# Estimación de Beneficios Integrados en Clima, Calidad del Aire y Salud de los Planes de Gestión de Calidad del Aire en las Áreas Metropolitanas de Cali y el Valle de Aburrá

## Asistencia Técnica

## Producto 1
## Estimación de la carga de enfermedad atribuible a la calidad del aire

**Clean Air Institute**
**&**
**Coalición Clima y Aire Limpio – CCAC**

**Con apoyo de**
**Organización Panamericana de la Salud**

## Junio de 2020

# Directorio del Proyecto

## Coalición Clima y Aire Limpio

**Sandra Cavalieri.** Coordinadora, Iniciativa en Salud

## Organización Panamericana de la Salud

**Marcelo Korc.** Jefe de Unidad Cambio Climático y Determinantes Ambientales
**Juan José Castillo.** Asesor, Calidad del Aire y Salud

## Clean Air Institute

**Juliana Klakamp.** Coordinador de proyecto, especialista en políticas de desarrollo sostenible
**Miguel Román.** Especialista Técnico en Salud Ambiental
**Natalia Restrepo.** Especialista en Planes de Descontaminación

Clean Air Institute (CAI) es una organización internacional con sede en Washington DC, cuya misión es catalizar procesos de mejora de la calidad del aire y mitigación del cambio climático a escalas local, nacional e internacional, para beneficiar a la salud pública y proteger al ambiente. Clean Air Institute cuenta con probada experiencia internacional en el desarrollo de políticas, desbloqueo de procesos, superación de barreras, vinculación de agencias y actores clave y desarrollo de bases técnicas para la implementación de soluciones integradas y de gran escala en los sectores de transporte, desarrollo urbano y energía, entre otros.

Conozca más acerca de Clean Air Institute en http://www.cleanairinstitute.org

**Junio 2020**

## Tabla de Contenido

RESUMEN....4
ANTECEDENTES....5
OBJETIVO Y ACTIVIDADES....5
1.1 HERRAMIENTAS PARA LA EVALUACIÓN DE BENEFICIOS EN SALUD....6
2 EVALUACIÓN DE IMPACTOS EN LA SALUD ASOCIADOS A LA CALIDAD DEL AIRE....7
2.1 METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS IMPACTOS EN LA SALUD Y VALORACIÓN ECONÓMICA ASOCIADOS A LA CALIDAD DEL AIRE....8
2.1.1 Escenario de evaluación para la ciudad de Cali....8
2.1.2 Escenario de evaluación para el Valle de Aburrá....10
2.1.3 Cálculos de impactos en salud....11
2.1.4 Información geográfica....12
2.1.5 Calidad del aire....13
2.1.6 Mortalidad....14
2.1.7 Población....15
2.1.8 Funciones Concentración-Respuesta....15
2.1.9 Valoración económica de los beneficios en salud....16
3 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE BENEFICIOS EN SALUD Y ECONÓMICOS POR LA CALIDAD DEL AIRE EN CALI USANDO EL MODELO BENMAP - CE....18
3.1 CALI....18
3.1.1 Análisis de Carga de Enfermedad Atribuible a la Contaminación del Aire (2015 – 2018): 18
3.1.2 Resultados de la evaluación de impacto en salud por la contaminación del aire en Cali usando el modelo AirQ+....21
3.1.3 Análisis de beneficios en salud a 2030 por la mejora de la calidad del aire frente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible:....22
3.1.4 Conclusión General....23
3.2 VALLE DE ABURRÁ....24
3.2.1 Análisis de Carga de Enfermedad Atribuible a la Contaminación del Aire (2016 – 2018): 24
3.2.2 Resultados de la evaluación de beneficios en salud por la calidad del aire en el Valle de Aburrá usando el modelo AirQ+....26
3.2.3 Conclusión General....27
REFERENCIAS....28

## RESUMEN

En el marco de la implementación de la campaña BreatheLife (RespiraVida), Santiago de Cali y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá solicitó a la CCAC asistencia técnica para el fortalecimiento de capacidades en la estimación de beneficios integrados en clima, ambiente y salud por el plan de gestión de calidad del aire de la ciudad de Santiago de Cali y el Valle de Aburrá. Este proyecto fue comisionado a Clean Air Institute bajo los auspicios de BreatheLife, la cual es conducida por la Organización Panamericana de la Salud (PAHO), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), la Coalición Clima y Aire Limpio para Reducir los Contaminantes de Vida Corta (CCAC)

Este es el Reporte 1 de la asistencia técnica que incluye los resultados obtenidos en la estimación de la carga de enfermedad atribuible a la contaminación del aire, así como la adaptación de una metodología de estimación en las áreas de estudio. Este producto es el resultado del trabajo conjunto con las autoridades ambientales y de salud de la ciudad de Cali y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Los resultados de estimación de carga de enfermedad para Santiago de Cali 2015 – 2018, subrayan la necesidad de una política más agresiva de implementación del Programa de Aire Limpio y herramientas de planeación y gestión que aseguren el cumplimiento de las normas colombianas en la materia y el logro de objetivos cuantificables de reducción de emisiones. En 2018, la mortalidad atribuible a la contaminación del aire en Santiago de Cali se estima en aproximadamente 1,919 casos, equivale a un costo estimado total de 751 millones de dólares anuales. Más allá, estos resultados permiten dimensionar y hacer el seguimiento a los impactos en salud asociados a la calidad del aire de los últimos años e identificar, además de su valoración económica.

Para el Valle de Aburrá, este proyecto permite complementar trabajos previos realizados por el Clean Air Institute y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, en asocio con la Universidad Pontificia Bolivariana, para la evaluación de los beneficios en salud del plan integral de gestión de calidad del aire, en la medida que hace una evaluación de la carga de enfermedad usando la herramienta AirQ+ y actualiza resultados hallados previamente por esta Entidad. Estos resultados permiten evidenciar la importancia de la implementación de políticas públicas integrales para la mejora de la calidad del aire y proteger la salud de la población. Entre otros beneficios, la implementación efectiva de las acciones del PIGECA habrían causado un beneficio de 1,600 muertes atribuibles evitadas al 2018, lo cual significa un beneficio para la región de 621 millones de dólares.

## ANTECEDENTES

La Organización Mundial de la Salud estima que alrededor de 4,2 millones de muertes prematuras cada año en todo el mundo, son atribuibles a la exposición a la contaminación del aire exterior (WHO, 2018). Aproximadamente un 88% de estas muertes ocurren en países de ingresos bajos y medios (Ibíd.). Más allá, el 91% de la población mundial habita en zonas con mala calidad del aire, con concentraciones superiores a los límites guía establecidos por la Organización Mundial de la Salud - OMS (Ibídem.).

La exposición a altas concentraciones de contaminantes atmosféricos puede causar efectos adversos en la salud, tanto en periodos cortos como largos de exposición (OPS, 2018).

Más allá, existe amplia documentación científica que vincula a la contaminación del aire con un aumento en los riesgos a la salud de la población, a partir de diferentes tipos de estudios epidemiológicos y diferentes autores. El Fondo Mundial para la Investigación del Cáncer, a partir de criterios sobre evidencia científica consistente ha establecido que existe una relación causal con exposición a $PM_{2.5}$ y Ozono para enfermedades tales como: enfermedad isquémica del corazón, enfermedad cerebrovascular (infarto hemorrágico e isquémico), enfermedad pulmonar obstructiva crónica, cáncer de pulmón, e infecciones respiratorias agudas.

## OBJETIVO Y ACTIVIDADES

Evaluar el impacto en la salud de las poblaciones de Cali y el Valle de Aburrá atribuible a la contaminación del aire, específicamente por Material Particulado $PM_{2.5}$.

El proyecto contempla el desarrollo de las siguientes actividades:

- Identificación y selección de la metodología y herramienta de evaluación;
- Desarrollo de las bases de datos y metodología para la evaluación sistemática y periódica de los impactos en salud;
- Capacitación al personal clave y partes interesadas en el uso de las herramientas de software BenMAP-CE y AirQ+ y en la aplicación de la metodología de evaluación.

## 1.1 HERRAMIENTAS PARA LA EVALUACIÓN DE BENEFICIOS EN SALUD

En la evaluación de los planes de gestión integral de la calidad del aire, la estimación de la carga de enfermedad por contaminación del aire es un elemento común (Anenberg et al 2016), así como una pieza fundamental en la toma de decisiones en política pública. La evaluación de los impactos en salud a través de la estimación de la carga de enfermedad, permite dimensionar la magnitud de los beneficios que conllevan las mejoras en la calidad del aire.

La carga de enfermedad es una estimación que se realiza a partir de la evaluación del riesgo sobre la salud por la exposición a los contaminantes atmosféricos. En este es un proceso se evalúan de manera sistemática, los efectos incrementales de impactos en salud por la exposición de la población a concentraciones de contaminantes atmosféricos, a partir del uso de funciones concentración respuesta derivados de la literatura epidemiológica (ibid). El esquema metodológico para la evaluación de carga de enfermedad por exposición a contaminantes atmosféricos, se presenta en la Figura 1.

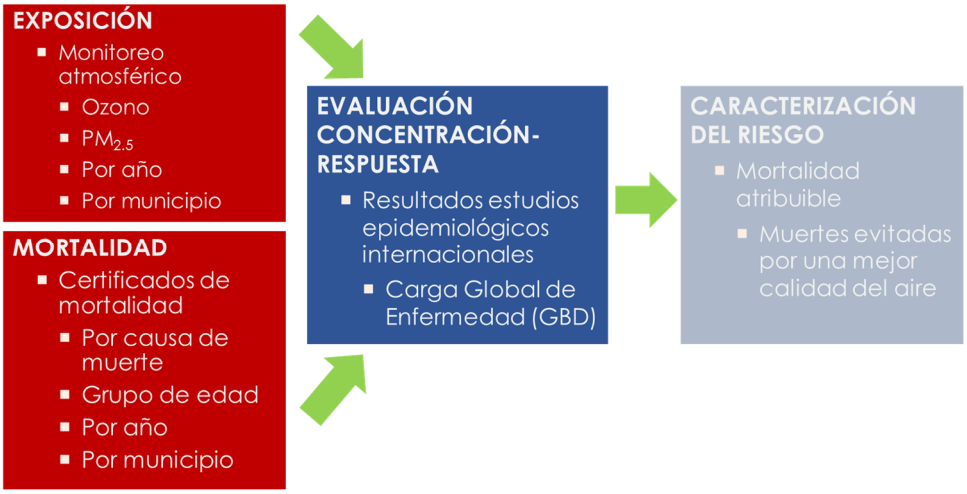


**Figura 1. Esquema metodológico para la Evaluación de la Carga de Enfermedad (Mortalidad Prematura) por exposición a contaminantes atmosféricos**

*Fuente: Dockery D, Rojas-Bracho L, Evans J et al. (2018).*

Las herramientas disponibles para llevar a cabo estas estimaciones, se caracterizan por el uso de funciones concentración respuesta para la estimación de impactos en salud, pero con diferentes enfoques relacionados con información de entrada y el tipo de resultados que se pueden obtener. Entre las herramientas más utilizadas se encuentran: a) el software BenMAP-CE desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S EPA), b) el software AirQ+ desarrollado por la Organización Mundial de la Salud, y c) el software LEAP-IBC de la Coalición del Clima y Aire Limpio y el Stockholm Environment Institute.

Las herramientas consideradas en este análisis incluyeron el software BenMAP-CE y AirQ+. Una descripción y comparación de sus principales características se presenta como parte de los entregables de esta colaboración.

## 2 EVALUACIÓN DE IMPACTOS EN LA SALUD ASOCIADOS A LA CALIDAD DEL AIRE

En la estimación de la carga de enfermedad se pueden resaltar cuatro componentes básicos: 1) exposición de la población a la contaminación atmosférica (bases de datos de calidad del aire), 2) indicadores de salud pública (bases de datos poblacionales y de morbilidad o mortalidad), 3) estimación del riesgo con funciones concentración-respuesta provenientes de la literatura científica nacional e internacional, y 4) la caracterización del riesgo (resultado de las estimaciones finales de mortalidad atribuible).

Para evaluar los impactos en salud asociados con la exposición a contaminantes atmosféricos en estas regiones de Colombia, se usa la evaluación de impactos en salud basada en la metodología de evaluación de riesgos. El análisis se enfoca en los beneficios en salud asociados a la reducción de las concentraciones de $PM_{2.5}$.

Para llevar a cabo estas evaluaciones se ha utilizado el software BenMAP-CE (Environmental Benefits Mapping and Analysis Program) y AirQ+. Estas herramientas analíticas permiten evaluar los impactos en la salud de la población asociados con mejoras en la calidad del aire utilizando las concentraciones del contaminante a evaluar, datos de mortalidad, de población, estimadores de riesgo, e indicadores económicos (solo en el caso del BenMAP-CE). El esquema de análisis de impactos utilizando BenMAP, se presenta en la Figura 2.

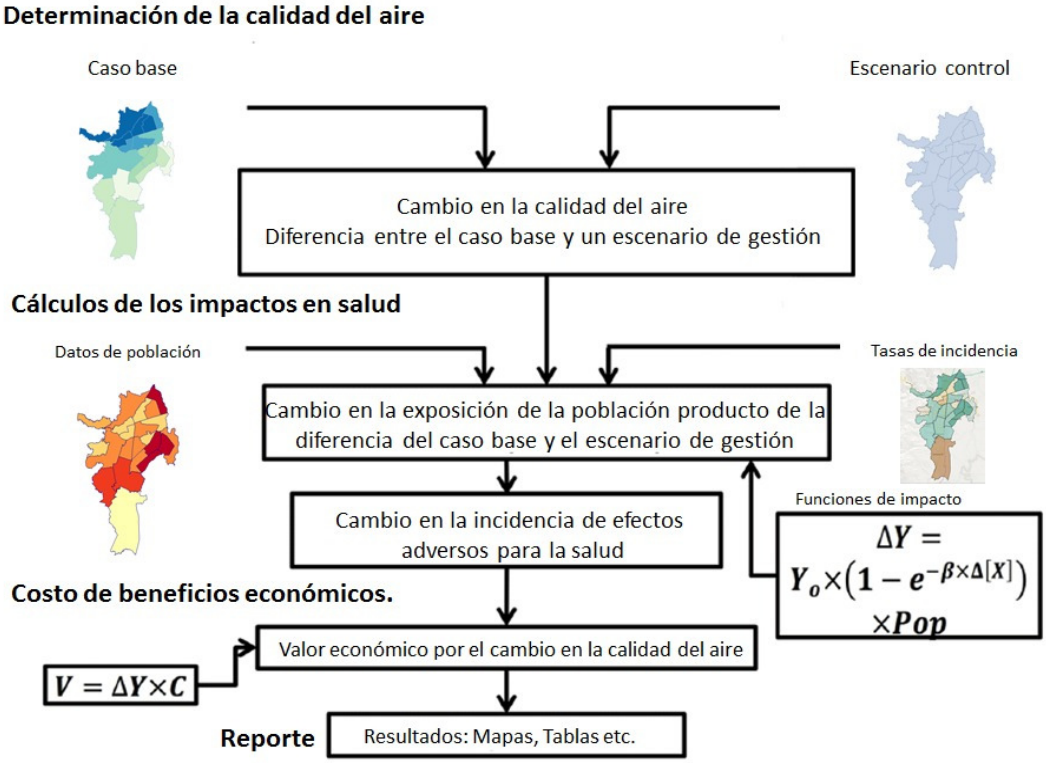


**Figura 2. Esquema de análisis de impactos en salud utilizando BenMAP-CE (ejemplo caso Santiago de Cali).**

*Fuente: Elaboración propia a partir de US-EPA (2016).*

## 2.1 METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS IMPACTOS EN LA SALUD Y VALORACIÓN ECONÓMICA ASOCIADOS A LA CALIDAD DEL AIRE

A continuación, se presentan las metodologías usadas en cada una de las regiones para la estimación de los beneficios en salud.

### 2.1.1 Escenario de evaluación para la ciudad de Cali

La evaluación de la Carga Ambiental por Enfermedad es una herramienta para la cuantificación y la medición de impacto ambiental, comparable con el impacto de otros factores de riesgo y enfermedad. La Organización Mundial de la Salud ha definido la carga de la enfermedad, como el impacto en salud en un área específica medida por la mortalidad y la morbilidad. En el marco de este proyecto, y de acuerdo a las necesidades planteadas por los representantes de las autoridades de Ambiente y Salud, la metodología planteada busca responder la pregunta: ¿Cuál es la carga de enfermedad atribuible a la contaminación del aire?, y para ello se utiliza la evaluación de Carga de Enfermedad. Los análisis se plantean para dos escenarios que tienen como fin último evaluar los impactos en salud asociados a la calidad del aire para los años 2015 – 2018 (análisis retrospectivo) y 2030 (análisis prospectivo).

Es así como se presentan los dos siguientes tipos de análisis que brindan información de manera complementaria y cuyo periodo de evaluación corresponde a los años 2015-2018:

1. ***Análisis de Carga de Enfermedad Atribuible a la Contaminación del Aire:***
   Esta metodología permite hacer una estimación para determinar los impactos en la salud y el valor económico asociados a los niveles actuales de calidad del aire año a año en comparación con un escenario de control. Como escenario de control para la evaluación, se usó una eliminación de los niveles actuales de contaminación de $PM_{2.5}$, [1] tomando en consideración que entre más bajos sean los niveles de contaminación del aire se podrían reducir la carga de mortalidad, y mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población, tanto en el largo como corto plazo (OMS, 2018). Es importante resaltar que, si bien la concentración de partículas evaluada en la ciudad es inferior a los estándares de la norma nacional (Resolución 2254 de 2017) donde se establece un valor anual de 25 µg/m$^3$ para el $PM_{2.5}$, a esta concentración siguen existiendo altos riesgos para la salud de la población.

[1] Si bien no existe un umbral de exposición seguro frente a la contaminación del aire, no es físicamente posible tener concentraciones de 0 µg/m$^3$, por esta razón se utiliza una concentración de 5 µg/m$^3$ de $PM_{2.5}$ como umbral para la evaluación.

2. ***Análisis de beneficios en salud a 2030 por la mejora de la calidad del aire frente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible:***
   Este análisis permite evaluar de manera retrospectiva cual sería el beneficio en salud atribuible a la mejora en la calidad del aire en Santiago de Cali, de acuerdo con lo establecido en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), y para los cuales se toma como referencia el valor guía de la OMS para $PM_{2.5}$ de 10µg/$m^3$.

   Más allá, este análisis permite obtener la información para evaluar el cumplimiento de los indicadores N° 3.9.1 y 11.6.2 de los ODS (véase Figura 3):

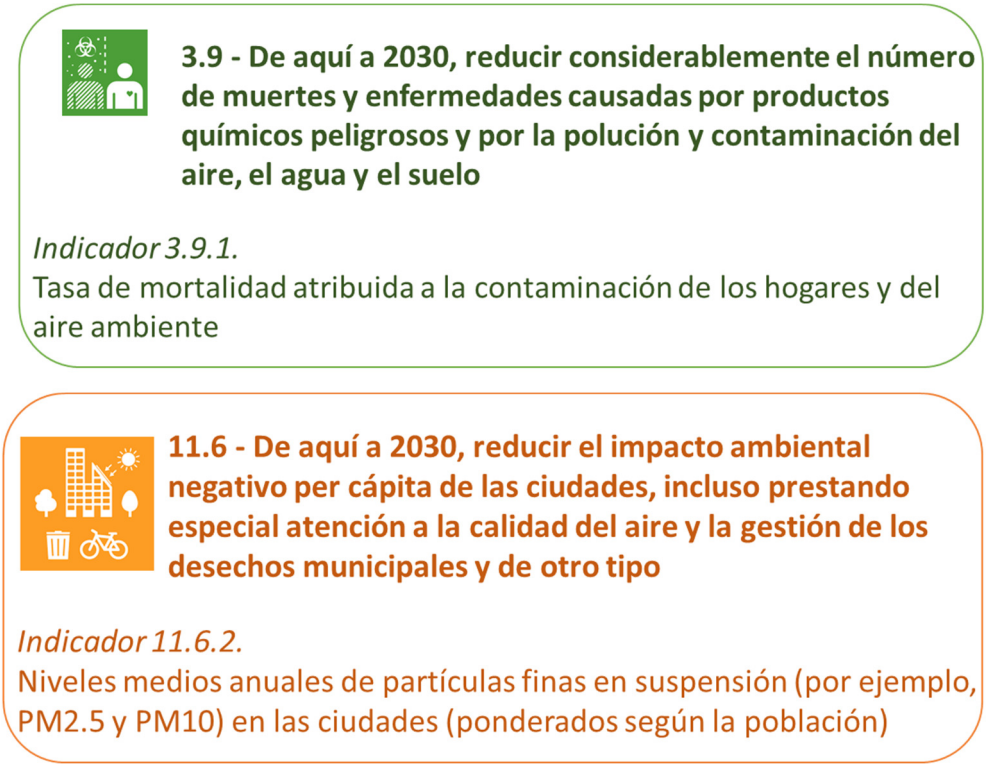


**Figura 3. Indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible a evaluar**

Este análisis no sólo permite evaluar los avances en la implementación del "*Plan de Desarrollo, Cali Nuestro Mejor Plan 2020 – 20203*", sino que permite identificar las contribuciones de la ciudad al cumplimiento de las metas nacionales en este concepto, todo esto para el caso en el que se cumpla con el valor guía establecido por la OMS.

### 2.1.2 Escenario de evaluación para el Valle de Aburrá

Para evaluar los beneficios en salud asociados con una mejor calidad del aire en el Área Metropolitana de Valle de Aburrá durante el 2016 a 2018, periodo en el cual se lanzó y empezó a implementar el Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire del Valle de Aburrá 2017 – 2030 (PIGECA); se usa la metodología de evaluación de riesgos. Este análisis se enfoca en los beneficios en salud asociados a la reducción de las concentraciones de $PM_{2.5}$, y toma en consideración que las concentraciones de $PM_{2.5}$ en 2018 fueron 9µg /$m^3$ más bajas que en 2016 en el Valle de Aburrá. En este caso se buscaba responder a la pregunta de ¿cuáles son los beneficios en la salud de la población por mejoras en la calidad del aire, específicamente de $PM_{2.5}$, posiblemente asociadas a la implementación del PIGECA?

Es así como se presentan los dos siguientes tipos de análisis que brindan información de manera complementaria y cuyo periodo de evaluación corresponde a los años 2016-2018:

1. ***Principal: Análisis de Carga de Enfermedad Atribuible a la Mejora en la Calidad del Aire en el periodo - Anual:***
   Este análisis estima los beneficios en la salud y su valoración económica bajo el escenario de línea base (que llamaremos BaU, por sus siglas en inglés correspondientes a "business as usual"), es decir, bajo las condiciones de contaminación del aire sin la implementación del PIGECA, versus el escenario de gestión, que representa las condiciones de contaminación del aire con la implementación del PIGECA. Para el escenario BaU se utilizan los resultados de la modelación de las concentraciones promedio anuales de $PM_{2.5}$ (véase el Documento del Plan Integral de Gestión del a Calidad del Aire – PIGECA, 2017), que muestra un incremento continuo en este contaminante a partir de 2015 (año base) hasta el 2030. Las concentraciones para el escenario de gestión son aquellas que provienen de las estaciones de monitoreo localizadas en el AMVA.
2. ***Alternativo: Análisis de Carga de Enfermedad Atribuible a la Mejora en la Calidad del Aire en el periodo - bianual:***
   El análisis principal se complementa con un análisis alternativo para evaluar otro escenario BaU que corresponde a las concentraciones promedio anuales de $PM_{2.5}$ del año base 2016. Este "análisis alternativo" permite estimar los beneficios en la salud y su valoración económica a partir de las mediciones del monitoreo atmosférico en el AMVA de 2016 vs 2018.

Cabe resaltar que el Área Metropolitana del Valle de Aburrá ha avanzado en estimaciones previas para esta evaluación, las cuales son complementadas y actualizadas con el alcance del presente proyecto.[2]

[2] Información relacionada con las estimaciones previas realizadas por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en convenio con la Universidad Pontificia Bolivariana se pueden consultar a través del material

### 2.1.3 Cálculos de impactos en salud

La estimación de impactos en salud son insumos para estimar los impactos económicos de la contaminación del aire. En el caso del uso del BenMAP, este permite estimar los impactos en la salud además de la valoración económica asociada, como resultado del delta en la contaminación del aire ambiente.

En la evaluación de impactos en la salud BenMAP la función concentración–respuesta (CFR) es logarítmica lineal. La función que relaciona la concentración promedio anual de $PM_{2.5}$ y el estimador del riesgo (se denomina coeficiente beta, β) según la siguiente fórmula:

$$\Delta Y = Y_0 * \left(1 - e^{-\beta * \Delta PM2.5}\right) * Pob$$

Donde:
$\Delta Y$: cambio en mortalidad (puede ser total o por causas específicas)
$Y_0$: tasa de mortalidad (incidencia) base (puede ser total o por causas específicas)
β: coeficiente de riesgo unitario
Así, es posible caracterizar de manera cuantitativa la relación entre la exposición a un contaminante atmosférico (por ejemplo, $PM_{2.5}$) y los efectos en la salud.

Los análisis económicos se desarrollan dentro de un marco científico sólido que permite realizar análisis económicos de regulaciones y políticas ambientales. La valoración económica se realiza utilizando la estimación de los impactos en salud (como puede ser la mortalidad atribuible evitada) para valorarlos en términos económicos, a partir del valor estadístico de la vida. Los datos necesarios para el uso de BenMAP-CE y sus fuentes, se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1. Datos de entrada para el uso del modelo**

| Información | Requerida para evaluar impactos en salud | Requerida para evaluar impactos económicos | Fuente |
|---|---|---|---|
| **Información geográfica** | X | X | CALI – CAI / UPB - CAI |
| **Definición de contaminantes** | X | | CAI – CALI / CAI - AMVA |
| **Información de calidad del aire** | X | | CALI / SIATA, UPB |
| **Tasa de incidencia (mortalidad)** | X | | Secretaría de Salud |
| **Datos de población** | X | X | DANE |
| **Funciones concentración respuesta** | X | | Literatura Internacional - estudios epidemiológicos de cohorte |

generado por el Contrato de Ciencia y Tecnología N°1179 de 2018, información que reposa en los archivos de la autoridad ambiental local.

| Información | Requerida para evaluar impactos en salud | Requerida para evaluar impactos económicos | Fuente |
|---|---|---|---|
| **Datos de Inflación** | | X | Fondo Monetario Internacional |
| **Funciones de valoración económica** | | X | Literatura Internacional, DNP |
| **Crecimiento del PIB** | | X | DANE |

*Fuente: Elaboración propia a partir de US-EPA (2016).*

A continuación, se describen los datos de entrada del modelo.

### 2.1.4 Información geográfica

Para la generación de reportes y resultados de BenMAP, se requiere la información geográfica. Se utiliza un archivo georreferenciado de las regiones analizadas y su contorno. El archivo en formato Shapefile con el diseño de la cuadrícula de las comunas que conforman la ciudad del Cali y para el caso del Valle de Aburrá los respectivos municipios, se ingresa al modelo (véase la Figura 4 y Figura 5).

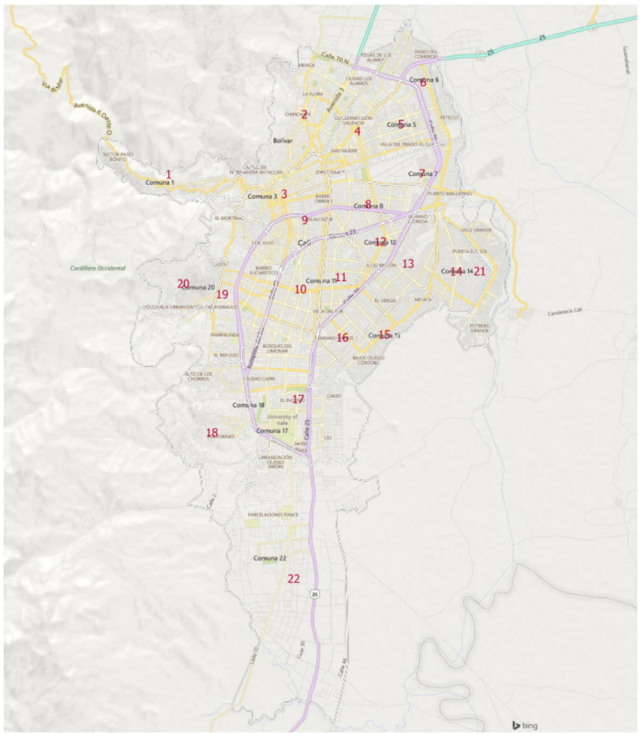

**Figura 4. Información Geográfica (definición de cuadrícula) – Santiago de Cali**

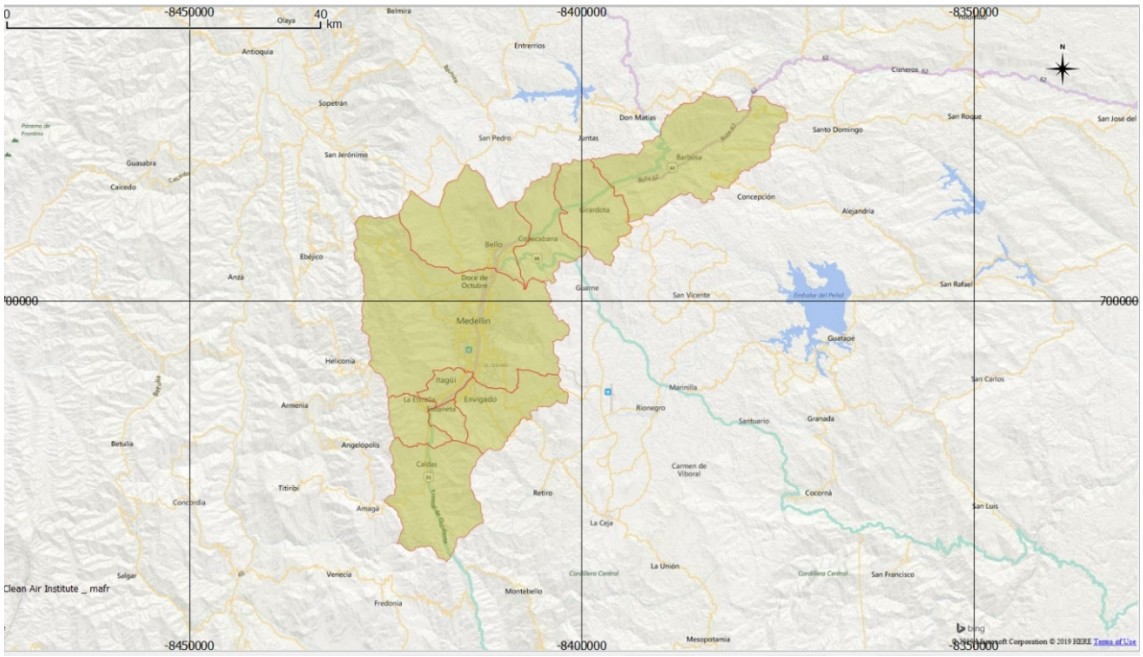


**Figura 5. Información Geográfica (definición de cuadrícula) – Municipios AMVA**

### 2.1.5 Calidad del aire

La exposición a $PM_{2.5}$ se estima con base en la información validada por el Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire de Cali. La métrica de exposición es la concentración promedio anual que se estima a partir de los promedios de 24 horas validados, que resultan del monitoreo con equipos de medición continuos.

Esta metodología considera los datos de monitoreo que cumplen con protocolos de control de calidad y solo se utilizan los promedios anuales de las estaciones que cumplen con los criterios de suficiencia del 75% de datos válidos diarios y horarios para tener más de tres trimestres válidos en el año.

Para el caso de Santiago de Cali, se tomó la información procedente de las estaciones[3] Univalle, Base Aérea y Compartir, que otorgan datos de $PM_{2.5}$ de forma automática.

A continuación se presenta una tabla con la información de las estaciones de monitoreo en el Valle de Aburrá utilizadas en el análisis (ver Tabla 2).

[3] Estaciones de representatividad poblacional

**Tabla 2. Estaciones de la Red de Monitoreo clasificadas como de representatividad poblacional año 2018.**

| Nombre del Monitor | Clave | Latitud | Longitud |
|---|---|---|---|
| **Barbosa - Torre Social** | BAR-TORR | 6.4369602 | -75.330452 |
| **Bello - Liceo Fernando Vélez** | BEL-FEVE | 6.3375655 | -75.5678 |
| **Caldas - Escuela Joaquín Aristizábal** | CAL-JOAR | 6.0930777 | -75.637764 |
| **Copacabana - Institución Educativa Ciudadela de la Vida** | | | |
| **Envigado - E.S.E Santa Gertrudis** | ENV-HOSP | 6.16849 | -75.58197 |
| **Girardota - SOS Aburrá Norte** | GIR-SOSN | 6.3790379 | -75.4509125 |
| **Itagüí - Casa de Justicia** | ITA-CJUS | 6.1856666 | -75.5972061 |
| **Itagüí - Colegio Concejo de Itagüí** | ITA-CONC | 6.1684971 | -75.6443558 |
| **La Estrella - Hospital** | EST-HOSP | 6.1555306 | -75.6441694 |
| **Medellín - Biblioteca Fernando Botero San Cristóbal** | MED-SCRI | 6.2805 | -75.6366 |
| **Medellín - I E Ciro Mendía Aranjuez** | MED-ARAN | 6.29034 | -75.55582 |
| **Medellín - I E INEM Santa Catalina Poblado** | MED-TESO | 6.19987 | -75.56095 |
| **Medellín - I E Pedro Justo Berrío Belén las Mercedes** | MED-BEME | 6.243 | -75.61201 |
| **Medellín - I E Pedro Octavio Amado Belén Altavista** | MED-ALTA | 6.224806 | -75.613806 |
| **Medellín - Planta de Agua Potable EPM Villa Hermosa** | MED-VILL | 6.261722 | -75.551639 |
| **Medellín - Tanques la Ye** | MED-LAYE | 6.1825418 | -75.5506363 |
| **Medellín - Universidad Nacional Núcleo el Volador** | MED-UNNV | 6.2633696 | -75.5770035 |
| **Sabaneta - I E Rafael J Mejía** | SAB-RAME | 6.1454778 | -75.6214142 |

La distribución espacial de las concentraciones de cada estación se realiza con el método de interpolación de datos de Voronoi del BenMap-CE.

### 2.1.6 Mortalidad

Este análisis toma como indicador de los impactos en salud a la mortalidad total y a ciertas causas específicas de mortalidad. Entre las causas de mortalidad con mayor evidencia científica en relación a una posible relación causal con la exposición a $PM_{2.5}$ para la población de adultos, incluye las enfermedades cardiopulmonares y el cáncer de pulmón. En la amplia categoría de las cardiopulmonares, se encuentran las cardiovasculares, que a su vez abarcan a la cardiopatía isquémica y al infarto cerebrovascular (hemorrágico e isquémico), a la influenza y neumonía y a la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).

***Cali***
Las tasas de incidencia de la mortalidad que se utilizan se obtienen de la Secretaría de Salud de Cali. Los datos originales están desagregados por género y grupo de edad para los años de análisis 2015 – 2018.

***Valle de Aburrá***
Las tasas de incidencia de la mortalidad que se utilizan se obtienen de las Secretarías de Salud de los municipios a través del AMVA y procesada por el Clean Air Institute. Los datos originales están desagregados por género y grupo de edad para cada municipio para los años de análisis 2016 – 2018.

### 2.1.7 Población

La información poblacional para la evaluación se obtiene de las proyecciones del Censo Poblacional de Colombia (DANE, 2005 y 2018) y se valida con la información estadística de Cali y los municipios del Valle de Aburrá según corresponda.

### 2.1.8 Funciones Concentración-Respuesta

Los coeficientes de riesgo (β) que se estiman en los estudios epidemiológicos permiten la construcción de las FCR. Los (β) permiten establecer la asociación que existe entre la exposición a $PM_{2.5}$ y los impactos adversos para la salud. La selección de los coeficientes de riesgo y de las FCR que se van a utilizar se debe hacer con base en un análisis riguroso de la literatura científica nacional e internacional, de tal forma que la evidencia sea suficiente para asumir una relación de causalidad entre la exposición y el efecto en salud.

Decenas de estudios prospectivos de cohorte se han desarrollado para evaluar la prevalencia de un determinado impacto en salud (v.g. mortalidad) en un grupo de sujetos expuestos vs. otro grupo de sujetos no expuestos a un factor de riesgo (v.g. a $PM_{2.5}$). De esta manera se estima el riesgo relativo al factor de riesgo (el riesgo de la enfermedad entre los expuestos dividido entre el riesgo de la enfermedad entre los no expuestos).

En este sentido, estudios de cohorte han mostrado consistentemente las asociaciones entre la exposición a largo plazo a $PM_{2.5}$ y los efectos en la mortalidad (v.g. estudios realizados en Estados Unidos, Europa, Canadá, China, Japón, entre otros). Para este caso la definición de las FCR a utilizar se hizo con base en los siguientes criterios: 1) inclusión de estudios de cohorte con mayores tiempos de seguimiento y mayor número de participantes; 2) inclusión de meta-análisis de estudios de cohorte, cuya selección de los estudios de cohorte hubiera sido de aquellos con mayor tiempo de seguimiento, mayor número de participantes y realizados para estimar el efecto de $PM_{2.5}$ en mortalidad total o por causas específicas de

mortalidad; 3) exclusión de cohortes de grupos específicos de población (v.g. maestros, mineros, sexo masculino o femenino, entre otras).

En la Tabla 3 se presentan las FCR que se utilizan en el estudio. En ésta se incluye: a) referencia del estudio del que proviene la información, así como tipo de impacto (mortalidad total o por casusas específicas); b) causas incluidas de acuerdo con su clasificación en el Código Internacional de Enfermedades versión 10 (CIE-10); y, c) grupo de edad de los participantes del estudio del que provienen los coeficientes. Los coeficientes de riesgo (el riesgo relativo) con sus intervalos de confianza al 95%, representan la respuesta de un efecto en salud por un cambio en la concentración de $PM_{2.5}$.

En la medida en que se desarrollen estudios de cohorte locales para evaluar la relación entre la exposición crónica a los contaminantes atmosféricos y los efectos en la salud, los coeficientes de riesgo se podrán incluir en los análisis de evaluación de impactos de la implementación de programas de gestión de la calidad del aire o de medidas específicas de control.

**Tabla 3. Riesgos relativos asociados con exposición a largo plazo a $PM_{2.5}$**

| ID Escenario | Causas (CIE-10) | Grupo de edad | Riesgo Relativo (IC 95%) a | Referencia |
|---|---|---|---|---|
| | **Exposición a largo plazo a $PM_{2.5}$** | | | |
| Mortalidad general | Todas, no externas (A00-R99) | 18-84 años | 1.12 (1.08-1.15) | Pope et al., (2019) |
| Mortalidad específica | Cardiovasculares (I00-I99) | 18-84 años | 1.28(1.21-1.36) | |
| | Cerebrovascular (I60-I69) | 18-84 años | 1.26 (1.11,1.43) | |
| | Cáncer de Pulmón (C33-C34) | 25-74 años | 1.37 (1.07-1.75) | Lepeule et al (2012) |
| | Influenza/neumonía (J09–J18) | 18-84 años | 1.41 (1.13,1.76) | Pope et al (2019) |
| Morbilidad | Morbilidad_Ingresos Hospitalarios Casos Respiratorios | 0-99 años | US EPA | Zanobetti et al 2009 |

*Nota: los estimadores de riesgo se asocian con incrementos de 10 µg/m³ de$PM_{2.5}$. Fuente: Elaboración propia.*

Con estos coeficientes se obtiene la función concentración-respuesta para estimar los impactos en salud atribuibles a la exposición a contaminantes atmosféricos (v.g. $PM_{2.5}$).

### 2.1.9 Valoración económica de los beneficios en salud

La valoración económica consiste en la asignación de un valor monetario a las muertes atribuibles evitadas. Esto con la finalidad de determinar un valor a la mortalidad (atribuible

o evitada) es transformar los beneficios a la salud a una métrica común, en este caso un valor monetario, con lo cual se pueden comparar los beneficios en salud con los costos de implementación de un programa o de medidas de control. Asimismo, permite la comparación entre los costos de otras políticas públicas.

Para monetizar los beneficios en salud se utiliza el Valor de una Vida Estadística (VSL).

El CAI recomienda que, al tratarse de una valoración de costos en términos propiamente económicos, los indicadores no deben interpretarse directamente como un impacto directo en las cuentas nacionales (por ejemplo, en el PIB). La valoración de mortalidad en términos económicos no debe confundirse con costos netamente financieros, como el gasto erogado por el sector salud en hospitalizaciones o el pago de un tratamiento o una consulta médica por parte de un individuo. Por el contrario, el costo económico involucraría la cuantificación del valor que los individuos dan a la pérdida de aspectos que consideran valiosos, destacando la salud y la vida en sí misma. De tal manera que la comparación de la valoración de muertes evitables con el PIB debe entenderse sólo en términos referenciales (ver conclusiones del estudio).

El VSL para Colombia elegido en este estudio, corresponde a un valor de 1,320 millones de pesos[4] equivalente a 391,403 USD (a precios de valor presente del dólar)[5]. La estimación del VSL se obtuvo de la estimación realizada por el Departamento Nacional de Planeación.

[4] Departamento Nacional de Planeación, 2018. Valoración económica de la degradación ambiental en Colombia 2015. Contaminación del aire urbano, contaminación del aire interior y deficiencias en el acceso al acueducto y el alcantarillado. Bogotá, D.C., Colombia.

[5] TRM Banco de la Republica de Colombia de 3,372.48 peros colombianos por dólar estadounidense (12 de septiembre de 2019).

# 3 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE BENEFICIOS EN SALUD Y ECONÓMICOS POR LA CALIDAD DEL AIRE EN CALI USANDO EL MODELO BENMAP - CE

## 3.1 CALI

### 3.1.1 Análisis de Carga de Enfermedad Atribuible a la Contaminación del Aire (2015 – 2018):

Los resultados globales sobre la caracterización de la mortalidad atribuible por todas las causas (no externas) en la población mayor a 18 años de la ciudad de Cali durante el periodo 2018 indican que los estimadores medios (M.E. media) y las de los intervalos de confianza al 95% (Percentiles 2.5 y 97.5) vinculados a la incertidumbre de las FCR utilizadas son:

1919 casos atribuibles en adultos mayores a 18 años en Cali Colombia – Mortalidad general (véase Figura 6).

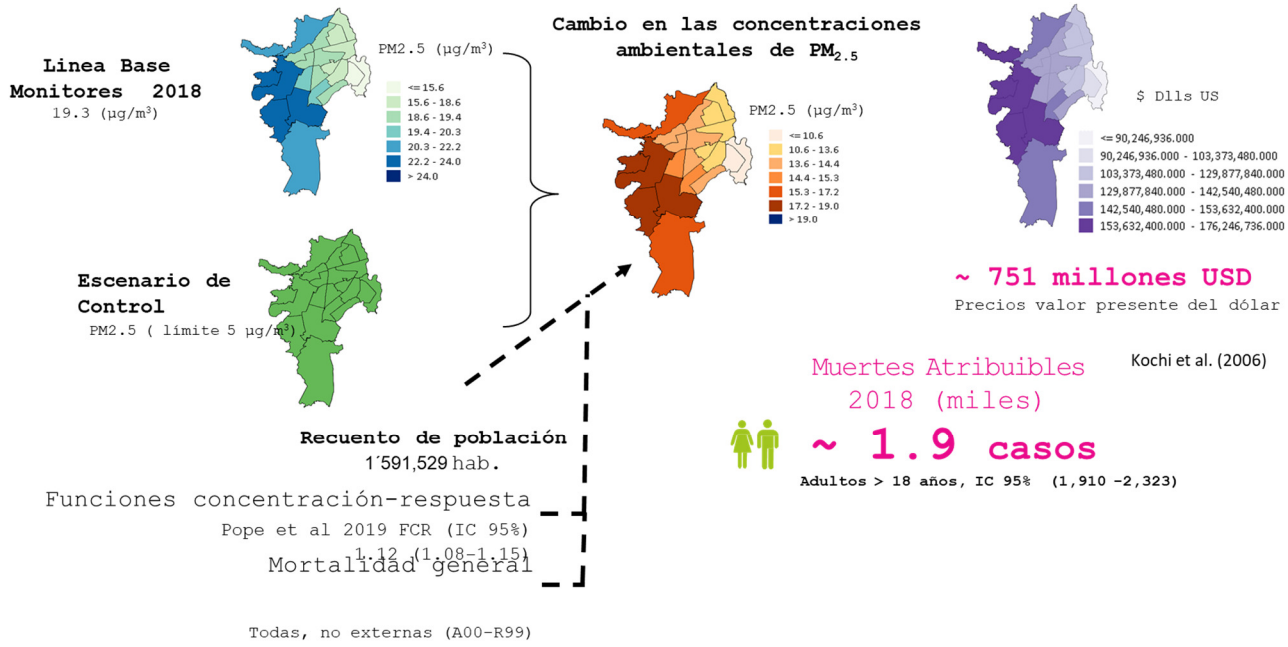


**Figura 6. Resultados Mortalidad Atribuible - Análisis Norma Nacional para 2018 BenMAP-CE**

*Fuente: Elaboración propia.*

La valoración económica de las muertes atribuibles por causas generales presenta un costo social realizado con el estimador VSL a precios del valor presente del dólar es:

~751 millones de dólares para el año 2018 en Cali.

Si se considera el valor del PIB de Santiago de Cali para 2018 de 14,562 millones de dólares (Alcaldía de Santiago de Cali, 2019)[6], esto representa el 5,1 % del PIB de la ciudad.

Se presenta la estimación de muertes atribuibles por causas específicas y las funciones Concentración-Respuesta utilizadas en la siguiente tabla:

[6] Alcaldía de Santiago de Cali, 2019. Cali en Cifras 2018 – 2019. Departamento Administrativo de Planeación. Santiago de Cali, Colombia

## Tabla 4. Estimación de la carga de enfermedad atribuible a la contaminación atmosférica por $PM_{2.5}$

| | FCR POPE_2019 Mortalidad general | | FCR POPE_2019 Cerebrovascular | | FCR Lepeule et al Cáncer de Pulmón | | FCR POPE_2019 Neumonía | | FCR POPE_2019 Cardiovascular | | Morbilidad Casos respiratotios atribuibles a PM2.5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Año** | Mort Atribuible | Valoración Económica | Mort Atribuible | Valoración Económica | Mort Atribuible | Valoración Económica | Mort Atribuible | Valoración Económica | Mort Atribuible | Valoración Económica | **No casos>0-99 años** |
| 2015 | 1,808 | 707,656,624 | 250 | 97,850,750 | 68 | 26,615,404 | 212 | 82,977,436 | 622 | 243,452,666 | 711 |
| 2016 | 1,827 | 715,093,281 | 206 | 80,629,018 | 67 | 26,224,001 | 266 | 104,113,198 | 563 | 220,359,889 | 648 |
| 2017 | 1,732 | 677,909,996 | 237 | 92,762,511 | 66 | 25,832,598 | 267 | 104,504,601 | 676 | 264,588,428 | 437 |
| 2018 | 1,919 | 751,102,357 | 252 | 98,633,556 | 79 | 30,920,837 | 280 | 109,592,840 | 734 | 287,289,802 | 742 |

***Notas:*** *- La Mortalidad Atribuible se presenta en número casos>18-84 años*
*- La valoración económica se presenta en dólares, precios de valor presente*

### 3.1.2 Resultados de la evaluación de impacto en salud por la contaminación del aire en Cali usando el modelo AirQ+

De manera complementaria, a continuación, se presenta la evaluación de los beneficios en la salud de la población por mejoras en la calidad del aire, específicamente de $PM_{2.5}$, posiblemente asociado con el mejoramiento de la calidad del aire, mediante el uso de la herramienta AriQ+ de la OMS. Dicha evaluación se realizó para estimar la Carga de Enfermedad Atribuible a la Contaminación para el año 2018.

La metodología utilizada se basa en la cuantificación de los riesgos y beneficios relacionados con los cambios en la calidad del aire en Santiago de Cali para el año 2018 y como escenario de control para la evaluación, se usó una eliminación de los niveles actuales de contaminación de $PM_{2.5}$.[7]

Como información de entrada al modelo se tomó como base la siguiente información:

- Población General: 2´375,417 habitantes
- Mortalidad General CIE 10 A00-R99:
- Promedio anual de la concentración partículas $PM_{2.5}$: 19.3 µg/m$^3$
- Control: 5 µg/m$^3$

A partir de estos datos de entrada, la herramienta AirQ+ arroja los siguientes resultados:

Para el año 2018 en Santiago de Cali se estimaron 628 muertes atribuibles por la exposición crónica a partículas suspendidas $PM_{2.5}$ con una tasa de incidencia por cada cien mil habitantes.

| Datos de Salida Exposición a largo plazo | | $PM_{2.5}$ Mortalidad por enfermedades respiratorias en población mayor de 30 años. Valor central |
|---|---|---|
| **Santiago de Cali** | **% Atribuible** | **3.37** |
| | **Muertes atribuibles estimadas** | **628** |
| | **Muertes atribuibles x 100,000 hab.** | **26.44** |

[7] Si bien no existe un umbral de exposición seguro frente a la contaminación del aire, no es físicamente posible tener concentraciones de 0 µg/m$^3$, por esta razón se utiliza una concentración de 10 µg/m$^3$ de $PM_{2.5}$ como umbral para la evaluación.

### 3.1.3 Análisis de beneficios en salud a 2030 por la mejora de la calidad del aire frente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible:

Los resultados globales sobre la caracterización de la mortalidad atribuible evitada por todas las causas (no externas) en la población mayor a 18 años de la ciudad de Cali durante el periodo 2018 indican que los estimadores medios (M.E. media) y las de los intervalos de confianza al 95% (Percentiles 2.5 y 97.5) vinculados a la incertidumbre de las FCR utilizadas son:

De cumplir con los valores guía de la OMS, se podrían evitar 1572 muertes en adultos mayores a 18 años en Cali Colombia – Mortalidad general.

La valoración económica de las muertes atribuibles evitadas por causas generales presenta un beneficio social por el cumplimiento del valor guía para $PM_{2.5}$ establecido por la Organización Mundial de la Salud, con el estimador VSL a precios del 2015 es:

~ 615 millones de dólares para el año 2018 en Cali.

### 3.1.4 Conclusión General

- En 2018, la mortalidad atribuible a la contaminación del aire en Santiago de Cali se estima en aproximadamente 1,919 casos.

- El costo estimado de los efectos en salud equivale a un total de 751 millones de dólares anuales. Si se considera el valor del PIB de Santiago de Cali para 2018, esto representa el 5,1 % del PIB de la ciudad.

- Santiago de Cali ha avanzado de manera importante en el monitoreo, control de fuentes e implementación de estrategias de sustentabilidad ambiental (incluyendo el fortalecimiento de su sistema de vigilancia de Calidad del Aire y una articulación propicia entre ambiente y el sector salud).

- No obstante, la tendencia al aumento de la contaminación del aire subraya que se requiere una política más agresiva de implementación del Plan de Gestión de la Calidad del Aire de Santiago de Cali y herramientas de planeación y gestión que aseguren el cumplimiento de las normas colombianas en la materia y el logro de objetivos cuantificables de reducción de emisiones.

- Reducir la contaminación del aire permitirá mejorar la protección a la salud, así como contribuir al logro de las metas climáticas de la ciudad y el país, y de los objetivos superiores de desarrollo sustentable.

- La evaluación de impactos solo es posible con la articulación de salud y ambiente. Pero la mitigación efectiva de emisiones requiere de la contribución de todos los sectores del gobierno, la sociedad y la economía.

- Más allá, se requiere un compromiso de alto nivel que priorice los presupuestos que propicien las acciones más efectivas para la mejora de la calidad del aire.

## 3.2 VALLE DE ABURRÁ

### 3.2.1 Análisis de Carga de Enfermedad Atribuible a la Contaminación del Aire (2016 – 2018):

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá realizó estimaciones usando el modelo BenMap-CE para estimar los beneficios en la salud y su valoración económica entre las condiciones de contaminación del aire sin la implementación de su Plan Integral para el Mejoramiento de la Calidad del Aire (PIGECA), versus un escenario de gestión representado por las condiciones de contaminación del aire con la implementación de este Plan.

Los resultados globales sobre la caracterización de la mortalidad atribuible evitada por todas las causas (no externas) en la población mayor a 18 años del Área Metropolitana del Valle de Aburrá durante el periodo 2018 indican que los estimadores medios (M.E. media) y las de los intervalos de confianza al 95% (Percentiles 2.5 y 97.5) vinculados a la incertidumbre de las FCR utilizadas son:

1,587 (IC 95% 1,245-1,917), muertes atribuibles evitadas en adultos mayores a 18 años en el AMVA Colombia (Figura 7).

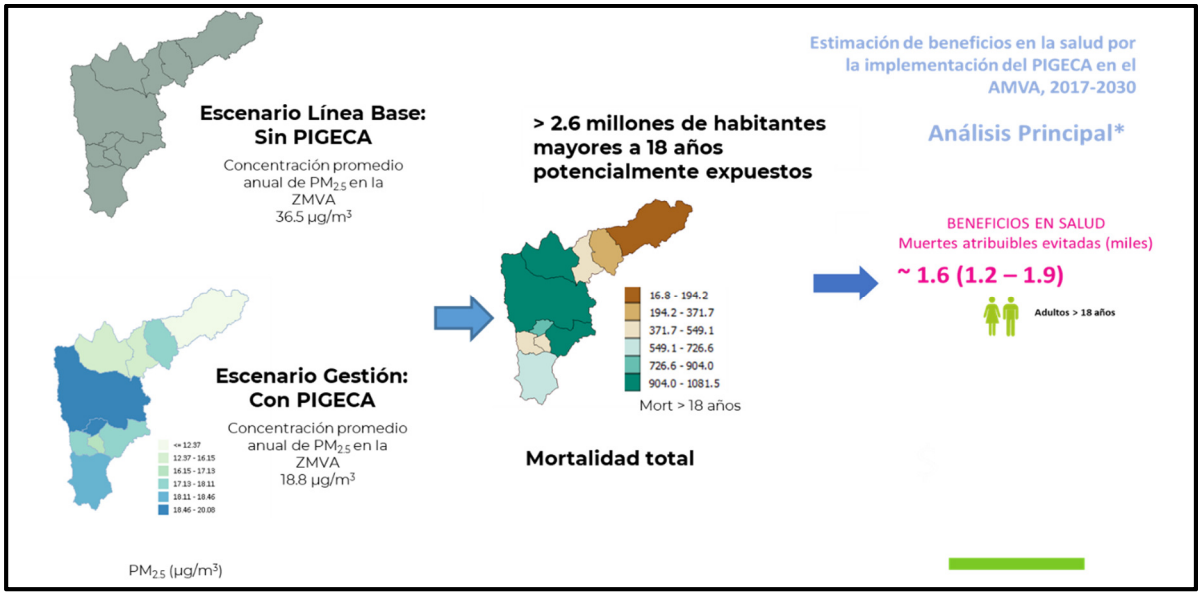


**Figura 7. Resultados de la mortalidad atribuible evitada por la implementación del PIGECA para el año 2018**

La valoración económica de las muertes atribuibles evitadas por causas generales presenta un beneficio social por mejorar la calidad del aire en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, durante el periodo de gestión correspondiente a la reducción de $PM_{2.5}$ con el estimador VSL a precios de valor presente del dólar es:

~ 621 millones de dólares para el año 2018 en el AMVA.

Con este impacto en mortalidad general y su valoración económica, la estimación de muertes atribuibles evitables por causas específicas de acuerdo con los estimadores de riesgo propuestos para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá se presentan en la Tabla 5**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Este cálculo toma como referencia las bases de datos de 2018 de mortalidad específica tomada del DANE, que en términos generales presentaron un total de: a) 2,443, casos CIE10 (I00 -I99) de Mortalidad Cardiovascular, b) 1,074, casos CIE 10 de influenza/neumonía, c) 585, casos CIE 10 (C33-C34) encontrando atribución en la BD de (C30-C34) de cáncer de pulmón.

Los resultados por municipio cálculo de la incidencia por la población afectada usando el BenMAP-CE son:

**Tabla 5. Resultados Mortalidad Específica para 2018 usando el BenMAP-CE**

| Municipio | Mortalidad atribuible evitada por Enfermedad Cardiovascular | | Mortalidad atribuible evitada por Cáncer de Pulmón | | Mortalidad atribuible evitada por Neumonía | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mortalidad específica Cardiovascular | Valoración económica | Mortalidad específica Cáncer de Pulmón | Valoración económica | Mortalidad específica Neumonía | Valoración económica |
| Copacabana | 13 | $5,088,239 | 3 | $1,174,209 | 6 | $2,348,418 |
| Girardota | 5 | $1,957,015 | 1 | $391,403 | 3 | $1,174,209 |
| Barbosa | 9 | $3,522,627 | 2 | $782,806 | 5 | $1,957,015 |
| Medellín | 374 | $146,384,722 | 78 | $30,529,434 | 212 | $82,977,436 |
| Itagüí | 37 | $14,481,911 | 8 | $3,131,224 | 20 | $7,828,060 |
| Envigado | 39 | $15,264,717 | 9 | $3,522,627 | 15 | $5,871,045 |
| La Estrella | 14 | $5,479,642 | 1 | $391,403 | 5 | $1,957,015 |
| Sabaneta | 13 | $5,088,239 | 3 | $1,174,209 | 7 | $2,739,821 |
| Caldas | 14 | $5,479,642 | 2 | $782,806 | 8 | $3,131,224 |
| Bello | 54 | $21,135,762 | 14 | $5,479,642 | 37 | $14,481,911 |
| **Total** | **572** | **$223,882,516** | **121** | **$47,359,763** | **318** | **$124,466,154** |

En acuerdo con el Área Metropolitana del Valle de Aburrá –AMVA-, en este estudio se presentan los resultados del escenario principal para el año 2018 y se llevará a cabo una actualización de la estimación para el año 2019.

### 3.2.2 Resultados de la evaluación de beneficios en salud por la calidad del aire en el Valle de Aburrá usando el modelo AirQ+

Esta valoración permite evaluar los beneficios en la salud de la población del Valle de Aburrá por mejoras en la calidad del aire, específicamente de $PM_{2.5}$, posiblemente asociadas a la implementación del PIGECA, mediante el uso de la herramienta AiQ + de la OMS.

La cuantificación de los riesgos y beneficios relacionados con los cambios en la calidad del aire bajo el supuesto mejoramiento de la calidad del aire, se realizó para el año 2018 tomando como línea base la concentración del estimada por el PIGECA para ese mismo año (Línea Base del Plan para 2018).

Para realizare estos cálculos, se tomaron los siguientes datos:

- Población General del AMVA: **3,909,729 habitantes**
- Mortalidad General CIE 10 A00-R99: **13,454 casos**
- Promedio anual de la concentración partículas $PM_{2.5}$: **18.38 µg/m³**
- BaU: **36.5 µg/m³**

Los resultados que arroja la herramienta permiten identificar que para el año 2018 en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá se estimaron 1,115 muertes atribuibles por la exposición crónica a partículas suspendidas $PM_{2.5}$ con una tasa de incidencia de 344.11 por cada cien mil habitantes.

| Datos de Salida<br>Exposición a largo plazo | | $PM_{2.5}$<br>Mortalidad por enfermedades respiratorias en población mayor de 30 años.<br>Valor central |
|---|---|---|
| Área Metropolitana del Valle de Aburra | **% Atribuible** | **10.36** |
| | **Muertes atribuibles estimadas** | **1,115** |
| | **Muertes atribuibles x 100,000 hab.** | **36.65** |

### 3.2.3 Conclusión General

- El Área Metropolitana del Valle de Aburrá cuenta con un Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire (PIGECA) emitido a fines de 2017.

- Es un plan de acciones por el aire pensado al año 2030, con metas de corto, mediano y largo plazo, que 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.

- Contiene medidas, metas e instrumentos de medición; para mantener un aire limpio, proteger la salud de la población y propiciar un desarrollo metropolitano sostenible.

- El PIGECA fue construido concertadamente con la academia, colectivos ciudadanos, expertos internacionales y Gobierno Nacional.

- Las concentraciones de $PM_{2.5}$ en 2018 fueron 9µg /$m^3$ más bajas que en 2016 en el Valle de Aburrá, lo que representa una diferencia de 1,600 muertes anuales por contaminación del aire y ahorros en costos de salud de US $ 621 millones. Esta variación podría explicarse en parte por el lanzamiento del PIGECA en 2017, cuya implementación está conduciendo a reducciones significativas de emisiones de acuerdo con su cronograma de implementación. Sin embargo, los factores meteorológicos también pueden desempeñar un papel en esta variación, y cuyo análisis está más allá del alcance de este estudio.

- Para tener éxito, el PIGECA requiere fortalecerse y mantener su implementación consistente con la articulación y participación de actores del territorio.

## REFERENCIAS

Anenberg, S. C., Belova, A., Brandt, J., Fann, N., Greco, S., Guttikunda, S., ... & Miller, B. (2016). Survey of ambient air pollution health risk assessment tools. Risk Analysis, 36(9), 1718-1736.

Corbett, J. J., Winebrake, J. J., Green, E. H., Kasibhatla, P., Eyring, V., & Lauer, A. (2007). Mortality from ship emissions: a global assessment. Environmental science & technology, 41(24), 8512-8518.

Environmental Benefits Mapping and Analysis Program - Community Edition (BenMAP-CE). https://www.epa.gov/benmap

Health and Environmental Research Online: a Database of Scientific Studies and References. Disponible en: https://hero.epa.gov/hero/

INEGI, 2015. Encuesta Intercensal 2015. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/encuestas/hogares/especiales/ei2015/

INEGI, 2016. Mortalidad. Disponible en: http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/registros/vitales/mortalidad/

Fann, N., Baker, K. R., & Fulcher, C. M. (2012). Characterizing the PM2. 5-related health benefits of emission reductions for 17 industrial, area and mobile emission sectors across the US. Environment international, 49, 141-151.

Fann, N., Fulcher, C. M., & Baker, K. (2013). The recent and future health burden of air pollution apportioned across US sectors. Environmental science & technology, 47(8), 3580-3589.

Organización Mundial de la Salud (2017). AirQ+:key features. Disponible en: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0003/371550/AirQ-Key_features_ENG.pdf?ua=1

OMS. (2003). Evaluación del impacto de salud (EIS). Recuperado el 2019, de Agua, saneamiento y salud (ASS): https://www.who.int/water_sanitation_health/resources/hia/es/

OPS. (2018). Contaminación del aire ambiental exterior y en la vivienda. Obtenido de Organización Panamericana de la Salud: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=14454:ambie

nt-and-household-air-pollution-and-health-frequently-asked-questions&Itemid=72243&lang=es

Pineda, L., Blumberg, K., Schade, M., Koupal, J., Perez, I., Zirath, S., ... & Hernandez, U. (2018). Air Quality and Health Benefits of Improved Fuel and Vehicle Emissions Standards in Mexico (No. Working Paper 2018-1).