento a las estimaciones de este valor estadístico de la vida, en varios países, con miras a orientar las decisiones de política que se relacionan con la prevención de las muertes de la población. En especial, este organismo le otorga mucha importancia a este indicador, por su utilidad para hacer análisis beneficio/costo de las medidas orientadas a reducir el riesgo de muerte de las personas (OECD, 2011). Y ante la ausencia de estimaciones de este valor estadístico de la vida para un determinado país, reconoce que es viable usar estimaciones de otros contextos, tomando la precaución de ajustarlas, hacia arriba o hacia abajo, de acuerdo con la relación del nivel de ingreso existente entre los países (OECD, 2010).

De acuerdo con estas recomendaciones, y teniendo en cuenta que para Colombia no exis-

ten estudios sistemáticos que hayan estimado este tipo de indicadores, el estudio aquí referido recurrió a una medición de la disponibilidad a pagar de la población de São Paulo (Brasil) para reducir el riesgo de mortalidad asociado a la contaminación del aire (Ortiz, Markandya & Hunt, 2009). Dicho estudio parte de reconocer que la reducción del riesgo de muerte es, sin duda alguna, el beneficio más importante de las políticas de mejoramiento de la calidad del aire. Y resalta la importancia de expresar, en términos monetarios, este valor como insumo básico para conocer la relación beneficio/costo de esas políticas.

Para el caso colombiano, el estudio de Econometría Consultores retomó las estimaciones del estudio de São Paulo, el cual sugiere tomar como valor de un año de vida perdido un monto que oscila entre 61.392 y 159.456 dólares americanos. Para tal efecto, tomó el límite inferior de esta valoración y la ajustó al caso colombiano, obteniendo un estimativo de 45.032 dólares por año perdido a causa de una muerte prematura. A la tasa de cambio de vigente en 2017, esto representa 133 millones de pesos colombianos por año perdido.

Usando este método y aplicándolo a las muertes prematuras que se generarían si no se toman las medidas adecuadas de control de la contaminación del aire, el estudio citado encontró que el valor de las pérdidas por esta contaminación, en promedio, estaría entre 3,7 billones y 6,1 billones de pesos anuales. Lo cual representaría, anualmente, un costo por la contaminación del aire equivalente a un rango entre 5,1% (escenario moderado) y 8,5% (escenario más realista) del producto interno bruto anual del Área Metropolitana.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

PRINCIPALES CONCLUSIONES

- ◆ Si no se toman las medidas adecuadas y de manera oportuna, la contaminación del aire por material particulado fino en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, con Medellín a la cabeza, se incrementa-

ría de manera acelerada, generando entre 2015 y 2030 un incremento significativo de la probabilidad de morir por enfermedades respiratorias y cardiopulmonares. Esta situación se reflejaría, durante dicho período, en un rango entre setenta y un mil y ciento catorce mil muertes prematuras, es decir, alrededor de 5.790 muertes prematuras por año.

- ◆ En este escenario y en términos estrictamente monetarios, las personas que morirían prematuramente dejarían de aportarle a la región durante dicho período, en promedio, un valor agregado de entre 0,3 y 0,5 billones de pesos anuales, lo que equivaldría a una pérdida entre 0,4% y 0,7% del producto interno bruto anual de la región.
- ◆ En términos de la economía del bienestar social, usando un indicador de valor estadístico de la vida, el costo de estas muertes prematuras asociadas a la contaminación del aire ascendería a un equivalente, en términos monetarios, entre 3,7 y 6,1 billones de pesos anuales. Esto es, entre 5,1% y 8,5% del producto interno bruto anual del Área Metropolitana.

RECOMENDACIONES GENERALES

- ◆ Impulsar una combinación de medidas reguladoras y de incentivos económicos, para que los agentes económicos que aportan altos niveles de contaminación al aire por material particulado fino, introduzcan rápidamente cambios tecnológicos que reduzcan estas emisiones.
- ◆ Especial atención debe darse a dos tipos de instrumentos. Por una parte, cobrar a las industrias que tienen fuentes fijas de emisión, así como a los vehículos que emiten material particulado, un cargo en proporción a su nivel de emisiones de material particulado, para desestimular las tecnologías más contaminantes; es decir, aplicando el principio de que quien más contamina más paga. Por otra, generar incentivos económicos a quienes cambien

la tecnología, prestando especial atención a quienes demuestren la chatarrización de los vehículos más antiguos y más contaminantes, con el objetivo de estimular la renovación del parque automotor. Es decir, disminuyendo los costos de adquisición de nuevos equipos, pero con la condición de que se destruyan los antiguos más contaminantes.

- ◆ Perfeccionar los sistemas de monitoreo de las emisiones y de la calidad del aire, como insumo fundamental para orientar las políticas de reducción de la contaminación. Especial atención debe prestarse a la consolidación de sistemas de información que permitan relacionar las emisiones de contaminantes, la concentración de los contaminantes en el aire y los efectos de esta contaminación sobre las condiciones de salud y de vida de la población expuesta a ella.

REFERENCIAS

- AMVA y PUB. 2015a. *Aportes de las fuentes contaminantes al PM_{2,5} primario AMVA y UPB*. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Pontificia Universidad Bolivariana. Medellín. Obtenido de http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/wz_condiciones_especiales.aspx
- . 2015. *Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2013*. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Pontificia Universidad Bolivariana. Medellín.
- AMVA, CAI y PUB. 2017. *Plan integral de gestión de la calidad del aire para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Pigecca (2017-2030)*. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Clean Air Institute, Pontificia Universidad Bolivariana. Whashington, D. C.
- . 2017a. *Documento con las memorias de cálculo y bases técnicas para la evaluación del impacto del Pigecca (Anexo 3)*. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Clean Air Institute y Pontificia Universidad Bolivariana. Washington, D. C.
- Cleves, A. M., W. W. Gould and R. G. Gutierrez. 2004. *An introduction to survival analysis using Stata*. Stata Press Publication.
- DANE. 2016. *Informe de coyuntura económica regional 2015 – Departamento de Antioquia*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Medellín.
- Econometría, AMVA, BM. 2018. *Estimación de costos económicos de la contaminación del aire en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá*. Econometría Consultores, Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Banco Mundial. Bogotá.
- Ecopetrol. 2018. “Desde hoy, Ecopetrol entrega diésel con menos azufre para Medellín y el Valle de Aburrá”. 5 de marzo.
- El Colombiano*. 2014. “EPM renueva la mitad de la flota de vehículos compactadores de basura”. 11 de abril. Obtenido de http://www.elcolombiano.com/historico/epm_renueva_la_mitad_de_la_flota_de_vehiculos_compactadores_de_basura-PXEC_290285
- Gobernación de Antioquia. 2016. *Marco fiscal de mediano plazo 2017-2026*. Gobernación de Antioquia. Medellín.
- OECD. 2010. *Valuing lives saved from environmental, transport and health policies: A meta-analysis of stated preference studies*. Organisation for Economic Co-operation and Development. París.
- . 2011. *Valuing Mortality Risk Reductions in Regulatory Analysis of Environmental, Health and Transport Policies: Policy Implications*. Organisation for Economic Co-operation and Development. París.
- . 2017. *OECD Health Statistics - Health status*. Organisation for Economic Co-operation and Development. París. Obtenido de <http://dx.doi.org.ezproxy.unal.edu.co/10.1787/data-00540-en>. 7 de octubre de 2017.

OMS. 2006. *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005*. Organización Mundial de la Salud.

Ortiz, R. A., A. Markandya and A. Hunt. 2009. "Willingness to Pay for Mortality Risk Reduction Associated with Air Pollution in São Paulo". *Rev. Bras. Econ.* 63 (1).

Guillermo Rudas. Economista. Director de la *Asistencia técnica para el diseño de tasas por contaminación atmosférica y cobros por emisiones de gases efecto invernadero a nivel subnacional*, prestada por Econometría Consultores al Área Metropolitana del Valle de Aburrá, bajo el auspicio del Banco Mundial entre octubre de 2017 y marzo de 2018. El presente artículo retoma buena parte de dicho trabajo, pero los errores y omisiones son exclusivamente del autor. Agradecimientos a la Friedrich-Ebert-Stiftung de Colombia (Fescol) por el apoyo para la elaboración de este documento.

El Foro Nacional Ambiental es una alianza entre Ecofondo, la Fundación Alejandro Ángel Escobar, la Friedrich-Ebert-Stiftung en Colombia (Fescol), la Fundación Natura, Tropenbos Internacional Colombia, la wwf Colombia, la Facultad de Administración de la Universidad de los Andes y la Universidad del Rosario, que inició sus actividades en 1997, como una instancia de carácter permanente. El Foro es un espacio para la reflexión que busca la integración de la dimensión ambiental a las políticas de desarrollo en Colombia.

Consejo directivo: Ximena Barrera, María Fernanda Valdés, Elsa Matilde Escobar, Verónica Hernández Cárdenas, Gloria Amparo Rodríguez, Carlos Rodríguez y Manuel Rodríguez Becerra (presidente).

Las ideas expresadas en este documento no comprometen a las instituciones que hacen parte de este proyecto.

www.foronacionalambiental.org.co

