TERRITORIOS VERDES Climáticamente Inteligentes

ACTUALIZACIÓN DE LA VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA CONTAMINACIÓN DE AIRE URBANO

2015 Y 2018



laif Instrumento para Inversiones en América Latina · UNIÓN EUROPEA · AFD Agence Française de Développement · Fondo Acción

“La preocupación por el ser humano y
su destino siempre debe ser el interés
primordial de todo esfuerzo técnico.
Nunca olvides esto entre tus diagramas
y ecuaciones”,
Albert Einstein.

Agradecimientos:
Fondo Acción
Observatorio Nacional de Salud es el Instituto Nacional de Salud
Ministerio de Salud y Protección Social
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam)
Organización Panamericana de la Salud

Diseño e ilustración
.Puntoaparte Editores

Esta publicación se realizó en el marco del Proyecto Apoyo a la implementación de paisajes rurales climáticamente inteligentes en Colombia - Territorios Verdes Climáticamente Inteligentes, financiado por la Unión Europea a través de un crédito LAIF supervisado por la Agencia Francesa de Desarrollo - AFD e implementado por Fondo Acción para el Departamento Nacional de Planeación.

TABLA DE CONTENIDO



01

RESUMEN EJECUTIVO 8
Ficha de resumen. 9

02

INTRODUCCIÓN 12
Consideraciones de la valoración económica del impacto de la contaminación atmosférica en la salud humana. 14

03

JUSTIFICACIÓN 16

04

METODOLÓGICA 18

05

RESULTADOS 24
Población 25
Calidad del aire 25
Desenlaces en salud 30
Mortalidad 33
Morbilidad 41
Valoración económica 48

06

CONCLUSIONES 58

07

BIBLIOGRAFÍA 60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la metodología de valoración económica del impacto de la contaminación atmosférica en salud. 19

Figura 2. Metodología de valoración económica del impacto de la contaminación atmosférica en salud: componente de exposición. 20

Figura 3. Metodología de valoración económica del impacto de la contaminación atmosférica en salud: componente de relación con salud. 21

Figura 4. Metodología de valoración económica del impacto de la contaminación atmosférica en salud: componente de valoración económica. 22

Figura 5. Fracción promedio anual de PM2.5/PM10 durante los años 2015 y 2018. 26

Figura 6. Concentración promedio anual de PM2.5 observada e imputada por municipio para 2015. 28

Figura 7. Concentración promedio anual de PM2.5 observada e imputada por municipio para 2018. 29

Figura 8. Valores de PAF para desenlaces específicos del Global Burden of Disease (GBD) 2019. 31

Figura 9. Pirámides de defunciones de Colombia por causa específica para los años 2015 y 2018. 34

Figura 10. Mortalidad atribuible por exposición a PM2.5 para los años 2015 y 2018. 37

Figura 11. Mortalidad atribuible por PM2.5 desagregada por causa específica para los años 2015 y 2018. 39

Figura 12. Pirámides de morbilidad de Colombia por causa específica para los años 2015 y 2018. 42

Figura 13. Morbilidad atribuible por exposición a PM2.5 para los años: izq.) 2015 y der.) 2018. 45

Figura 14. Hospitalizaciones atribuibles por PM2.5 desagregada por causa específica para los años 2015 y 2018. 47

Figura 15. Valoración económica de la mortalidad atribuible por PM2.5 para los años 2015 y 2018. 49

Figura 16. Valoración económica de la morbilidad atribuible por PM2.5 para los años 2015 y 2018. 51

Figura 17. Valoración económica de la mortalidad atribuible por PM2.5 por causa específica para los años 2015 y 2018. 53

Figura 18. Valoración económica de la morbilidad atribuible por PM2.5 por causa específica para los años 2015 y 2018. 55

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Causas específicas estudiadas para el análisis de mortalidad y morbilidad atribuible. 30



SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ACV	Accidente cerebrovascular
CNPV	Censo Nacional de Población y Vivienda
COI	Estimación de Costos de Enfermedad
CP	Cáncer de Pulmón
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DIAB2	Diabetes mellitus tipo II
DNP	Departamento Nacional de Planeación
EIC	Enfermedad isquémica del corazón
EPOC	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
INS	Instituto Nacional de Salud
IRBA	Infecciones respiratorias agudas de las vías respiratorias bajas
PAF	Fracción atribuible poblacional
PM	Material particulado
PM2.5	Material particulado inferior o igual a 2,5 micras de diámetro
RIPS	Sistema de Información de Prestaciones de Salud
SISAIRE	Sistema de Información sobre Calidad del Aire
VSL	Valor estadístico de la vida
GBD	Global Burden of Disease

01

RESUMEN EJECUTIVO



FICHA DE RESUMEN



NOMBRE DEL PROYECTO	• Actualización de la valoración económica de la contaminación del aire urbano 2015 y 2018
ENTIDAD LÍDER	• Fondo Acción
INFORMACIÓN DE CONTACTO	• elfondo@fondoaccion.org
AUTORES	• Alexander Rincón Pérez
OTROS ACTORES INVOLUCRADOS	• Departamento Nacional de Planeación • Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible • Ministerio de Salud y Protección Social • Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales • Instituto Nacional de Salud
CITACIÓN SUGERIDA	• Pérez, A. R. (2023). Actualización de la valorización económica de la contaminación de aire urbano 2015 y 2018. Instrumento para inversiones en América Latina y el Caribe (laif), Unión Europea, Agencia Francesa de Desarrollo, Gobierno de Colombia, Fondo Acción, Bogotá.
FECHA DE PUBLICACIÓN	• Abril de 2023

La mala calidad del aire afecta la salud de las personas, lo que incide en el bienestar de la población colombiana (INS & ONS, 2018) (DNP & Fondo Acción, 2018). Esta afectación es más notoria en ciudades y zonas con actividades industriales asociadas a la generación de polvo y humo. La planeación e implementación de acciones que mejoren la calidad del aire es una prioridad de política pública, toda vez que sus resultados no solo contribuyen a evitar muertes y afectaciones en salud, sino que también reducen los costos asociados a reducción de horas de trabajo por incapacidad, atención médica por enfermedades respiratorias y pérdida de ingresos familiares por fallecimiento. En este sentido, la valoración económica de impactos en salud por contaminación atmosférica permite dimensionar la afectación y el beneficio, en términos de señal económica para la toma de decisiones que favorezcan las inversiones necesarias en programas y proyectos que prevengan y reduzcan la contaminación atmosférica.

Se estimó la valoración económica de la mortalidad y morbilidad atribuible a contaminación atmosférica para ciudades y municipios colombianos con información de calidad del aire representada en material particulado (PM) disponible para los años 2015 y 2018. Para ello, fueron evaluados los componentes o dimensiones principales de exposición, efectos en salud y valoración económica. Para el componente de exposición se tomaron datos de concentración de PM_{10} y $PM_{2.5}$ anuales suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), a través del Sistema de Información sobre Calidad del Aire (SISAIRE), e información de población suministrada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). En salud, a través del estudio de "Carga Global de la Enfermedad" e investigaciones que relacionaran afectaciones a la salud a causa de PM, se identificaron los valores de riesgo relativo que describieran cuantitativamente dicha relación. Posteriormente, se analizaron datos de mortalidad suministrados por el DANE y de morbilidad obtenidos del Registro Individual de Prestación de Servicios (RIPS) del Sistema Integrado de Información de la Protección Social (SISPRO) de Minsalud. Para el componente económico, el costo de mortalidad empleó el Valor Estadístico de la Vida (VSL), mientras que la estimación económica de morbilidad se determinó mediante el cálculo promedio de costos por atención en salud y pérdida de productividad por inasistencia laboral.

Las muertes atribuibles a la exposición a PM2.5 fueron en promedio 7325 (4589 - 9641) para 2015 y 7754 (4754 - 10.432) para 2018. Dichas muertes se concentran en ciudades principales como Bogotá, Cali y Medellín, y ciudades intermedias como Cartagena, Cúcuta, Barranquilla y Bucaramanga. Las causas específicas relacionadas con enfermedad isquémica del corazón[1] representaron la principal afectación, con el 36,8% de la mortalidad, mientras que el cáncer de pulmón se estima, tuvo la menor proporción, con el 8,5%. La valoración económica de la mortalidad corresponde a un valor central de cerca de 11,17 (7,00 - 15,77) billones de pesos para el 2015 y 11,74 (7,18 - 15,77) billones de pesos para 2018. De estos, aproximadamente el 98,5% corresponde a valoración de la mortalidad, y el 1,5% a valoración de morbilidad por atención de la enfermedad por hospitalizaciones y pérdida de productividad por ausencia laboral. En comparación con el presupuesto general de la nación, que ascendió a 233,3 billones en el 2018, la valoración económica de impactos en salud por exposición anual a $PM_{2.5}$ corresponde aproximadamente a un 4,79% (3% - 6,76%) en 2015 y a 5,03% (3,08% - 6,76%) en 2018.

1. La cardiopatía isquémica, o enfermedad de las arterias coronarias, es una enfermedad provocada por el estrechamiento (taponamiento) de las arterias que van al corazón. Este problema ocasiona que llegue un menor flujo de sangre al corazón y cause un desequilibrio en el aporte de oxígeno al miocardio (tejido muscular del corazón).



La planeación e implementación de acciones que mejoren la calidad del aire es una prioridad de política pública, toda vez que sus resultados no solo contribuyen a evitar muertes y afectaciones en salud, sino que también reducen los costos asociados a reducción de horas de trabajo por incapacidad, atención médica por enfermedades respiratorias y pérdida de ingresos familiares por fallecimiento.

02

INTRODUCCIÓN



A nivel internacional, la contaminación del aire sigue siendo el principal factor de riesgo para la salud, en particular la exposición a material particulado fino ($PM_{2.5}$) con cerca de entre tres y cuatro millones de muertes prematuras alrededor del mundo cada año (Southerland *et al*., 2022). A nivel nacional, la contaminación del aire se encuentra dentro de los diez factores de riesgo de mortalidad y morbilidad en Colombia, y el primero de carácter ambiental, de acuerdo con el estudio de Carga Global de la Enfermedad 2020 (GBD, por sus siglas en inglés) (Global Burden of Disease Collaborative Network, 2020).

En el país existen estudios y reportes que estiman los valores económicos relacionados con los casos de mortalidad y pérdida de la salud por exposición a aire contaminado. Estos estudios, por lo general, hacen parte de documentos que buscan incidir en la política pública, y que a su vez toman como referencia estudios de mayor detalle relacionados con investigaciones epidemiológicas[2]. Este conjunto de aproximaciones ha sido enmarcado dentro del concepto de "evaluación del riesgo para la salud de la contaminación atmosférica" (*Air Pollution Health Risk Assessment* [AP-HRA, por sus siglas en inglés]) incluido dentro del marco general de que se conoce como "carga de la enfermedad por razones ambientales" (*Environmental Burden of Disease*).

Técnicamente, una evaluación del riesgo para la salud de la contaminación atmosférica estima el impacto asociable por exposición a condiciones de mala calidad del aire en diferentes circunstancias socioeconómicas, medioambientales y políticas (WHO, 2016). Ahora bien, cuando se incluyen componentes de valoración económica, estas aproximaciones son denominadas "evaluación y valoración económica del impacto de la contaminación atmosférica en la salud humana" (*Assessment and economic valuation of air pollution impacts on human health*) (Im *et al.*, 2018). No obstante, es importante mencionar que algunas AP-HRA incluyen el componente económico. Dicha metodología está contenida en la aproximación general de "evaluación de impactos en salud asociada a la degradación ambiental", y se toman como referentes las aproximaciones de Ostro (Ostro, 1994, 2004), Banco Mundial (Golub *et al.*, 2014) y la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2016). En Colombia, esta metodología está contenida en la aproximación general de "evaluación de impactos en salud asociada a la degradación ambiental" (Bjorn Larsen, 2004; DNP & Fondo Acción, 2018; Golub *et al.*, 2014).

2. Estas investigaciones por lo general son de la naturaleza de estudios retrospectivos de control o de estudios de cohorte, siendo estos últimos los más recomendables, pues hacen seguimiento del desarrollo de un desenlace en salud a partir de individuos sanos que, por sus condiciones, viven o no expuestos a riesgos.



Consideraciones de la valoración económica del impacto de la contaminación atmosférica en la salud humana

En términos generales, de acuerdo con literatura internacional y nacional, la metodología de valoración económica del impacto de la contaminación atmosférica en la salud humana se resume en la caracterización y evaluación de tres dimensiones principales: exposición, relación con la salud y valoración económica. Cabe señalar que la generación y uso de nueva información más precisa como insumo a la metodología ha sido el principal determinante de actualización en las estimaciones para los análisis de exposición, salud y valoración económica de los impactos de la mala calidad del aire en la salud (Bhat, Jiawen, & Farzaneh, 2021; Burnett *et al.*, 2018; Ostro *et al.*, 2018; Southerland *et al.*, 2022; Xu, Yang, & Li, 2022; Yang *et al.*, 2022)including ambient air pollution (AAP.

Las mejoras en la estimación de la exposición a contaminantes atmosféricos han sido posibles gracias al uso de información satelital y modelos fotoquímicos atmosféricos de diferentes escalas. Estas herramientas han permitido generar la estimación de concentraciones de $PM_{2.5}$ en áreas donde el monitoreo a través de sistemas de vigilancia no está disponible o no es viable por diversas particularidades (Bui, Nguyen, & My Nguyen, 2021; Im *et al.*, 2018; Kim, Kim, Jeong, & Choi, 2019; Neumann et al., 2021; Requia, Amini, Mukherjee, Gold, & Schwartz, 2021). Aun así, es fundamental contar con una mayor comprensión de la contaminación atmosférica desde el punto de vista de riesgo de afectación por exposición, y particularmente del vínculo que esta tiene con el desarrollo de enfermedades crónicas.

En términos de relación con la salud, la cadena de efectos entre la contaminación del aire y quien está expuesto aún requiere una mayor comprensión. El incremento marginal de las concentraciones de partículas y su relación con el impacto en la salud de la población son cada vez más objeto de estudios, dada la amplia variabilidad de condiciones, interacciones y mecanismos existentes. En este sentido, si bien las estimaciones metaanalíticas disponibles del promedio de la distribución de la asociación entre una exposición a PM menor a 2,5. micrómetros y mortalidad proveen evidencia significativa de la relación con muertes pulmonares y cardiorrespiratorias, en este momento la información disponible para Latinoamérica y el Caribe sigue siento limitada (Bell *et al.*, 2011; Gouveia, Cifuentes, Ponce, Leon, & Strappa, 2012; Pope, Coleman, Pond, & Burnett, 2020).

Respecto a valoración económica, esta habitualmente se aborda desde la aproximación inicial del valor que se puede asociar a la contaminación atmosférica y la calidad de vida. En general, esta interacción puede estar categorizada en dos sentidos: costos de mercado y costos de no mercado. Los primeros se asocian con gastos en salud, productividad laboral y productividad agrícola, y los segundos se relacionan con mortalidad prematura y pérdida de bienestar (dolor y sufrimiento) por la enfermedad (OECD, 2016). Es importante mencionar que el enfoque del análisis de la valoración económica depende de la priorización que se haga de estas categorías. Esta priorización dependerá de qué categorías presentan mayor relevancia en la exposición a aire contaminado.

Cabe señalar que, por lo general, se parte de la consideración en relación a la compensación entre el riesgo de muerte y el dinero (expresada como la disposición a pagar por una disminución en el riesgo al que se está expuesto, es decir, el valor a pagar por prevenir una fatalidad), o también se puede dar mayor peso a las consecuencias de la degradación del aire en la reducción de la calidad o tiempo de vida, en comparación con una expectativa de la misma, y los potenciales consumos o productividad dejadas de percibir por muerte prematura o pérdida de capacidades (Alpízar, Piaggio, & Pacay, 2017; OECD, 2011). Para una valoración económica directa relacionada con los gastos en salud por la aparición de enfermedades evitables y atribuidas a las concentraciones de contaminantes atmosféricos, se consideran los costos de enfermedad (COI), que contemplan los gastos en atención de la enfermedad y la pérdida de productividad por la restricción en la actividad laboral (Castillo, 2010).

En general esta interacción puede estar categorizada en dos sentidos: costos de mercado y costos de no mercado, en donde los primeros se asocian con gastos en salud, productividad laboral y productividad agrícola, y los segundos se relacionan con mortalidad prematura y pérdida de bienestar (dolor y sufrimiento) por la enfermedad (OECD, 2016).

03

JUSTIFICACIÓN



El presente documento de actualización busca orientar la toma de decisiones para una actuación pronta y efectiva de la gestión de la calidad del aire a nivel nacional y subnacional, en el marco del derecho de la población colombiana a un ambiente sano. Es fundamental tener en cuenta que este tipo de análisis son una aproximación a un problema de alta complejidad, en donde las restricciones de información definen los abordajes para responder a la pregunta del dimensionamiento de la valoración económica de la contaminación del aire por $PM_{2.5}$. Cabe señalar que esta complejidad conecta multiplicidad de dimensiones socioeconómicas, de las cuales solo es posible abordar algunos de los aspectos considerados de mayor relevancia. Tales aspectos son definidos mediante supuestos razonables, que buscan conservar la coherencia de las distintas aproximaciones metodológicas.

En este sentido, el estudio tiene como base fundamental la implementación del principio de "precaución" para definir el uso e incorporación de la información bajo escasez de certeza en los datos de entrada, por lo que se reitera que el estudio busca actualizar el dimensionamiento de la problemática en órdenes de magnitud, buscando en lo posible aplicar la actualización metodológica mediante fuentes de datos locales y estudios que puedan ser lo más comprensivo viable. Este principio establece que "cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente" (Ley 99 de 1993, artículo 1).

La aplicación de la metodología busca presentar los resultados en un intervalo de confianza. Este en principio correspondería exclusivamente a la fuente de datos de riesgos relativos de desenlaces en salud por exposición a incrementos de material particulado $PM_{2.5}$. Por esto es posible que parte de la incertidumbre no se capture del todo. Es necesario resaltar que una de las principales limitaciones en este tipo de estudios es la disponibilidad de informes robustos a nivel local que describan los vínculos entre la salud y los aumentos en la contaminación por material particulado. Asimismo, se resumen en cada una de las secciones de cálculo las características de representatividad espacial y temporal de los datos de entrada, en particular para la exposición a $PM_{2.5}$. Por lo anterior, se incluye la agregación de valores de concentración de estaciones a escala municipal con el cálculo de los promedios y las medianas, bajo el supuesto de que son representativos de la calidad del aire de la totalidad de la población expuesta de los municipios analizados.

Por último, cabe señalar que la aproximación metodológica se planteó de tal forma que fueran consideradas las diferentes orientaciones de expertos en cada uno de los componentes de exposición, relación en salud y valoración económica, esto con el propósito de identificar posibles aproximaciones pragmáticas que permitieran desarrollar el objetivo del estudio con base en información disponible, evitando el uso de relaciones que representen escasamente las condiciones del país. Asimismo, las dimensiones contempladas en la metodología ilustran, a su vez, los factores involucrados en la gestión de la calidad del aire, tanto a nivel de conocimiento y prevención, como de control y reducción. La gestión de la calidad del aire implicará destinar efectivamente recursos que atiendan tanto a la planeación de mediano y largo plazo, como en el manejo de contingencias de corto plazo. Los resultados de esta gestión y las inversiones necesarias redundan en el bienestar de la población y su calidad de vida.

04

METODOLOGÍA



De acuerdo con el proceso de estimación empleado para el año 2015 (DNP & Fondo Acción, 2018), se presenta a continuación la actualización de la metodología de "valoración económica del impacto de la contaminación atmosférica en Colombia 2015 - 2018". Esto con base no solo en información disponible e investigaciones consultadas, sino también producto del trabajo de mesas técnicas con expertos del IDEAM, Observatorio Nacional de Salud (ONS), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Salud y Protección Social, Departamento Nacional de Planeación (DNP), así como de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), que proporcionaron insumos cruciales para el desarrollo del presente documento técnico. Dicho esto, la estructura general de la metodología de valoración económica del impacto de la contaminación atmosférica se resume en tres componentes agregados: exposición, vínculo con salud y valoración económica (figura 1). Las figuras 2, 3 y 4 presentan en detalle el contenido de cada uno de los componentes mencionados.

Figura 1. Estructura de la metodología de valoración económica del impacto de la contaminación atmosférica en salud.

1 EXPOSICIÓN

- Estimación de población expuesta.
- Información calidad del aire.

2 EFECTOS EN SALUD

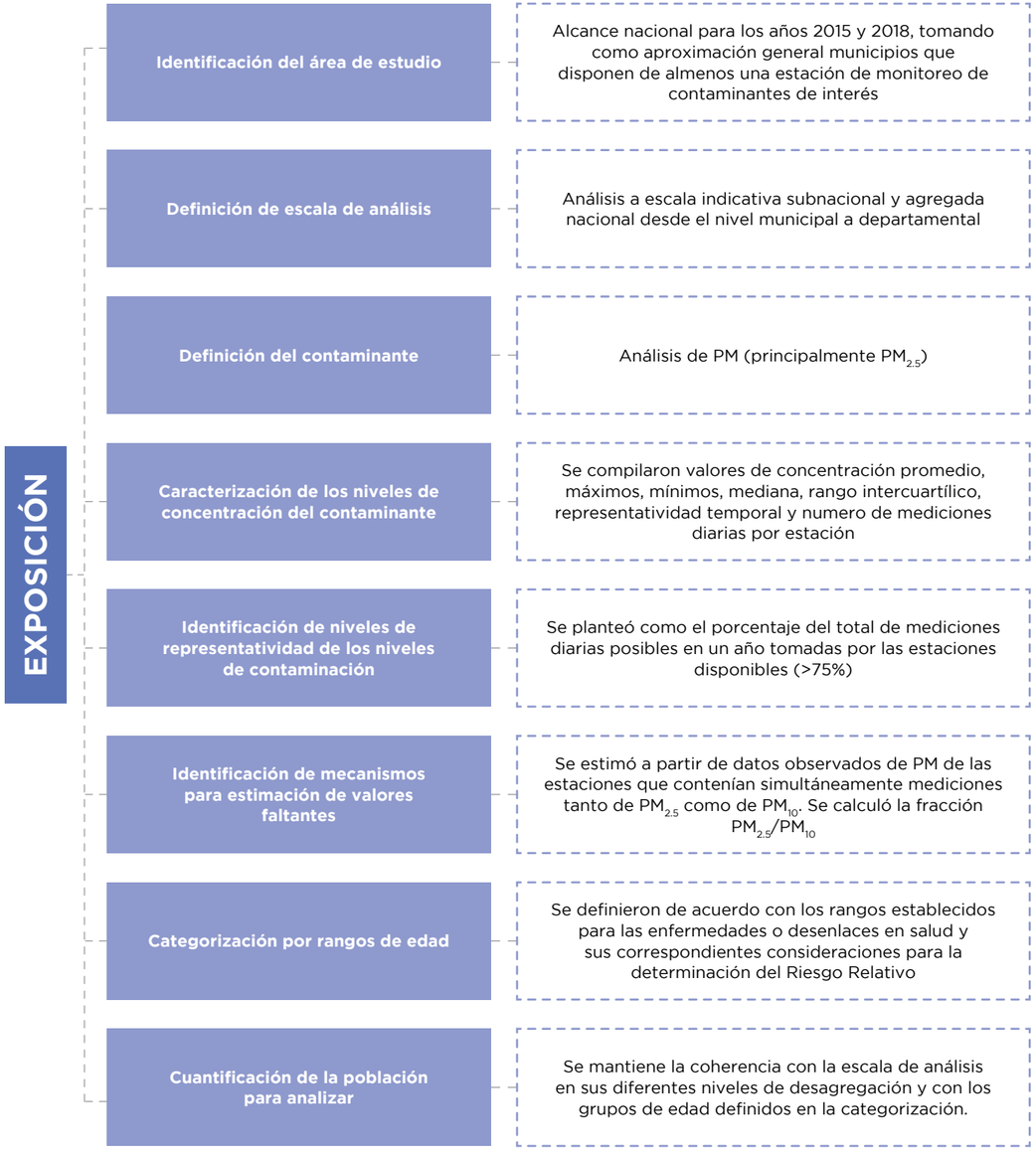
- Mortalidad y Morbilidad.
- Atribución y Estudios epidemiológicos.
- Riesgos relativos por desenlaces en salud - Revisión publicaciones científicas.

3 VALORACIÓN ECONÓMICA

- Costos directos por atención en salud para morbilidad por desenlaces en salud definidos.
- Costos indirectos por perdida de la productividad.

Fuente: basado en Bhat *et al.,* 2021; Bjorn Larsen, 2004; Castillo, 2010; Golub *et al.,* 2014; Hammitt, Morfeld, Tuomisto, & Erren, 2020; Im *et al*., 2018; INS & ONS, 2018; Ostro, 2004; WHO, 2016.

Figura 2. Metodología de valoración económica del impacto de la contaminación atmosférica en salud: componente de exposición.



Fuente: elaboración propia.

*Infecciones respiratorias agudas de las vías respiratorias bajas (IRBA), enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), enfermedad isquémica del corazón (EIC), accidente cerebrovascular (ACV), cáncer de pulmón (CP) y diabetes mellitus tipo II (DIAB2)

Figura 3. Metodología de valoración económica del impacto de la contaminación atmosférica en salud: componente de relación con salud.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Metodología de la valoración económica del impacto de la contaminación atmosférica en salud: componente de valoración económica.

VALORACIÓN ECONÓMICA	
Definición de enfoque	Se mantiene el uso del valor estadístico de la vida mediante la aproximación de Castillo, 2010
Identificación de valor estadístico de la vida ajustado	Transferencia de beneficios a partir de estudios de Chile, Brasil y México estimado por Castillo 2010. El valor es ajustado por inflación para los años de análisis
Identificación de tratamientos y costos de atención respectivos	Estrategia que agrupa el costo de enfermedad de consultas, diagnósticos, procedimientos, urgencias, unidad de cuidados intensivos y hospitalizaciones
Estimación de costos de mortalidad por cada efecto en salud	Uso del valor estadístico de la vida multiplicado por cada defunción atribuible en cada causa específica
Estimación total de costos de mortalidad	Sumatoria de los costos individuales de cada causa específica para los años 2015 y 2018
Estimación de costos de morbilidad por cada efecto en salud	Para cada efecto en salud en términos de morbilidad, se multiplica el valor de su tratamiento tipo unitario por el número respectivo de cada desenlace. Asimismo, se realiza la estimación del valor de los días de pérdida de productividad por hospitalización e incapacidad multiplicado por duración y número de eventos
Estimación total de costos morbilidad	Sumatoria de los costos por cada desenlace en salud definido para morbilidad, incluyendo costos de atención y por pérdida de productividad
Estimación total de costos	Sumatoria de costos por mortalidad y morbilidad
Producto interno bruto per cápita	Consulta para el año de comparación 2018 o 2015
Producto interno bruto al año de estudio	Consulta para el año de comparación 2018 o 2015
Comparación con referentes económicos	Estimación de la relación en términos de porcentaje entre los costos totales de morbilidad y mortalidad entre la información de referencia

Fuente: elaboración propia.



De acuerdo con el alcance de este estudio, el punto principal de partida es la actualización de la metodología empleada en las estimaciones de base de DNP & Teknidata-Ecosimple (2018).

05

RESULTADOS



POBLACIÓN

De acuerdo con las retroproyecciones establecidas, Colombia contó con 46.313.898 habitantes para el año 2015. Esta cifra aumentó a 48.258.494 para el año 2018 (un crecimiento de aproximadamente el 4,2%) según el Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 (CNPV-2018). Teniendo en cuenta la disponibilidad de información de calidad del aire a nivel nacional, 81 municipios de los 1122 que tiene el país registraron monitoreos de PM en 2015 y 2018. En este sentido, la población objeto del presente estudio se estimó en 22.610.702 habitantes para el año 2015 (corresponde al 48,8% de la población en 2015) y en 26.278.575 para el año 2018 (corresponde al 54,4% de la población en 2018), esto teniendo en cuenta que de un año a otro los municipios con información de calidad del aire son diferentes.

CALIDAD DEL AIRE

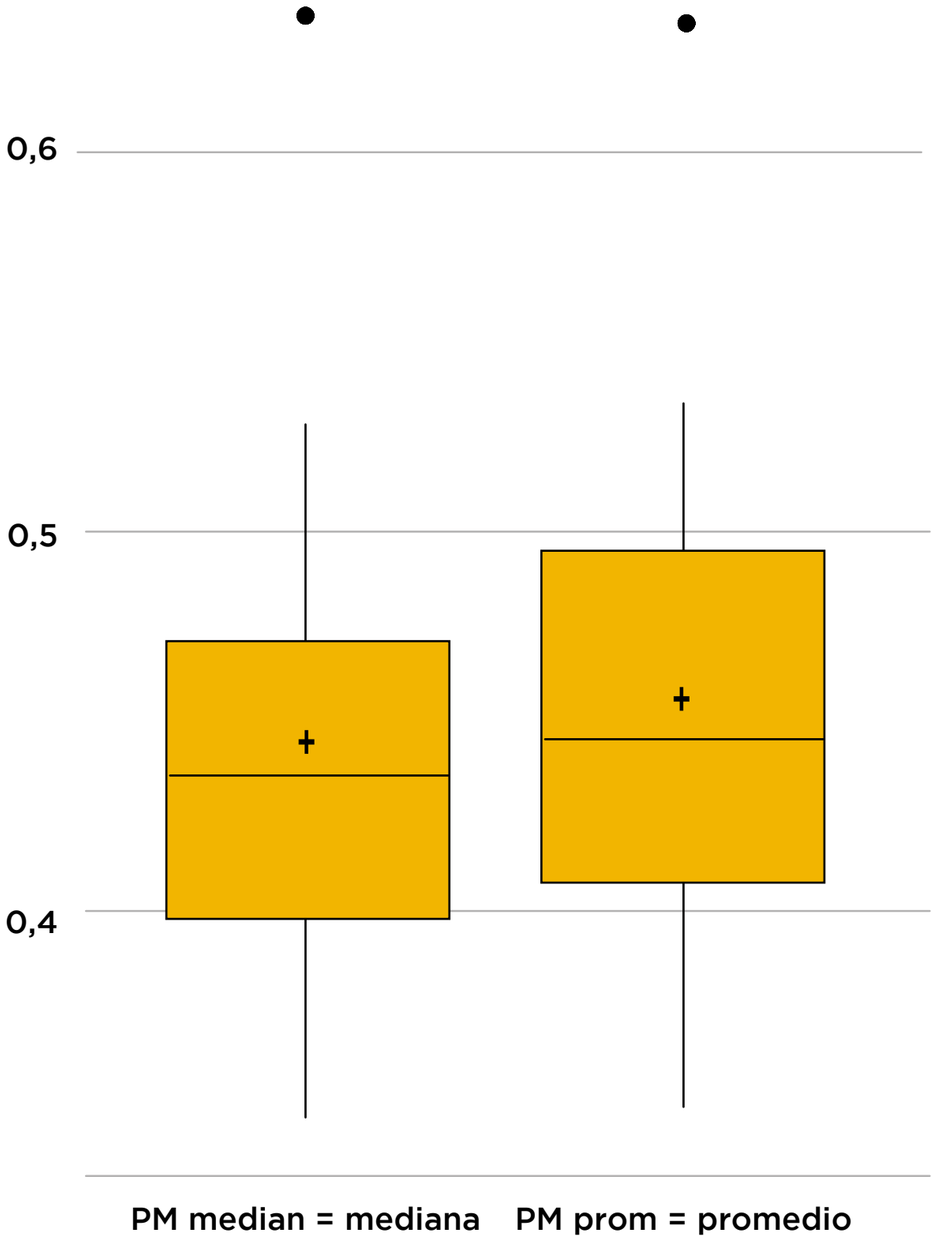
La estimación de las afectaciones en la salud humana consideradas en el presente estudio se relacionó con los cambios en la concentración de $PM_{2.5}$. Dicho esto, se analizaron 81 municipios del territorio nacional que para el año 2015 estuvieron localizados en 19 departamentos[3], mientras que para el año 2018 estuvieron localizados en 22 departamentos[4] Estos municipios registraron concentraciones de $PM_{2.5}$ en al menos una estación de monitoreo con representatividad temporal superior al 75% y/o registraron concentraciones de PM_{10} que permitieran estimar las concentraciones locales de $PM_{2.5}$ (esto a través de la fracción $PM_{2.5}/PM_{10}$). En este estudio, los resultados de dicha fracción oscilaron sobre los 0,451. La figura 5 presenta los diagramas de caja del conjunto de datos analizados para estimar la fracción $PM_{2.5}/PM_{10}$ en cada uno de los años de estudio, en este caso con valores de representatividad temporal superiores al 75%. Las graficas muestran una mayor variabilidad para el año 2018.

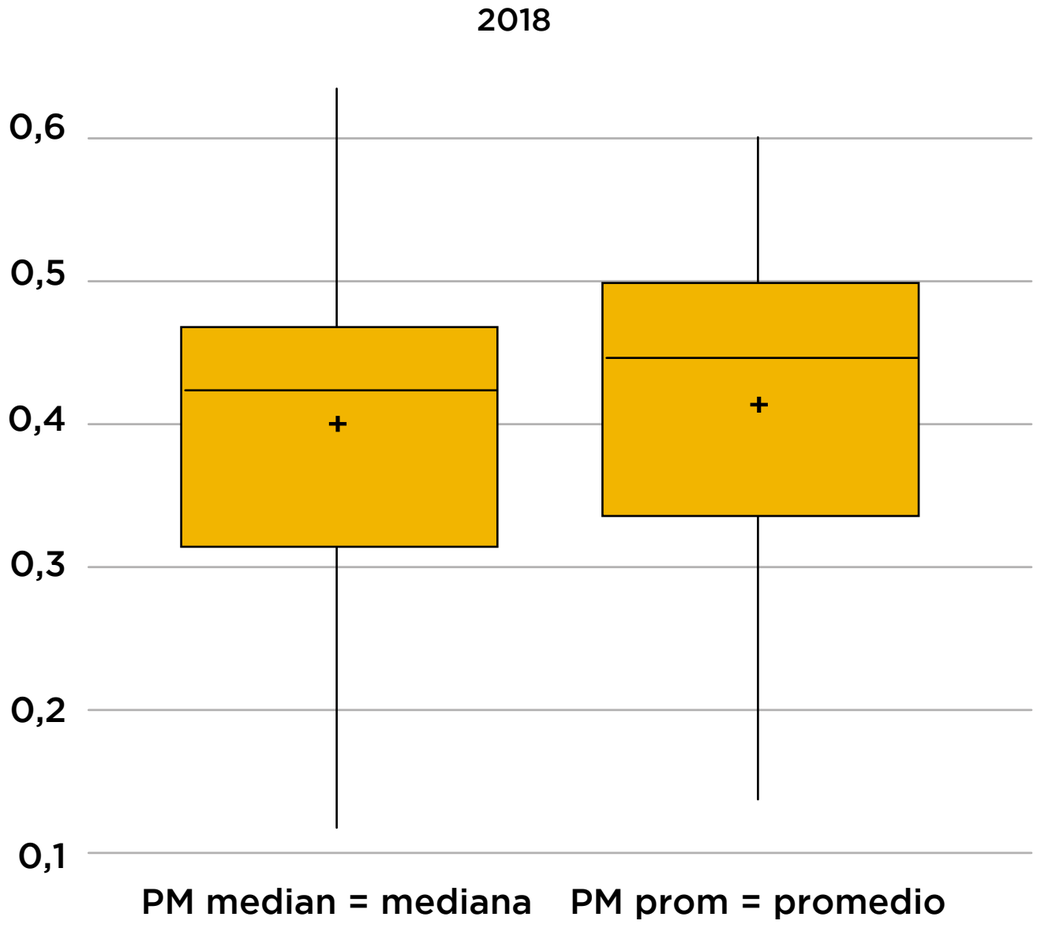
3. Antioquia, Bogotá D.C., Bolívar, Boyacá, Caldas, Cauca, Cesar, Córdoba, Cundinamarca, Huila, La Guajira, Magdalena, Nariño, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima y Valle del Cauca.

4. Atlántico y Meta se suman a los departamentos analizados para el año 2015.



Figura 5. Fracción promedio anual de PM2.5/PM10 durante los años 2015 y 2018.





Fuente: este estudio con datos de SISAIRE-IDEAM.

Considerando la disponibilidad de información de concentración promedio de PM en 2015, en total fueron 38 municipios los que presentaron al menos una estación con información de representatividad temporal superior al 75% y 75 municipios para los que se empleó el cálculo a partir de la fracción $PM_{2.5}/PM_{10}$. Cabe señalar que 48 municipios registran información en al menos una estación de monitoreo, pero esta no cumple con representatividad temporal de los datos. Para el año 2018, el número de municipios con al menos una estación con representatividad temporal superior al 75% fue de 29, mientras que el número de municipios que requirieron el uso de la fracción $PM_{2.5}/PM_{10}$ fue de 75. El número de municipios que presentaron al menos una estación con representatividad por debajo del 75% fue de 48. Dicho esto, las figuras 6 y 7 presentan en detalle la concentración promedio anual de $PM_{2.5}$, observada e imputada por municipio para los años 2015 y 2018 respectivamente. Entiéndase por "imputada" como aquella concentración promedio anual de $PM_{2.5}$, que ha sido estimada a través de la fracción $PM_{2.5}/PM_{10}$.

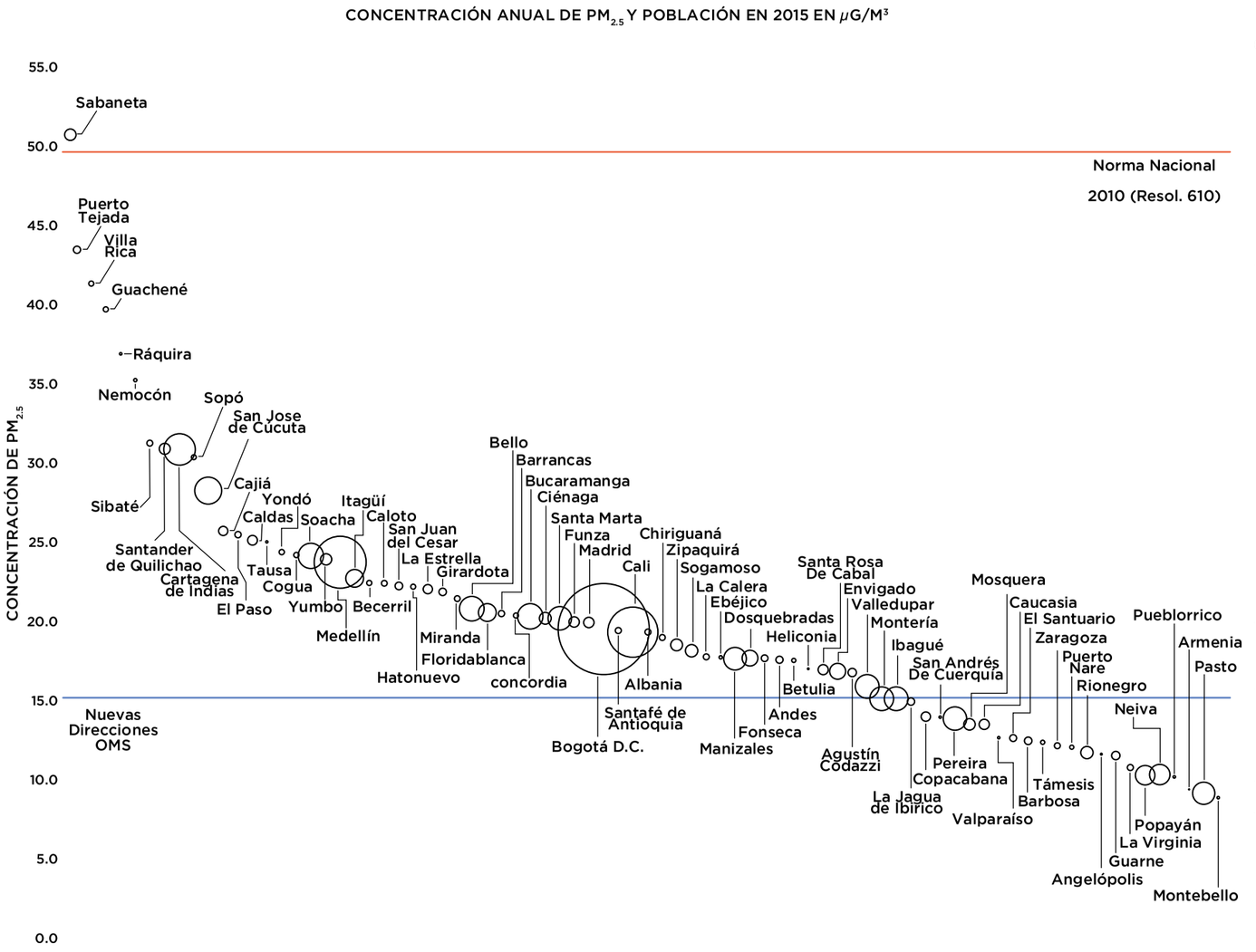
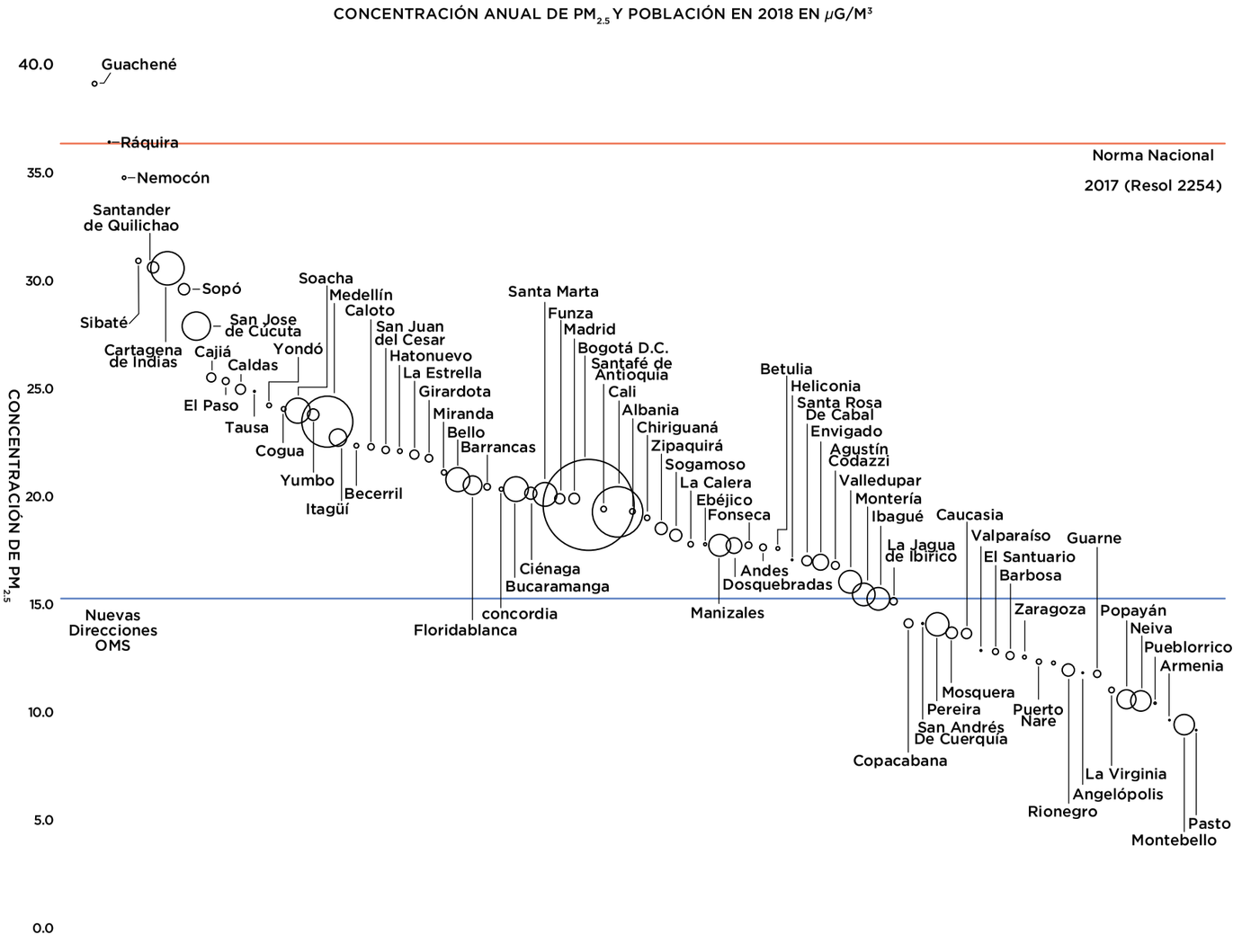


Figura 6 - 7. Concentración promedio anual de PM2.5 observada e imputada por municipio para 2015 - 2018.



Fuente: este estudio con datos de SISAIRE-IDEAM.

DESENLACES EN SALUD

Con base en el inventario de estudios recientes disponibles frente a la estimación de carga ambiental de la enfermedad en Colombia y otros países (particularmente por contaminación del aire), la tabla 1 presenta las causas específicas o desenlaces en salud tenidos en cuenta para calcular la mortalidad y morbilidad atribuibles a la contaminación atmosférica por $PM_{2.5}$. Estas causas específicas son infecciones agudas de las vías respiratorias bajas (IRBA), enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), enfermedad isquémica del corazón (EIC), accidente cerebrovascular (ACV), cáncer de pulmón (CP) y diabetes mellitus tipo II (DIAB2). Cabe señalar que, en cuanto a morbilidad, debido a la falta de información e incertidumbre en la estimación de desenlaces en salud, el presente estudio consideró razonable mantener las causas específicas que han venido siendo analizadas en los diferentes estudios de valoración, con la inclusión únicamente de DIAB2 (con base en información del Estudio Global de Carga de la Enfermedad) para todos los rangos de edad.

Tabla 1. Causas específicas estudiadas para el análisis de mortalidad y morbilidad atribuible.

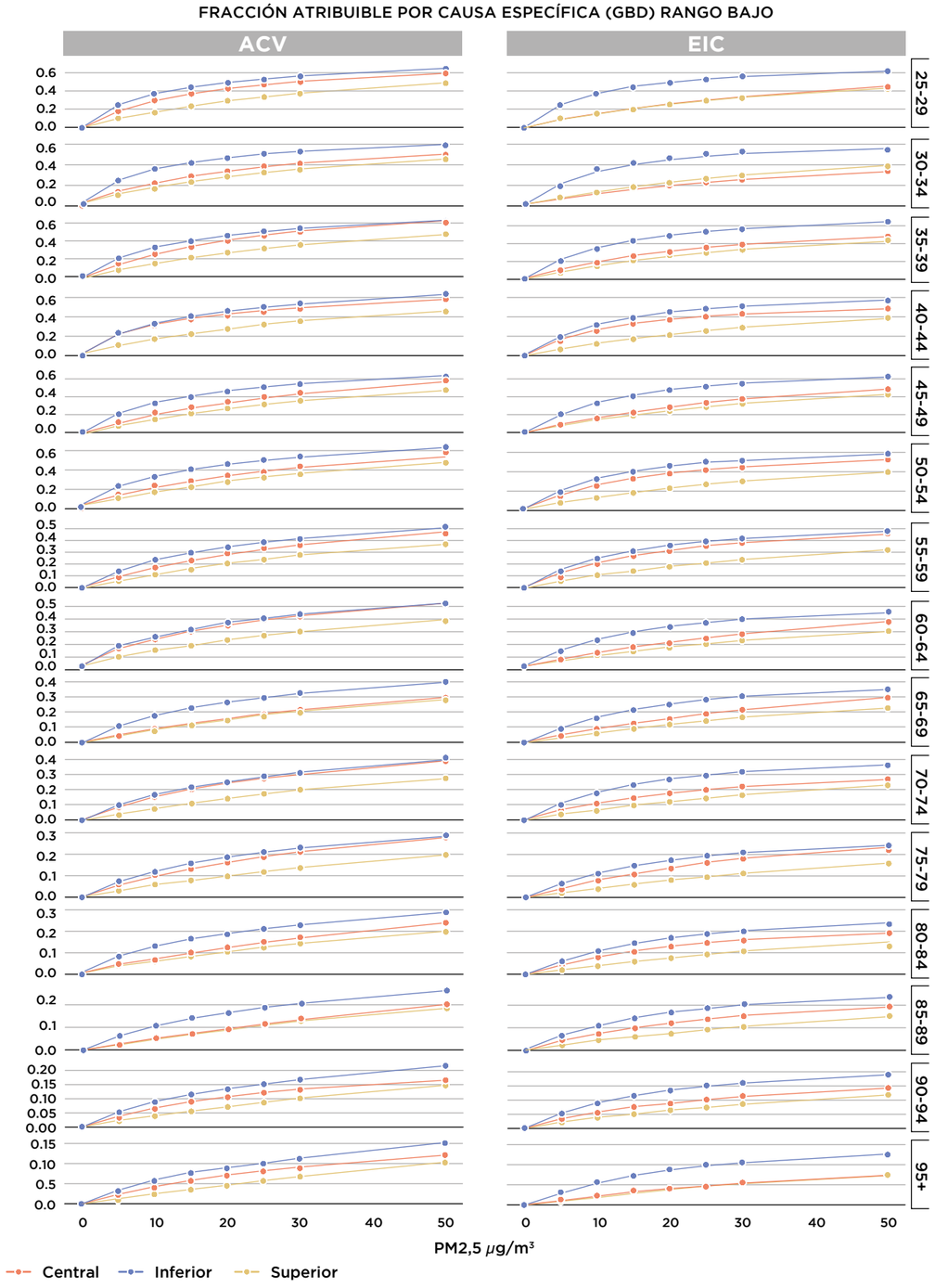
Causas específicas	Códigos CIE 10
IRBA - Todas las edades	J09 - J22, P23, U04
EPOC - Todas las edades	J40 - J44
EIC - Mayores a 25 años	I20 - I25
ACV - Mayores a 25 años	I60 - I69
CP - Todas las edades	C33 - C34
DIAB2 - Todas las edades	E10-E14 (menos E10.2, E11.2, E12.2, E13.2, E14.2)

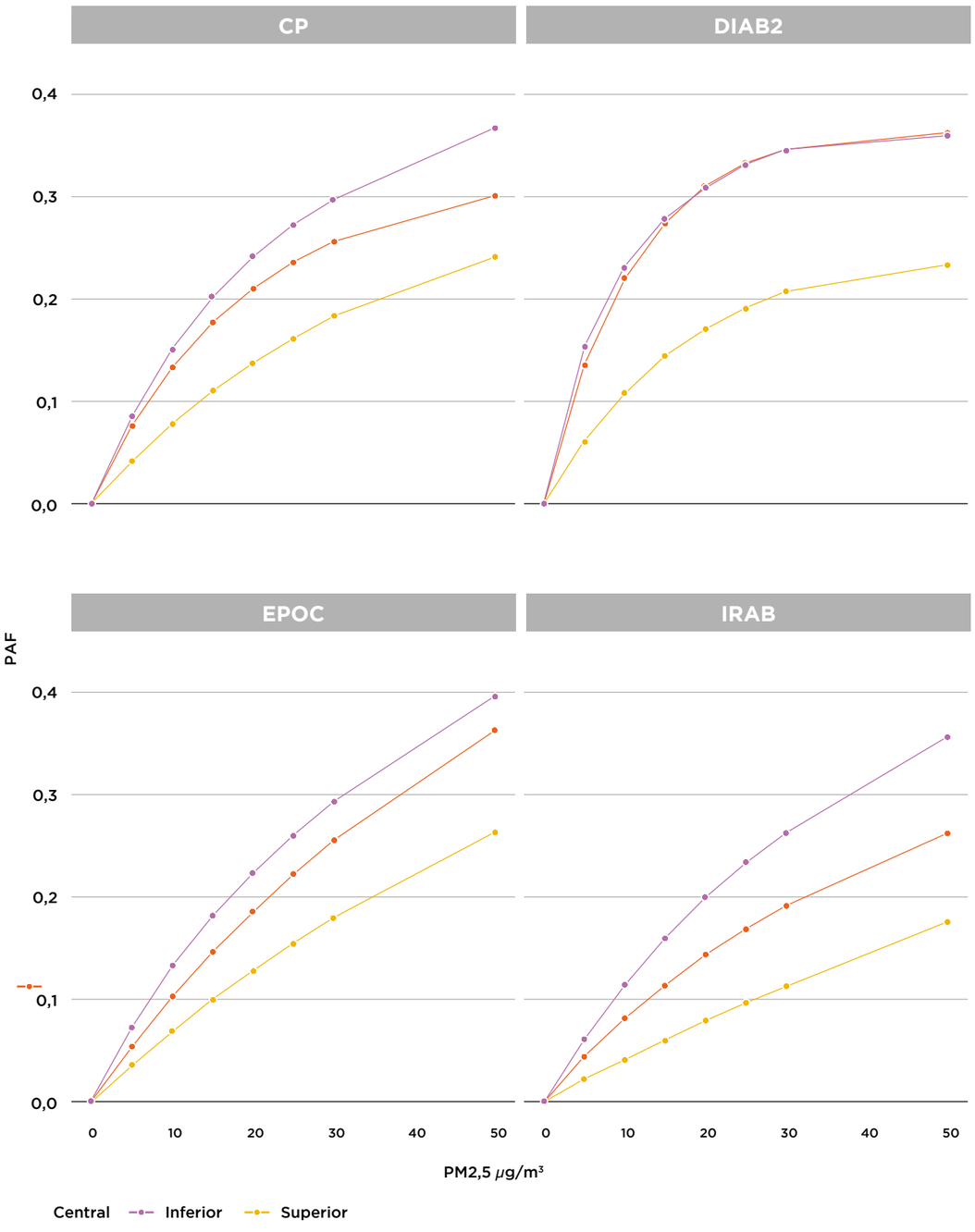
Fuente: WHO, 2020.

En cuanto al vínculo de los efectos o desenlaces en salud con los diferentes niveles de concentración de $PM_{2.5}$, la información que permitió estimar la fracción atribuible a partir del riesgo relativo se tomó de GBD 2019 Risk Factors Collaborators, 2020; Grisales-Romero *et al.*, 2021 aplicada para los casos de atenciones por hospitalizaciones en los municipios estudiados. La figura 8 presenta gráficamente los valores de fracción atribuible poblacional (PAF, por sus siglas en inglés) para desenlaces específicos derivados de riesgos relativos.

Como se observa en la figura 8, para el caso de enfermedades relacionadas con ACV y EIC cuyo riesgo esta desagregado por rangos de edad, los valores esperables de fracción atribuible para deltas de concentración de hasta 50 µg/m³ estarían a lo sumo cerca de valores de PAF de 0,4 - 0,6 para edades en adultos menores de 50 años, y disminuye gradualmente para adultos mayores de 65 años. Para el resto de los desenlaces analizados, los valores máximos de PAF estarían por debajo de 0,4.

Figura 8. Valores de PAF para desenlaces específicos del GBD 2019.





Fuente: elaborado a partir de datos de (Global Burden of Disease Collaborative Network, 2020).

MORTALIDAD

Resultados base

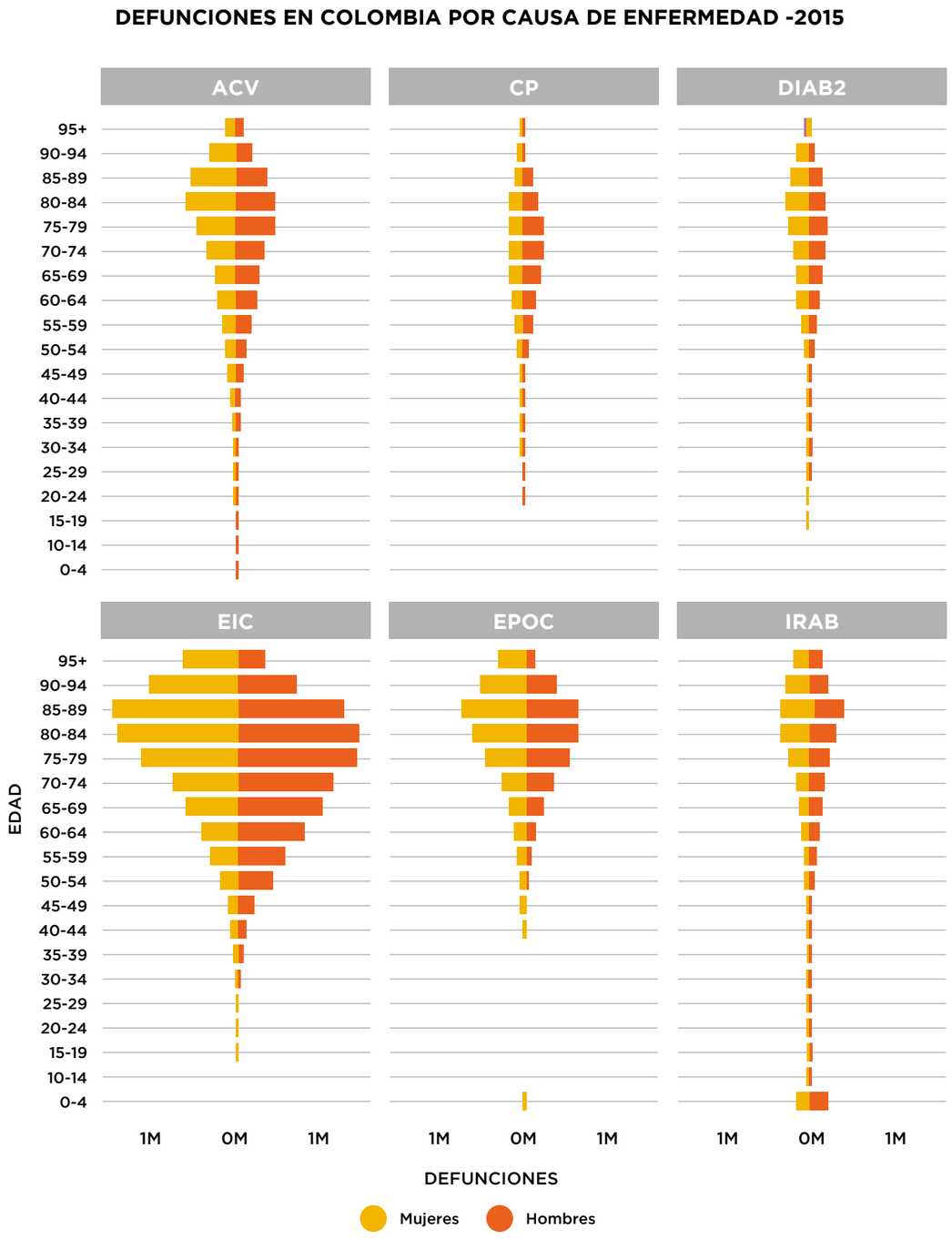
Para el año 2015 se registraron 219.472 muertes a nivel nacional, de las cuales 262 no contaron con la información de edad. Dicho esto, fueron analizadas en total 219.210 defunciones, de las cuales 28.217 correspondieron a muerte violenta y 189.855 (86,5%) a muertes naturales. De tal cifra, se identificaron 81.474 muertes que procedieron en un 44,4% de EIC, en un 16% de EPOC, en un 15,3% de ACV, en un 10,9% de IRAB, en un 7,2% de DIAB2 y en un 6,3% de CP.

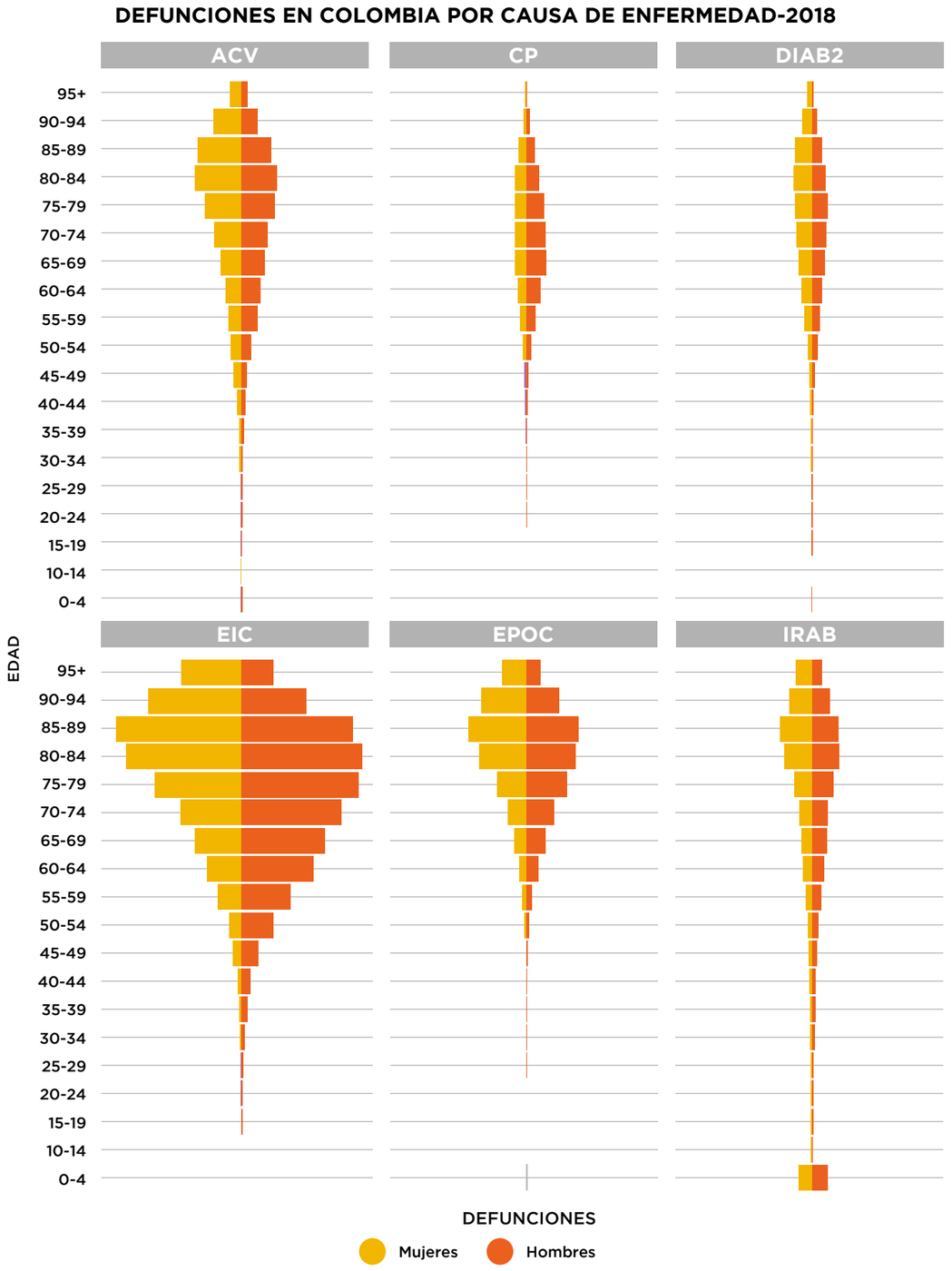
Por otra parte, para el año 2018 se registraron 236.932 muertes en total, con 12 defunciones sin información de edad. Dicho esto, fueron analizadas 236.920 defunciones, de las cuales 29.293 fueron de origen violento y 206.259 fueron por causa natural (87,1%). De tal cifra, se identificaron 88.934 muertes que procedieron en un 45,2% de EIC, en un 15,3% de EPOC, en un 15,2% de ACV, en un 11,5% de IRAB, en un 6,9% de DIAB2 y en un 5,9% de CP (ver figura 9). En términos generales, los datos anteriormente presentados indican un incremento del 8,6% en la mortalidad natural entre 2015 y 2018 (más de16.404 muertes). Este porcentaje cambia a un incremento del 9,1% para las muertes estudiadas.

Para las causas específicas analizadas, con base en los municipios estudiados que cuentan con monitoreo de PM, en 2015 se abarcan 47.967 defunciones de las cuales 19.054 proceden de EIC, 8271 de ACV, 7920 de EPOC, 5723 de IRAB, 3671 de CP y 3328 de DIAB2. En 2018 se abarcan 58.164 defunciones, de las cuales 23.765 proceden de EIC, 10.022 de ACV, 8856 de EPOC, 7438 de IRAB, 4074 de CP y 4009 de DIAB2. Para el caso de EIC y ACV se filtran las muertes en edades inferiores a los rangos de riesgo relativo (>25 años).



Figura 9. Pirámides de defunciones de Colombia por causa específica para los años 2015 y 2018.





Fuente: elaborado a partir de datos de estadísticas vitales del DANE.

Resultados atribuibles

Una vez procesada la información de exposición, mortalidad y riesgo relativo, se realizó la estimación de la PAF para cada municipio objeto de estudio y en cada una de las causas específicas. Dicha estimación tuvo en cuenta: i) los límites inferior, central y superior del intervalo de confianza del riesgo relativo, y ii) los valores de riesgo relativo asignados para cada intervalo de diferencia de concentración promedio de material particulado en aire ambiente (5,0 ug/m^3). Cabe señalar que una vez la información fue procesada, se determinó que no existe diferencia significativa para los valores estimados de muertes atribuibles en función del uso del promedio y la mediana como estimadores de la agregación del valor anual representativo en los municipios estimados. Por esta razón, la presente investigación toma el promedio como estimador conservativo de las muertes totales atribuibles.



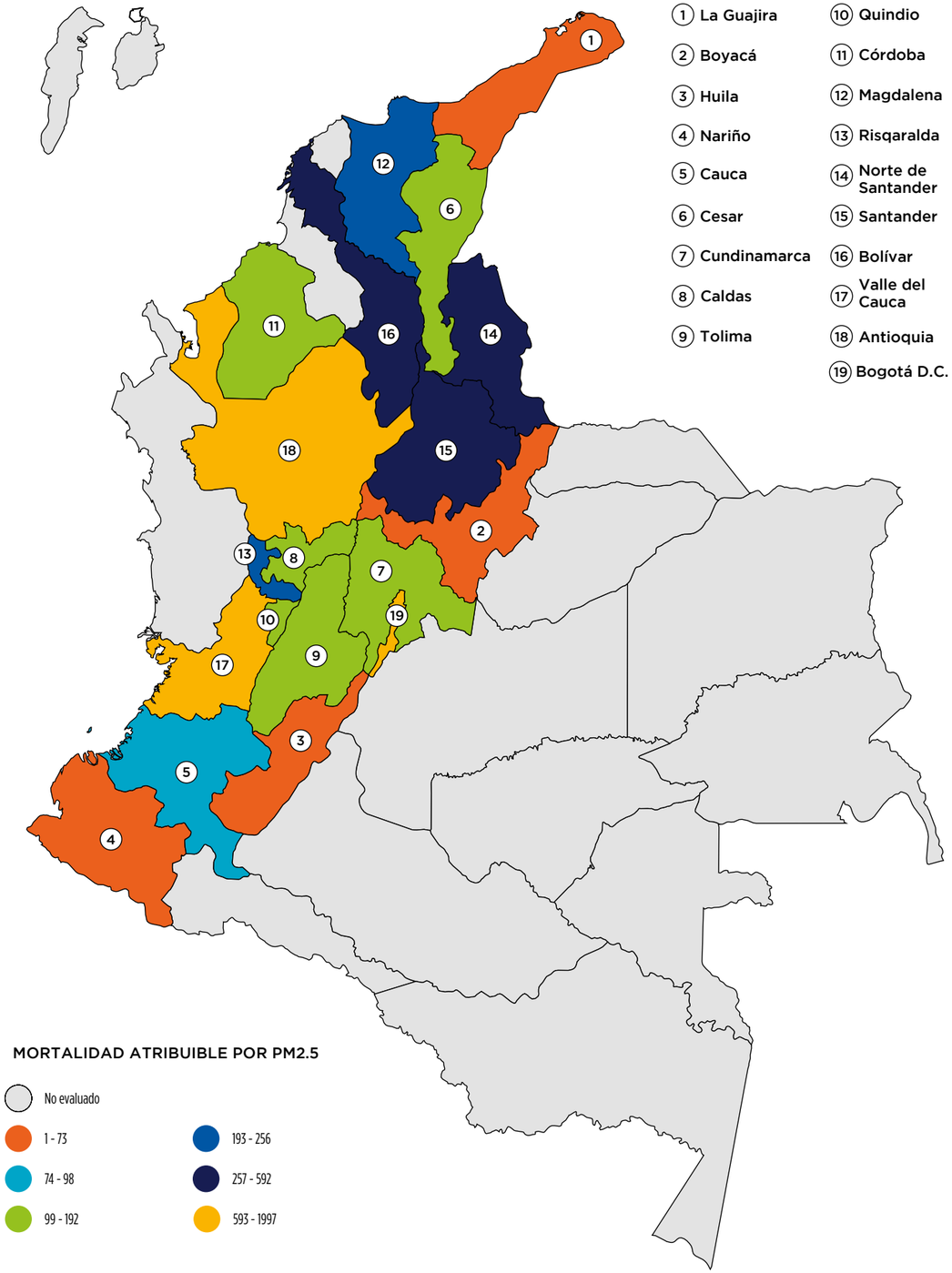
En **2015** las muertes totales atribuibles a la concentración de $PM_{2.5}$ para las causas específicas estudiadas se cuantificaron en promedio **7325 (4589[5] - 9641[6]).** En comparación con el total agregado de muertes para las causas específicas en los municipios analizados (47.967), el año 2015 presenta una fracción atribuible ponderada de **0,152.** Cabe señalar que la mayor concentración de defunciones atribuibles se dio en Bogotá D.C (1863), Antioquia (1543), Valle del Cauca (947), Bolívar (435) y Norte de Santander (398). Estos departamentos junto con Santander, Risaralda y Magdalena agrupan el 80% de las muertes atribuibles (ver figura 10). Por su parte, La Guajira fue el departamento con el menor porcentaje de muertes atribuibles, con tan solo el 0,5%. En cuanto a las causas específicas, las tres mayores proporciones se relacionan con EIC (2578), ACV (1279) y EPOC (1165) (figura 11).

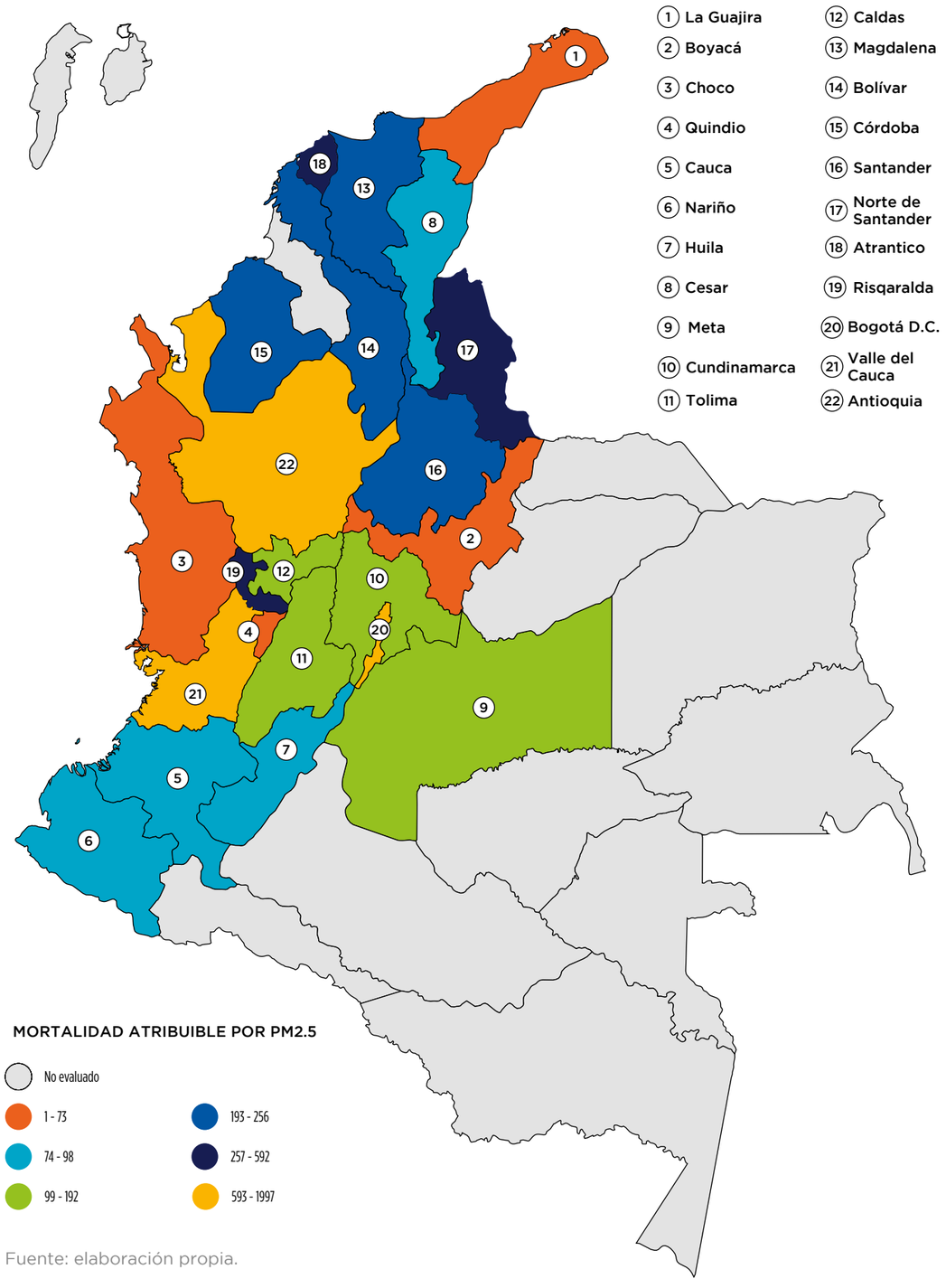
En **2018** se estimaron en promedio **7754 (4754 - 10.432)** muertes atribuibles a la exposición a $PM_{2.5}$ en los municipios objeto de estudio. Estas muertes correspondieron a una fracción del **0,133%** de las 58.164 defunciones para las causas y municipios incluidos en el análisis (fracción ligeramente inferior a la presentada para el año 2015, lo que se traduce como una señal preliminar de progreso en la contención de la exposición de la población a ambientes contaminados por PM2.5). Los departamentos de Bogotá D.C. (1997), Antioquia (1306), Valle del Cauca (1089) y Atlántico (592) conservan la mayor cantidad de defunciones atribuibles, que con Norte de Santander, Risaralda, Santander, Córdoba y Bolívar acumulan alrededor del 80% de las muertes atribuibles por exposición a $PM_{2.5}$ (ver figura 10). Nuevamente, La Guajira ocupa el último puesto en defunciones atribuibles, con el 0,03%. La proporción de muertes por causa específica están lideradas por EIC (2859), ACV (1377), EPOC (1153), DIAB2 (996), IRAB (724) y CP (645) (figura 11).

5. Rango inferior.

6. Rango superior..

Figura 10. Mortalidad atribuible por exposición a PM2.5 para los años 2015 y 2018.





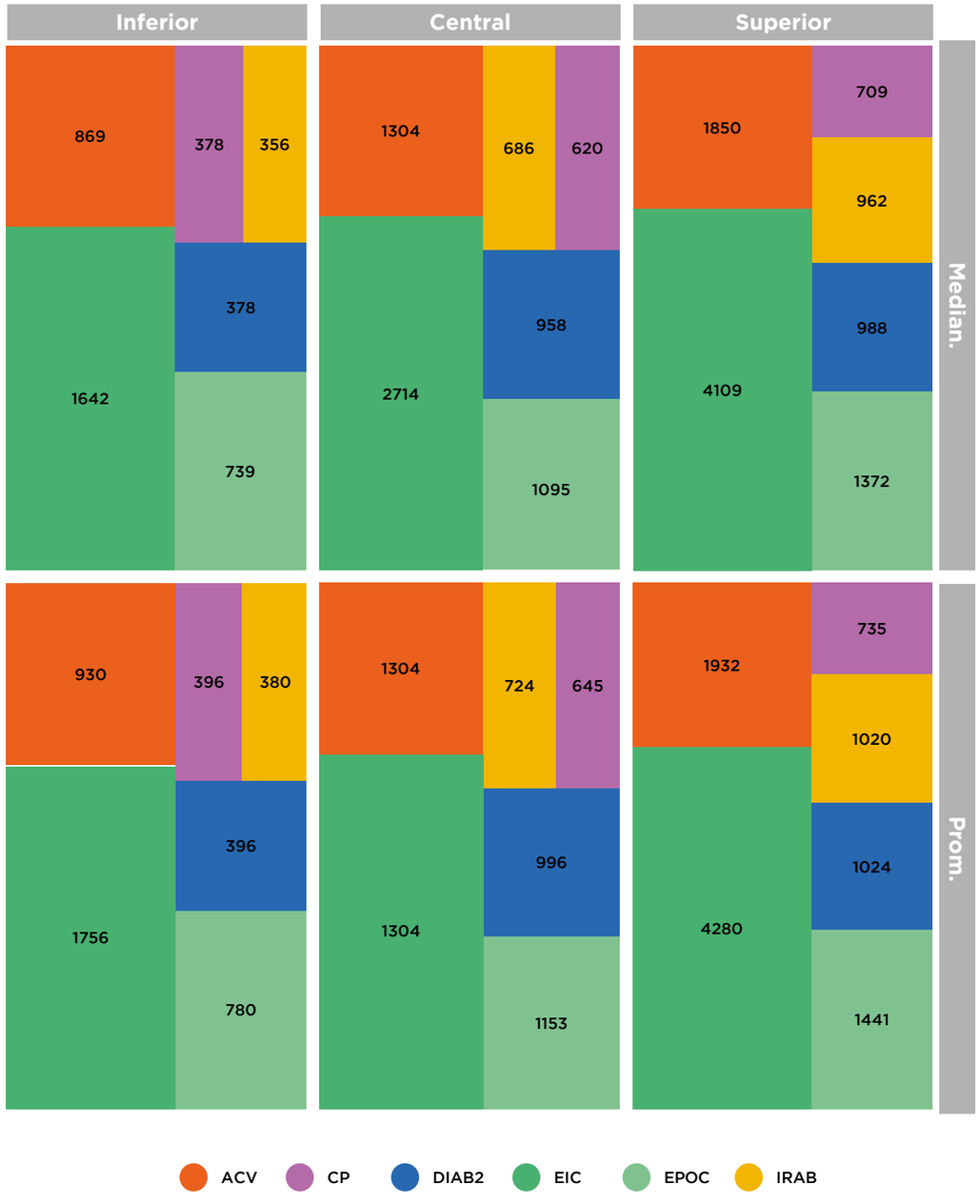
Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Mortalidad atribuible por PM2.5 desagregada por causa específica para los años 2015 y 2018.



2018

DEFUNCIONES ATRIBUIBLES POR PM2.5 $\mu g/m^3$ NACIONALES POR CATEOGORÍAS-2018



Fuente: elaboración propia.



MORBILIDAD

Resultados base

La figura 12 presenta los resultados de morbilidad para los desenlaces en salud evaluados a nivel nacional. Para los municipios objeto de estudio, de acuerdo con la metodología[7] definida para el cálculo de la morbilidad en Colombia, los casos generales de morbilidad para el año 2015 son de aproximadamente 7,6 millones, y aumentaron a un poco más de 9 millones en 2018. Teniendo en cuenta dicha información, la base de casos de hospitalización obtenida del RIPS indica que, en promedio, para el 2015 las atenciones por ingreso hospitalario[8] conforman, del total, 3,9% para IRAB, 3,1% para CP, 2,8% para EIC, 2,2% para ACV, 2,1% para EPOC y 0,6% para DIAB2. Para el 2018, los valores son relativamente similares para IRAB (3,9%), EIC (2,5%), ACV, EPOC y CP (2,0%), pero totalmente diferentes para DIAB2 (4,0%).

7. Teniendo como base los datos provenientes del RIPS en cuanto a número de pacientes y atenciones (desagregadas estas en consultas, procedimientos, urgencias y hospitalizaciones), junto con el uso de factores de ajuste por subregistro (suministradas por el Observatorio Nacional de Salud para edades superiores a 15 años), así como de riesgos relativos (suministrados por el estudio de GBD).

8. El presente estudio plantea asignar como proxy principal de la morbilidad el número de hospitalizaciones; ya que la definición del tratamiento tipo, por caso de hospitalización para las causas estudiadas, incluyen componentes de consulta, diagnósticos, procedimientos y atenciones en urgencias. Esta aproximación se fundamenta en la alta complejidad de individualizar la cadena de atención.

Figura 12. Pirámides de morbilidad de Colombia por causa específica para los años 2015 y 2018.





Fuente: elaborado a partir de datos de estadísticas vitales del DANE.

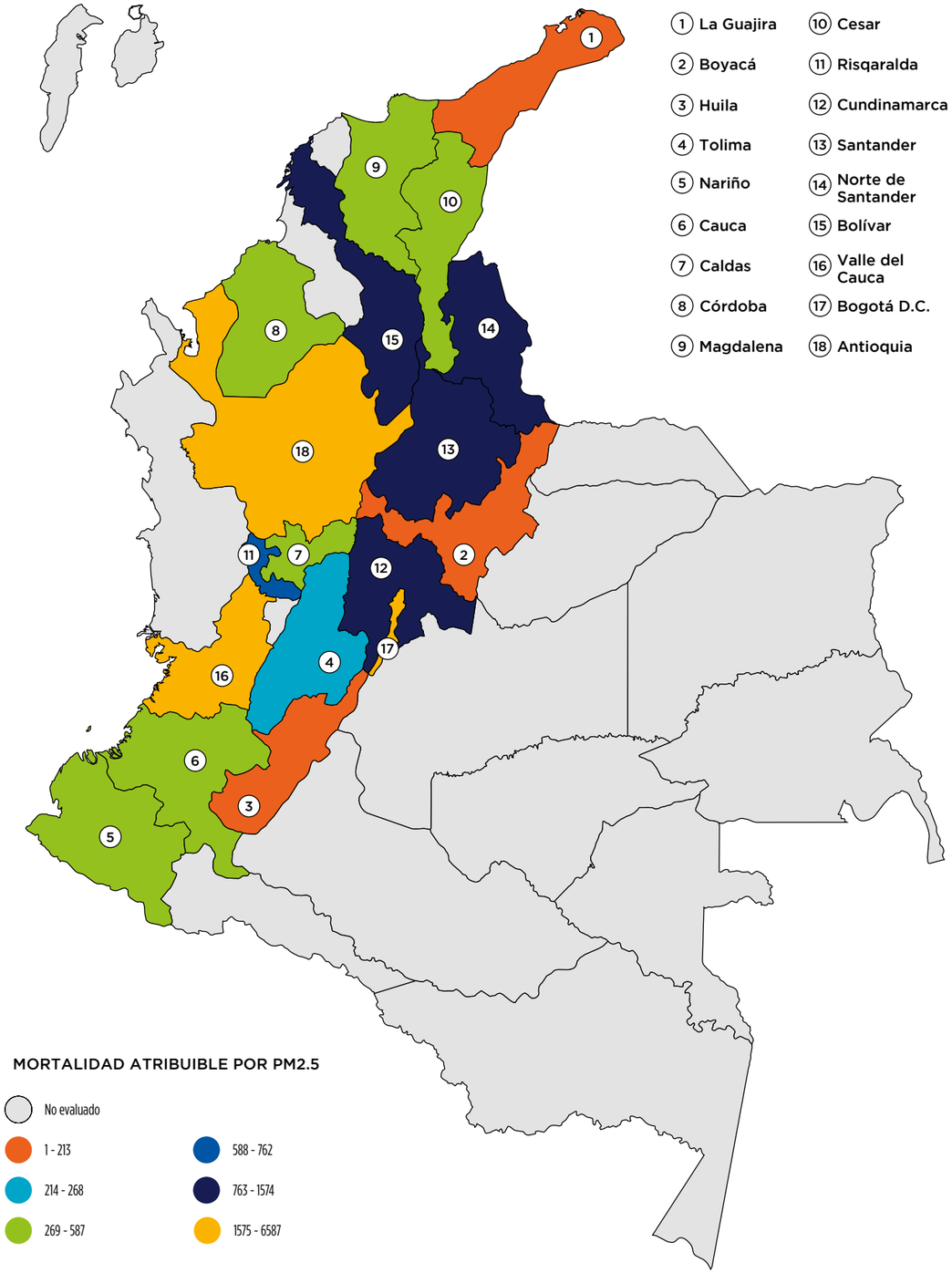
Resultados atribuibles

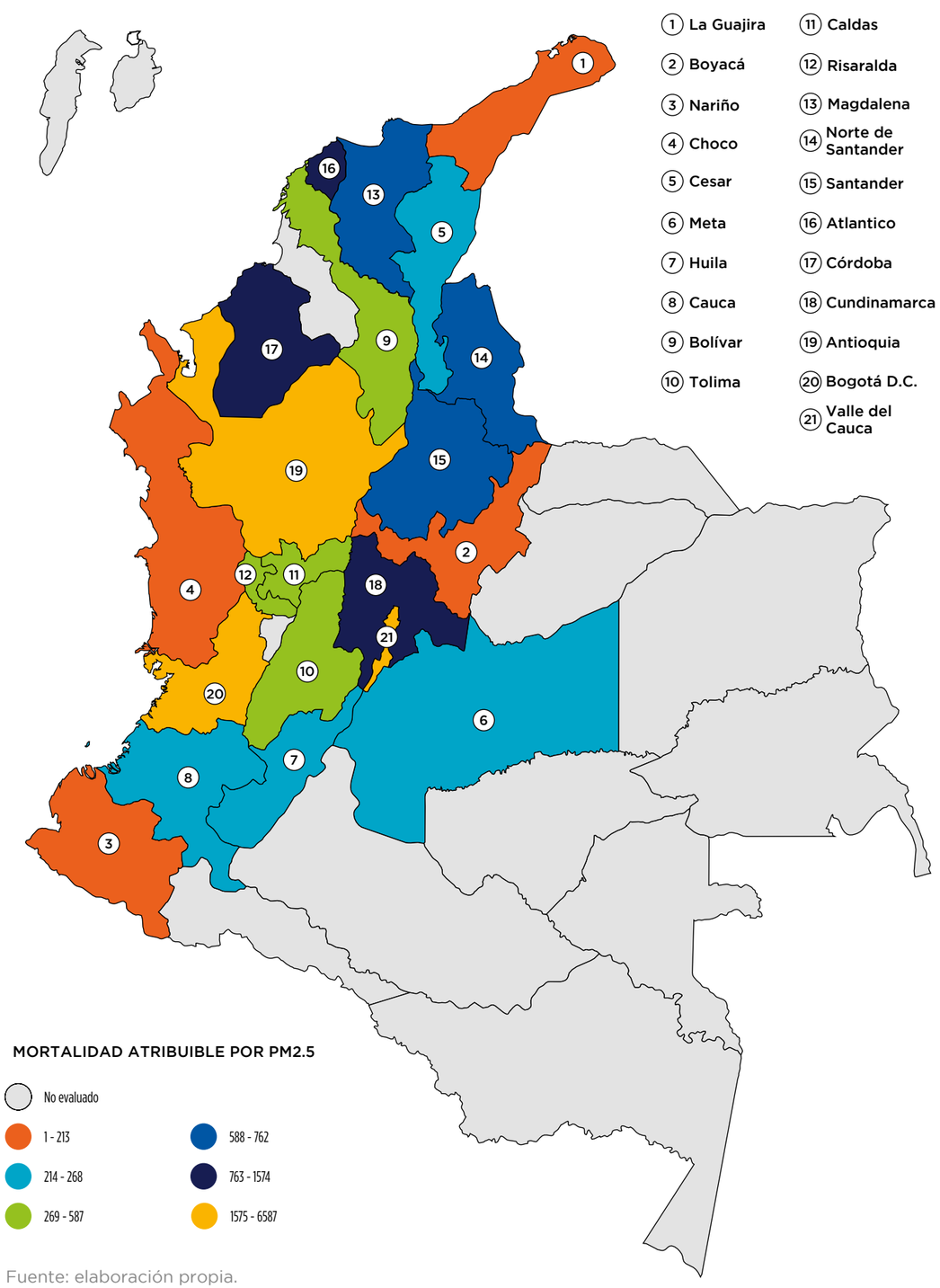
De acuerdo con la distribución de la PAF a los casos generales de morbilidad, para el año 2015 los casos de morbilidad atribuible a exposición a $PM_{2.5}$ alcanzaron en promedio **1.699.407** (942.597 - 1.884.305). De estos, cerca de 96.436 (52.085 - 131.761) ocurren en menores de 14 años. En este sentido, el factor ponderado de fracción atribuible para las causas analizadas correspondería a **0,223** (0,124 - 0,247) del total de la morbilidad general en los municipios en cuestión. De estos valores, los casos de hospitalización fueron **20.889** (11.974 - 26.117). La mayoría de las hospitalizaciones se encuentran en el Distrito Capital (5485), Antioquia (4084), Valle del Cauca (3278), Bolívar (1113) y Cundinamarca (1085). Estos departamentos junto con Norte de Santander y Santander agrupan el 80% de las hospitalizaciones atribuibles (figura 13).

Para el año 2018 los casos de morbilidad atribuible se estimaron en **1.651.786** (927.074 – 1.934.676), de los cuales 90.097 (47.298 - 123.630) ocurrieron en edades menores a los 14 años. Al tomar los datos de morbilidad atribuible y los casos de morbilidad totales para los municipios analizados, se tendría una fracción ponderada atribuible de **0,217** (0,122 - 0,254). Los casos de hospitalización para 2018 atribuibles a la exposición a $PM_{2.5}$ alcanzaron los **22.291** (13.063 – 29.466). Los departamentos de Bogotá D.C. (6587), Antioquia (4078), Valle del Cauca (2932) y Atlántico (1574) conservan la mayor cantidad de hospitalizaciones atribuibles. Estos departamentos, junto con Cundinamarca, Córdoba, Santander y Magdalena, acumulan alrededor del 82% de las hospitalizaciones atribuibles (figura 13). Es importante mencionar que, tanto para 2015 como para 2018, la mayor proporción de casos de hospitalización se dio específicamente por IRAB (figura 14).



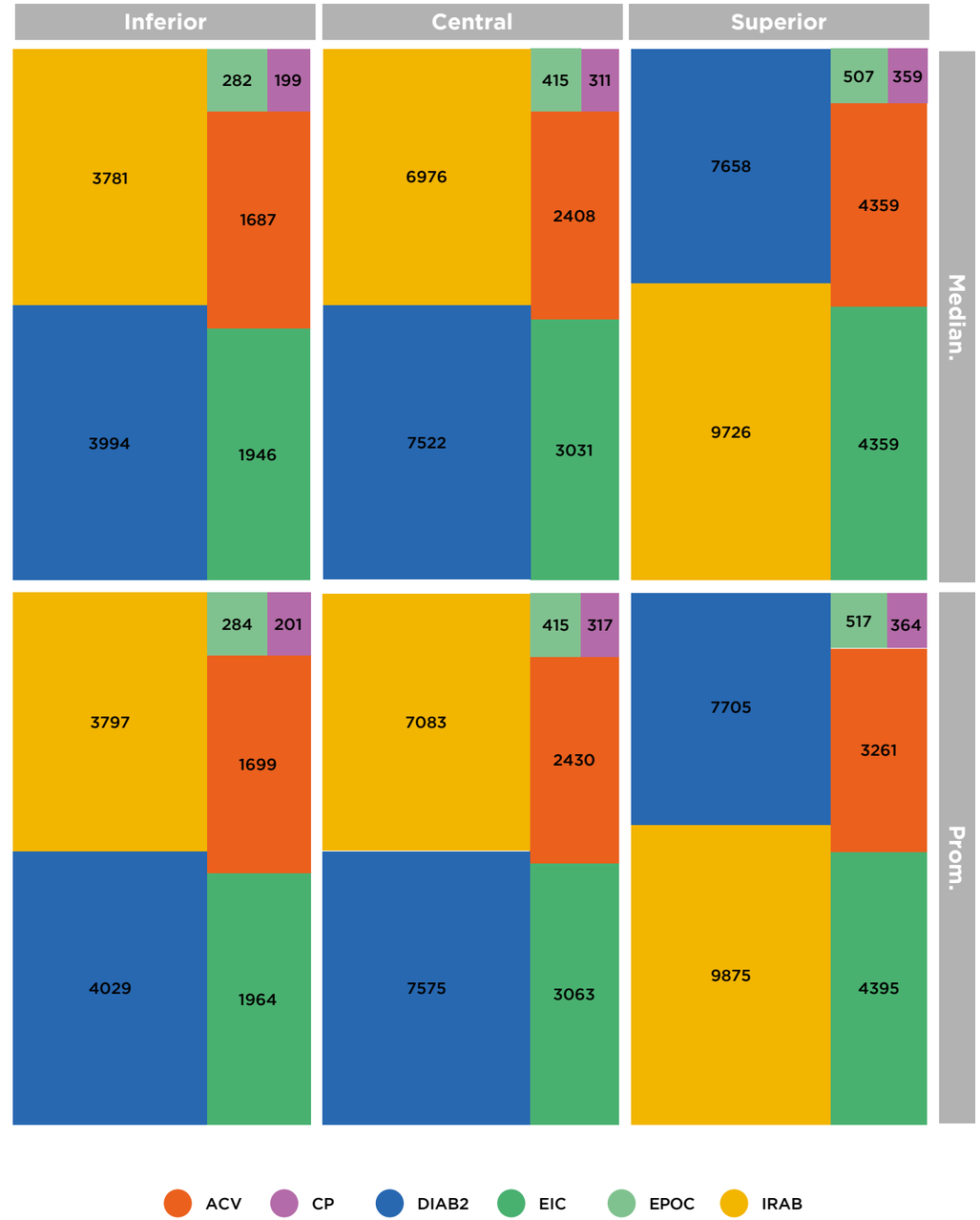
Figura 13. Morbilidad atribuible por exposición a PM2.5 para los años: izq.) 2015 y der.) 2018.



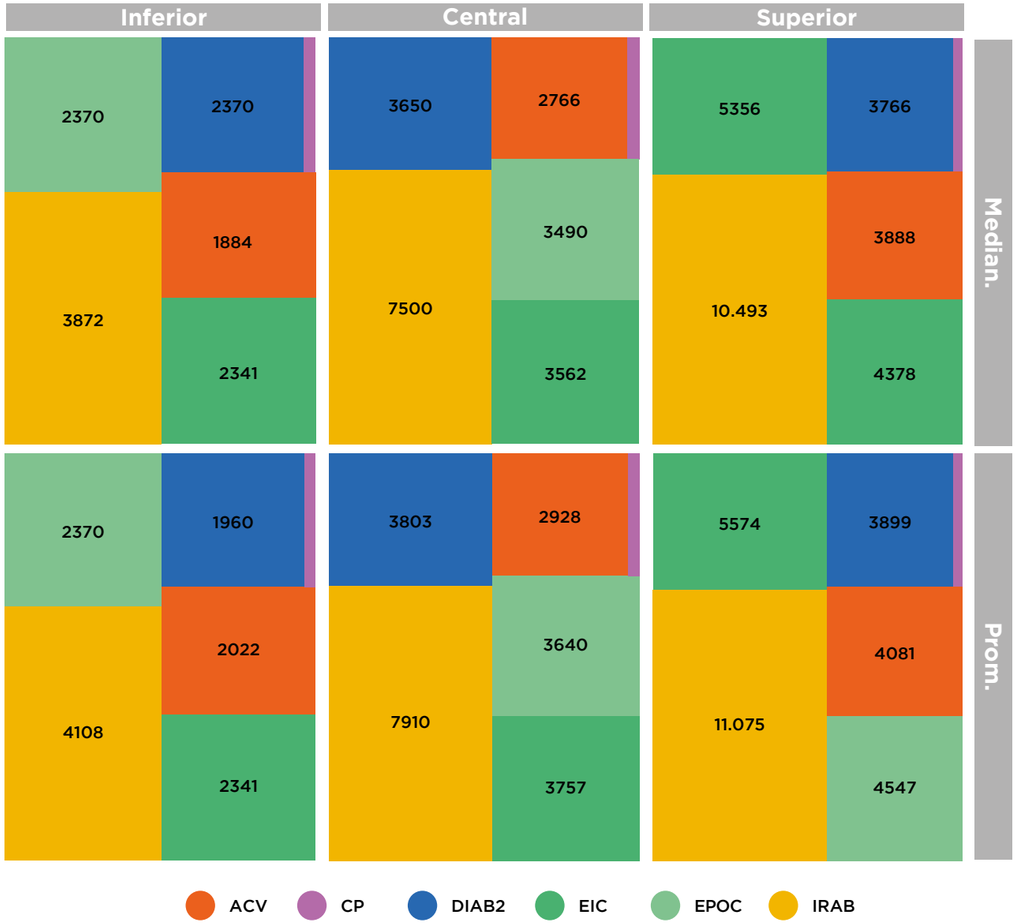


Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Hospitalizaciones atribuibles por PM2.5 desagregada por causa específica para los años 2015 y 2018.



HOSPITALIZACIONES ATRIBUIBLES POR PM2.5 $\mu g/m^3$ NACIONALES POR CATEOGORÍAS (2018).

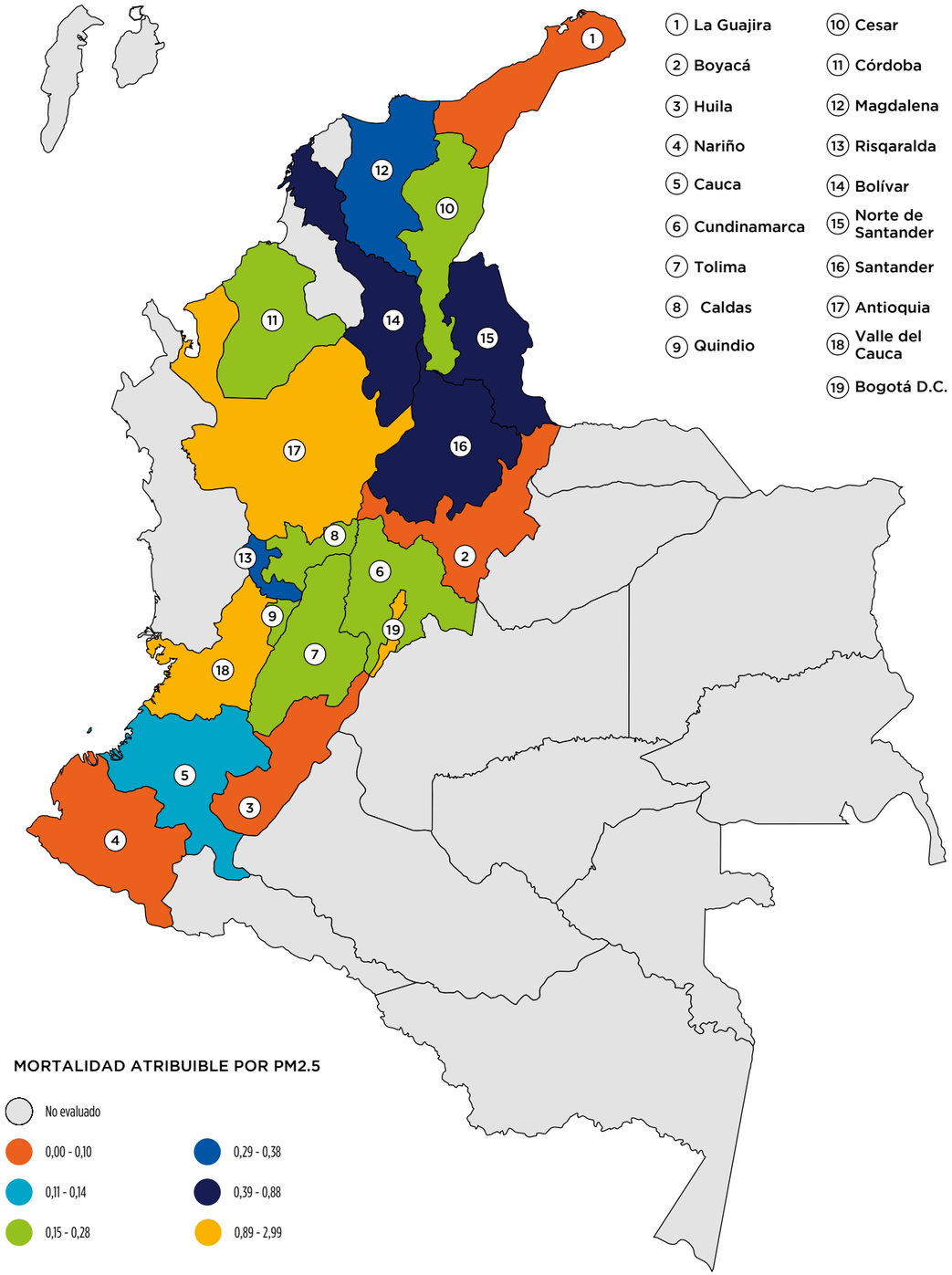


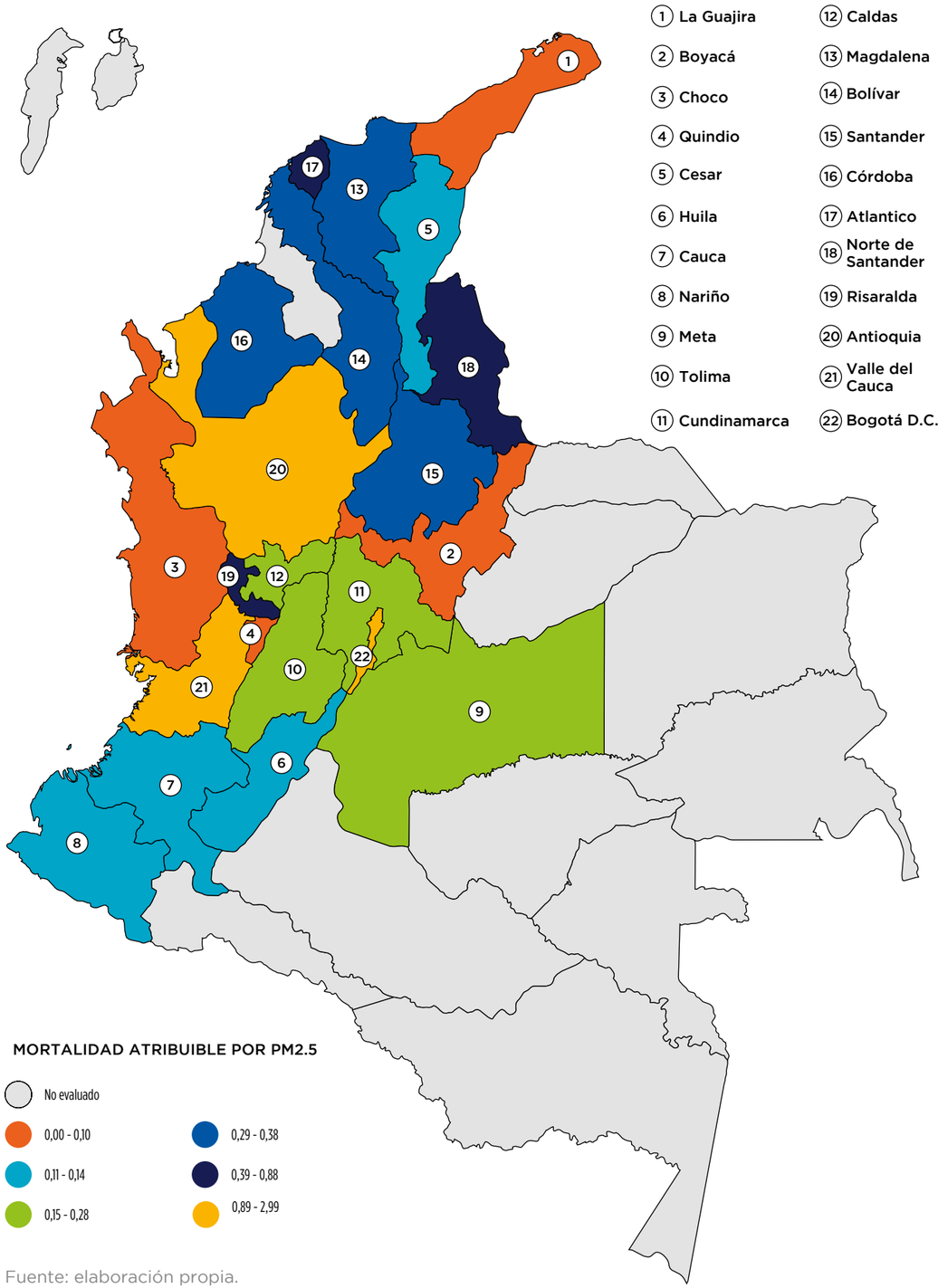
Fuente: elaboración propia.

VALORACIÓN ECONÓMICA

La valoración económica de la mortalidad y la morbilidad para los municipios objeto de estudio en los años 2015 y 2018, bajo los diferentes supuestos y estrategias de costeo previamente definidas por el apartado metodológico, indican que la mortalidad lleva el mayor peso ponderado del costo, con cerca del 98,5% de la valoración total (fracción que puede variar entre el 98,6 y el 98,7%). En este sentido, el orden de magnitud de la valoración económica total a precios de 2018 se encontraría sobre los 11,17 billones de pesos, para el año 2015 (7,00 - 14,69), y sobre los 11,74 billones de pesos, para el 2018 (7,18 - $15, 77). En promedio, estas cifras comparativamente corresponderían a 176 veces el presupuesto ejecutado en 2018 para para mejorar los componentes de infraestructura de la red hospitalaria pública, dotación de equipos médicos y transporte de infraestructura en el sector salud y protección social (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2019). La figura 15 y la figura 16 presentan gráficamente la valoración económica de la mortalidad y morbilidad por departamento.

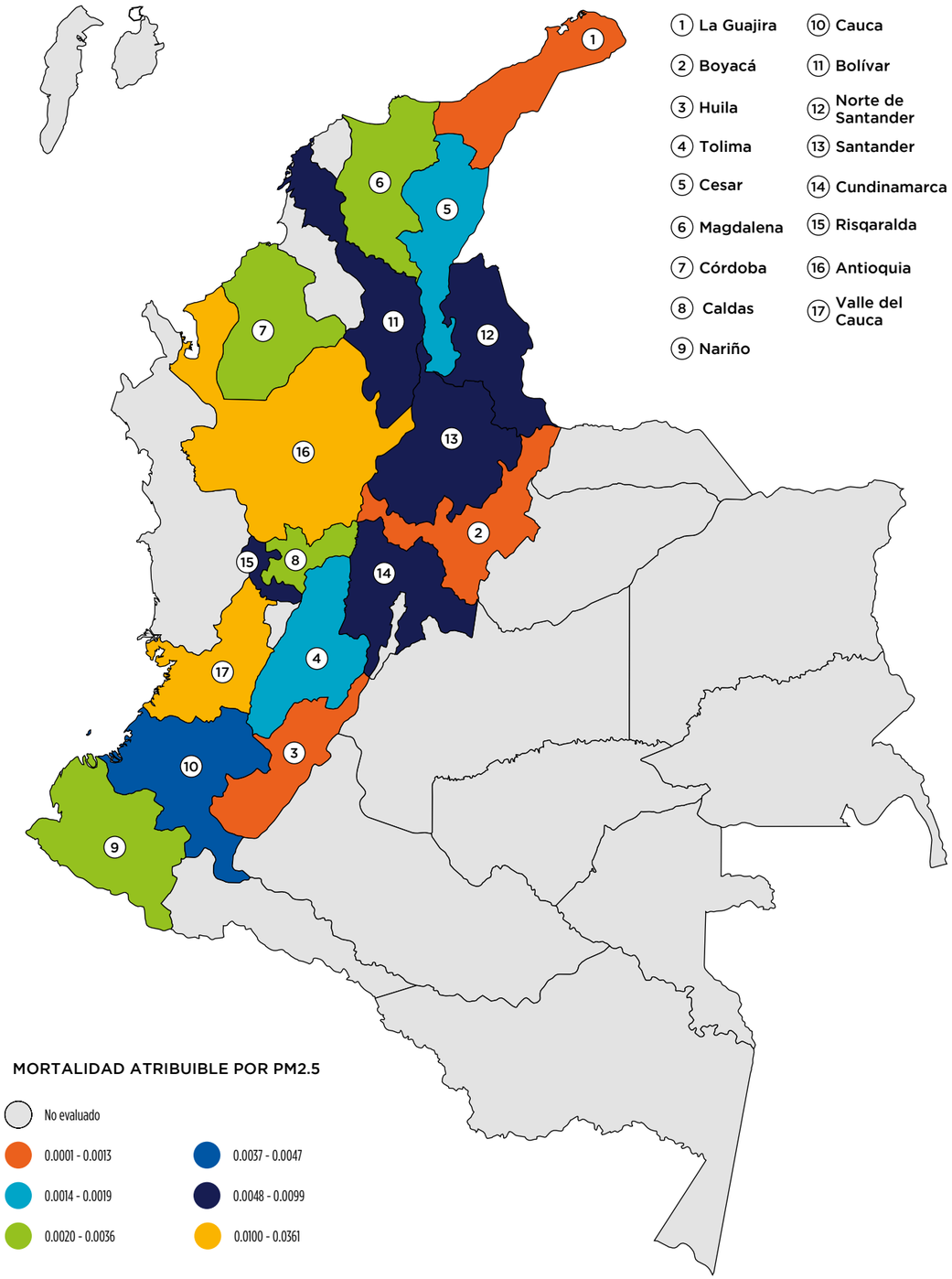
Figura 15. Valoración económica de la mortalidad atribuible por PM2.5 para los años 2015 y 2018.

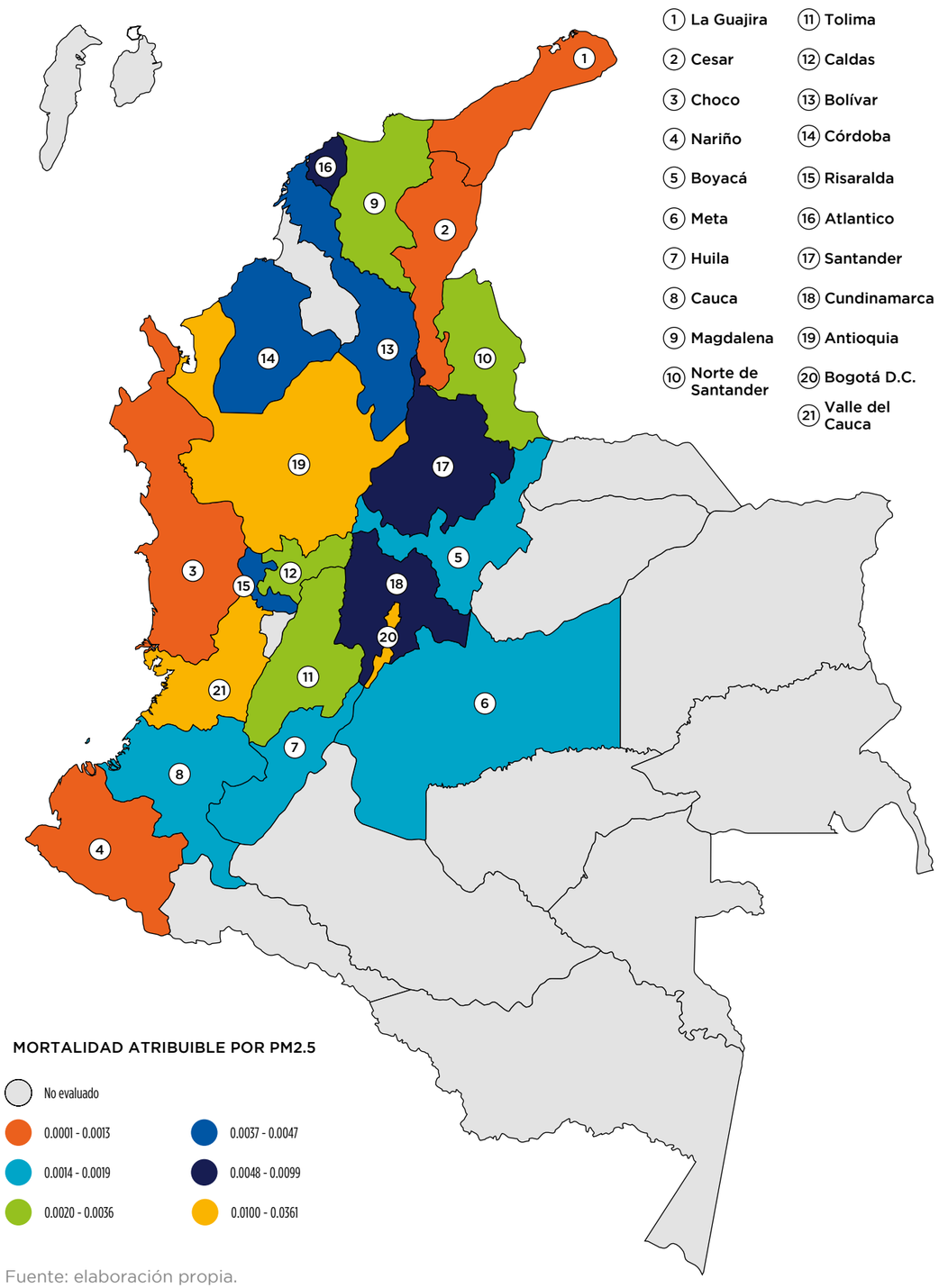




Fuente: elaboración propia.

Figura 16. Valoración económica de la morbilidad atribuible por PM2.5 para los años 2015 y 2018.

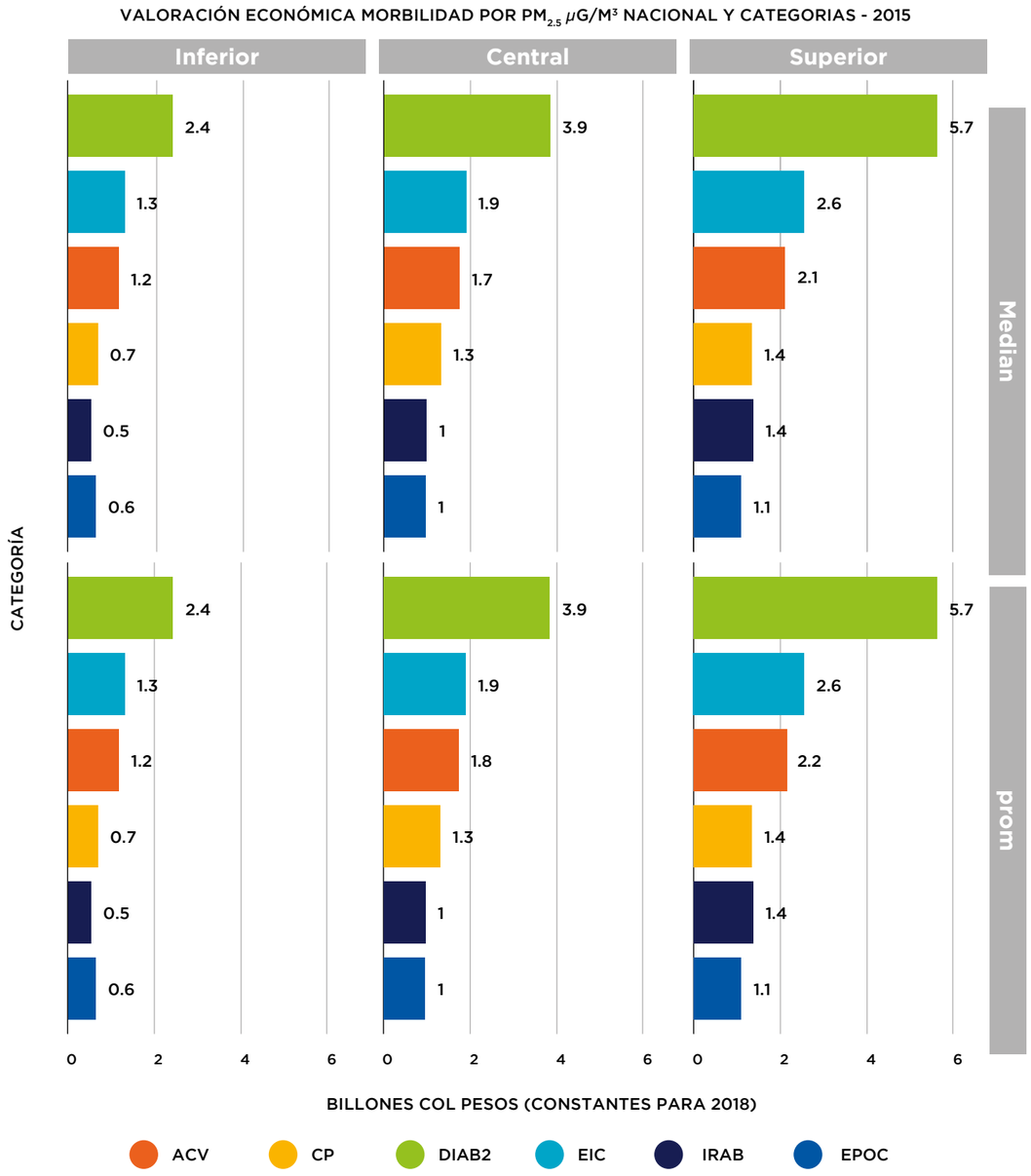


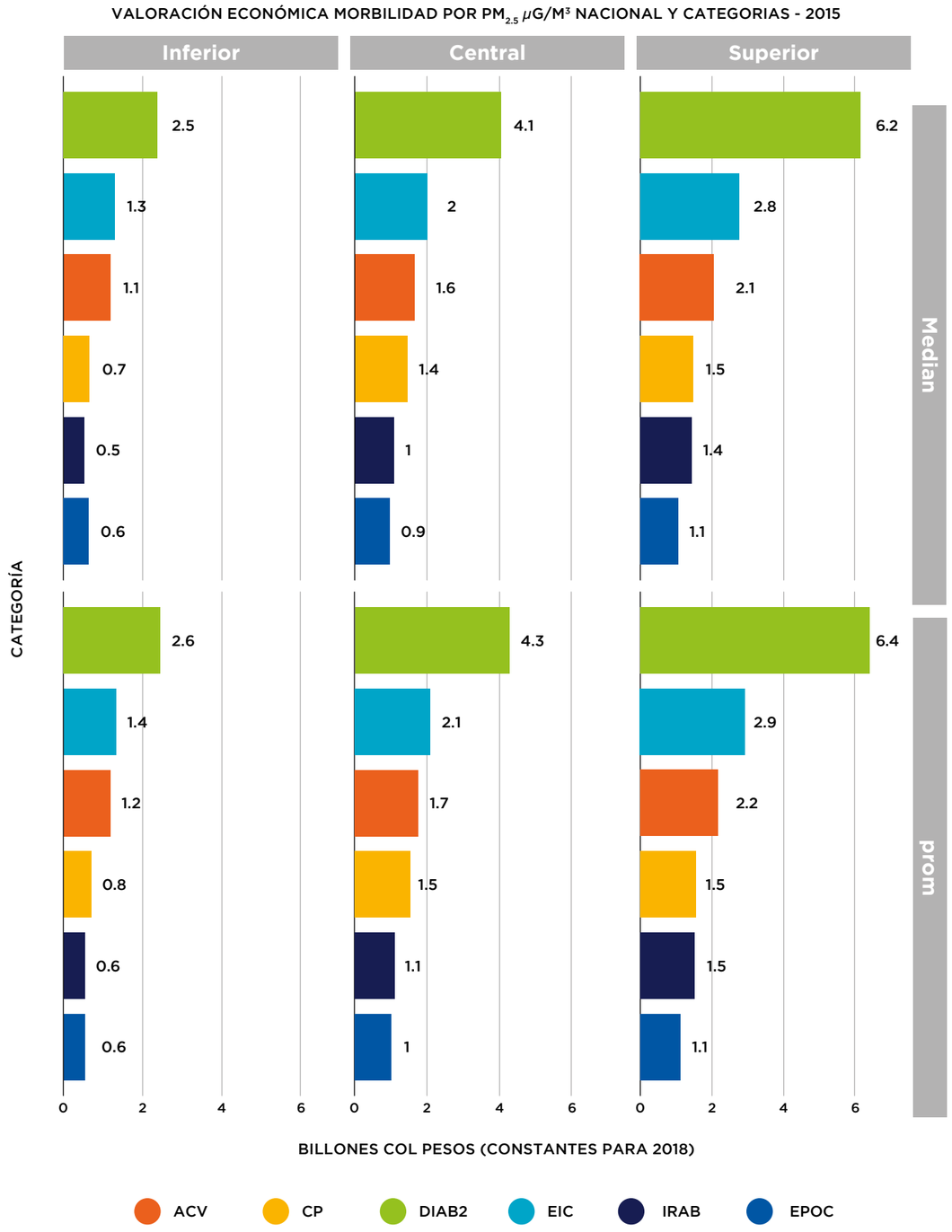


Fuente: elaboración propia.

A nivel de causas específicas, la EIC, los ACV y la EPOC fueron las causas que más contribuyeron a la valoración económica de mortalidad atribuible por $PM_{2.5}$ presentada. Este orden se mantiene tanto para 2015 como para 2018. En morbilidad, la DIAB2 fue la principal causa de la valoración económica presentada (figura 17 y figura 18).

Figura 17. Valoración económica de la mortalidad atribuible por PM2.5 por causa específica para los años 2015 y 2018.





Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Valoración económica de la morbilidad atribuible por PM2.5 por causa específica para los años 2015 y 2018.



VALORACIÓN ECONÓMICA MORBILIDAD POR $PM_{2.5}$ $\mu G/M^3$ NACIONAL Y CATEGORIAS - 2015



Fuente: elaboración propia.

Cabe señalar que la valoración económica de la mortalidad tomó como base el valor VSL proveniente del estudio de Castillo (2010), ajustado a precios constantes de 2018 (1.499.197.465 pesos). Dicha magnitud fue asignada a cada defunción atribuible para las seis causas específicas evaluadas en los 81 municipios de interés, tanto para 2015 como para 2018. Algunas referencias adicionales como la de la OECD proponen como VSL para Colombia haciendo los ajustes respectivos para 2015 (1.869.856.000 pesos) y 2018 (2.188.964.000 pesos), lo cual incrementaría el valor de los cálculos de mortalidad en cerca de un 46%.

Por otra parte, la valoración económica de la morbilidad tomó como referencia: i) los resultados de análisis de la mortalidad atribuible, considerando como *proxy* la fuente de costos de atención a las hospitalizaciones para cada una de las causas específicas y en los municipios analizados[9]; ii) los costos indirectos por pérdida de productividad[10] (costos determinados por el tiempo de duración de la hospitalización y su incapacidad); y iii) estimación de costos de enfermedad[11] (COI). Cabe señalar que la disponibilidad a pagar frente a la disminución del riesgo de fallecer o enfermar por las causas analizadas atribuidas a la contaminación por $PM_{2.5}$ no es considerada por tenerse mayor incertidumbre en su aplicación en términos de morbilidad.

9. Los costos de enfermedad se estimaron en el componente directo a través de la identificación de paquetes de tratamiento para cada enfermedad, de acuerdo con lo identificado por Miksi et al., 2022; Peña et al., 2019; Pichon-Riviere A et al., 2013; Pérez et al., 2008; Bernal Pinilla, 2015; Carolina & Llano, 2015 y Fernández-Plata et al., 2016; Moyano, 2019; Pinzón, 2014.

10. Con base en los registros del RIPS, se consultaron los valores promedio de duración de las hospitalizaciones para cada uno de los desenlaces en salud específicos. El valor asignado de costo de día no productivo o perdido se tomó a partir de la referencia del 50% del salario mínimo diario legal vigente (Castillo, 2010), ya sea para 2015 (SMDLV: 21.478,33 pesos) o 2018 (SMDLV: 26.041,4 pesos).

11. Se procedió a sumar los costos de la atención y la pérdida de productividad para así obtener el valor respectivo para los años 2015 y 2018.

La valoración económica de la mortalidad tomó como base el valor VSL proveniente del estudio de Castillo (2010), ajustado a precios constantes de 2018 (1.499.197.465 pesos).

06 CONCLUSIONES



Se realizó la actualización de la metodología del cálculo de la valoración económica de la calidad del aire urbano. La metodología se resume en tres componentes principales de análisis: exposición al contaminante, vínculos con la salud y valoración económica. La revisión de bibliográfica permite concluir que este tipo de análisis es consistente en los tres componentes, y que su actualización depende principalmente de la información de entrada utilizada.

El estudio incluyó en la fase de exposición la caracterización de la calidad del aire por material particulado PM2.5 en municipios con sistemas de vigilancia de calidad del aire, así como la información de naturaleza más robusta para la estimación de seis desenlaces en salud con base en los resultados de riesgo relativo para mortalidad y morbilidad del estudio de Carga Global de la Enfermedad 2019.

La actualización de la metodología incorporó el uso de la información disponible para los años de estudio 2015 y 2018. Los datos de exposición fueron suministrados por el IDEAM desde la plataforma SISAIRE, la población del país fue obtenida a partir de las publicaciones del DANE. La información respectiva a mortalidad se extrajo de la base de estadísticas vitales; para morbilidad se consultaron las bases del RIPS y la aplicación de un factor de ajuste por subregistro suministrado por el Observatorio Nacional de Salud.

El enfoque utilizado para la mortalidad se basó en los datos disponibles para el valor estadístico de la vida, mientras que para mortalidad se trabajó con los registros de casos ajustados de la base RIPS, bajo la estrategia de costeo de tipos de tratamientos definidos en publicaciones científicas. Se tomó como proxy el número de hospitalizaciones como representativo del costo agrupado de tratamientos que incluye consultas, procedimientos y urgencias.

El estudio permitió partir de información recolectada de manera sistemática en el país, en particular a través del uso del RIPS. Esto permite evolucionar del uso de tasas poblaciones para la estimación de la morbilidad. Sin embargo, existen oportunidades de mejora para el diseño de las bases de consulta que permitan individualizar las atenciones registradas en la base de datos, así como las posibilidades de desarrollo de estudios robustos que permitan caracterizar adecuadamente los costos de atención y su seguimiento informático, como por ejemplo a través de sistemas de costos anonimizados abiertos para consulta pero basados en el seguimiento de las bases de suficiencia del sistema de seguridad social.

El orden de magnitud de la valoración y su intervalo de confianza definido principalmente por el riesgo relativo y respectivo factor de atribución del estudio del GBD permitió obtener un rango de las estimaciones de la valoración económica, considerando que en promedio existen costos anuales por degradación de la calidad del aire en los municipios estudiados, para las causas específicas analizadas de entre 7 y 15 billones de pesos, correspondientes aproximadamente a entre el 0,7% y 1,6% del PIB anual.

La valoración económica de impactos en salud por exposición anual a $PM_{2.5}$ corresponde a entre aproximadamente un 5,03% - 6,76% del presupuesto general de la nación, que ascendió a 233,3 billones de pesos en el 2018. Por esto se requiere un compromiso más fuerte de los sectores para implementar la agenda mundial, con acciones concretas para mitigar los riesgos que plantea la contaminación del aire en Colombia.

Es necesario continuar con los esfuerzos encaminados a evitar que cerca de 8000 personas mueran o se vean afectadas por estar expuestas a condiciones perjudiciales de contaminación. Como indicador de toma de decisiones, la cifra de cerca de 11 billones de pesos es un estimativo de la cantidad de valor que deja de ingresar a la economía y que podría invertirse para hacerla más limpia y productiva.

06

BIBLIOGRAFÍA



A

Alpízar, F., Piaggio, M., & Pacay, E. (2017). *Valoración económica de los beneficios para la salud asociados a la reducción de la contaminación del aire El caso de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica.*

B

Bell, M. L., Cifuentes, L. A., Davis, D. L., Cushing, E., Gusman Telles, A., & Gouveia, N. (2011, January). Environmental health indicators and a case study of air pollution in Latin American cities. *Environmental Research*. https://doi.org/10.1016/j.envres.2010.10.005

Bhat, T. H., Jiawen, G., & Farzaneh, H. (2021, February 2). Air pollution health risk assessment (Ap-hra), principles and applications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. MDPI AG. https://doi.org/10.3390/ijerph18041935

Bjorn Larsen. (2004). *Cost of Environmental Damage in Colombia: A Socio-Economic Study and Environmental Health Risk Assessment*. Washington D.C.

Bui, L. T., Nguyen, P. H., & My Nguyen, D. C. (2021). Linking air quality, health, and economic effect models for use in air pollution epidemiology studies with uncertain factors. *Atmospheric Pollution Research*, *12*(7). https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.101118

Burnett, R., Chen, H., Szyszkowicz, M., Fann, N., Hubbell, B., Pope, C. A., ... Spadaro, J. V. (2018). Global estimates of mortality associated with longterm exposure to outdoor fine particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *115*(38), 9592–9597. https://doi.org/10.1073/pnas.1803222115

C

Castillo, J. J. (2010). Estimación de los beneficios en salud asociados a la reducción de la contaminación atmosférica en Bogotá, Colombia.

D

DNP, & Fondo Acción. (2018). Valoración Económica de la Degradación Ambiental en Colombia 2015. Retrieved from https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Valoración económica de la degradación ambiental.pdf

G

GBD 2019 Risk Factors Collaborators. (2020). *Supplementary appendix 1: Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019*.

Global Burden of Disease Collaborative Network. (2020). *Global Burden of Disease Study 2019 (GBD 2019) Relative Risks*. Seattle, United States of America. Retrieved from https://doi.org/10.6069/GYVX-YR58

Golub, E., Klytchnikova, I., Economist, S., Bank, W., Sanchez-Martinez, G., & Belausteguigoitia, J. C. (2014). *Environmental Health Costs in Colombia The Changes from 2002 to 2010*. Retrieved from www.worldbank.org

Gouveia, N., Cifuentes, L. A., Ponce, A., Leon, D., & Strappa, V. (2012). *Health Effects Institute Research Report 171: Multicity Study of Air Pollution and Mortality in Latin America (the ESCALA Study)*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/234120420

G

Grisales-Romero, H., Piñeros-Jiménez, J. G., Nieto, E., Porras-Cataño, S., Montealegre, N., González, D., & Ospina, D. (2021). Local attributable burden disease to PM2.5 ambient air pollution in Medellín, Colombia, 2010-2016. *F1000Research*, *10*. https://doi.org/10.12688/f1000research.52025.1

H

Hammitt, J. K., Morfeld, P., Tuomisto, J. T., & Erren, T. C. (2020). Premature Deaths, Statistical Lives, and Years of Life Lost: Identification, Quantification, and Valuation of Mortality Risks. *Risk Analysis*, *40*(4), 674–695. https://doi.org/10.1111/risa.13427

I

Im, U., Brandt, J., Geels, C., Hansen, K. M., Christensen, J. H., Andersen, M. S., … Galmarini, S. (2018). Assessment and economic valuation of air pollution impacts on human health over Europe and the United States as calculated by a multi-model ensemble in the framework of AQMEII3 EPA Public Access. *Atmos Chem Phys*, *18*(8), 5967–5989. https://doi.org/10.5194/acp-18-5967-2018-supplement

INS, & ONS. (2018). *Carga de enfermedad ambiental en Colombia. Documento técnico. Décimo Informe Técnico Especial*.

K

Kim, D., Kim, J., Jeong, J., & Choi, M. (2019). Estimation of health benefits from air quality improvement using the MODIS AOD dataset in Seoul, Korea. *Environmental Research*, *173*, 452–461. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.03.042

M

Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (2019). Presupuesto General de la Nación. Retrieved April 9, 2023, from https://www.minhacienda.gov.co/webcenter/portal/EntOrdenNacional/pages_presupuestogralnacion/presupuestogralnacion2018/EjePresupuestal2018/diciembre2018

N

Neumann, J. E., Amend, M., Anenberg, S., Kinney, P. L., Sarofim, M., Martinich, J., … Roman, H. (2021). Estimating PM2.5-related premature mortality and morbidity associated with future wildfire emissions in the western US. *Environmental Research Letters*, *16*(3). https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe82b

O

OECD. (2011). *Valuing Mortality Risk Reductions in Regulatory Analysis of Environmental, Health and Transport Policies: Policy Implications*. Paris. Retrieved from www.oecd.org/env/policies/vsl

OECD. (2016). *The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution*. Paris. https://doi.org/https://doi.org/10.1787/9789264257474-en.

Ostro, B. (1994). *Estimating the Health Effects of Air Pollutants - A method with an application to Jakarta* (Public Economics Divsion).

Ostro, B. (2004). *Outdoor air pollution: Assessing the environmental burden of disease at national and local levels* (WHO Environmental Burden of Disease Series, No. 5). Geneva: World Health Organization, Protection of the Human Environment.

Ostro, B., Spadaro, J. V., Gumy, S., Mudu, P., Awe, Y., Forastiere, F., & Peters, A. (2018, October 1). Assessing the recent estimates of the global burden of disease for ambient air pollution: Methodological changes and implications for low- and middle-income countries. *Environmental Research*. Academic Press Inc. https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.001

P

Pope, C. A., Coleman, N., Pond, Z. A., & Burnett, R. T. (2020). Fine particulate air pollution and human mortality: 25+ years of cohort studies. *Environmental Research*, *183*. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108924

R

Requia, W. J., Amini, H., Mukherjee, R., Gold, D. R., & Schwartz, J. D. (2021). Health impacts of wildfire-related air pollution in Brazil: a nationwide study of more than 2 million hospital admissions between 2008 and 2018. *Nature Communications*, *12*(1). https://doi.org/10.1038/s41467-021-26822-7

S

Southerland, V. A., Brauer, M., Mohegh, A., Hammer, M. S., van Donkelaar, A., Martin, R. V., … Anenberg, S. C. (2022). Global urban temporal trends in fine particulate matter (PM2·5) and attributable health burdens: estimates from global datasets. *The Lancet Planetary Health*, *6*(2), e139–e146. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00350-8

W

WHO. (2016). *Health risk assessment of air pollution. General principles*. Copenhagen.

WHO. (2020). *WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000-2019*. Geneva. Retrieved from http://www.who.int/gho/mortality_burden_disease/en/index.html

X

Xu, X., Yang, H., & Li, C. (2022, March 1). Theoretical Model and Actual Characteristics of Air Pollution Affecting Health Cost: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. MDPI. https://doi.org/10.3390/ijerph19063532

X

Yang, X., Wang, Y., Zhao, C., Fan, H., Yang, Y., Chi, Y., … Yan, X. (2022). Health risk and disease burden attributable to long-term global fine-mode particles. *Chemosphere*, *287*. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132435

