

CARGA DE LA ENFERMEDAD, COSTOS DERIVADOS Y GEOLOCALIZACIÓN DE LA MORBIMORTALIDAD, ATRIBUIBLES A LA CONTAMINACIÓN POR $PM_{2.5}$. MEDELLÍN, 2010-2016

Financiación

Programa de ciencia, tecnología, e innovación de Colciencias, mediante la convocatoria
No. 777 de 2017, Contrato No. 633-2017
Mayo de 2021



Investigador Principal

Hugo Grisales Romero, profesor titular Universidad de Antioquia

Co-investigadores

Juan Gabriel Piñeros Jiménez, profesor asociado Universidad de Antioquia
Emmanuel Salvador Nieto López, profesor asociado Universidad de Antioquia
Nora Adriana Montealegre Hernández, profesora asistente Universidad de Antioquia
Difariney González Gómez, profesora asociada Universidad de Antioquia
Verónica María Lopera Velásquez, profesional especializada en epidemiología, Secretaría de Salud de Medellín
Enrique Antonio Henao Correa, líder de programa, Secretaría de Salud de Medellín
María Cristina Franco Piedrahita, Socia Grupo HTM

Profesionales de apoyo

Diana Isabel Cano Gil, MSc. Medio Ambiente y Desarrollo
Sandra Milena Porras. MSc Epidemiología
Dorian Ignacio Ospina Galeano, Gerente de Sistemas de Información en Salud
Yeisson Alejandro Gutiérrez Cano, Gerente de Sistemas de Información en Salud
Juan Pablo Holguín Marín, Gerente de Sistemas de Información en Salud

Estudiantes de Maestría

Sara Catalina Grisales Vargas
Diana Carolina Muñoz Tamayo

Jóvenes Investigadores: Programa Jóvenes Talento

María Salomé Mejía O
Susana Vargas Betancur
Laura Romero Ortiz
Kamila Giraldo Quintero

Jóvenes Investigadores CODI

Duván Stiven Suarez Moreno
Lucas David Tamayo González
Marley Yurani Acevedo Ortiz
Ángela María Urango López

ISBN: 978-958-5157-66-8

TABLA DE CONTENIDO

Lista de tablas	5
Lista de figuras	6
Glosario	7
Abreviaturas	8
1. Introducción	9
2. Metodología	11
2.1 Tipo de estudio	11
2.2 Fuentes de información	11
2.3 Selección de los eventos	11
2.4 Estrategia para la identificación de los casos	12
2.5 Carga de enfermedad atribuible a la contaminación del aire por $PM_{2.5}$	13
2.6 Estimación de los costos de la carga atribuible a $PM_{2.5}$	14
2.7 Geolocalización de la morbilidad atribuible a $PM_{2.5}$	16
3. Resultados	16
3.1 Indicadores de la carga de la enfermedad atribuible a $PM_{2.5}$	17
3.2 Costos de la carga de enfermedad atribuible a la exposición ambiental a $PM_{2.5}$	20
3.3 Geolocalización de la morbilidad atribuible a $PM_{2.5}$	23
4. Conclusiones	25
5. Recomendaciones	25
6. Limitaciones	26
7. Fortalezas	26
8. Referencias	27

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 ^a	Listado de eventos seleccionados agrupados según tipo y grupo diagnóstico	11
Tabla 1 ^b	Fracción atribuible poblacional (PAF) para la estimación de la carga de la enfermedad por causas específicas asociadas a la contaminación por material particulado ($PM_{2.5}$) y ozono (O_3), Colombia 2015	12
Tabla 2	Distribución de la Carga de Enfermedad Atribuible a la exposición ambiental a $PM_{2.5}$ ($AVAD_{PM_{2.5}}$) según componente y tipo de evento. Medellín, 2010-2016	18
Tabla 3	Distribución de los $AVAD_{PM_{2.5}}$ por tipo de evento centinela y grupo de edad. Medellín, 2010-2016	19
Tabla 4	Años potenciales de vida laboral perdidos y costos de la mortalidad prematura atribuible a la contaminación por $PM_{2.5}$ según sexo, Medellín 2010-2016	21
Tabla 5	Costos de la mortalidad prematura atribuible a la contaminación por $PM_{2.5}$ según grupo de edad y eventos específicos agudos y crónicos, Medellín 2010-2016	21

Tabla 6	Costos de la morbilidad atribuible a la contaminación por PM _{2.5} según sexo, Medellín 2010-2016	22
Tabla 7	Costos de la morbilidad atribuible a la contaminación por PM _{2.5} según grupo de edad y eventos específicos agudos y crónicos, Medellín 2010-2016	23

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Estrategias de trazabilidad para la identificación de eventos centinela a partir de los RIPS	12-13
Figura 2	Síntesis metodológica del estudio de costos de la carga local de enfermedad atribuible a la contaminación por PM _{2.5}	15
Figura 3	Tasas de: AVAD _{PM_{2.5}} por grupos de edad	19
Figura 4	Relación de las tasas de AVP y AVD atribuibles a la contaminación del aire (AB) por grupos de eventos centinela, Medellín 2010-2016	20
Figura 5	Mapa de calor utilizando densidad de Kernel para las defunciones atribuibles (número de registros por cada 100 m ²) para el periodo 2010-2016	24
Figura 6	Mapa de calor utilizando densidad de Kernel para los casos de eventos atribuibles (número de registros por cada 100 m ²) para el periodo 2010-2016	24

GLOSARIO

Morbilidad: término de uso médico y epidemiológico que sirve para señalar la cantidad de personas o individuos considerados enfermos o víctimas de una enfermedad en un espacio y tiempo determinados (Celenteano D, 2019).

Mortalidad: expresión demográfica que designa el número de defunciones ocurridas en una población, en un tiempo y lugar determinados. Es un indicador que permite valorar la situación de salud de las poblaciones y junto con los indicadores de morbilidad permite apoyar la planeación y gestión de las políticas públicas sanitarias (Moultrie T, 2103).

Contaminación atmosférica: es la presencia que existe en el aire de pequeñas partículas o productos secundarios gaseosos que pueden implicar riesgo, daño o molestia para las personas, plantas y animales que se encuentran expuestas a dicho ambiente (Amable A, 2017).

Contaminación del aire: presencia de material particulado, gases y otros que pueden ocasionar daño o molestia grave en la salud de las personas y el medio (Medina P, 2019).

Material particulado: conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera que se originan a partir de una gran variedad de fuentes naturales o antropogénicas (OMS, 2006).

Contaminantes criterio: contaminantes trazadores que permiten establecer el efecto de la contaminación del aire en la salud (PM_{10} , $PM_{2.5}$ y O_3) (Dominici F, 2006).

Exposición a contaminantes: cualquier contacto entre un contaminante en el aire y una superficie del cuerpo humano, ya sea externa (por ejemplo, la piel) o interna (por ejemplo, epitelio del tracto respiratorio). Por lo tanto, la exposición requiere la ocurrencia simultánea de dos eventos: una concentración de contaminantes en un lugar y tiempo en particular, y la presencia de una persona en ese lugar y tiempo (Ballesta P, 2005).

Evento centinela: enfermedad prevenible, que puede conducir a la discapacidad o muerte prematura, por lo que su ocurrencia sirve como una señal de advertencia para fortalecer las acciones preventivas o terapéuticas. Los eventos de salud asociados a la contaminación del aire también se conocen como eventos centinela, aquellas patologías que según las evidencias científicas potencialmente pueden ser afectadas por los cambios en las concentraciones diarias o anuales de los contaminantes críticos del aire (PM_{10} , $PM_{2.5}$ y O_3) (Baker E, 1989).

Fracción Atribuible Poblacional: reducción proporcional de la enfermedad y/o mortalidad que se produciría si las exposiciones a los contaminantes se redujeran a un nivel de referencia alternativo que conlleve un riesgo mínimo (Levine, B, 2007).

Costos directos: hacen referencia al uso de recursos sanitarios utilizados en los servicios de salud o la atención médica dispensada a los usuarios y también a aquellos que apoyan la prestación de los servicios o la recuperación de los paciente (Soto-Álvarez, 2012).

Costos indirectos: se entienden como las pérdidas de producción en bienes y servicios ocasionadas por la muerte prematura, el absentismo laboral por la enfermedad y la búsqueda de atención médica por parte de pacientes y familiares acompañantes (Drummond M et al, 2005).

Costos intangibles: se relacionan con la presencia de sufrimiento, ansiedad, dolor y estigma generados por la enfermedad y el proceso de atención médica (Pinto JL, 2001).

Sistemas de información geográfica (SIG): conjunto de componentes específicos que permiten a los usuarios finales crear consultas, integrar, analizar y representar de una forma eficiente cualquier tipo de información geográfica referenciada asociada a un territorio (Santos-Preciado J, 2020).

Geolocalización: es la capacidad de conocer la posición geográfica (coordenadas) o ubicación de un objeto, evento o persona por medio de un instrumento diseñado para tal fin (Cabrera M, 2018).

Mapas de calor: representación gráfica de datos donde los valores se representan por color, que facilitan la visualización de datos complejos y su comprensión (Merino M, 2014).

Densidad de Kernel: método que se utiliza para estimar densidades de datos que no tienen comportamientos estadísticos paramétricos (es decir no se agrupan en distribuciones normal (Hazelton ML)).

ABREVIATURAS

AMVA:	Área Metropolitana del Valle de Aburrá
AVP:	Años de vida perdidos por muerte prematura
AVD:	Años vividos con discapacidad
AVAD:	Años de vida ajustados por discapacidad
CIE-10:	Clasificación Internacional de Enfermedades, 10ª edición
EVN:	Esperanza de vida al nacer
GBD:	Global Burden Disease (Carga global de la enfermedad)
IHME:	Instituto de Métricas de Evaluación en Salud
PAF:	Fracción atribuible poblacional
POT:	Plan de Ordenamiento Territorial
RIPS:	Registro Individual de Prestaciones de Salud
RUAF-D:	Registro único de afiliados de defunciones
SIATA:	Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá
SISMED:	Sistema de Información de Precios de Medicamentos
SOAT:	Seguro Obligatorio de Accidentes de Tránsito
AVADPM_{2,5}:	Años de vida ajustados por discapacidad atribuibles a PM _{2,5}
AVPPM_{2,5}:	Años de vida perdidos por muerte prematura atribuibles a PM _{2,5}
AVDPM_{2,5}:	Años de vida con discapacidad atribuibles a PM _{2,5}

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es una de las principales preocupaciones para la salud pública mundial, debido a los impactos que conlleva para la salud humana y el ecosistema. Según el Índice de Desempeño Ambiental de la Universidad de Yale, la mala calidad del aire es la mayor amenaza ambiental y el mayor reto de política pública para los países de medianos y bajos ingresos (Wendling et al., 2020). El proyecto de la Carga Global de la Enfermedad (CGE o GBD por sus iniciales en inglés) del Instituto de Métricas y Evaluación en Salud de la Universidad de Washington (IHME), entidad líder en la medición de la enfermedad y muerte y del análisis de sus causas más importantes a nivel mundial, ha reportado que la contaminación del aire puede considerarse como el cuarto factor de riesgo para la salud de la población, y ha estimado que la exposición a material particulado menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$) explica 6,7 millones de muertes anuales (11,3% y 12,2% del total de muertes de mujeres y hombres en el mundo, respectivamente) (GBD, 2020). Las principales causas de mortalidad en el mundo por la contaminación del aire son: la cardiopatía isquémica (35,9%), accidente cerebrovascular (21,1%), enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC, el 20,4%), las infecciones respiratorias agudas (15,9%) y el cáncer pulmonar y de vías respiratorias (6,9%) (Cohen et al., 2017).

Para América Latina se ha estimado que, cada año, mueren alrededor de 35.000 personas por la contaminación del aire intraurbano y 276.000 años de vida se pierden por la misma causa (Romieu et al., 2012), atribuidos, principalmente, al uso intensivo de combustibles fósiles en los sectores industriales y de transporte. En Colombia, la problemática atmosférica actual genera altos costos económicos, sociales, ambientales y de salud, ubicándose en tercer lugar solo por debajo de los generados por la contaminación del

agua y los desastres naturales. En el año 2019, el Instituto Nacional de Salud de Colombia (INS) estimó que el 8% de las 200 mil defunciones ocurridas anualmente en el país eran atribuibles a factores de riesgo ambientales como la mala calidad del aire, y calculó que el 13,9% de las muertes por enfermedad isquémica del corazón y el 17,6% por enfermedad pulmonar obstructiva crónica podían explicarse por este fenómeno (INS, 2018).

Inevitablemente, la problemática anteriormente esbozada, se manifiesta en una carga económica que compromete recursos significativos de la sociedad, relacionados con la atención de la enfermedad y las pérdidas de productividad por la mortalidad prematura y discapacidad atribuible. En el ámbito nacional, el Banco Mundial (BM) atribuyó a la carga económica, en el año 2002, un costo cercano a los 5,7 billones de pesos anuales (Golub et al., 2014); con algunos cambios metodológicos, esta entidad valoró dicha carga para el 2010 en 12 billones de pesos, que para el Departamento Nacional de Planeación (DNP) fue equivalente a 12,2 billones de pesos del 2015 (DNP, 2017).

Consciente de la problemática, el Gobierno Nacional incluyó la dimensión de salud ambiental en el Plan Decenal de Salud Pública (PDSP) 2012-2021, en el cual se priorizó el mejoramiento de la situación de la contaminación del aire en las ciudades mediante los lineamientos de la Política Integral de Salud Ambiental (PISA) del país (MINSALUD, 2012). Por su parte, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá – AMVA, conformada por diez municipios, ha evidenciado empíricamente el desmedido proceso de urbanización causado por el crecimiento poblacional acelerado, el aumento de la demanda de transporte que aunado a la situación topográfica ha propiciado que la

contaminación del aire sea un problema de salud pública por los efectos que tiene sobre la población; estas situaciones fueron uno de los soportes para el diseño del Plan Integral para la Gestión de la Calidad del Aire 2017-2030 (PIGECA), el cual contiene un conjunto de estrategias para reducir los niveles de contaminación y mejorar la calidad del aire del Valle de Aburrá a corto, mediano y largo plazo (AMVA, 2017). Así mismo, con el ánimo de generar información útil para la toma de decisiones, desde 2016 se ha investigado, en cada uno de los 10 municipios del Valle de Aburrá, los efectos de los contaminantes criterio (PM_{10} , $PM_{2.5}$, ozono y nitrogenados) sobre eventos agudos y crónicos asociados a la exposición de corto y largo plazo en poblaciones susceptibles (menores 5 años y adultos de 65 y más años de edad). Dichos estudios han evidenciado los incrementos en la probabilidad de enfermar o morir por eventos respiratorios o circulatorios asociados con los aumentos de $10 \mu g/m^3$ en los promedios diarios y anuales de estos contaminantes. Así mismo, se evidenció que durante los meses de episodios de contingencia ambiental (febrero-abril y octubre-noviembre) hubo incrementos en el número de consultas a los servicios de urgencias por infección respiratoria aguda y neumonía respectivamente, en niños menores de 5 años, asociadas a las concentraciones de $PM_{2.5}$ (Piñeros- Jiménez et al., 2018; Piñeros-Jiménez et al. 2019)

La epidemiología ambiental en general y de la contaminación del aire en particular, enfrentan retos importantes entre los que está el establecer con mayor certidumbre la asociación entre la contaminación del aire y los eventos de salud, para lo cual se ha avanzado con la aplicación de metodologías avanzadas con el fin de obtener estimaciones confiables y consistentes de las exposiciones, durante períodos de

exposición largos como cortos, a escalas que se acerque al nivel individual o pequeños grupos (áreas pequeñas: barrios, manzanas etc.) (Dominici et al. 2006). Esto también significa ir más allá de las medidas agregadas de exposición y riesgo a estimaciones de riesgo más localizadas y específicas (Briggs, 2005).

Finalmente, se reconoce la importancia de la evidencia epidemiológica actualizada, que permita la implementación del uso de actuales metodologías analíticas para la toma de decisiones políticas que contribuyan a una mejor planificación pública a nivel territorial y ambiental y al fortalecimiento de sistemas de vigilancia que integren elementos ambientales y de la atención en salud. Todos estos esfuerzos han generado un mejor conocimiento de la problemática, sin embargo, es necesario ahondar en aspectos relacionados con la carga de la enfermedad atribuible y los costos que genera, así como a la geolocalización de la morbimortalidad atribuible al flagelo mencionado, lo que permitirá avanzar aún más en la estrategia que coadyuve en una política pública que se centre en el control y mitigación de la contaminación del aire.

Se define la línea de base por eventos centinela durante el periodo de estudio (2010-2016) y se reportan los principales resultados de la carga de la enfermedad atribuible a la contaminación por $PM_{2.5}$, los costos económicos derivados y la geolocalización de la morbimortalidad atribuible con base en la información disponible en Medellín para tal fin, como un insumo que proporcione información relevante para los tomadores de decisiones y para los analistas de dicha problemática, y metodologías para la evaluación de acciones en curso en la ciudad.

2. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de estudio

Se realizó un estudio descriptivo con tres componentes, el primero enfatiza en la estimación de la carga de la enfermedad atribuible a contaminación por PM_{2.5}, la segunda aborda los costos directos derivados y la tercera presenta, desde la óptica de los sistemas de información geográfica, los casos de morbilidad atribuible a la contaminación del aire por PM_{2.5} en las comunas y barrios de la ciudad de Medellín entre el año 2010 y 2016

2.2 Fuentes de información

Para el análisis de morbilidad se utilizaron los Registros Individuales de Prestación de Servicios de Salud -RIPS-, los cuales contienen datos personales de los pacientes (edad, sexo, servicio de atención, sitio de residencia), entre otros. Para el análisis de la mortalidad se consideró la información del módulo de defunciones del Registro Único de Afiliados -RUA-ND. Para el proceso de estandarización

y geolocalización se recurrió a la cartografía del “Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín”, y la capa de núcleos domiciliarios generada por la Subsecretaría de Catastro. La base de datos con la información de Catastro Municipal fue la fuente de información necesaria para establecer la estructura del dato en la variable trazadora, dirección de residencia.

2.3 Selección de los eventos

Se seleccionaron las causas que han sido consideradas en los estudios de la carga global de la enfermedad (GBD, 2020) para las cuales se contaba con información de la Fracción Atribuible Poblacional (PAF por sus iniciales en inglés) correspondiente a PM_{2.5}, según mediciones que ha realizado el Instituto de Métricas y Evaluaciones en Salud para Colombia (IHME, 2017) (Tabla 1ª y 1ª).

Tabla 1ª. Listado de eventos seleccionados agrupados según tipo y grupo diagnóstico

Tipo evento	Grupo diagnóstico (código CIE-10)
Agudo	Enfermedades isquémicas del corazón (I20–I25)
	Enfermedades cerebrovasculares (I60–I69)
	Influenza [gripe] y neumonía (J09–J18)
	Otras infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores (J20–J22)
Crónico	Neoplasias malignas de los órganos respiratorios e intratorácicos (C30–C39)
	Neoplasias in situ (D00–D09)
	Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores (J40–J47)

CIE-10: Clasificación Internacional de Enfermedades edición 10

Tabla 1^b. Fracción atribuible poblacional (PAF) para la estimación de la carga de la enfermedad por causas específicas asociadas a la contaminación por material particulado (PM_{2.5}) y ozono (O₃), Colombia 2015

Causa	AVAD		Muertes	
	Todas las edades	Edad estandarizada	Todas las edades	Edad estandarizada
Infecciones respiratorias agudas inferiores-ALRI	15,2% (6,9 – 25,4)	15,2% (6,9 – 25,4)	15,2% (6,9 – 25,4)	15,2% (6,9 – 25,4)
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica-EPOC	16,0% (7,3 – 26,2)	16,2% (7,4 – 26,5)	16,7% (7,6 – 27,4)	16,8% (7,6 – 27,4)
Cáncer traqueal, bronquial y pulmonar	10,5% (5,5 – 16,5)	10,5% (5,5 – 16,5)	10,6% (5,6 – 16,6)	10,6% (5,6 – 16,6)
Enfermedad isquémica del corazón-IHD	15,0% (12,2 – 17,6)	14,2% (11,7 – 16,9)	13,7% (10,5 – 16,8)	13,1% (9,6 – 16,5)
Accidente cerebrovascular-ACV	10,1% (7,5 – 12,8)	9,8% (6,9 – 12,6)	9,3% (6,0 – 13,3)	9,1% (5,6 – 13,4)
Enfermedades cardiovasculares	10,6% (8,9 – 12,1)	10,2% (8,6 – 11,8)	10,4% (8,4 – 12,4)	10,0% (7,8 – 12,1)
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica-EPOC (*)	2,6% (0,9 – 4,8)	2,7% (0,9 – 5,0)	3,2% (1,1 – 5,9)	3,2% (1,1 – 5,9)

Fuente: Cohen A et al (2017). Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution- an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. The Lancet Vol. 389; appendix, table 1, 2, 3 y 4. (*) Para ozono-O₃; las restantes están asociadas a PM_{2.5}

2.4 Estrategia para la identificación de los casos

Se estableció, de acuerdo a si el evento era agudo o crónico, que un paciente podría ser observado en los tres servicios (consulta externa, urgencias y hospitalización) durante una misma atención (Figura 1).

2.4.1. Eventos respiratorios de tipo agudo

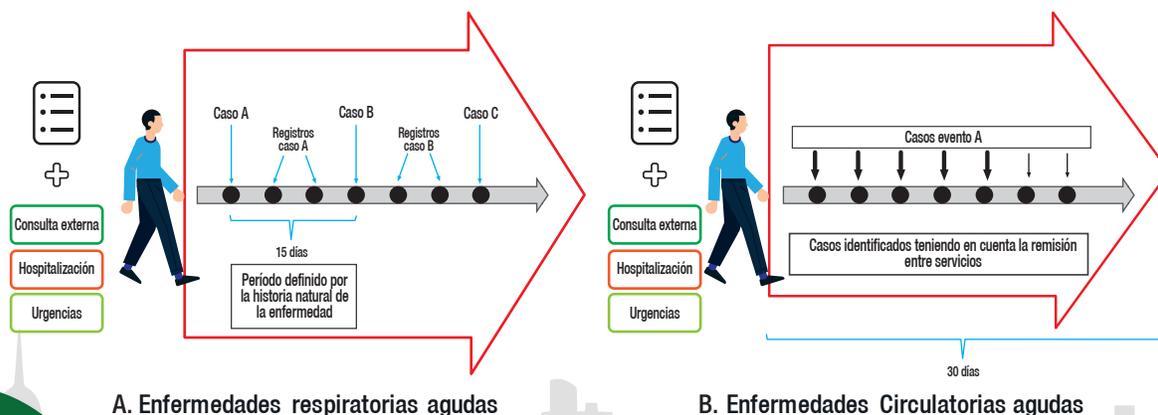
Se definió como “caso” el primer registro observado asociado a un individuo y como “atención complementaria” a todos los registros observados posteriores cuya fecha de ocurrencia estuviese dentro de un periodo de 15 días. Así entonces, un caso de un evento centinela de tipo agudo puede o no poseer una o más “atenciones complementarias”.

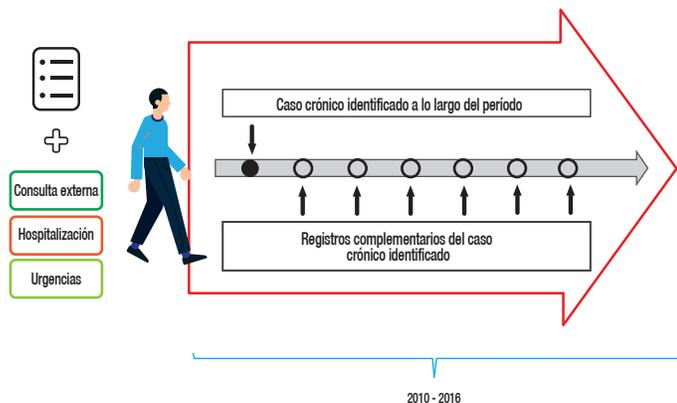
2.4.2. Eventos circulatorios de tipo agudo

Se definió como “caso”, la primera o única atención que cada individuo recibió por un evento circulatorio de tipo agudo durante un periodo de treinta días y cuyo propósito no estuvo relacionado con una consulta de control.

2.4.3. Eventos centinela de tipo crónico

Se consideró como “caso”, la primera atención observada por paciente por cada evento en todo el periodo de estudio.





C. Enfermedades respiratorias crónicas y neoplasias

Figura 1. Estrategias de trazabilidad para la identificación de eventos centinela a partir de registros de RIPS.

2.5 Carga de enfermedad atribuible a la contaminación del aire por PM_{2.5}

El indicador para la medición de la carga de la enfermedad son los Años de Vida Ajustados por Discapacidad (AVAD o DALY por sus iniciales en inglés) que es la suma de dos indicadores que refieren la mortalidad y la morbilidad, a saber, los Años Vida Perdidos por muerte prematura (AVP o YLL por sus iniciales en inglés) y los Años Vividos con Discapacidad (AVD o YLD por sus iniciales en inglés)

2.5.1. Años de Vida Perdidos por muerte prematura atribuibles a la contaminación por PM_{2.5} (AVP_{PM_{2.5}})

Para la estimación de los AVP se utilizó el método de años de vida perdidos estándar, con el cual las muertes en todas las edades aportan a la carga de enfermedad total estimada, aún después del estándar y todas las defunciones que se observen a la misma edad contribuirán de manera igual a ese valor (WHO, 2017). Como estándar se asumió la esperanza de vida nacional de frontera proyectada para el año 2050, con una esperanza de vida al nacer (EVN) de 91,9 años tanto para hombres como para mujeres; no se tuvo en cuenta la función de ponderación por edad ni tasa de descuento, aspectos que se ignoran con esta variante metodológica.

El indicador de AVP se calculó de acuerdo a la siguiente expresión matemática:

$$AVPe = \sum_{x=0}^L dx e_x^*$$

donde L: última edad en la que hay sobrevivientes; x: edad de la muerte; dx: número de muertes a la edad x; e_x^{*}: esperanza de vida a cada edad basada en un estándar ideal.

Como se tuvieron disponibles datos agregados por causa de muerte según sexo, grupo de edad y año, se definió la marca de clase como el valor representativo de cada intervalo de edad en el cálculo del indicador. La muerte prematura se calculó diferenciando la marca de clase del grupo de edad respectivo y la EVN (91,9 años) en cada uno de los registros de la base de datos. Finalmente, el indicador de los AVP se obtuvo de multiplicar el número de defunciones con la diferencia previamente enunciada.

Una vez estimado el número absoluto de AVP por eventos centinela, se calculó la carga de la mortalidad prematura atribuible a PM_{2.5} (AVP_{PM_{2.5}}). Para ello, se retomaron las PAF de muertes estandarizadas por edad que fueron estimadas

para Colombia, las cuales se relacionaron a cada uno de los grupos diagnósticos considerados en este estudio; para ello se utilizó la siguiente ecuación (Cohen et al., 2017):

$$AVP_{PM_{2.5}} = AVP \times PAF$$

2.5.1. Años Vividos con Discapacidad atribuibles a la contaminación por PM_{2.5} (AVD_{PM_{2.5}})

Se consideró la metodología última empleada en los estudios de la GBD, sin el uso de la tasa de descuento del 3% ni de la ponderación según la edad (WHO, 2017). Se obtuvieron las distribuciones de los casos por cada evento centinela para cada año según el sexo, grupo de edad y nivel de severidad, y estos se dividieron entre la población de Medellín, con el fin de determinar la prevalencia de punto. Se tuvieron en cuenta, los pesos de la discapacidad definidos por la OMS en el GBD 2013 para cada evento; así,

$$AVD = D_j \times p_j$$

donde, D_j es el peso de la discapacidad por cada causa específica j y p_j la prevalencia de la j -ésima enfermedad. De este modo, el total de los AVD por eventos centinela para cada año de estudio corresponde a la sumatoria por grupo de edad y sexo de los AVD particulares.

Luego de obtener el número absoluto de AVD por evento centinela, se calcula la carga de morbilidad atribuible a la contaminación por PM_{2.5}. Para ello, se consideran las PAF de los AVD estandarizadas por la edad estimadas para Colombia en la siguiente ecuación:

$$AVD_{PM_{2.5}} = AVD \times PAF$$

2.6 Estimación de los costos de la carga atribuible a PM_{2.5}

La estimación de los costos de la mortalidad prematura exigió identificación del número de defunciones atribuibles a la contaminación por PM_{2.5}, detallados para cada evento según sexo y grupo de edad. Dichas muertes prematuras se costearon con base en el Valor Presente (VP) de los salarios

o ingresos correspondientes a los Años Potenciales de Vida Laboral Perdidos (APVLP) debido a las defunciones. Bajo este enfoque, la pérdida de ingresos esperada para la persona promedio en cada grupo de edad y sexo se valoró conforme a la siguiente expresión (Puig-Junoy, 2001):

$$VP(I) = \sum_{i=0}^n \frac{I \times (1 + g)^i}{(1 + r)^i}$$

donde “ n ” es el número esperado de años de trabajo para la persona promedio en un particular grupo de edad y sexo; “ I ” es el ingreso laboral per-cápita promedio en un particular grupo de edad y sexo; “ g ” es la tasa anual de crecimiento del ingreso laboral (productividad laboral); y “ r ” es la tasa de descuento social.

Los APVLP se calcularon tomando como referencia la edad pensional de las mujeres (57 años) y de los hombres (62 años) definidas por la legislación colombiana (Puig-Junoy, 2001), así como la edad de la defunción en el punto medio de los intervalos de los grupos de edad considerados. Se optó por valorar los costos de la mortalidad prematura no sólo en el escenario base que demarcan los referentes de las edades pensionales, sino también en un escenario alternativo que incorporó el efecto de “pérdidas laborales” en grupos de mayor edad. Por esta circunstancia se planteó costear los años de vida laboral de este grupo poblacional, desplazando sólo para este grupo la edad de referencia hasta los 80 años.

El valor de los APVLP se estimó con base en los reportes de ingresos o salarios mensual y el número de horas trabajadas al mes en la Gran Encuesta Integrada de Hogares referida al Área Metropolitana de Medellín, realizada por el DANE en septiembre de 2016. En consideración a los años perdidos, los salarios se proyectaron con base en la tasa de crecimiento de la productividad laboral (g) del 2% anual, tal como se estima en la literatura especializada para el período 2000-2018 (Moreno, et al. 2014). El valor presente de estos salarios se calculó aplicando el factor de descuento $[1 / (1 + r)^n]$, con tasa de descuento “ r ” del 3% anual. Se asumió

esta tasa en consideración a las recomendaciones del IHME y de Drummond y colaboradores (2005), de modo que los resultados fuesen comparables con estudios similares a nivel local y mundial.

La valoración de la morbilidad atribuible se planteó, inicialmente, como el producto del número de casos de morbilidad y el costo unitario de la atención médica en cada uno de los cinco eventos. En este caso se decidió estimar

dicho costo de la morbilidad (CM) a partir del producto del vector de precios y el vector de recursos utilizados en la atención en salud de la morbilidad atribuible, así: $CM = \text{Vector de recursos (Q)} \times \text{Vector de precios (P)}$. Se procedió, luego, a estimar los costos unitarios de atención médica a partir de los reportes de facturación de los RIPS. En la Figura 2 se ilustra el procedimiento para la estimación de los costos.

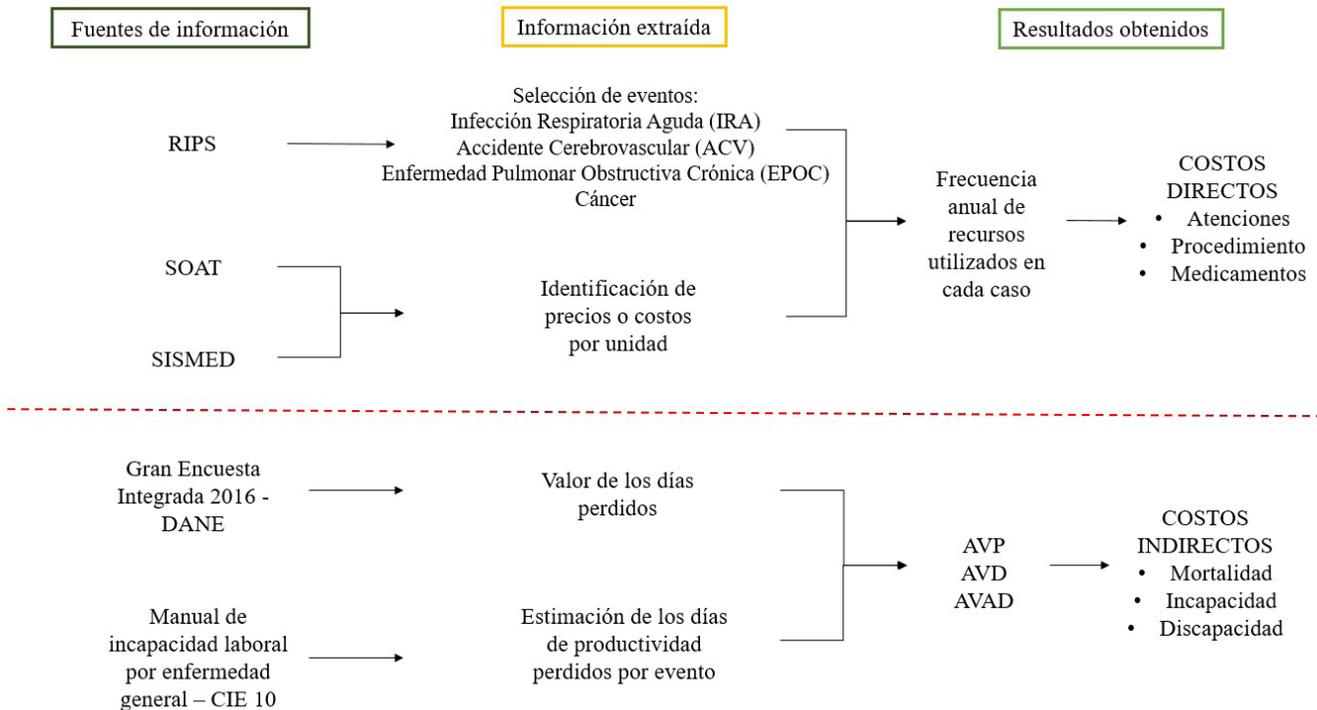


Figura 2. Síntesis metodológica del estudio de costos de la carga local de enfermedad atribuible a la contaminación por PM_{2.5}.

2.7 Geolocalización de la morbilidad atribuible a PM_{2.5}

Se realizó la estandarización de las direcciones de residencia de los pacientes atendidos y/o fallecidos por eventos agudos y/o crónicos con el objetivo de identificar espacialmente las áreas donde se presentaron los mayores volúmenes de enfermedades atribuibles/muertes a la contaminación por PM_{2.5}. Posteriormente se relacionaron los datos de las direcciones de residencia estandarizadas con cada uno de los registros correspondientes a las atenciones en salud y las defunciones; con un campo en común entre la información cartográfica disponible y las bases de datos estandarizadas, se geo localizó cada registro bien fuera de morbilidad o mortalidad.

Una vez geocodificados los registros que se lograron estandarizar e integrar a la capa de núcleos domiciliarios, se generaron mapas de calor para identificar las áreas que

aglutinaron mayor volumen de registros según la causa de morbilidad o mortalidad. Los mapas de calor se generaron a partir de la extensión ArcToolbox de ArcGis, dentro del conjunto de herramientas de Spatial Analyst Tools denominada Density con base en la Kernel Density, la cual proporciona mayor peso a los núcleos domiciliarios que presentan mayor número de registros, para pixeles de 100 x 100 m, simulando una cuadra urbanística (Momjian, 2004; Hazelton ML, 2003; Pucha-Cofrep et al, 2017).

Con base en los resultados se hizo una reclasificación de la información relacionada con el número de registros por núcleo domiciliario, la cual se generó con 10 intervalos de igual tamaño cada uno, buscando lograr una escala de detalle más fina que el barrio o las comunas. Finalmente se obtuvieron las salidas cartográficas que representan año a año las áreas con mayor número de registros por área en la zona urbana del municipio de Medellín.

3. RESULTADOS

Entre 2010 y 2016, se reportaron 28678 muertes por enfermedades agudas y crónicas asociadas con la contaminación del aire en Medellín, de las cuales 3872 (13,5%) se atribuyeron a la contaminación por PM_{2.5}. El 61,7% (2389) de las atribuidas fueron por eventos agudos, donde se destacó que el 75% (1792) lo aportaron las enfermedades del sistema circulatorio, principalmente las cardiopatías isquémicas con el 86,5% (1550); entre las enfermedades agudas del sistema respiratorio, la influenza [gripe] y la neumonía mostraron la mayor frecuencia durante el período de estudio (590). Los eventos crónicos constituyeron el 38,3% todas las defunciones atribuibles, resaltándose que las enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores predominaron, con el 72,9% (1081).

Durante el período de estudio se identificaron 567505 casos prevalentes por eventos asociados a contaminación atmosférica; de ellos el 75,6% (429034) fueron por eventos agudos, destacándose, de éstos, que el 92,3% (395998) lo aportaron las enfermedades del sistema respiratorio. El 15,5% (88083) de los casos prevalentes se atribuyeron a la contaminación por PM_{2.5} siendo las enfermedades del sistema respiratorio, entre los eventos agudos atribuibles, las más frecuentes, principalmente las infecciones agudas del tracto respiratorio inferior, con el 44,5% (39163). Entre los eventos crónicos, los más habituales fueron las enfermedades crónicas del tracto respiratorio inferior (21479), como el asma y la EPOC.

3.1 Indicadores de la carga de la enfermedad atribuible a $PM_{2.5}$

3.1.1. Mortalidad prematura atribuible a $PM_{2.5}$ ($AVP_{PM_{2.5}}$)

En el septenio se calcularon 71590 $AVP_{PM_{2.5}}$ (II 95%: 69843-73339) para un promedio anual de 10227 $AVP_{PM_{2.5}}$ (II 95%: 9950-10505). Los eventos agudos constituyeron el 64,2% de los $AVP_{PM_{2.5}}$ ($n=45996$; (II 95%: 45175-46817)) y entre estos la mayor carga la aportaron las enfermedades isquémicas del corazón con el 62,4%; entre los eventos de tipo crónico, fueron las enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores quienes tuvieron mayor protagonismo, con el 65,8% (Tabla 2). Los hombres tuvieron una mayor contribución a la mortalidad prematura atribuible por eventos agudos (56,1%), mientras que las mujeres mostraron una frecuencia ligeramente mayor por eventos crónicos (50,8%).

3.1.2. Discapacidad atribuible a $PM_{2.5}$ ($AVD_{PM_{2.5}}$)

Se observó una pérdida de 28618 $AVD_{PM_{2.5}}$ (II 95%: 25280-31956), la cual fue particularmente influenciada por los eventos agudos, en mayor volumen que los eventos crónicos, con el 56,3% de los $AVD_{PM_{2.5}}$ ($n=16124$; (II 95%: 14902-17346)), resaltándose el protagonismo de otras infecciones agudas de las vías respiratoria inferiores con el 43,1%; en contraste, entre los eventos crónicos fueron las enfermedades crónicas

del tracto respiratorio inferior las de mayor contribución a la pérdida por discapacidad, con el 43,3% (Tabla 2).

3.1.3. Años de vida ajustados por discapacidad, atribuibles a $PM_{2.5}$ ($AVAD_{PM_{2.5}}$)

Los $AVAD_{PM_{2.5}}$, sumatoria entre los $AVP_{PM_{2.5}}$ y $AVD_{PM_{2.5}}$, constituyeron el 13,8% ($n=100208$ $AVAD_{PM_{2.5}}$; (II 95%: 13,7%-13,9%)) del total de AVAD relacionados a la contaminación del aire ($n= 726353$ AVAD), con un promedio de 14315 $AVAD_{PM_{2.5}}$ (II 95%: 14005-14626) por año (Tabla 2). El 71,4% de los $AVAD_{PM_{2.5}}$ se explicaron por $AVP_{PM_{2.5}}$, siendo mayor a expensas de los eventos agudos. Con respecto al total de los $AVAD_{PM_{2.5}}$ de cada grupo, los $AVP_{PM_{2.5}}$ fueron mayores por los eventos agudos considerados con excepción del grupo de otras infecciones agudas de las vías respiratoria inferiores donde predominaron los $AVD_{PM_{2.5}}$; en cuanto a los eventos crónicos, los $AVP_{PM_{2.5}}$ sobresalieron. En general, cuando se consideró el volumen total de $AVAD_{PM_{2.5}}$, como denominador, prevalecieron, entre los eventos agudos, las enfermedades isquémicas del corazón, con el 28,7%, seguido del evento crónico que refiere las enfermedades crónicas de las vías respiratoria inferiores con el 16,8%

II es la apócope de Intervalo de Incertidumbre (Uncertainty Interval), calculado mediante el método Bootstrap.

Tabla 2. Distribución de la Carga de Enfermedad Atribuible a la exposición ambiental a PM_{2.5} (AVAD_{PM_{2.5}}) según componente y tipo de evento. Medellín, 2010-2016

Grupos	Eventos agudos													
	AVP _{PM_{2.5}}				AVD _{PM_{2.5}}				AVAD _{PM_{2.5}}					
	N	%	%*	%**	Tasa***	N	%	%*	%**	Tasa***	N	%	%**	Tasa***
Influenza [Gripe] y neumonía	12101	26,3	67,8	12,1	71,5	5738	35,3	32,2	5,7	237,4	17839	28,7	17,8	105,4
Otras infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores	395	0,9	5,4	0,4	2,3	6942	43,1	94,6	6,9	287,2	7336	11,8	7,3	43,4
Enfermedades Isquémicas del corazón	28717	62,4	93,4	28,7	169,7	2031	12,6	6,6	2,0	84,0	30748	49,5	30,7	181,7
Enfermedades cerebrovasculares	4784	10,4	77,2	4,8	28,3	1413	8,8	22,8	1,4	58,4	6197	10,0	6,2	36,6
Total	45996	64,2	74,0	45,9		16124	56,3	26,0	16,1		62120	62,0		
	Eventos crónicos													
Grupos	AVP _{PM_{2.5}}				AVD _{PM_{2.5}}				AVAD _{PM_{2.5}}					
	N	%	%*	%**	Tasa***	N	%	%*	%**	Tasa***	N	%	%**	Tasa***
Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	16852	65,8	57,6	16,8	99,6	12400	43,3	42,4	12,4	512,9	29252	76,8	29,2	172,9
Tumores malignos de los órganos respiratorios e intratorácicos	8742	34,2	98,9	8,7	51,7	94	0,8	0,3	0,1	3,9	8836	23,2	8,8	52,2
Total	25594	35,8	67,2	25,5		12494	43,7	32,8	12,5		38088	38,0		
Gran total	71590	71,4				28618	28,6				100208	13,8		

* Con respecto al total de los AVAD del tipo de evento ** Con respecto al total de los AVAD por ambos tipos de evento; ***por cada cien mil

Los AVAD_{PM_{2,5}} mostraron un gradiente positivo a partir de los 40 años, con diferencias significativas entre los quinquenios de edad (Tabla 3). Los mayores de 64 años contribuyeron con el 61,7% de la carga total, con las tasas más altas en el grupo de 80 años y más. En todos los quinquenios de edad la tasa de AVAD_{PM_{2,5}} fue mayor para eventos agudos que para eventos crónicos, con diferencias más marcadas hasta la edad de 59 años. Después de los 60 años, las diferencias fueron menores, aunque se mantuvo la tendencia. Solo el 10,3% de los AVAD_{PM_{2,5}} se encontraron en la población menor de 39 años. Los hombres mostraron la mayor proporción de AVAD_{PM_{2,5}}, con la mayor diferencia en los grupos de edad 40-44 y 55-59, y una proporción aproximada de 2 a 1. Nótese que las tasas de AVAD_{PM_{2,5}} refuerzan el análisis previo de la relación directa entre éstas con la edad (Figura 3)

Tabla 3. Distribución de los AVAD_{PM_{2,5}} por tipo de evento centinela y grupo de edad. Medellín, 2010-2016.

Grupos de edad	Agudos		Crónicos		Total	
	AVAD _{PM_{2,5}}	% AVAD _{PM_{2,5}} *	AVAD _{PM_{2,5}}	% AVAD _{PM_{2,5}}	AVAD _{PM_{2,5}}	% AVAD _{PM_{2,5}}
<40	9516	92,1	819	7,9	10336	10,3
40-44	1580	84,1	299	15,9	1879	1,9
45-49	2690	79,3	702	20,7	3392	3,4
50-54	3789	71,1	1541	28,9	5330	5,3
55-59	5095	64,8	2773	35,2	7868	7,9
60-64	5625	58,5	3983	41,5	9608	9,6
65-69	5721	54,5	4785	45,5	10505	10,5
70-74	6066	52,3	5520	47,7	11586	11,6
75-79	6248	51,2	5961	48,8	12210	12,2
80 y más	15790	57,4	11704	42,6	27494	27,4
Total (II 95%)**	62.120(35.280-88.956)		38.088 (14.255-.61.923)		100.208 (51.834-148.582)	

* Con respecto al total de los AVAD_{PM_{2,5}} en cada grupo de edad; ** Intervalos de Incertidumbre calculados mediante la técnica Bootstrap para n=10.000 muestras

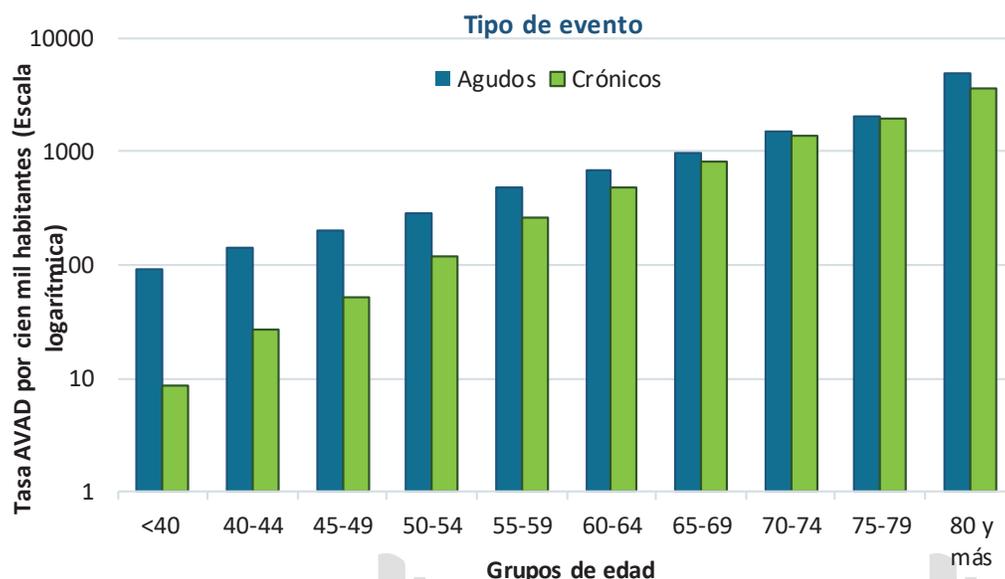


Figura 3. Tasas de: AVAD_{PM_{2,5}} por grupos de edad

La Figura 4 muestra la relación de las tasas de $AVP_{PM_{2.5}}$ y $AVD_{PM_{2.5}}$ para cada grupo de diagnóstico estudiado. Los grupos de causas se clasificaron en cuatro categorías según la relación entre las dos tasas: A (baja mortalidad y baja discapacidad), B (baja mortalidad y alta discapacidad), C (alta mortalidad y baja discapacidad) y D (alta mortalidad y baja discapacidad). Cuatro de los siete grupos de eventos estudiados (cardiopatía isquémica, enfermedad cerebrovascular, influenza [gripe] y neumonía y enfermedades crónicas del tracto respiratorio inferior) se incluyeron en la categoría D, debido a su contribución tanto a la mortalidad como a la discapacidad. Las neoplasias in situ se incluyeron en la categoría A, otras infecciones agudas del tracto respiratorio inferior en la categoría B y las neoplasias malignas de órganos respiratorios e intratorácicos en la categoría C.

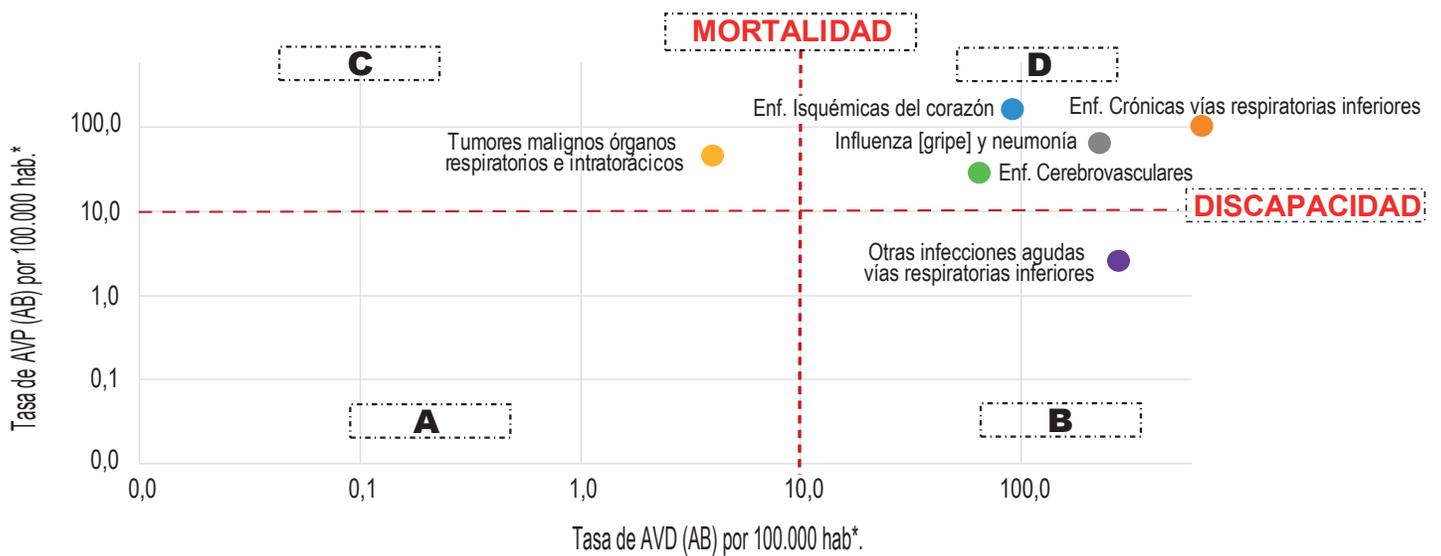


Figura 4: Relación de las tasas de AVP y AVD atribuibles a la contaminación del aire (AB) por grupos de eventos centinela, Medellín 2010-2016

3.2 Costos de la carga de enfermedad atribuible a la exposición ambiental a $PM_{2.5}$

A partir del cálculo de los APVLP, se estimaron los costos de las muertes prematuras atribuibles a la contaminación del aire por $PM_{2.5}$ (Tabla 4). En el período de estudio 2010-2016, se reportaron 5540 APVLP, en promedio, 791 APVLP por año. En el septenio, las muertes prematuras atribuibles a la contaminación por $PM_{2.5}$ generaron en Medellín un costo total de 82837,3 millones de pesos de 2016. A lo largo del período, estos costos registraron un comportamiento relativamente estable, sumando en promedio cerca de 11834 millones de pesos anuales. Se evidenció el marcado peso que cobraron los costos en el grupo de hombres; en su orden sumaron para todo el período 63715,3 y 19122 millones de pesos, respectivamente.

Tabla 4. Años potenciales de vida laboral perdidos y costos de la mortalidad prematura atribuible a la contaminación por PM_{2.5} según sexo, Medellín 2010-2016

Año	Hombres			Mujeres			Total		
	APVLP	Costos*	% Costos	APVLP	Costos*	% Costos	APVLP	Costos*	% Costos
2010	661	9842,4	15,4	267	3290,4	17,2	928	13132,8	15,9
2011	650	9914,1	15,6	264	3289,5	17,2	914	13203,5	15,9
2012	597	9293,9	14,6	223	2899,2	15,2	820	12193,2	14,7
2013	554	9007,4	14,1	162	2308,7	12,1	716	11316,0	13,7
2014	515	8160,9	12,8	184	2537,0	13,3	699	10697,9	12,9
2015	536	8399,5	13,2	179	2375,0	12,4	715	10774,5	13,0
2016	575	9097,1	14,3	173	2422,2	12,7	748	11519,4	13,9
Período	4088	63715,3	76,9	1452	19122,0	23,1	5540	82837,3	100,0

APVLP: Años potenciales de vida laboral perdidos; * Valores en millones de pesos de 2016

Los costos de la mortalidad prematura atribuibles a la contaminación ambiental por PM_{2.5} debido a eventos agudos sumaron cerca de 67847,9 millones de pesos, que representaron el 81,9% del total de los costos del período 2010-2016. El 18,1% restante correspondió a muertes prematuras por eventos crónicos. Las enfermedades isquémicas del corazón (34972 millones de pesos) y las infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores (26451 millones de pesos) fueron las que más contribuyeron al total; las de menor aporte fueron las enfermedades cerebrovasculares (6424 millones de pesos). Respecto

a los costos por estos eventos específicos según grupos de edad, la Tabla 5 muestra que en general, para tres de los cinco eventos, se evidenció que los grupos de más avanzada edad favorecieron, en mayor medida, la carga económica total, que fue particularmente cierto en los eventos de carácter crónico como enfermedades crónicas de las vías respiratorias y tumores malignos de los órganos respiratorios intratorácicos, la procedencia de dichos costos fue de un 67,5% y 53,0% de la población con 50 y más años.

Tabla 5. Costos de la mortalidad prematura atribuible a la contaminación por PM_{2.5} según grupo de edad y eventos específicos agudos y crónicos, Medellín 2010-2016.

Grupos de edad	I20-I25		I60-I69		J20-J22		C30-C39		J40-J47	
	Costos*	% Costos								
< 35	2917,8	8,3	1455,0	22,6	13664,4	51,7	809,3	9,7	465,7	7,0
35 a 39	3041,4	8,7	768,6	12,0	2828,2	10,7	549,9	6,6	497,8	7,5
40 a 44	4602,7	13,2	842,9	13,1	2100,6	7,9	747,2	9,0	209,7	3,1
45 a 49	7969,7	22,8	1228,5	19,1	3142,3	11,9	1812,3	21,8	993,0	14,9
50 y más	16440,7	47,0	2129,3	33,1	4715,7	17,8	4411,3	53,0	4493,3	67,5
Total	34972,4	100,0	6424,3	100,0	26451,2	100,0	8329,9	100,0	6659,6	100,0

* Valores en millones de pesos de 2016

En el escenario alternativo, los costos de la mortalidad para el agregado del período 2010-2016 ascendió a un total de 630971 millones de pesos de 2016. La distribución por sexo y edad no se distancia de lo descrito en el escenario base excepto en lo que corresponde a grupo de la tercera edad. Estos costos se concentraron en un 61,1% en el grupo de hombres. Se observó un gradiente positivo de los costos con la edad, en particular, el 78,5% de los mismos se concentró en los adultos con 55 y más años.

3.2.1. Costos médicos, directos, por atención de la enfermedad

La atención de los eventos de morbilidad atribuibles a la contaminación del aire por PM_{2.5} generaron un costo total de 147013,9 millones de pesos de 2016, para un promedio de 21000 millones de pesos anuales (Tabla 6). Estos costos tuvieron un comportamiento similar al de los costos por atención médica en hombres y mujeres, especialmente el de este último grupo que se mantuvo por encima de los costos observados en la población de hombres. Más de la mitad (53,2%) de los costos totales del período tuvieron origen en la atención médica en el grupo de mujeres, los cuales sumaron 78173,2 millones de pesos.

A lo largo del período, tanto para eventos agudos como para eventos crónicos, los costos de la atención médica registraron un comportamiento relativamente estable. Los agudos sumaron un costo de 75669,4 millones de pesos, levemente superior a los costos de atención de los eventos crónicos que sumaron 71344,5 millones de pesos. Las enfermedades crónicas de las vías respiratorias (63789 millones de pesos) y las infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores (60184 millones de pesos), fueron las que más contribuyeron (84%) al total de los costos de la morbilidad atribuible. Los aportes de los tres eventos restantes no superaron individualmente el 6% del total de dichos costos. Con excepción de uno de los eventos, en los cuatro restantes más del 75% de los costos se concentraron en población de 55 y más años (Tabla 7). Sólo en el caso de las infecciones agudas de las vías respiratoria inferiores se observó una participación más pareja en el aporte de los grupos extremos de edad: 34,5% en los menores de 35 años y 54,8% en adultos con 55 y más años.

Tabla 6. Costos de la morbilidad atribuible a la contaminación por PM_{2.5} según sexo, Medellín 2010-2016.

Año	Hombres		Mujeres		Total	
	Costos *	% Costos	Costos *	% Costos	Costos *	% Costos
2010	9920,4	14,4	10082,2	12,9	20002,6	13,6
2011	10471,1	15,2	11513,2	14,7	21984,3	15,0
2012	10585,8	15,4	12529,7	16,0	23115,5	15,7
2013	10543,4	15,3	12592,6	16,1	23136,0	15,7
2014	9240,4	13,4	10527,6	13,5	19768,0	13,4
2015	9281,8	13,5	10759,6	13,8	20041,4	13,6
2016	8797,8	12,8	10168,3	13,0	18966,1	12,9
Promedio	68840,8	46,8	78173,2	53,2	147013,9	100,0

* Valores en millones de pesos de 2016

Tabla 7. Costos de la morbilidad atribuible a la contaminación por PM_{2.5} según grupo de edad y eventos específicos agudos y crónicos, Medellín 2010-2016.

Grupos de edad	I20-I25		I60-I69		J20-J22		C30-C39		J40-J47	
	Costos	% Costos								
< 35	82,3	1,2	876,8	9,9	20786,5	34,5	336,9	4,5	3592,3	5,6
35 a 39	85,4	1,3	141,1	1,6	925,7	1,5	176,2	2,3	826,4	1,3
40 a 44	291,5	4,4	233,0	2,6	1300,5	2,2	230,6	3,1	1793,0	2,8
45 a 49	494,8	7,5	223,1	2,5	1894,6	3,1	459,3	6,1	1942,1	3,0
50 a 54	655,5	9,9	723,6	8,1	2318,5	3,9	677,1	9,0	4061,1	6,4
55 y más	4995,9	75,6	6682,5	75,3	32958,2	54,8	5675,2	75,1	51574,4	80,9
Total	6605,4	100,0	8880,0	100,0	60184,0	100,0	7555,3	100,0	63789,2	100,0

Valores en millones de pesos de 2016

I20-I25: Infarto Agudo al Miocardio - I60-I69: Enfermedades Cerebrovasculares - J20-J22: Infección Respiratoria Aguda
C30-C39: Tumores malignos de los Órganos Respiratorios e Intratorácicos - J40-J47: Enfermedad pulmonar obstructiva crónica.

3.2.2. Costos totales por morbilidad y mortalidad prematura

Para el período 2010-2016, en el escenario base, las muertes prematuras y la morbilidad atribuibles a la contaminación por PM_{2.5} sumaron un costo total en Medellín de 241439,5 millones de pesos. En el escenario alternativo, dichos costos sumaron para todo el período un valor de 789572,8 millones de pesos. En este escenario alternativo, los costos de la mortalidad representaron el 79,9% del total y por morbilidad el 20,1% restante. Los costos totales correspondientes al escenario alternativo, que en dólares sumaron cerca de 281 millones, representaron el 0,091 % del PIB de Colombia de 2016 y el 0,627 % del PIB de Antioquia del mismo año.

3.3 Geolocalización de la morbimortalidad atribuible a PM_{2.5}

Se logró la geolocalización del 72,4% (20344) de los registros de defunciones por causas relacionadas con la contaminación por PM_{2.5}, de un total de 28079 datos susceptibles de estandarización. Por contener algún dato relacionado con la dirección, se obtuvo, de la información de los RIPS, un total de 312968 registros susceptibles de

estandarización, equivalente a un 55,1% del total de los registros identificados como eventos centinela relacionados con la contaminación atmosférica (567505).

3.3.1. Defunciones geo localizadas atribuibles a la contaminación atmosférica a PM_{2.5}

Según los mapas de calor para la mortalidad atribuible a la contaminación por PM_{2.5}, se observó un comportamiento homogéneo de la distribución de casos en general y para los eventos agudos y crónicos, en particular, aunque, como se observa en la Figura 5 en la parte más al sur, en la Comuna 16-Belén-, se concentró un mayor número de defunciones atribuibles. Los análisis de mapas de calor para cada grupo de eventos mostraron que la distribución de las defunciones fue similar, con algunas concentraciones adicionales en las comunas 10 (La Candelaria) y 13 (San Javier).

3.3.2. Casos geo localizados atribuibles a la contaminación atmosférica a PM_{2.5}

Para generar los mapas de calor para la morbilidad atribuible a la contaminación por PM_{2.5}, se aplicó la PAF según causa

de enfermedad al número de registros relacionados. En total se incluyeron 298339 eventos entre los cinco grupos de eventos estudiados, lo cuales representaron entre 18 y 53% de los eventos identificados durante el periodo de estudio. Al igual que en la geolocalización de la mortalidad, se observó una concentración de los casos de morbilidad atribuible al sur de la comuna 16 (Belén) (Figura 6). También se observaron concentraciones de casos en el costado nororiental de la Comuna 10 (La Candelaria) para las enfermedades cerebrovasculares, la enfermedad isquémica del corazón, las infecciones respiratorias agudas y la EPOC.

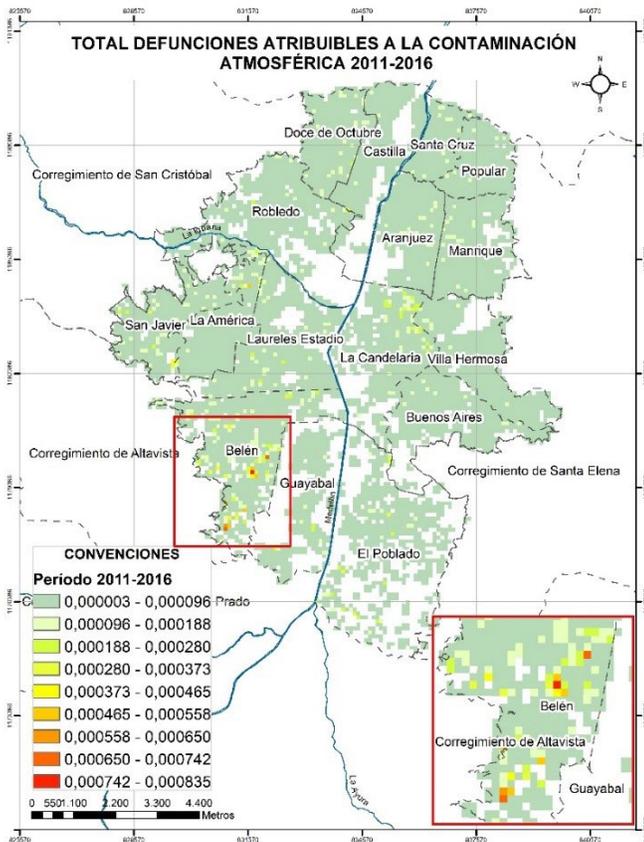


Figura 5 . Mapa de calor utilizando densidad de Kernel para las defunciones atribuibles (número de registros por cada 100 m²) para el periodo 2010-2016.

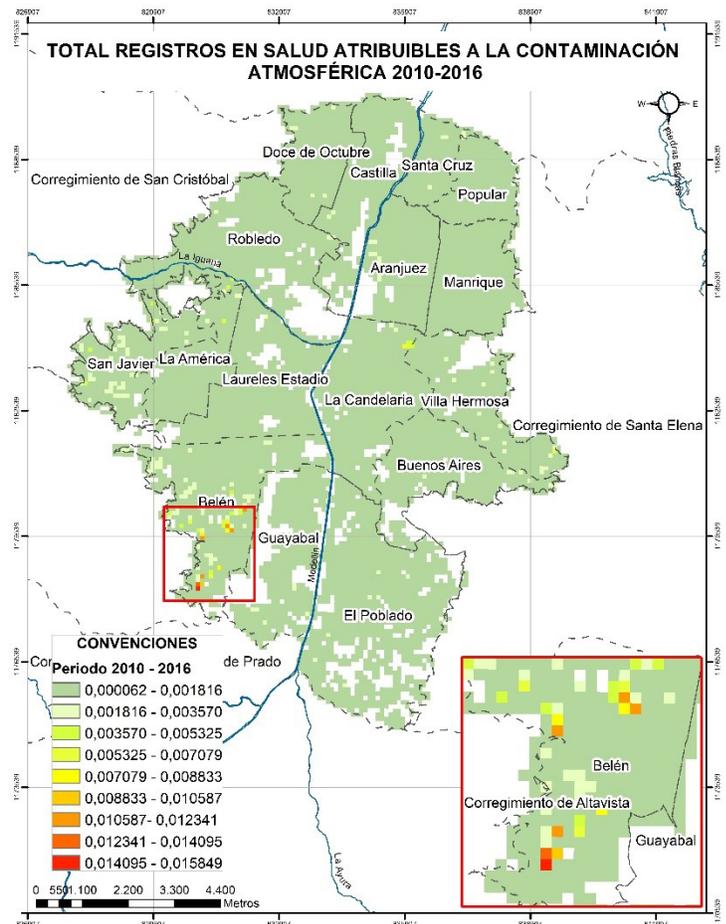


Figura 6. Mapa de calor utilizando densidad de Kernel para los casos de eventos atribuibles (número de registros por cada 100 m²) para el periodo 2010-2016

4. CONCLUSIONES

- El 13,8% de la carga local total por los eventos seleccionados correspondió a la carga atribuible a la exposición ambiental a $PM_{2.5}$.
- Las enfermedades agudas contribuyeron con el 62,0% de los AVADPM $_{2.5}$
- Los grupos eventos que más aportaron a la carga de enfermedad atribuible a la exposición a $PM_{2.5}$, fueron en su orden las enfermedades isquémicas del corazón, las enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores y la influenza [gripe] o neumonía (17,8%).
- Los mayores de 65 años tuvieron mayor protagonismo en la carga total, con el 61,7%.
- Predominaron los AVDPM $_{2.5}$ por enfermedades isquémicas del corazón, crónicas de las vías respiratorias inferiores e influenza [gripe] y neumonía.
- Los costos de la morbilidad atribuible a la contaminación por $PM_{2.5}$ en el septenio, sumaron cerca de 789573 millones de pesos. El 80% de estos costos correspondió a la mortalidad prematura y el 20% restante a la atención médica y pérdidas de productividad por morbilidad.
- Tanto para la mortalidad como para la morbilidad atribuible a $PM_{2.5}$, los mayores volúmenes se registraron en la Comuna 16 Belén (Barrios: San Bernardo, Las Playas y El Rincón), y un punto adicional específico en el barrio Prado de la Comuna 10 La Candelaria.

5. RECOMENDACIONES

- Avanzar en el análisis de la carga atribuible a otros contaminantes de interés como el ozono y los nitrogenados.
- Adelantar estudios que permitan establecer la atribución real de la exposición a los contaminantes del aire (estimación de la PAF) para morbilidad.
- Realizar estudios de morbilidad, que enfatizan en la discapacidad, para facilitar la estimación de la carga y costos de la enfermedad atribuible a la contaminación ambiental.
- Incentivar la realización de estudios de costos de la carga de la enfermedad atribuible a la contaminación del aire que incorporen información de días de incapacidad, reducción de la capacidad productiva y disposición a pagar.
- Conviene adelantar los estudios sobre el valor estadístico de la vida relacionado con los riesgos de mortalidad por contaminación del aire a nivel local o nacional.
- Emplear estrategias de información que permita georreferencia cada caso y cada muerte de modo, de acuerdo con la dirección de residencia.
- Diseñar estrategias que permitan contar con la información de registros de morbilidad y mortalidad geo codificados por núcleos domiciliarios, como insumo para facilitar la identificación de zonas que requieren estudios en detalle.

6. LIMITACIONES

- Las diferentes fuentes utilizadas responden de manera desarticulada al seguimiento de los eventos, lo que impide una trazabilidad óptima.
- Las estimaciones utilizadas de las PAF, propuestas por la GBD, para un listado de eventos específicos, podría no representar a la población de Medellín.
- No se dispuso de información para valorar los costos intangibles asociados al padecimiento de la enfermedad.
- No se consideraron los efectos del aire intradomiciliario, ni otros contaminantes, así como su sinérgica concurrencia que impactan negativamente en la salud de la población y en la carga económica en términos del deterioro de los procesos productivos y la infraestructura pública y privada, rémora del desarrollo económico y la calidad de vida de la población.
- No existe una parametrización que contribuya a que todo registro por los eventos analizados se pueda estandarizar y ubicar espacialmente.
- No hay conciencia institucional acerca de la importancia de representar espacialmente los registros de morbilidad, que permitiría direccionar y focalizar acciones públicas que permitan mejorar las características ambientales en un espacio geográfico delimitado.
- No se pudieron geo codificar el 100% de los registros de salud ante la imposibilidad de geo localizar en su totalidad el atributo lugar de residencia para cada registro, lo que conlleva a una importante pérdida de información.

7. FORTALEZAS

- Investigación pionera a nivel nacional que utiliza la nueva variante metodológica propuesta por la GBD, donde se da realce para el cálculo de la discapacidad a la prevalencia.
- Se utilizó la categoría evento centinela, propia de procesos de vigilancia y seguimiento en salud y cuya adaptación para el país se encuentra en el primer diagnóstico de salud ambiental realizado en el año 2012 por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

8. REFERENCIAS

- Amable Álvarez, Isabel, et al. "Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud." *Revista médica electrónica* 39.5; 2017: 1160-1170.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2017). Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (PIGECA 2017-2030). [Online]. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Documents/PIGECA/PIGECA-Aprobado-Dic-2017.pdf>
- Baker EL. IV. Sentinel Event Notification System for Occupational Risks (SENSOR): The concept [Internet]. Vol. 79, *American Journal of Public Health*. American Public Health Association; 1989.
- Ballesta, Pascual Pérez. "Retos futuros de la exposición personal a contaminantes en aire." *Revista de Salud Ambiental* 5.2; 2005: 175-180.
- Briggs D. The role of GIS: coping with space (and time) in air pollution exposure assessment. *Journal of toxicology and environmental health*. Part A, 68(13-14); 2005, 1243–1261. <https://doi.org/10.1080/15287390590936094>
- Celentano, David D., Scd Mhs, and Moyses Szklo. *Gordis*. Epidemiología. Elsevier, 2019.
- Cohen, A. J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H. R., Frostad, J., Estep, K., et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet*, 389(10082),2017); 1907–1918. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)30505-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6)
- Departamento Nacional de Planeación. Valoración económica de la degradación ambiental en Colombia, 2015. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Valoración%20económica%20de%20la%20degradación%20ambiental.pdf>
- Dominici, F., Peng, R.D., Bell, M.L., Pham, L., McDermott, A., Zeger, S.L. (2006). Fine Particulate Air Pollution and Hospital Admission for Cardiovascular and Respiratory Diseases. *JAMA*, Vol 295(10); 2006;1127-1134. <https://doi.org/10.1001/jama.295.10.1127>
- Drummond, M.F., Sculpher, M.J., Torrance, G.W., O'Brien, B.J. & Stoddart, G.L. (2005). *Methods for the Economic Evaluation of Health Care Programmes*. 3rd ed. Oxford: Oxford Medical Publications.
- GBD 2019 Risk Factors Collaborators, (2020). Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*, 396(10258), 1223–1249. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30752-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30752-2)
- Golub, E., Klytchnikova, I., Economist, S., Bank, W., Sánchez, G., Belausteguigoitia, J.C., (2014). Environmental Health Costs in Colombia. The Changes from 2002 to 2010. [Online]. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/21096/929560WP0P14940s0occ.0paper0series0.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hazelton ML. Variable kernel density estimation. .” *Australian & New Zealand Journal of Statistics* 45.3 (2003): 271-284.
- Institute of Health Metrics and Evaluation (IHME), 2017. Global Burden Disease Compare. [Online]. <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>
- Instituto Nacional de Salud (INS), (2018). Carga de Enfermedad Ambiental. Informe Técnico Especial 10. [Online]. [https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/Informes/10 Carga de enfermedad ambiental en Colombia.pdf](https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/Informes/10%20Carga%20de%20enfermedad%20ambiental%20en%20Colombia.pdf)
- Levine, Beverly. "Temas especiales ¿Qué es la fracción atribuible poblacional?" *Temas* 4.1 (2007): 06_0091_es.
- Martí Cabrera R. Geolocalización día a día. 2018 [cited 2021 Feb 10]. [online]. <http://repositori.tecnocampus.cat/handle/20.500.12367/99>
- Medina Palacios, Edna Katalina. "La contaminación del aire, un problema de todos." *Revista de la Facultad de Medicina* 67.2 (2019): 189-191.
- Merino M. ¿Qué son los mapas de calor? [Internet]. 2014. [cited 2021 Mar 8]. [online]. <https://www.ticbeat.com/tecnologias/que-son-los-mapas-de-calor/>

- Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). Plan Decenal de Salud Pública PDSP, 2012-2021: La salud en Colombia la construyes tú. [online]. https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/PSP/IMP_4feb+ABCminsalud.pdf
- Momjian, Bruce. PostgreSQL: introduction and concepts. Vol. 192. New York: Addison-Wesley, 2001.
- Moreno, M., Mejía, A. & Castro, H. (2014) Manual para la elaboración de evaluaciones económicas en salud. Bogotá: Instituto de Evaluación de Tecnologías en Salud.
- Piñeros-Jiménez, J.G., Grisales, H., Nieto, E., Montealegre, N, Villa, F., Marín A.H. (2019). Contaminación atmosférica y sus efectos sobre la salud de los habitantes del Valle de Aburrá, 2008-2017. Análisis de la exposición de corto y largo plazo. [online]. https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/_layouts/15/WopiFrame.aspx?sourcedoc=%7B37A3BF92-7982-42E3-B34F-2640A37F17CB%7D&file=contaminacion_atmosferica_efectos_salud.pdf&action=default
- Moultrie, Tom A., et al. Tools for demographic estimation. International Union for the Scientific Study of Population, 2013.
- o OMS. 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 (2006).
- o Pinto JL, Puig-Junoy J y Ortún V. Análisis costo-utilidad. Revista Atención Primaria Vol. 27 No 8 de 2001.
- o Piñeros-Jiménez, J.G., Grisales, H., Nieto, E., Montealegre, N, Villa, F., Agudelo, R., Cubaque, H., et al. (2018). Contaminación atmosférica y sus efectos sobre la salud de los habitantes del Valle de Aburrá, 2008-2015. [online]. https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Biblioteca-aire/Re-analisis/ContaminacionAtmosferica_y_sus_Efectos_en_la_Salud-AMVA_2019.pdf
- o Pucha-Cofrep, Franz, et al. Fundamentos de SIG: Aplicaciones con ArcGIS. Franz Pucha Cofrep, 2017.
- o Puig-Junoy, J., Ortún-Rubio, V., & Pinto-Prades, J. L. (2001). Los costes en la evaluación económica de tecnologías sanitarias [Costs of economic evaluation of health technologies]. Atención primaria, 27(3), 186–189. [https://doi.org/10.1016/s0212-6567\(01\)78795-1](https://doi.org/10.1016/s0212-6567(01)78795-1)
- o Romieu, I., Gouveia, N., Cifuentes, L. A., de León, A. P., Junger, W., Vera, J., et al. (2012). Multicity study of air pollution and mortality in Latin America (the ESCALA study). Research report (Health Effects Institute), (171), 5–86.
- o Santos- Preciado J. Sistemas de Información Geográfica 2020 [Online]. <https://books.google.es/>



**CARGA DE LA ENFERMEDAD, COSTOS DERIVADOS Y GEOLOCALIZACIÓN
DE LA MORBIMORTALIDAD, ATRIBUIBLES A LA
CONTAMINACIÓN POR PM_{2.5}.
MEDELLÍN, 2010-2016**

Esta cartilla resume los principales hallazgos del proyecto: **“Determinación de la carga atribuible de la enfermedad por contaminación del aire urbano y sus costos económicos para la ciudad de Medellín, 2010-2015”** desarrollada en el marco del contrato 633-2017 celebrado entre la Facultad Nacional de Salud Pública de la Universidad de Antioquia, como entidad ejecutora, y Colciencias (Hoy Minciencias).

Diseño y diagramación: Fabián Hernández
Impresión: Virtual publicidad
Registro ISBN: 978-958-5157-66-8

Derechos reservados de autor. Está prohibida la reproducción parcial o total de esta publicación, salvo con fines académicos y con la autorización expresa de la Universidad de Antioquia, en cuyo caso debe siempre citar la fuente.



