ESTIMACIÓN DE LOS BENEFICIOS POTENCIALES POR REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR PM_{10} EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA

MÓNICA ALEJANDRA CRISTANCHO COY

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2015

ESTIMACIÓN DE LOS BENEFICIOS POTENCIALES POR REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR PM_{10} EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA

MÓNICA ALEJANDRA CRISTANCHO COY

Trabajo de aplicación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magíster en Ingeniería Ambiental

Director:
NÉSTOR YEZID ROJAS ROA, PhD
Departamento de Ingeniería Química y Ambiental
Universidad Nacional de Colombia

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2015

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN 13

1. GENERALIDADES 14

1.1. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 14

1.2. ESTADO DEL ARTE 15

1.3. OBJETIVOS 19

1.3.1. Objetivo General 19

1.3.2. Objetivos Específicos 19

1.4. MARCO TEÓRICO 20

1.5.1. Contaminantes criterio 21

1.5.2. Efectos sobre la salud por exposición a material particulado 26

1.5.3. Determinación de impactos en la salud por contaminación por pm_{10} 30

2. METODOLOGÍA 41

2.1. ETAPA I: EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A MATERIAL PARTICULADO (PM_{10}) 41

2.1.1. Línea base 41

2.1.2. Niveles de inmisión 41

2.1.3. Delta de concentración 45

2.2. ETAPA II PROYECCIÓN DEMOGRÁFICA 45

2.3. BENEFICIOS POTENCIALES 46
2.3.1. Casos potencialmente evitables 46
2.3.2. Beneficios económicos 50

3. RESULTADOS 53
3.1. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A MATERIAL PARTICULADO (PM_{10}) 54
3.1.1. Línea base 2014 54
3.1.2. Niveles de inmisión 56
3.1.3. Delta de concentración 57
3.2. PROYECCIÓN DEMOGRÁFICA 59
3.3. BENEFICIOS POTENCIALES 61
3.3.1. Casos potencialmente evitables 61
3.3.2. Beneficios económicos 67

4. CONCLUSIONES 73

5. RECOMENDACIONES 76

BIBLIOGRAFÍA 77

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 Porcentaje de deposición de partículas en cada órgano del sistema respiratorio 27

Figura 2 Identificación de conjunto de monitoreos 42

Figura 3 Celda Voronoi 43

Figura 4 Selección de monitoreos que comparten frontera con el centro de celda 44

Figura 2.4 Metodología 52

Figura 6 Comunas Bucaramanga 53

Figura 7 Ubicación espacial de las estaciones calidad del aire del SVCA 56

Figura 8 Dispersión PM_{10} por VNA (año 2014) 57

Figura 9 Concentraciones de PM_{10} por comuna 58

Figura 10 Proyección población 2020 60

Figura 11 Muertes y Hospitalizaciones potencialmente evitables (2014 - 2020) ... 62

Figura 12 Beneficios económicos mortalidad (Millones de pesos) 69

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Generalidades Material Particulado 23
Tabla 2 Generalidades Monóxido de Carbono 24
Tabla 3 Generalidades Óxidos de Nitrógeno 24
Tabla 4 Generalidades Óxidos de Azufre 25
Tabla 5 Efectos en la salud humana producidos por PM_{10} 28
Tabla 6 Incidencia efectos a evaluar.....47
Tabla 7 Proporciones de efectos a evaluar.....48
Tabla 8 Parámetros FCR 49
Tabla 9 Valores unitarios (miles de pesos, 2009) 50
Tabla 10 Datos analizados 54
Tabla 11 Cambio de concentración 59
Tabla 12 Proyecciones población 2020 por género y comuna 60
Tabla 13 Muertes potencialmente evitables (2014 – 2020) 63
Tabla 14 Hospitalizaciones potencialmente evitables (2014 – 2020).....64
Tabla 15 Atención en urgencias, UCI y ERA potencialmente evitables (2014-2020) 66
Tabla 16 Beneficios económicos Mortalidad.....70
Tabla 17 Beneficios económicos hospitalizaciones 71
Tabla 18 Beneficios económicos urgencias, UCI, ERA 72

Tabla 19 Casos y costos evitados período 2014-2020 75

LISTA DE ANEXOS

Pág.

ANEXO A BOXPLOT CALIDAD DEL AIRE 81

ANEXO B PROYECCIONES DEMOGRÁFICAS 2020 91

RESUMEN

TÍTULO: Estimación de los beneficios potenciales por reducción de la contaminación atmosférica por PM_{10} en la ciudad de Bucaramanga*

AUTOR: Mónica Alejandra Cristancho Coy**

PALABRAS CLAVE: Contaminación atmosférica, PM_{10}, efectos en salud, función concentración respuesta (FCR), costos de enfermedad (CE).

DESCRIPCIÓN:

Estudios epidemiológicos han demostrado la asociación positiva entre la exposición a contaminación atmosférica por PM_{10} y efectos adversos para la salud. Es por esto que se pretende hacer una primera aproximación a los beneficios potenciales por la reducción en los niveles de concentración de PM_{10} en la ciudad de Bucaramanga, a lo establecido por la OMS (20µg/m^3 promedio anual).

Metodología. Para la estimación de los casos potencialmente evitables (Muertes, Hospitalizaciones) se empleó el programa BenMap y un conjunto de FCR, mientras que para los casos de atención en urgencias por causas respiratorias (AUCR), atención en salas ERA, atención en UCI y síntomas respiratorios en menores de 5 años (SR), se emplearon proporciones. Los beneficios económicos se calcularon con CE y disponibilidad a pagar.

Resultados. Al implementar medidas para reducir las concentraciones de PM_{10}, los mayores beneficios se verían en las comunas Oriental, San Francisco, García Rovira y Occidental, con casos potencialmente evitados y beneficios económicos alrededor de 414 – $18000 millones, 344 – $15000 millones, 317 – $14000 millones y 284 – $12000 millones respectivamente. Las comunas con menores casos y costos evitados en el período 2014 – 2020, son; pedregosa (85 casos, $3700 millones), Lagos del Cacique (88 casos, $3900 millones) y Centro (98 casos evitados, $42000 millones).

Conclusión. La reducción de los niveles de concentración de PM_{10} en la ciudad de Bucaramanga a 20µg/m^3 en el período 2014 - 2020, permitiría evitar 109 muertes, 432 hospitalizaciones, 423 AUCR, 22 atenciones en UCI, 293 atenciones en sala ERA y 2172 SR, lo que representaría unos beneficios económicos de alrededor de 0.15 billones de pesos, de los cuales $149 mil millones son por muertes, $751 millones por hospitalizaciones, $178 millones por AUCR, 148 millones por atención en UCI, $21 millones por atención en salas ERA y $1080 millones por SR.

* Trabajo de aplicación para optar el título de Magíster en Ingeniería Ambiental.

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Néstor Yesid Rojas

ABSTRACT

TITLE: Estimation of the potential benefit associated with reducing airborne PM_{10} pollution in Bucaramanga [*]

AUTHOR: Mónica Alejandra Cristancho Coy[**]

KEYWORDS: Air pollution, PM_{10}, health effects, concentration-response function, disease costs.

DESCRIPTION:

Epidemiologic studies have shown a positive association between exposure to airborne PM_{10} and adverse health effects. Because of this, a first approximation to the potential benefits of reducing PM_{10} concentration levels in Bucaramanga, to the levels proposed by the OMS (20µg/m^3 yearly average) is made.

Methodology. For the estimation of the potentially avoidable cases (Deaths, In-patients at hospitals) BenMap and the FCR set of concentration response functions were used. Data of ER attention cases for respiratory causes, ERA rooms attention numbers, ICU admittance numbers and respiratory symptoms in children of less than 5 years of age were estimated from official data. Economic benefits were calculated using the cost of disease attention and willingness to pay information.

Results. Implementing measures to reduce PM_{10} concentrations, the highest benefits would occur in the Oriental, San Francisco, Garcia Rovira and Occidental districts of Bucaramanga, with potential cases avoided and economic benefits of 414 - COP 18000 million, 344 - COP 15000 million, 317 - COP 14000 million and 284 - COP 12000 million, respectively. The districts with the least cases and costs avoided in the 2014-2020 period are: La Pedregosa (85 cases, COP 3700 million), Lagos del Cacique (88 cases, COP 3900 million) and Centro (98 cases, COP 4200 million).

Conclusion. Reducing ambient PM_{10} concentration levels in Bucaramanga to 20µg/m^3 in the 2014-2020 period, would allow to avoid 109 deaths, 432 in-patients, 423 ER services over respiratory symptoms, 22 ICU admittances, 293 ER room services and 2172 respiratory symptoms in children of less than 5 years of age, which would represent economic benefits of around COP 0.15 billion, COP 149000 million of which are from the prevented deaths, COP 751 million for in-patients, 178 million for ER services over respiratory symptoms COP 184 million for ICU admittances, COP 22 million for ER room care and COP 1080 million for respiratory symptoms in children of less than 5 years of age.

[*] Graduation project to qualify the title of Master of Environmental Engineering.

[**] Faculty of Physical-chemical Engenieering. Chemical Engineering Department. Director: Néstor Yesid Rojas

INTRODUCCIÓN

Con el presente documento se pretenden estimar los beneficios potenciales por la reducción de la concentración de PM_{10} en la ciudad de Bucaramanga. Estos beneficios se verán reflejados al reducir las concentraciones de inmisión a lo establecido por la OMS 20 $\mu g/m^3$.

Para poder obtener los casos, se determinó la línea base, para la que se adquirió información epidemiológica de los efectos a evaluar. Paso seguido se determinó el cambio de concentración al cual se expuso la población del período 2014-2020, la cual se obtuvo realizando proyecciones demográficas. Por último se seleccionaron las funciones concentración respuesta (FCR).

Debido a que al habla en términos de casos no se puede dimensionar la problemática, es necesario expresar los resultados en términos de costos, para así generar una alerta que permita ver a la población y a los entes de control el gran impacto que tiene la calidad del aire en la salud y la importancia del cumplimiento de las normas nacionales e internacionales.

La incertidumbre de los resultados de este proyecto está asociada a diferentes factores como los datos de entrada, ya que se toman valores de otras ciudades y de años diferentes al de estudio (Calidad del aire, índices de incidencia, COI), proyecciones de la población. La relación $PM_{2.5}/PM_{10}$ se encuentra dentro del promedio para Colombia, los parámetros de FCR son específicos para $PM_{2.5}$. No se tuvo en cuenta la vulnerabilidad causada por el historial médico, el estrato, nivel educativo, fumadores. Relación de SMLV para la estimación de los beneficios.

1. GENERALIDADES

1.1. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los efectos de la contaminación atmosférica con PM_{10} en la población de la ciudad de Bucaramanga?

En los países en vías de desarrollo, el crecimiento de la población, el dinamismo de la economía, asociados al desarrollo de diversas actividades como la industria petrolera, los servicios, la agroindustria y el incremento de las unidades automotoras, traen como resultado un consumo intenso de combustibles fósiles; al mismo tiempo, la práctica de actividades agropecuarias no apropiadas, son factores que inciden sobre el aumento en los niveles de contaminación atmosférica, superando en la mayoría de los casos los estándares establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). De acuerdo con esta organización, son más de dos millones las muertes prematuras que se pueden atribuir cada año a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos y en espacios cerrados (Ferrer Carbonell & Escalante Semerena, 2009)

La ciudad de Bucaramanga se ubica al nordeste de Colombia, sobre el valle del río de Oro, a una altura de 959 msnm. Está ubicada a 384 km de Bogotá D.C. Limita al norte con el municipio de Rionegro, por el oriente con los municipios de Matanza, Charta y Tona, por el sur con el municipio de Floridablanca y por el occidente con el municipio de Girón. Según el POT (2013-2027), la ciudad presenta una extensión de 162 km^2. Cuenta con una población de 520.917 habitantes, según la proyección del censo realizado por el DANE en el año 2005, es el municipio con mayor densidad poblacional en el departamento de Santander. Ha tenido un crecimiento demográfico acelerado, determinado por la expansión territorial de los barrios periféricos de Floridablanca, y Girón.

Debido a su ubicación geográfica, Bucaramanga, ha tenido un crecimiento urbanístico acelerado, produciéndose una afectación arrolladora al medio ambiente y a los recursos naturales, lo cual se ha representado en el aumento de la flota vehicular, y una industria que no cumple con las normas ambientales hace de Bucaramanga, una de las ciudades de mayor contaminación atmosférica a nivel nacional.

Teniendo en cuenta lo anterior y que la ciudad de Bucaramanga es una de las ciudades con más contaminación en el país, la evaluación del impacto de la contaminación atmosférica sobre los distintos efectos adversos a la salud es una tarea de gran importancia, debido a que permite identificar los beneficios que se obtendrían al reducir los niveles de emisiones y de igual manera, priorizar las políticas públicas relacionadas con el control de la contaminación frente a otras inversiones en salud pública.

1.2. ESTADO DEL ARTE

La contaminación atmosférica en Colombia ha sido uno de los factores de mayor preocupación en los últimos años, por los impactos generados tanto en la salud como en el medio ambiente. La problemática atmosférica actual es la que genera los mayores costos sociales y ambientales después de los generados por la contaminación del agua y los desastres naturales[3]. Es por lo tanto que los efectos que causa la contaminación atmosférica con material particulado sobre la salud,

[3] Ministerio de ambiente y desarrollo Sostenible. Política de prevención y control de la contaminación del aire. Viceministerio de ambiente. 2010. http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ambiente/politica/polit_calidad_aire.pdf, p.7.

sus costos asociados y la metodología empleada para la determinación de los mismos, son analizados de acuerdo a los estudios desarrollados a nivel mundial.

McCubbin (2011), realizó un análisis nacional (USA) de los beneficios en la mortalidad y morbilidad al implementar normas anuales y diarias más estrictas de $PM_{2.5}$, utilizando la herramienta BenMAP de la EPA. Allí realizaron unas estimaciones de la mortalidad en donde asumieron que no había muertes por debajo del nivel de medida más bajo (LML). En este caso asumiendo LML de 10 $\mu g/m^3$, la mortalidad estimada se reduce en un 30%. Para cuantificar la incertidumbre de este estudio se basaron en los estudios epidemiológicos y en la literatura económica, sin embargo todas las fuentes de incertidumbre pudieron ser cuantificadas, debido a la falta de datos.

Davidson, Hallberg, McCubbin y Hubbell quisieron demostrar las habilidades de BenMAP de analizar escenarios de políticas de control de contaminación, por lo que evaluaron los beneficios de un programa de control de calidad del aire a nivel nacional y los beneficios de la consecución de normas anuales de $PM_{2.5}$ en California, con un promedio anual estándar entre 12-15 $\mu g/m^3$. Para el primer caso, se estimó un escenario en el que el control de las emisiones de $PM_{2.5}$ rgeneraron unos beneficios anuales de 100 mil millones dólares y en el análisis de normas alternativas, se estimó que el logro de las normas más estrictas (12 $\mu g/m^3$) se traduciría en aproximadamente 2.000 muertes prematuras menos cada año que las logradas con 15 $\mu g/m^3$.

De acuerdo con el artículo de la evaluación de los impactos en salud por la reducción de los niveles ambientales de $PM_{2.5}$ en España, al definir una reducción anual promedio de 0,7 $\mu g/m^3$ en los niveles de material particulado menor a 2.5 micras y empleando el análisis de la evaluación de impacto en salud a largo plazo, se estimó que 1720 muertes causadas en los grupos etarios de más de 30 años y las 1450 muerte en los grupos de edades entre 35 y 74 años se podrían evitar

cada año. Esto demostró los beneficios potenciales de la mortalidad si se llegaran a implementar la política de control de la contaminación antes mencionada.

Cerda y García (2010), determinaron que el PM_{10} es la variable por la que se realizan más consultas por enfermedades respiratorias en La Florida (Talca), las temperaturas bajas y las enfermedades respiratorias preexistentes. Ellos determinaron un escenario en el que redujeron el 67% del material particulado, con lo que pudieron obtener una reducción del 69% de las consultas médicas por enfermedades respiratorias. Esta proporción fue casi proporcional entre la reducción de la contaminación y la reducción de las visitas al especialista. Los costos inherentes que trae consigo la reducción del 67% de reducción del PM_{10}, se traducen en 345.000 dólares americanos al año, lo cual significa un ahorro económico relevante.

Pérez y Sunyer (2009), estimaron los beneficios económicos y de salud asociados a la reducción de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de Barcelona – España, basados en dos políticas de reducción de 20 $\mu g/m^3$ (recomendado por la OMS) y 40 $\mu g/m^3$ (legislación de la Unión Europea). Para determinar estos beneficios se basaron en las fracciones atribuibles, las tablas de vida, funciones concentración respuesta y funciones monetarias publicadas. Con esta metodología pudieron llegar a la conclusión que reducir las políticas anuales de exposición de 50 $\mu g/m^3$ a 40 $\mu g/m^3$, representa la tercera parte de los beneficios que generan la reducción al valor anual medio recomendado por la OMS. La implementación de una norma como la de la OMS genera un disminución de 3500 muertes, 1800 ingresos hospitalarios (sin causas cardiorrespiratorias), 5100 casos de bronquitis crónica en adultos, 31100 casos de bronquitis aguda en niños y 54000 crisis asmáticas anuales lo cual tiene un costo asociado altamente valorado en 6400 millones de euros anuales.

De acuerdo con Miranda 2006, en Perú el 90% de la contaminación atmosférica se debe a las fuentes móviles y el 10% restante se debe a las fuentes puntuales. Esto influye en la calidad de vida y la salud de la población que se encuentra más cercana a las fuentes. Las enfermedades que tienen mayor ocurrencia por este tipo de contaminación son las infecciones agudas en las vías respiratorias superiores, con un porcentaje superior al 20%, las infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores con un 5% y las enfermedades crónicas en las vías respiratorias inferiores con un 4% del total. Teniendo en cuenta los datos anteriores y la metodología de "Integrated assessment", para el año 2005 los costos asociados a esos efectos en la salud fueron de 329 millones de dólares, los cuales al relacionarlos con el PBI de la ciudad de Lima, llegan a ser el 0.8%, sin embargo si no se generan medidas de control, los costos pueden llegar a ser el 7.4% del PBI de la ciudad. De este modo Miranda concluye que los costos están subestimados debido a que solamente se tomaron en cuenta las enfermedades generadas por contaminación con PM_{10}, por lo que recomienda mejorar el sistema de obtención de información y hacer una estructuración a la normatividad vigente.

Para finalizar Castillo (2010), al igual que Ortiz y Rojas, determinaron los costos asociados a la salud de la población Bogotana. Cada uno empleó una metodología diferente. Castillo por medio de funciones concentración respuesta y valores de riesgo relativo determinó los casos potencialmente evitables por la implementación del Plan decenal de descontaminación de Bogotá. Por medio de esta metodología llegó a la conclusión que se podrían reducir 13000 casos de mortalidad, 28000 hospitalizaciones por causas respiratorias en niños menores de 5 años y alrededor de 5500 atenciones en unidad de cuidados intensivos durante el período de 2010 a 2020. Los beneficios monetarios por esta reducción de en los casos de morbilidad y mortalidad podrían llegar a ser de 16 billones de pesos colombianos. A diferencia de Castillo, Ortiz y Rojas utilizaron la herramienta BenMAP para determinar los casos potencialmente evitables y sus beneficios económicos. Con dicha herramienta encontraron que se podía reducir en 21000 los casos de

mortalidad, una diferencia de 8000 casos con respecto al estudio realizado por Castillo. Y con respecto a morbilidad se podrán evitar 240000 aproximadamente. En este sentido, Ortiz y Rojas concluyen que los beneficios económicos que trae consigo la implementación del Plan Decenal de Descontaminación de la ciudad de Bogotá son de 21.5 billones de pesos para el período de 2010-2020.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Estimación de los beneficios potenciales por reducción de la contaminación atmosférica por PM_{10} en la ciudad de Bucaramanga

1.3.2. Objetivos Específicos

- Establecer la línea base, a través de la información de calidad del aire de la ciudad de Bucaramanga.

- Estimar casos de morbilidad y mortalidad por reducción en la exposición a PM_{10}.

- Determinar los beneficios económicos en salud de la población de la ciudad de Bucaramanga, por reducción de la contaminación atmosférica por PM_{10}.

1.4. MARCO TEÓRICO

La disminución en la calidad del aire produce varios impactos sobre la salud: algunos de corto plazo como irritación nasal, irritación ocular; otros de mayor alcance como eventos de bronquitis crónica y, por último, un incremento en el riesgo de muerte prematura. La población percibe solo algunos de estos efectos de manera inmediata y los vincula con la calidad del aire; sin embargo, difícilmente puede relacionar la disminución en la expectativa de vida con la calidad del aire. La mala calidad del aire produce, también, efectos negativos sobre la estética visual urbana, ya sea por menor visibilidad y/o por suciedad acumulada sobre las fachadas de los edificios y la consiguiente sensación de un ambiente degradado. Desde el punto de vista productivo, la calidad del aire afecta el rendimiento de ciertas cosechas, aumenta la frecuencia con que deben limpiarse los frentes de los edificios, impacta en el mantenimiento de ciertas obras civiles y degrada sitios turísticos. Todos estos efectos implican importante pérdidas económicas que suelen ser ignoradas en las transacciones de mercado y en los sistemas de cuentas nacionales[4].

1.5. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La contaminación del aire es la emisión al aire de sustancias peligrosas a una tasa que excede la capacidad de los procesos naturales de la atmósfera para

[4] CIFUENTES, Luis A., RIZZI, Luis., JORQUERA, Héctor., VERGARA, Javier. Valoración económica y ambiental aplicada para casos del manejo de la calidad del aire y control de la contaminación: Informe para el diálogo regional de política del banco Interamericano de desarrollo. http://www.bvsde.paho.org/bvsci/fulltext/valoracion.pdf. Febrero 17 de 2004. p. 6.

transformarlos, precipitarlos (lluvia o nieve), y depositarlos o diluirlos por medio del viento y el movimiento del aire[5].

La acumulación de compuestos químicos activos en la atmósfera está afectada en gran medida por los relieves terrestres y los movimientos atmosféricos. Los valles, los lugares cerrados por montañas y la falta de espacios abiertos (parques, bosques, áreas desérticas y cuerpos de agua) incrementan significativamente la severidad de la contaminación del aire en una localidad. Esas situaciones retienen la masa de aire como en un recipiente y evitan la dilución y la mezcla. Las masas de aire estancadas pueden acumular emisiones durante días enteros. Cuando los vientos están en calma, una capa de aire más cálido puede situarse sobre otra masa con menos temperatura, actuando como la tapa de una olla e impedir su movimiento (a ello se le llama inversión)[6].

1.5.1. Contaminantes criterio

Un contaminante del aire puede definirse como cualquier sustancia que al ser liberada en la atmósfera altera la composición natural del aire y puede ocasionar efectos adversos en los seres humanos, los animales, la vegetación o los materiales[7]. Dentro de los contaminantes criterio se encuentra el material

---

[5] YASSI, Annalee, KJELLSTRÖM, Tord, KOK, Theo, GUIDOTTI, Tee. Salud ambiental básica. Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente, oficina regional para América Latina y el Caribe, Organización Mundial de la Salud, Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología Ministerio de Salud Pública de Cuba. http://www.ambiente.gov.ar/infotecaea/descargas/yassi01.pdf. 2002. p. 239.

[6] Ibid., p. 241.

[7] Radian International LLC. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México. Volumen II. Diciembre, 1997. p. 4-1.

particulado, el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre en especial el dióxido de azufre.

1.5.1.1. Material Particulado

El material particulado atmosférico se define como un conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera (Mészáros, 1999). Es necesario considerar que el término material particulado atmosférico es un concepto amplio que engloba tanto las partículas en suspensión como las partículas sedimentables (diámetro > 20 µm), caracterizadas por un corto tiempo de residencia en la atmósfera.

Las partículas atmosféricas pueden ser emitidas por una gran variedad de fuentes de origen natural o antropogénico. Respecto a los mecanismos de formación, las partículas pueden ser emitidas como tales a la atmósfera (primarias) o bien ser generadas por reacciones químicas (partículas secundarias). Dichas reacciones químicas pueden consistir en la interacción entre gases precursores en la atmósfera para formar una nueva partícula por condensación, o entre un gas y una partícula atmosférica para dar lugar a un nuevo aerosol por adsorción o coagulación (Warneck, 1988).

Como resultado de esta variabilidad de fuentes y transformaciones, el material particulado atmosférico consiste en una mezcla compleja de compuestos de naturaleza orgánica e inorgánica con diferentes distribuciones granulométricas y composición química, ambas condicionadas por la composición de los gases que las rodean. Los niveles de material particulado atmosférico se suelen expresar en

forma de concentración de masa o número de partículas por unidad de volumen de aire ($\mu g/m^3$ o ng/cm^3)[8].

La siguiente tabla muestra las generalidades del material particulado:

Tabla 1 Generalidades Material Particulado[9]

DEFINICIÓN	Cualquier material sólido o líquido dividido finamente, diferente al agua no combinada, según medición por los métodos federales de referencia (40 C F R 53).
FUENTES	Hornos, trituradoras, molinos, afiladores, estufas, calcinadores, calderas, incineradores, cintas transportadoras, acabados textiles, mezcladores y tolvas, cubilotes, equipo procesador, cabinas de aspersión, digestores, incendios forestales.
EFECTOS	Efectos en la respiración y el sistema respiratorio, agravamiento de afecciones respiratorias y cardiovasculares ya existentes, daños en el tejido pulmonar, carcinogénesis y mortalidad prematura.
LEGISLACIÓN	Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 MADS
VARIOS	Ejemplos: polvo, humo, gotitas de petróleo, berilio, asbesto.

1.5.1.2. Monóxido de Carbono

La tabla siguiente muestra las generalidades del contaminante monóxido de carbono.

[8] Querol Carceller, Xavier. El Material Particulado Atmosférico. Congreso Nacional del Medio Ambiente, Cumbre del Desarrollo Sostenible. p. 1.

[9] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Manual de Fundamentos y Planeación de Inventarios de Emisiones. p. 55.

Tabla 2 Generalidades Monóxido de Carbono[10]

DEFINICIÓN	Gas inflamable, incoloro e insípido que se produce por la combustión incompleta de combustibles fósiles.
FUENTES	Fuentes estacionarias y móviles que queman combustibles (motores de combustión interna, principalmente motores a gasolina). Es producido en cantidades mucho menores en fuentes domésticas, gases volcánicos, gases emanados de los pantanos, minas de carbón, las tormentas eléctricas, la fotodisociación del CO_2 en la atmósfera superior, incendios, metabolismo de plantas y animales acuáticos y terrestres, incendios forestales entre otras.
EFECTOS	La exposición a altos niveles puede causar dolores de cabeza, afectar la destreza manual, la agilidad mental, la capacidad de trabajo y la visión. Pueden ser mortales en corto tiempo en áreas cerradas: reacciona con la Hemoglobina de la sangre, evitando la transferencia de oxígeno. El CO puede interactuar en presencia de la luz solar para producir ozono a nivel del suelo o smog.
LEGISLACIÓN	Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 MADS
VARIOS	Se encuentra en la atmósfera en concentraciones promedio de 0.1 ppm

1.5.1.3. Óxidos de Nitrógeno

En la siguiente tabla se pueden observar algunas características del óxido de nitrógeno.

Tabla 3 Generalidades Óxidos de Nitrógeno[11]

DEFINICIÓN	Gas de color pardo rojizo, fuertemente tóxico, cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a la oxidación del nitrógeno atmosférico que se utiliza en los procesos de combustión en los vehículos y fábricas43.Se identifican siete óxidos de nitrógeno: NO, NO_2, N_2O, N_2O_3, N_2O_4, N_2O_5. A

[10] Ibid., p. 56.

[11] Ibid., p. 58.

	nivel de contaminación del aire se refiere a NO Y NO_2 (gases incoloros).
FUENTES	Producidos al quemar combustible a temperaturas muy altas a partir del nitrógeno del aire, también son producidos a partir del nitrógeno del carbón y los aceites pesados: grandes generadores de energía eléctrica, grandes calderas industriales, motores de combustión interna, plantas de ácido nítrico.
EFECTOS	Visibilidad reducida, irritación de la nariz y los ojos, edema pulmonar, bronquitis y neumonía; reaccionan con los VOCs bajo la influencia de la luz para formar ozono, NO_X. Los óxidos de nitrógeno son importantes contribuyentes potenciales de fenómenos nocivos como la lluvia ácida y la eutroficación en las zonas costeras.
LEGISLACIÓN	Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 MADS
VARIOS	Concentraciones excesivas en el aire de NO y NO_2 ocasionan un color parduzco debido a la absorción de la luz en el área azul-verde del espectro.

1.5.1.4. Óxidos de Azufre (Especialmente SO_2)

En la tabla que se encuentra a continuación se pueden observar las generalidades de los óxidos de azufre.

Tabla 4 Generalidades Óxidos de Azufre[12]

DEFINICIÓN	Acre, corrosivo, gases tóxicos cuando se quema combustible que contiene azufre.
FUENTES	Artículos eléctricos, calderas industriales, fundiciones de cobre, refinerías de petróleo, fuentes de automóviles, calentadores residenciales y comerciales.
EFECTOS	Dificultad para respirar cuando se disuelven en la nariz y en las vías superiores; tos crónica y secreción en las mucosas. Contribuye a la lluvia ácida y a fenómenos de visibilidad disminuida (de acuerdo a su

[12] Ibid., p. 58.

	concentración).
LEGISLACIÓN	Resolución 610 del 24 de marzo de 2010 MADS
VARIOS	El SO_2 pertenece a la familia de los gases de óxidos de azufre (SO_X), que se producen principalmente de la combustión de compuestos que contienen azufre -carbón y aceite- durante ciertos procesos industriales y en la producción de acero. Es percibido por el olfato en concentraciones hasta de 3 ppm (0.003%) a 5 ppm (0.005%). Cuando se encuentra en niveles de 1 a 10 ppm induce al aumento de la frecuencia respiratoria y el pulso.

1.5.2. Efectos sobre la salud por exposición a material particulado

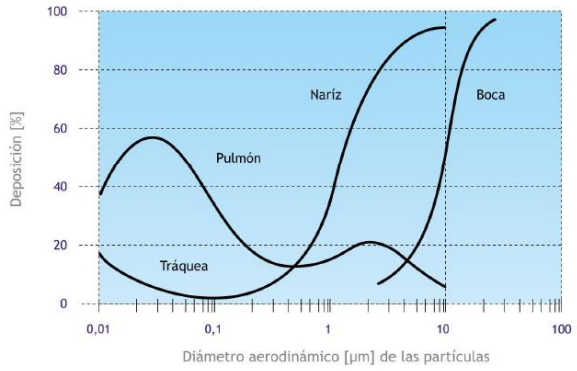
La contaminación del aire afecta a la salud de forma más evidente cuando los compuestos contaminantes se acumulan en concentraciones relativamente altas, capaces de producir a corto plazo efectos biológicos significativos. Sin embargo, estudios recientes han mostrado que aún bajos niveles de exposición pueden producir enfermedades, e incluso, muertes en la comunidad[13].

Las emisiones de material particulado se caracterizan por su tamaño (eje x, Figura 1). De interés especial, desde el punto de la salud, contempladas en la legislación actual: PM_{10} y $PM_{2.5}$. Las partículas de diámetro aerodinámico menor o igual a 10 µm, llamadas también partículas gruesas, provienen principalmente de fuentes como caminos no pavimentados y obras de construcción. $PM_{2.5}$ corresponde a las partículas con diámetro aerodinámico menor o igual que 2.5 µm, llamadas también partículas finas. Estas partículas provienen principalmente del consumo industrial de combustibles y de las emisiones de los escapes vehiculares. Ambos tipos de partículas, tanto PM_{10} y $PM_{2.5,}$ pueden causar problemas a la salud, específicamente al sistema respiratorio, ocasionando tos, asma, daños al pulmón,

[13] YASSI, Annalee, KJELLSTRÖM, Tord, KOK, Theo, GUIDOTTI, Tee, OP. cit., p. 239.

muerte prematura en individuos con enfermedades del corazón, entre otras. Por viajar más profundamente en los pulmones y por estar compuestas de elementos que son más tóxicos (como metales pesados y compuestos orgánicos que causan cáncer), las partículas de $PM_{2.5}$ pueden tener efectos más severos que el PM_{10}[14].

Figura 1 Porcentaje de deposición de partículas en cada órgano del sistema respiratorio[15]



De acuerdo a los estudios realizados por FERRER 2009, la mortalidad es el efecto sobre la salud más estudiado en relación con la causalidad atribuida a la contaminación atmosférica, siendo las enfermedades cardiovasculares y respiratorias en las que se han concentrado más los expertos. Según estudios adelantados, un aumento de 10 µg/m^3 en la concentración de PM_{10} está asociado con un aumento en la mortalidad total desde 0.5% hasta un 2.0%. De igual manera, se ha encontrado evidencia de aumentos en las concentraciones de PM_{10} relacionado con aumentos en la mortalidad cardiovascular y respiratoria.

Los estudios epidemiológicos realizados para determinar la relación entre exposición aguda (de corto plazo) a contaminantes atmosféricos y salud han

[14] Ibid., p.56

[15] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Manual de Fundamentos y Planeación de Inventarios de Emisiones. p. 56.

evidenciado un aumento en la mortalidad por causas cardiovasculares que llegan hasta 2% ante un incremento de 10 μg/m^3 en PM_{10}[16]. En Estados Unidos, asociaron un aumento de 1.3% en las visitas a urgencias por un aumento de 10ppm en PM_{10}.

Los efectos en la salud asociados a la exposición crónica (exposición a niveles bajos de contaminación por períodos prolongados) son similares en cuanto a mortalidad a los relacionados con la exposición aguda; sin embargo, esta exposición se suele relacionar frecuentemente con morbilidad por bronquitis crónica y cambios en la función pulmonar[17].

En la siguiente tabla se pueden observar los efectos que tiene el material particulado sobre la salud de los seres humanos.

Tabla 5 Efectos en la salud humana producidos por PM_{10}

EFECTOS EN SALUD CUANTIFICADOS	EFECTOS EN SALUD NO CUANTIFICADOS	OTROS EFECTOS POSIBLES
Mortalidad Morbilidad: • Bronquitis crónica y aguda • Admisiones hospitalarias • Síntomas en vías respiratorias inferiores • Síntomas en vías respiratorias superiores • Enfermedades del pecho	• Cambios en la función pulmonar	• Enfermedades respiratorias crónicas diferentes a la bronquitis crónica • Inflamación en los pulmones

[16] FERRER, Jimy, ESCALANTE, Roberto. Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud en la Zona Metropolitana del Valle de México. Economía Informa vol. 360. http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/360/03escalanteyjimy.pdf. Septiembre – octubre 2009, p. 24

[17] Ibid., p. 24.

• Síntomas respiratorios • Días de actividad restringida • Días de trabajo perdidos • Efectos en asmáticos		

Fuente: http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/360/03escalanteyjimy.pdf

Las partículas finas de menos de 3 micrones de diámetro penetran por la nariz y la garganta, llegan a los pulmones y provocan problemas de respiración e irritación de los capilares pulmonares.

Las partículas ocasionan morbilidad respiratoria, deficiencia de las funciones pulmonares (de los pulmones), incluida la disminución de la función pulmonar (especialmente en los niños), y el cáncer de pulmón, con el consiguiente aumento de la mortalidad. La reducción crónica de la capacidad pulmonar (enfisema) es otro importante riesgo en la población urbana.

Entre los efectos de la materia particulada en el medio ambiente figuran la corrosión acelerada de los metales, así como daños a las pinturas, esculturas y superficies expuestas al suelo de las estructuras construidas por el hombre. La magnitud de los daños depende de las propiedades físicas y químicas de las partículas. Éstas también pueden modificar el clima mediante la formación de nubes y nieve. Las partículas contribuyen además a la deposición ácida y pueden absorber radiación solar e impedir o reducir la visibilidad.

1.5.3. Determinación de impactos en la salud por contaminación por pm_{10}

1.5.3.1. Línea base

La línea base es la descripción del área de influencia del proyecto o actividad, con la finalidad de evaluar los impactos que, pudieren generarse o presentarse sobre los elementos del medio ambiente ante un cambio.

Esta descripción cuenta con un conjunto de indicadores seleccionados para el seguimiento y la evaluación sistemáticos de políticas y programas. Los indicadores que la conforman se clasifican en estructurales y coyunturales y al mismo tiempo se ordenan, de acuerdo a su importancia relativa, en indicadores claves y secundarios.[18]

La conformación de la línea base implica la realización de pasos previos en la identificación de información necesaria y en la precisión de criterios conducentes a un óptimo aprovechamiento de la información disponible. [19]

Es necesario determinar la línea base ya que esta establecen la situación inicial del escenario en que se va a implementar un proyecto, sirven como punto de comparación para determinar alcances, ayudan en la corroboración de los datos obtenidos en el diagnóstico y los estudios de factibilidad previos a la formulación del proyecto y sirven para caracterizar con mayor precisión a la población objeto.

---

[18] Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, Dirección de Regulación, Planeación, Normalización y Estandarización – DIRPEN. Línea base: Aspectos Metodológicos. Bogotá, julio de 2004. p. 22-23

[19] Ibid., p. 22-23.

De acuerdo con el DANE (2004), la línea de base puede incluir tres grupos de indicadores: indicadores de estructura, de coyuntura y de referencia. Dependiendo de las características particulares, necesidades e intereses del sector o entidad, en la línea de base pueden no estar presentes los tres tipos de indicadores:

- Indicadores de estructura. Son la base de la planeación. Se refiere a los indicadores ya estandarizados, de uso común, cuyos análisis involucran series de tiempo.

- Indicadores de coyuntura. Se refieren a las mediciones situacionales que por políticas, planes y metas sean propuestos por entidades gubernamentales, para diferentes fines, entre ellos el seguimiento y evaluación a actividades específicas de un plan de desarrollo con el sello del programa y las políticas que proponga y realice el gobierno de turno.

- Indicadores de referencia. Se refieren al entorno demográfico y socioeconómico general (indicadores de población, macroeconómicos, sociales...).

Para la determinación de una línea base se requiere utilizar métodos cuantitativos y cualitativos, aunque esta sea cuantitativa en su ser. Cabe aclarar que para obtener una línea de base se pueden utilizar información de fuentes secundarias, no solamente primarias. Dentro de los métodos más empleados se encuentra la encuesta, la entrevista, los grupos focales y la revisión bibliográfica.

1.5.3.2. Estimación de efectos en la salud humana y valor económico

Para estimar impactos sobre la salud, y los valores económicos asociados con cambios en la contaminación del aire ambiente, se logra mediante la ejecución de

funciones de impacto en la salud, que se refieren a un cambio en la concentración de un contaminante con un cambio en la incidencia de un punto final de la salud.

1. EFECTOS EN SALUD[2021]

En primer lugar, se debe determinar el cambio en la contaminación del aire ambiente, es decir la línea base como el escenario que se quiera analizar. A continuación, se calcula la relación entre la contaminación y ciertos efectos en la salud (también conocido como criterios de valoración de la salud). Este paso se conoce como la función de impacto en la salud o la función de concentración-respuesta (FCR) en los estudios de epidemiología. Por último, se aplica esa relación a la población expuesta. La siguiente ecuación genérica, explica la forma de una FCR:

Efecto Salud = Cambo en la contaminación atmosférica * Estimación del Efecto en la Salud * Población Expuesta * Incidencia en la salud (línea base) **1**

- Cambio de la calidad del aire: el cambio de la calidad del aire es la diferencia entre el nivel de partida de la contaminación del aire, (línea de base), y el nivel de contaminación del aire después de algún cambio, tal como una nueva regulación o un aumento en la concentración. En el caso del material particulado, este se calcula típicamente en microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$).

[20] Abt Associates Inc. Environmental Benefits Mapping and Analysis Program – BenMAP, User's Manual. Octubre 2012. http://www.epa.gov/air/benmap/models/BenMAPManualOct2012.pdf

[21] http://www.epa.gov/air/benmap/basic.html

- Estimación del efecto de la Salud: la estimación del efecto sobre la salud es una estimación de la variación porcentual de un efecto nocivo para la salud debido a un cambio de una unidad en la contaminación atmosférica. Estudios epidemiológicos proporcionan una buena fuente de las estimaciones del efecto.

Existen diferentes tipos de FCR, como:

Modelo Log-Lineal[22]

La relación log-lineal define la tasa de incidencia (y) como:

$$y = B - e^{\beta PM} \text{ ó } Ln(y) = \alpha + \beta PM \quad \textbf{2}$$

Donde el parámetro B es la tasa de incidencia cuando la concentración de PM es cero, el parámetro β es el coeficiente de PM, Ln(y) es el logaritmo natural de y, y α = Ln(B).

Otras covariables además de la contaminación afectan claramente a la mortalidad. Podría pensarse que el parámetro B contiene estas otras covariables, por ejemplo, evaluada en sus medios. Es decir:

$$B = B_0 * e^{\beta_1 x_1 + \cdots + \beta_n x_n} \quad \textbf{3}$$

Donde Bo es la incidencia de “y” cuando todas las covariables en el modelo son cero, y x1, ..., xn son las otras covariables evaluadas en sus valores medios. El parámetro B se retira del modelo, sin embargo, cuando se calculan los cambios en y no es importante.

La relación entre ∆PM y ∆y es:

[22] BenMap Appendices

$$\Delta y = y_0 - y_c = B\left(e^{\beta PM_0} - e^{\beta PM_c}\right) \quad (4)$$

Esto puede ser reescrito como:

$$\Delta y = Be^{\beta PM_0}\left(1 - e^{-\beta(PM_0 - PM_c)}\right) = y_0\left(1 - \frac{1}{exp(\beta * \Delta PM)}\right) \quad (5)$$

Donde Y_0 es la tasa de incidencia de referencia del efecto en la salud (es decir, la tasa de incidencia antes de cambiar el PM).

El cambio de la incidencia de los efectos adversos de la salud se puede calcular multiplicando el cambio en la tasa de incidencia, Δy, por la población relevante. Cuando el coeficiente de PM (β) y su error estándar (δ_β) se publica, entonces las estimaciones de los coeficientes asociados con los extremos inferior y superior pueden ser calculados fácilmente. Como se muestra a continuación:

$$\beta_{lower\ bound} = \beta - (1.96\sigma_\beta) \quad (6)$$

$$\beta_{upper\ bound} = \beta + (1.96\sigma_\beta) \quad (7)$$

Los estudios epidemiológicos frecuentemente reportan un riesgo relativo para un ΔPM dado, en lugar del coeficiente, β. Recordemos que el riesgo relativo (RR) es simplemente la proporción de dos riesgos.

$$RR = \frac{y_0}{y_c} = e^{\beta \Delta PM} \quad (8)$$

Tomando el logaritmo natural de ambos lados, el coeficiente en la función de C-R subyacente al riego relativo puede derivarse como:

$$\beta = \frac{\ln(RR)}{\Delta PM} \quad (9)$$

Los coeficiente asociados a los límites superior e inferior, pueden ser calculados mediante el uso de un intervalo de confianza publicado para el riesgo relativo, y luego calcular los coeficientes asociados.

Debido al redondeo del RR publicado y su intervalo de confianza, el error estándar para el coeficiente implícito en el límite inferior de la RR no será exactamente igual al del límite superior, por lo que se utiliza un promedio de las dos estimaciones. El error estándar para el coeficiente (δ_β) se puede calcular por:

$$\sigma_{\beta,2.5percentil} = \frac{\beta - \beta_{2.5percentil}}{1.96} \quad (10)$$

$$\sigma_{\beta,97.5percentil} = \frac{\beta_{97.5percentil} - \beta}{1.96} \quad (11)$$

$$\sigma_\beta \cong \frac{\sigma_{\beta,2.5percentil} + \sigma_{\beta,97.5percentil}}{2} \quad (12)$$

Modelo lógico[23]

En algunos estudios epidemiológicos, el modelo lógico es usado para estimar la probabilidad de una ocurrencia de un efecto adverso en la salud. Dado un vector de variables explicativas, X, el modelo lógico asume la probabilidad de una ocurrencia como:

$$y = prob(occurrence\ X * \beta) = \left(\frac{e^{x\beta}}{1 + e^{x\beta}}\right) \quad (13)$$

[23] BenMap Appendices

Donde β es un vector de coeficientes. Greene presenta modelos con variables dependientes, tal como el modelo logit. Esto puede expresarse como:

$$y = \frac{e^{x\beta}}{1+e^{x\beta}} * \frac{e^{-x\beta}}{e^{-x\beta}} = \frac{1}{1+e^{-x\beta}} \quad \textbf{14}$$

La posibilidad de un suceso es:

$$odds = \frac{y}{1-y} = \frac{\left(\frac{1}{1+e^{-x\beta}}\right)}{1-\frac{1}{1+e^{-x\beta}}} \quad \textbf{15}$$

$$\Rightarrow odds = \frac{\left(\frac{1}{1+e^{-x\beta}}\right)}{1-\frac{1}{1+e^{-x\beta}}} = \frac{\left(\frac{1}{1+e^{-x\beta}}\right)}{\left(\frac{e^{-x\beta}}{1+e^{-x\beta}}\right)} = \frac{1}{e^{-x\beta}} = e^{x\beta} \quad \textbf{16}$$

$$\Rightarrow odds = X \cdot \beta \quad \textbf{17}$$

La razón de posibilidades (odds ratio) para la línea base ($odds_0$) frente al escenario ($odds_c$) es:

$$odds\ ratio = \frac{odds_0}{odds_c} = \frac{\frac{y_0}{1-y_0}}{\frac{y_c}{1-y_c}} = \frac{e^{X_0\beta}}{e^{X_c\beta}} = e^{\beta\cdot\Delta X} \quad \textbf{18}$$

El cambio en la probabilidad de una ocurrencia de la línea base para el control (Δy), asumiendo que todas las variables permanecen constantes, puede derivarse de esta La razón de posibilidades (odds ratio):

$$odds\ ratio = \frac{\frac{y_0}{1-y_0}}{\frac{y_c}{1-y_c}} = \frac{e^{X_0\beta}}{e^{X_c\beta}} = e^{\beta\cdot\Delta X} = e^{\beta\cdot\Delta PM} \quad \textbf{19}$$

$$\frac{y_c}{1-y_c} = \frac{y_0}{1-y_0} * e^{-\beta \cdot \Delta PM} \quad (20)$$

$$y_c = (1-y_c) * \frac{y_0}{1-y_0} * e^{-\beta \cdot \Delta PM} \quad (21)$$

$$y_c + y_c * \frac{y_0}{1-y_0} * e^{-\beta \cdot \Delta PM} = \frac{y_0}{1-y_0} * e^{-\beta \cdot \Delta PM} \quad (22)$$

$$y_c \left(1 + \frac{y_0}{1-y_0} * e^{-\beta \cdot \Delta PM}\right) = \frac{y_0}{1-y_0} * e^{-\beta \cdot \Delta PM} \quad (23)$$

$$y_c = \frac{\frac{y_0}{1-y_0} * e^{-\beta \cdot \Delta PM}}{\left(1 + \frac{y_0}{1-y_0} * e^{-\beta \cdot \Delta PM}\right)} = \frac{y_0 * e^{-\beta \cdot \Delta PM}}{1 - y_0 + y_0 * e^{-\beta \cdot \Delta PM}} \quad (24)$$

$$y_c = \frac{y_0}{(1-y_0) * e^{\beta \cdot \Delta PM} + y_0} \quad (25)$$

$$\Delta y = y_0 - y_c = y_0 - \frac{y_0}{(1-y_0) * e^{\beta \cdot \Delta PM} + y_0} \quad (26)$$

$$\Delta incidencia = \Delta y * pop = y_0 \left(1 - \frac{1}{(1-y_0) * e^{\beta \cdot \Delta PM} + y_0}\right) * pop \quad (27)$$

Cuando el coeficiente (β) y su error estándar (δ_β) se publican, entonces se pueden calcular fácilmente las estimaciones de los coeficientes de la siguiente manera.

$$\beta_{lower\ bound} = \beta - (1.96\sigma_\beta) \quad (28)$$

$$\beta_{upper\ bound} = \beta + (1.96\sigma_\beta) \quad (29)$$

A menudo los coeficientes de regresión lógica no se publican y solo se presentan la razón de posibilidad (odds ratio) correspondiente a un cambio específico en PM. Es fácil calcular el coeficiente subyacente con la siguiente expresión:

$$\ln(odds\ ratio) = \Delta PM \cdot \beta \quad (30)$$

$$\Rightarrow \beta = \frac{\ln(odds\ ratio)}{\Delta PM} \quad (31)$$

Los coeficientes asociados a las estimaciones de los límites superior e inferior de la razón de posibilidad (odds ratio) se calculan de forma análoga.

El error estándar subyacente para el coeficiente (δ_β) se puede aproximar por:

$$\sigma_{\beta,2.5percentil} = \frac{\beta - \beta_{2.5percentil}}{1.96} \quad (32)$$

$$\sigma_{\beta,97.5percentil} = \frac{\beta_{97.5percentil} - \beta}{1.96} \quad (33)$$

$$\sigma_\beta \cong \frac{\sigma_{\beta,2.5percentil} + \sigma_{\beta,97.5percentil}}{2} \quad (34)$$

Sin embargo a veces se presenta el riesgo relativo. El riego relativo no es igual a la razón de posibilidad (odds ratio), debe utilizarse un procedimiento diferente para estimar el coeficiente subyacente.

$$RR = \frac{y_0}{y_c} \quad (35)$$

Donde Y_o es el riesgo (probabilidad de un suceso) en la exposición a PM (referencia) y Yc es el riesgo a la exposición a PM (control). Cuando se da la tasa de incidencia de la línea base (Y_o), entonces es fácil resolver la tasa incidencia en los controles (Y_c):

$$y_c = \frac{y_0}{RR} \quad (36)$$

Entonces la razón de posibilidad (odds ratio) puede ser calculada:

$$odds\ ratio = \frac{\frac{y_0}{1 - y_0}}{\frac{y_c}{1 - y_c}} \quad (37)$$

Dada la razón de posibilidad (odds ratio), el coeficiente subyacente (β) puede ser calculado de la siguiente forma:

$$\beta = \frac{\ln(odds\ ratio)}{\Delta PM} \quad (38)$$

La razón de posibilidad (odds ratio) y el coeficiente calculado a partir de este dependen de las tasa de incidencia de la línea base y del control. Desafortunadamente no siempre está claro cuáles deben ser las tasas de incidencia de referencia y control Adadía et al reporta que hay 117 nuevos casos de bronquitis crónica de una muestra de 1631 o una tasa de 7,17%. Adicionalmente reportó la relación de riesgo (RR= 1,81) para un nuevo caso de broquitis crónica asociada con una concentración media anual de 45 µg/m^3 de exposición a $PM_{2.5}$.

2. VALOR ECONÓMICO[24][25]

De acuerdo con Castillo (2010), la valoración económica de los beneficios en la salud por una mejora en la calidad del aire está asociada con la reducción en el número de casos de morbilidad y mortalidad. La valoración económica se puede dar por diferentes enfoques. El primer enfoque es la evaluación de los costos por enfermedad (COI por sus siglas en inglés), los cuales incluyen los costos de atención de la enfermedad y la pérdida de productividad por la restricción en la actividad laboral, el segundo enfoque que se le puede dar es la valoración de la disponibilidad a pagar (WTP por sus siglas en inglés) por evitar los episodios de enfermedad o reducir el riesgo de muerte. La WTP incluye los valores

[24] Abt Associates Inc. Environmental Benefits Mapping and Analysis Program – BenMAP, User's Manual. Octubre 2012. http://www.epa.gov/air/benmap/models/BenMAPManualOct2012.pdf

[25] http://www.epa.gov/air/benmap/basic.html

cuantificados mediante COI más la valoración que los individuos hacen de la pérdida de bienestar que implica sufrir el efecto en la salud (Castillo, 2010).

Hay varias formas de calcular el valor del efecto sobre la salud. Por ejemplo, el valor de una mortalidad prematura, generalmente se calcula utilizando el valor estadístico de la vida (VSL). El valor estadístico de la vida es el valor monetario que la gente está dispuesta a pagar para reducir ligeramente el riesgo de muerte prematura. Para otros efectos en la salud, los gastos médicos de la enfermedad pueden ser los únicos datos de valoración disponible.

La siguiente ecuación genérica muestra como estimas el valor económico por caso.

Valor económico = Efecto en la salud * Valor del efecto en la salud **39**

2. METODOLOGÍA

En la Figura 2.4 se presenta la metodología a emplear para el desarrollo del estudio. Allí se plantean 3 etapas, las cuales se describen a continuación:

2.1. ETAPA I: EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A MATERIAL PARTICULADO (PM_{10})

2.1.1. Línea base

En esta etapa se recopila la información de calidad del aire generada por el Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA) del área metropolitana de Bucaramanga, con el fin de analizar, evaluar y determinar el año que posea la mayor continuidad en sus datos, para ser designado como línea base.

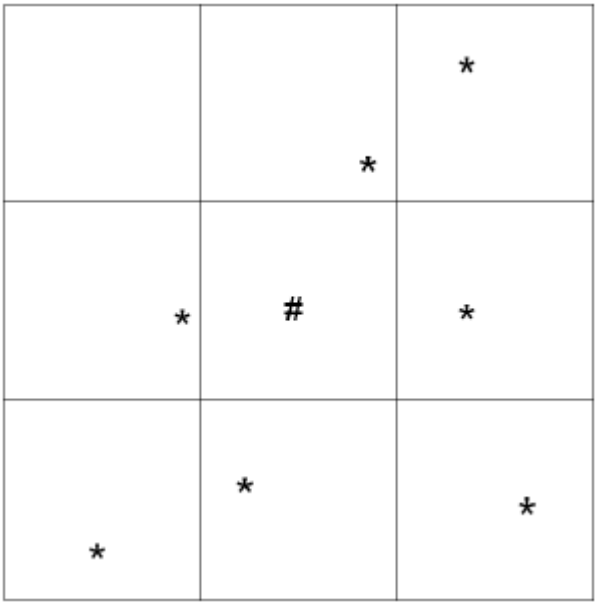
La información recolectada es organizada por estaciones, meses y años, determinando valores mínimos, máximos, cuartiles, medianas y valores atípicos, para así observar la distribución de los datos, el grado de dispersión de los datos y el grado de asimetría de la distribución.

2.1.2. Niveles de inmisión

Luego de determinar el año base, se calculan los niveles de inmisión de PM_{10} en la ciudad mediante el método de interpolación de Voronoi Neighbor Averaging (VNA).

El algoritmo VNA[26] utiliza directamente los datos obtenidos de un monitoreo o en combinación con datos resultado de una modelación, sin embargo en lugar de utilizar los datos del monitoreo más cercano para estimar la exposición de la población de una celda de la cuadrícula, el algoritmo VNA interpola la calidad del aire en cada una de las celdas de la cuadrícula de la población. Primero identifica el conjunto de monitoreos que rodean la celda de la cuadrícula de población.

Figura 2 Identificación de conjunto de monitoreos



= centro celda de la cuadrícula

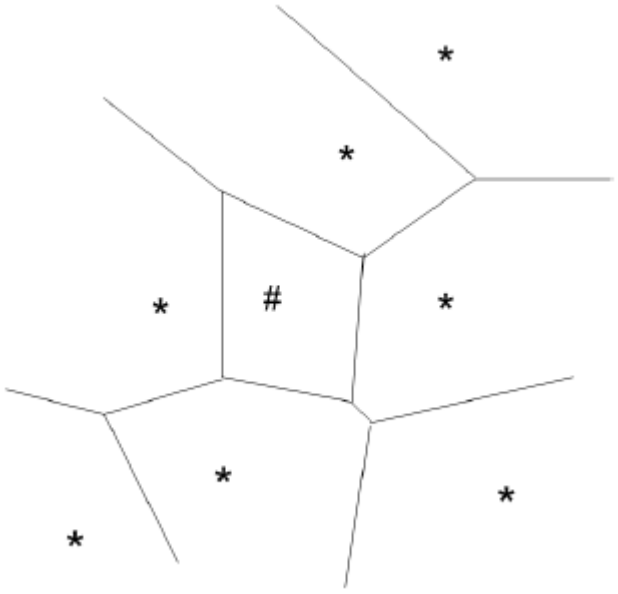
* = monitoreo de contaminación del aire

Fuente: BenMap Appendices

Se identifican los monitoreos más cercanos o “vecinos” dibujando un polígono o una celda “Voronoi”, alrededor del centro de cada celda de cuadrícula BenMap. Lo polígonos tienen la propiedad que sus los límites están a la misma distancia de los dos puntos más cercanos.

[26] BenMap Appendice

Figura 3 Celda Voronoi



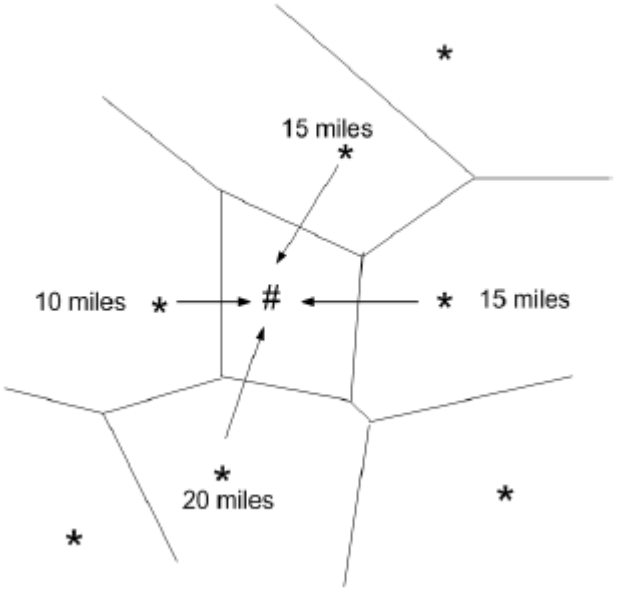
= centro celda de la cuadrícula

* = monitoreo de contaminación del aire

Fuente: BenMap Appendices

Luego de identificar los monitoreos más cercanos, se seleccionan los monitoreos que comparten una frontera con el centro de la celda de la cuadrícula que se está evaluando, estos son los monitoreos más cercanos. De esta manera, se utilizan estos monitoreos para estimar el nivel de contaminación del aire para esa celda de la cuadrícula.

Figura 4 Selección de monitoreos que comparten frontera con el centro de celda



= centro celda de la cuadrícula

* = monitoreo de contaminación del aire

Fuente: BenMap Appendices

Para estimar el grado de contaminación en cada una de las celdas de la cuadrícula se calculan las métricas para cada uno de los monitoreos vecinos, luego se calcula un promedio ponderado de distancia inversa de las métricas. Cuanto más lejos se encuentre el monitoreo de la celda de la cuadrícula, menor es el peso.

A continuación se calcula el peso para el monitoreo que se encuentra a 10 millas del centro de la celda de la cuadrícula.

$$weight_{10miles} = \frac{\frac{1}{10}}{\frac{1}{10}+\frac{1}{15}+\frac{1}{15}+\frac{1}{20}} = 0.35 \quad \textbf{40}$$

Fuente: BenMap Appendices

Los pesos de los otros monitoreos se calculan de forma similar. Consecutivamente, se calcula un promedio ponderado de distancia inversa para los niveles de contaminación en la celda de la cuadricula evaluada, como se muestra a continuación:

$$Pronóstico = 0.35 * 0.8ppb + 0.24 * 90ppb + 0.24 * 0.6ppb + 0.1 * 100ppb = 81.2ppb \quad (41)$$

El cálculo de las dispersiones, se pueden calcular por medio de un promedio ponderado de distancia inversa de las métricas anuales y las métricas diarias agrupadas, o calculando un promedio ponderado de distancia inversa de observaciones diarias y horarias, calculando las métricas anuales y diarias y luego agrupando las métricas diarias.

2.1.3. Delta de concentración

Posterior a la determinación de los niveles de inmisión en la ciudad, se determina la reducción de la concentración hasta el cumplimiento de lo establecido por la Organización Mundial de la Salud OMS (promedio anual PM_{10} 20 µg/m^3). Esta reducción se realiza por medio de un decrecimiento lineal hasta el año 2020 y cumplimiento de la normatividad.

2.2. ETAPA II PROYECCIÓN DEMOGRÁFICA

Teniendo en cuenta la información el Plan de Ordenamiento Territorial de Bucaramanga POT 2013 – 2027, el censo del 2005 del DANE y sus proyecciones, se calcula la población por género (Femenino, Masculino), edad (0 a 4, 5 a 9, 10 a 14, 15 a 19, 20 a 24, 25 a 29, 30 a 34, 35 a 39, 40 a 44, 45 a 49, 50 a 54, 55 a 59,

60 a 64, 65 a 69, 70 a 74, 75 a 79, más de 80) y comunas, para los años 2011 - 2020.

2.3. BENEFICIOS POTENCIALES

2.3.1. Casos potencialmente evitables

Para determinar la ocurrencia de un número de casos para un efecto en salud por un cambio en la concentración de PM_{10}, se emplean las Funciones Concentración – Respuesta (FCR), las cuales siguen distintas formas dependiendo de la relación entre la razón entre el número de casos de un efecto en una población expuesta a un factor de riesgo frente al número de casos de una población menos expuesta (Riesgo relativo) y el cambio de la concentración. En este proyecto se implementarán las FCR que se encuentran a continuación:

Modelo Log-Lineal

$$\Delta y = y_0 \left(1 - \frac{1}{exp^{\beta * \Delta PM}}\right) \quad \textbf{42}$$

Modelo lógico

$$\Delta y = y_0 \left(1 - \frac{1}{(1 - y_0) * exp^{\beta * \Delta PM} + y_0}\right) \quad \textbf{43}$$

Donde:

Δy= cambio de tasa de incidencia

y_0= tasa de incidencia de referencia del efecto en la salud.

β= coeficiente de PM

ΔPM= cambio de concentración

Para obtener el número de casos atribuibles se multiplica Δy por la población expuesta.

Antes de calcular los casos evitables, se determinan los efectos a evaluar. Con base en los estudios de Ortiz (2013), Castillo (2010) y Larsen (2004), la disponibilidad de información y el impacto en la salud pública, se seleccionan como efectos en salud a evaluar los que se encuentran en la Tabla 6 y la Tabla 7.

En la Tabla 6 se encuentran los índices de incidencia que se emplean en las FCR.

Tabla 6 Incidencia efectos a evaluar

EFECTO	EDAD (AÑOS)	INCIDENCIA
Mortalidad por todas las causas (Exposición crónica)	>30	0.0063
Mortalidad infantil (exposición aguda)	<1	0.0122
Admisiones hospitalarias: causas respiratorias	<5	0.0827
Admisiones hospitalarias: causas respiratorias	>5	0.0235
Admisiones hospitalarias: causas cardiovasculares	Todas	0.0022

Fuente: Modificado de Castillo (2010)

En la Tabla 7 se encuentran las proporciones que reporta el IDEAM (2005) para efectos en salud como atención de urgencias por causas respiratorias, admisión en Unidad de cuidados intensivos (UCI), atenciones en salas ERA y Síntomas Respiratorios.

Tabla 7 Proporciones de efectos a evaluar

EFECTO	EDAD (AÑOS)	PROPORCIÓN
Atención en urgencias: causas respiratorias	>30	Corresponde al 15%de los casos de síntomas respiratorios
Atención en urgencias: causas respiratorias	<1	Corresponde al 32% del total de casos de atención de urgencias
Admisiones en unidad de cuidados intensivos: causas respiratorias	<5	Corresponde al 20% de los casos de hospitalización por causas respiratorias
Atención en salas de Enfermedad respiratoria aguda ERA	>5	El 90% de los casos de atención en urgencias se direcciona a salas ERA
Síntomas Respiratorios	Todas	El 5% de los niños que experimentan síntomas respiratorios es hospitalizado

Fuente: Modificado de Castillo (2010)

Los parámetros de las FCR (Log-Linear y Lógica) que se emplearán en la determinación de los casos evitables, se encuentran en la Tabla 8.

Tabla 8 Parámetros FCR

EFECTO	AUTOR	AÑO	EDAD	β	β PM_{10}	σ	FORM	NOTAS
Mortalidad, todas las causas	Pope et al	2002	30-99	0,005827	0.0034962	0,002157	Log-lineal	
Mortalidad, todas las causas	Woodruff et al	2006	niños	0,006766	0.0040596	0,007339	Lógico	
Hospitalizaciones por causas Cardiovascular (menos infartos de miocardio)	Moolgavkar	2000	18-64	0,001400	0.00084	0,000341	Log-lineal	
Hospitalizaciones por causas Cardiovascular (menos infartos de miocardio)	Zanobetti et al.	2009	65-99	0,00019	0.000114	0,0003	Log-lineal	Todas las estaciones
Hospitalizaciones por causas Respiratorio	Zanobetti et al.	2009	65-99	0,0021	0.00126	0,0004	Log-lineal	Todas las estaciones

Fuente: Autor

Debido a que los parámetros de las funciones están elaborados para cambios en concentraciones de $PM_{2.5}$, se realiza una correlación de β, multiplicando el valor por la relación $PM_{2.5}/PM_{10}$ 0.6 (Relación basada en el estudio de Bjorn Larsen, 2004). En la columna β PM_{10}, se encuentra el valor a utilizar en la determinación de casos potencialmente evitables.

2.3.2. Beneficios económicos

La valoración de los beneficios en salud requiere conocer el valor monetario de cada uno de los efectos en salud para posteriormente, con el número total de casos evitados conocer el beneficio total (Castillo, 2010), por lo que se determina como enfoque de evaluación de costos el análisis por COI, debido a que permite visualizar el costo más bajo de cada uno de los casos atribuibles Ortiz (2012).

En la Tabla 9 se pueden apreciar los COI y el Valor estadístico de vida (VSL por sus siglas en inglés) para la valoración de las muertes y síntomas respiratorios en menor de cinco años evitables, según castillo (2010), para el año 2009.

Tabla 9 Valores unitarios (miles de pesos, 2009)

EFECTO	COI	WTP
VSL		1008000
Admisiones hospitalarias: causas respiratorias	1400	
Admisiones hospitalarias: causas cardiovasculares	1500	
Atención en urgencias: causas respiratorias	340	
Atención en salas ERA	60	
Atención UCI	6840	
Síntomas respiratorios (menores de 5 años)		400

Fuente: Modificado de Castillo (2010)

Teniendo en cuenta la ecuación que se encuentra a continuación, se determinan los beneficios económicos a pesos corrientes del 2009. Para estimar los costos a 2014, se determina el número de salarios mínimos legales vigentes (SMLV) de los costos del 2009 ($SMLV_{2009}$ “$496900”), luego se relacionan con el valor del $SMLV_{2014}$ “$616000”, para así obtener los beneficios económicos a pesos

corrientes del 2014, Valor Presente Neto (VPN) 2014 En la ecuación 45, se observa la forma de calcular los beneficios económicos a VPN del 2014.

VE = ES * VS **44**

Donde:

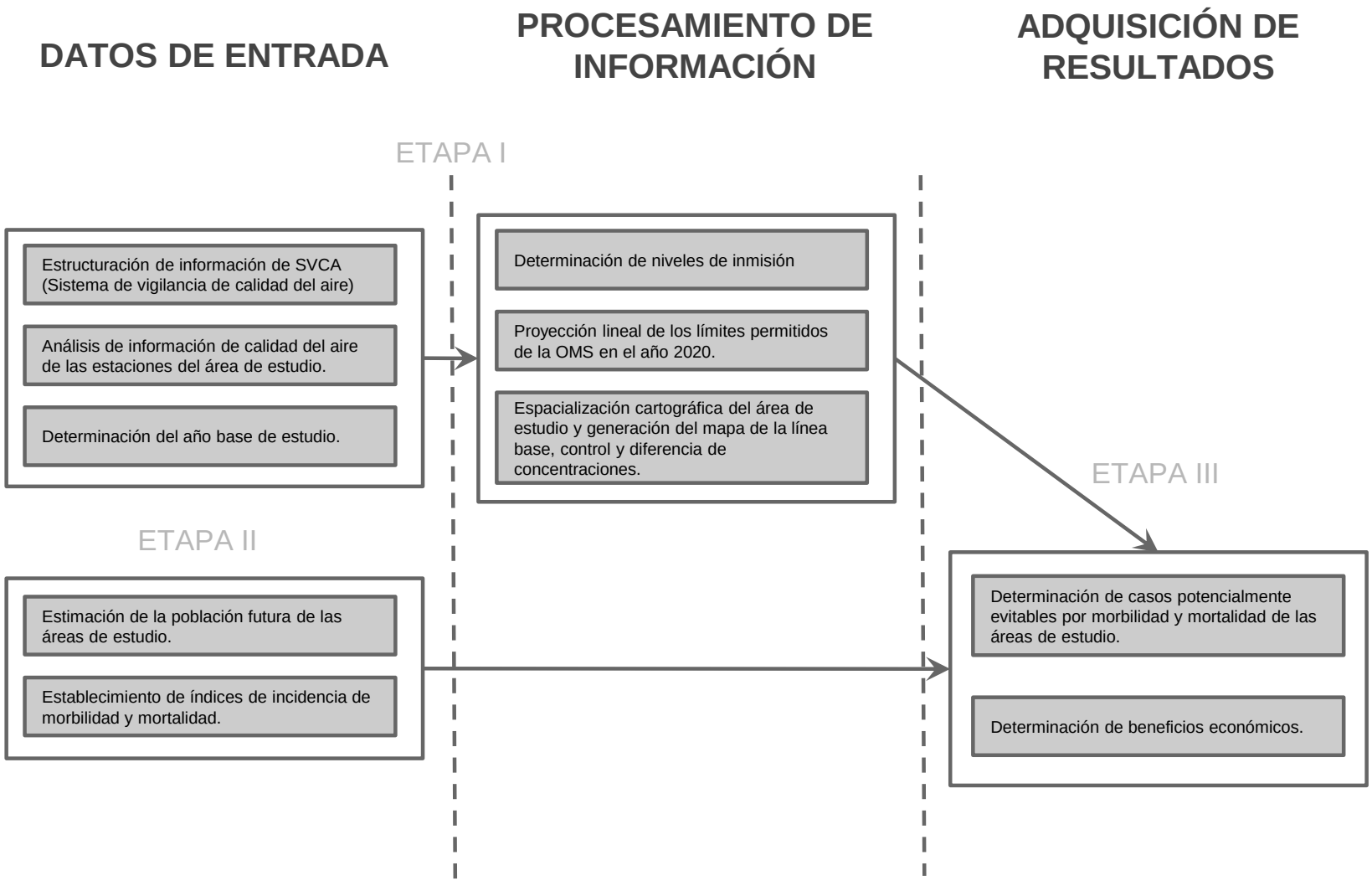
VE: Valor económico
ES: Efecto en salud
VS: Valor del efecto en la salud

$$VPN_{2014} = \frac{VPN_{2009}}{SMLV_{2009}} SMLV_{2014} \quad \textbf{45}$$

Dónde:

VPN_{2014}= Valor Presente Neto 2014 en pesos colombianos
VPN_{2009}= Valor Presente Neto 2009 en pesos colombianos. Este valor es igual al valor económico determinado con la ecuación 44 y los valores unitarios que se reportan en la Tabla 9
$SMLV_{2009}$= Salario Mínimo Legal Vigente del 2009 “$496900”
$SMLV_{2014}$= Salario Mínimo Legal Vigente del 2014 “$616000”

Figura 2.4 Metodología

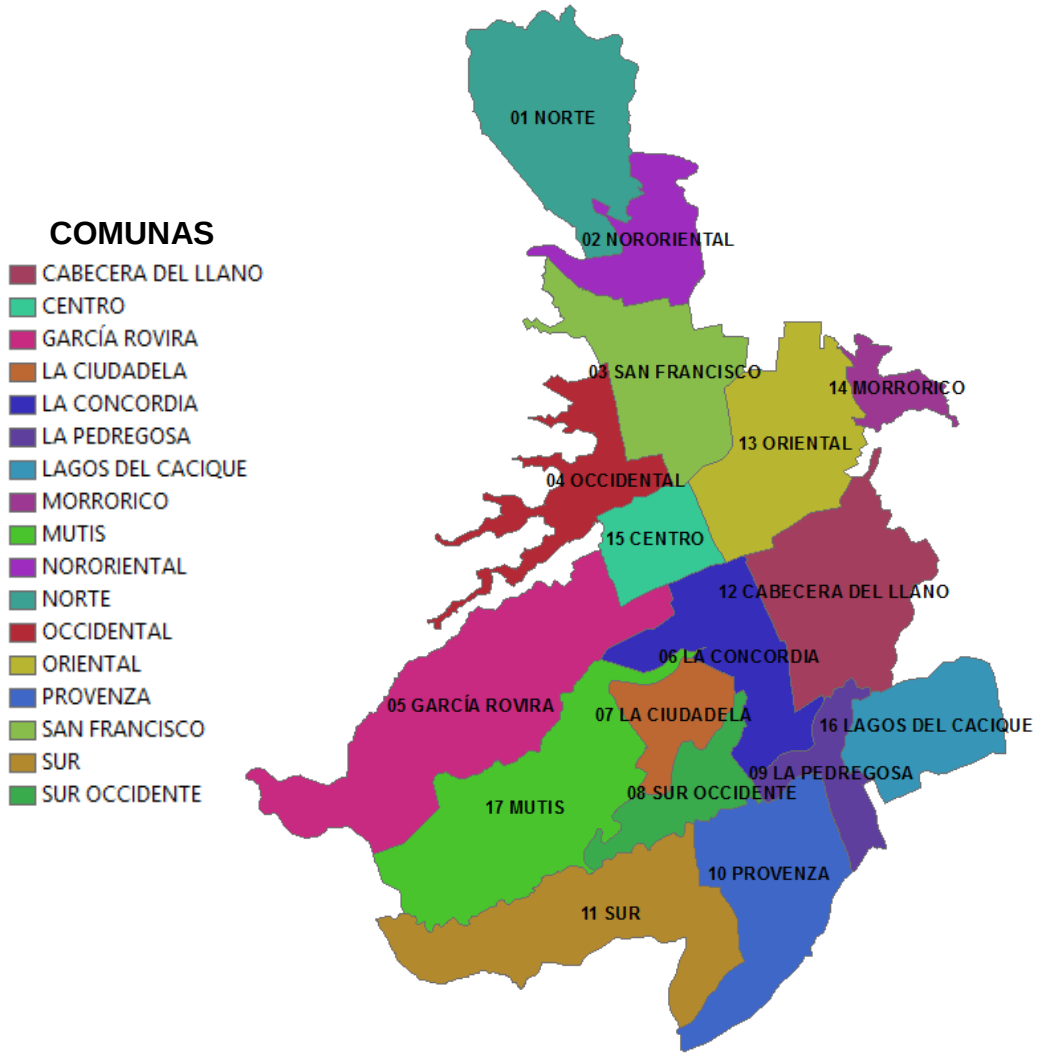


Fuente: Autor

3. RESULTADOS

El presente proyecto, se desarrolla en la ciudad de Bucaramanga y sus 17 comunas, ver Figura 6.

Figura 6 Comunas Bucaramanga



Fuente: Autor (POT BGA 2012-2027)

3.1. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A MATERIAL PARTICULADO (PM_{10})

3.1.1. Línea base 2014

Se tomó información de cinco (5) estaciones fijas automáticas del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA) del área Metropolitana de Bucaramanga (Ver Figura 7), las cuales toman sus nombres por la comuna en la cual se encuentran ubicadas. Las estaciones reportan datos cada hora de concentraciones de PM_{10}. La información suministrada, contiene datos desde el 2004 para el caso de las estaciones Centro y Cañaveral, hasta el año 2011. Aunque la estación Cañaveral se encuentra fuera del área de estudio, se utilizó su información debido a que aportando datos esenciales para la zona Sur de la ciudad, en especial para las comunas Sur, Provenza y La Pedregosa.

Para poder analizar todos los datos, se realizaron diagramas de cajas por mes y por año para cada una de las estaciones (Ver ANEXO A). En laTabla 10, se encuentran la cantidad de datos analizados, los períodos analizados, los valores nulos, los valores máximos, mínimos, medias de todos los datos y la media del año 2011.

Tabla 10 Datos analizados

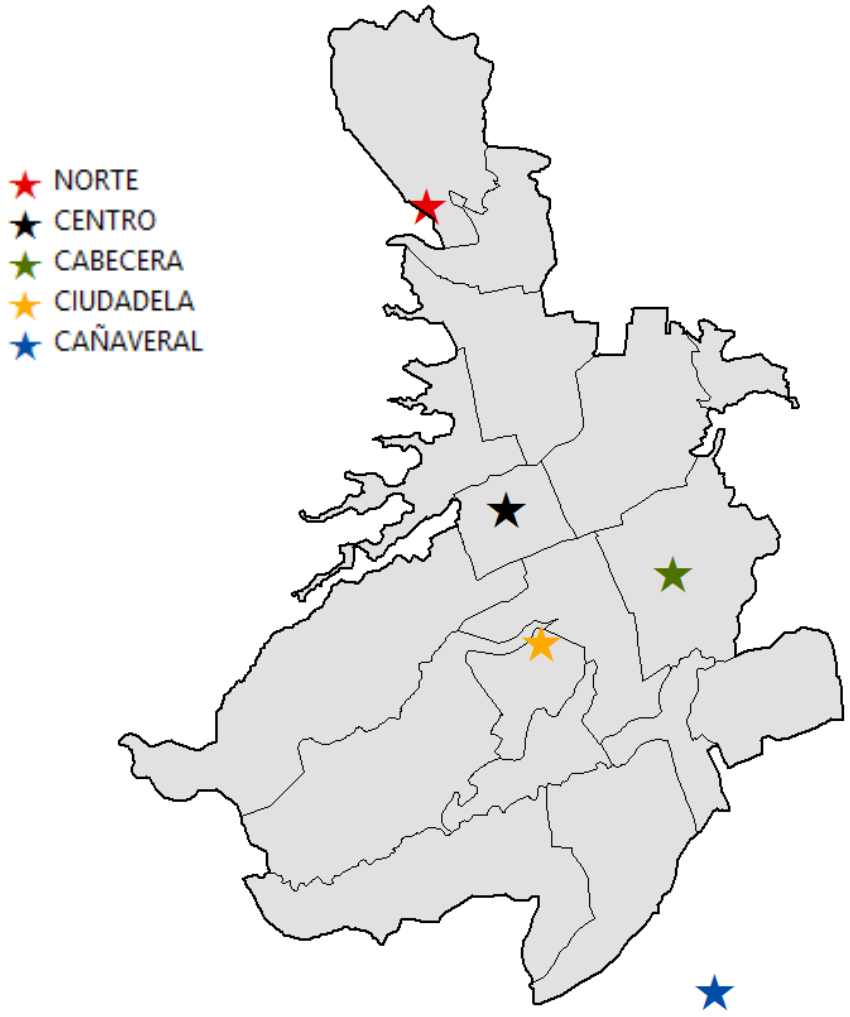
ESTACIONES	AÑOS ANALIZADOS		MIN	MEDIA	MAX	NA	TOT	MEDIA 2011
CABECERA	3	2009-2011	8.1	43.8	368.38	1412	21936	44.63
NORTE	7	2005-2011	1	31.3	203.4	4527	47402	31.35
CENTRO	8	2004-2011	16.1	65.6	345.5	3111	69863	55.88

ESTACIONES	AÑOS ANALIZADOS		MIN	MEDIA	MAX	NA	TOT	MEDIA 2011
CIUDADELA	4	2008-2011	7	32.9	190.3	2049	33330	32.75
CAÑAVERAL	6	2004-2005; 2008-2011	1	36.8	371.9	3070	41488	38.26

Fuente: Autor

Con el análisis de la información, se pudo determinar que el año que contiene mayor cantidad y continuidad de datos es el año 2011, razón por la cual sus datos son tomados como línea base. El año 2011 no se toma como línea base, ya que se estarían calculando eventos pasados, así mismo no se toman ni el año 2012 ni 2013, por lo tanto se asume que las emisiones no cambian significativamente en el tiempo, por lo que se toma que la concentración de PM_{10} en el año 2014 es la misma que la del 2011. En este sentido se determinarán los casos evitables para el período 2014 – 2020, siendo 2014 la línea base.

Figura 7 Ubicación espacial de las estaciones calidad del aire del SVCA



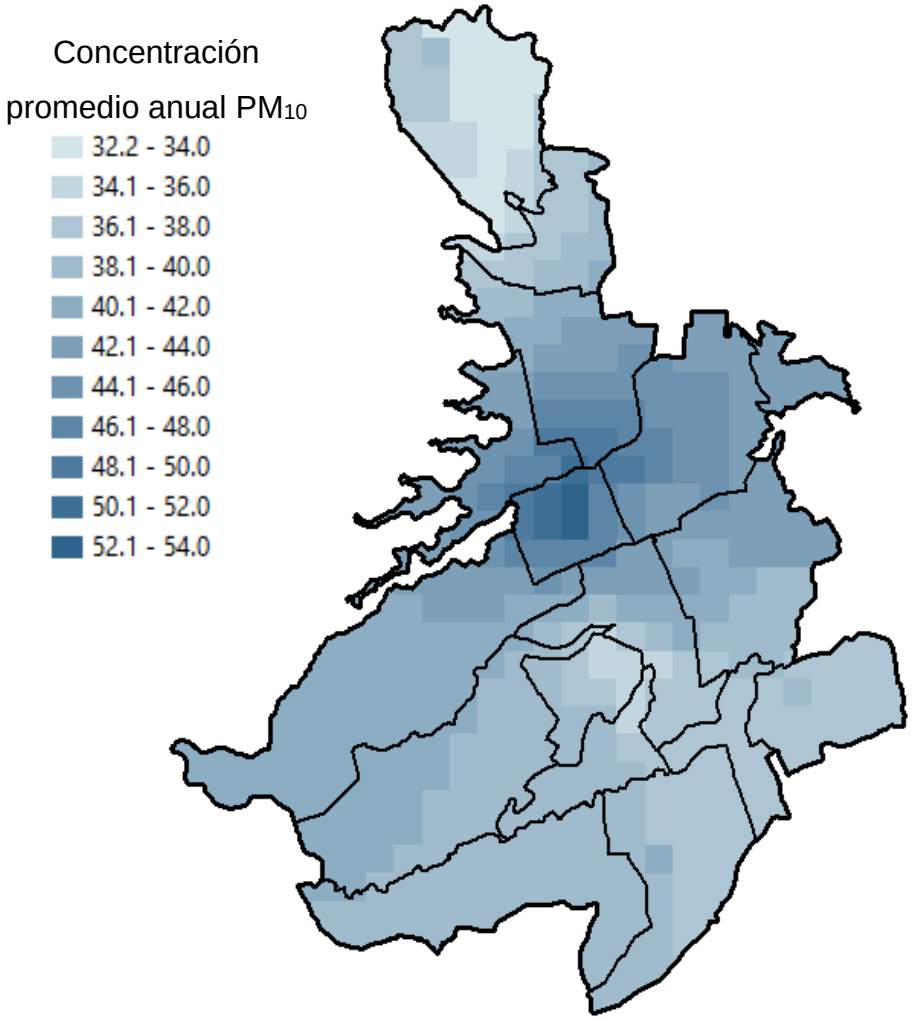
Fuente: Autor (POT BGA 2012-2027 - SVCA AMB)

3.1.2. Niveles de inmisión

Aplicando el método de interpolación VNA a los monitoreos del año 2014 y a la grilla de referencia de 37 filas por 27 columnas, se obtuvo el mapa de dispersión que se encuentra en la Figura 8.

En este mapa se puede observar que la mayor concentración se encuentra en zona central de la ciudad de Bucaramanga. Las menores concentraciones se encuentran en el norte y sur de la ciudad.

Figura 8 Dispersión PM_{10} por VNA (año 2014)



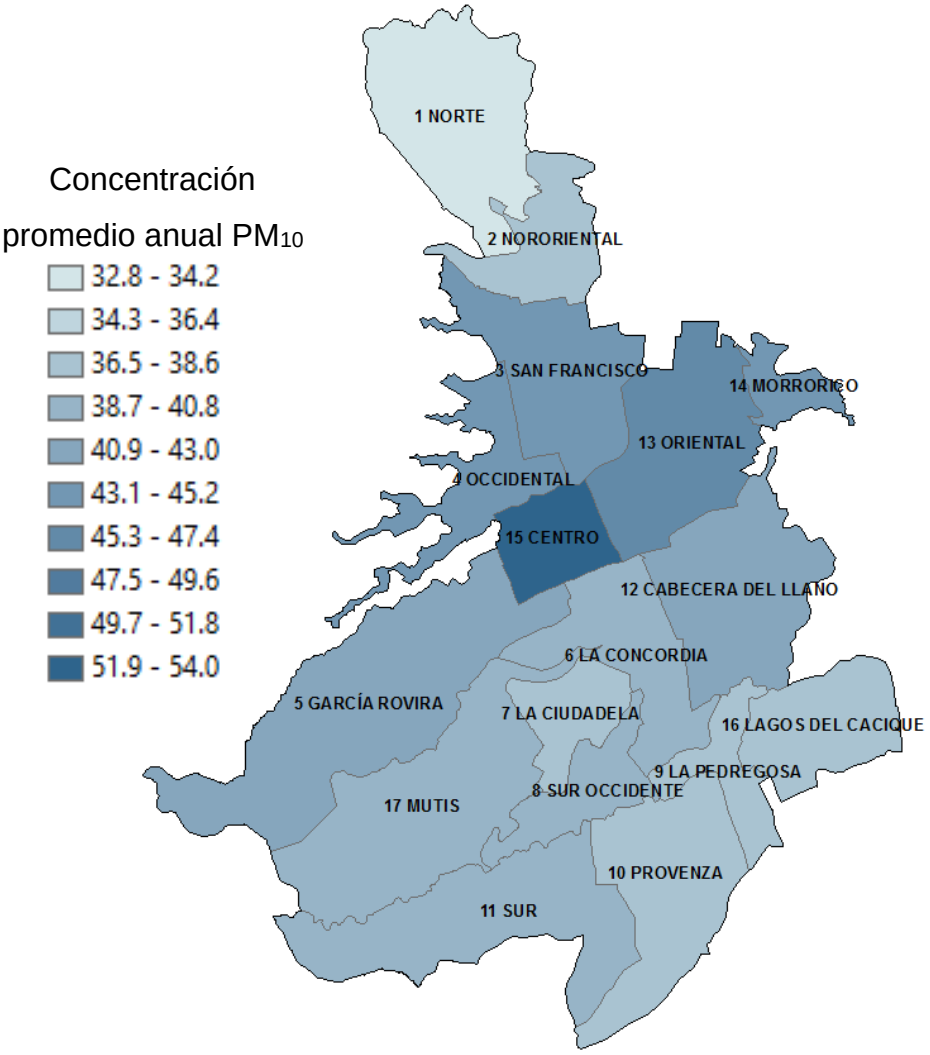
Fuente: Autor (POT BGA 2012-2027 - SVCA AMB)

3.1.3. Delta de concentración

Para un mejor entendimiento se elaboró un mapa de concentraciones por comuna (Ver Figura 9), en donde se puede ver que las concentraciones oscilan entre 32.8

$\mu g/m^3$ a 54 $\mu g/m^3$, siendo la comuna Centro la que presenta mayores concentraciones de material particulado, y la comuna Norte la que menos niveles de inmisión presenta. En la Tabla 11, se encuentran las concentraciones promedio para cada una de las comunas y el cambio en los niveles de inmisión para que se pueda cumplir con la normatividad de la OMS (Promedio anual PM_{10}: 20 $\mu g/m^3$)

Figura 9 Concentraciones de PM_{10} por comuna



Fuente: Autor (POT BGA 2012-2027 - SVCA AMB)

Tabla 11 Cambio de concentración

COMUNA	CONCENTRACIÓN PM_{10}	DELTA CONCENTRACIÓN
NORTE	32.83	12.83
NOR-ORIENTAL	37.26	17.26
SAN FRANCISCO	43.73	23.73
OCCIDENTAL	45.03	25.03
GARCIA ROVIRA	40.89	20.89
LA CONCORDIA	38.67	18.67
CIUDADELA REAL DE MINAS	37.6	17.6
SUR-OCCIDENTE	39.33	19.33
LA PEDREGOSA	37.38	17.38
PROVENZA	37.34	17.34
SUR	39.64	19.64
CABECERA DEL LLANO	42.05	22.05
ORIENTAL	45.3	25.3
MORRORICO	43.06	23.06
CENTRO	53.83	33.83
TEJAR	37.36	17.36
MUTIS	40.03	20.03

Fuente: Autor

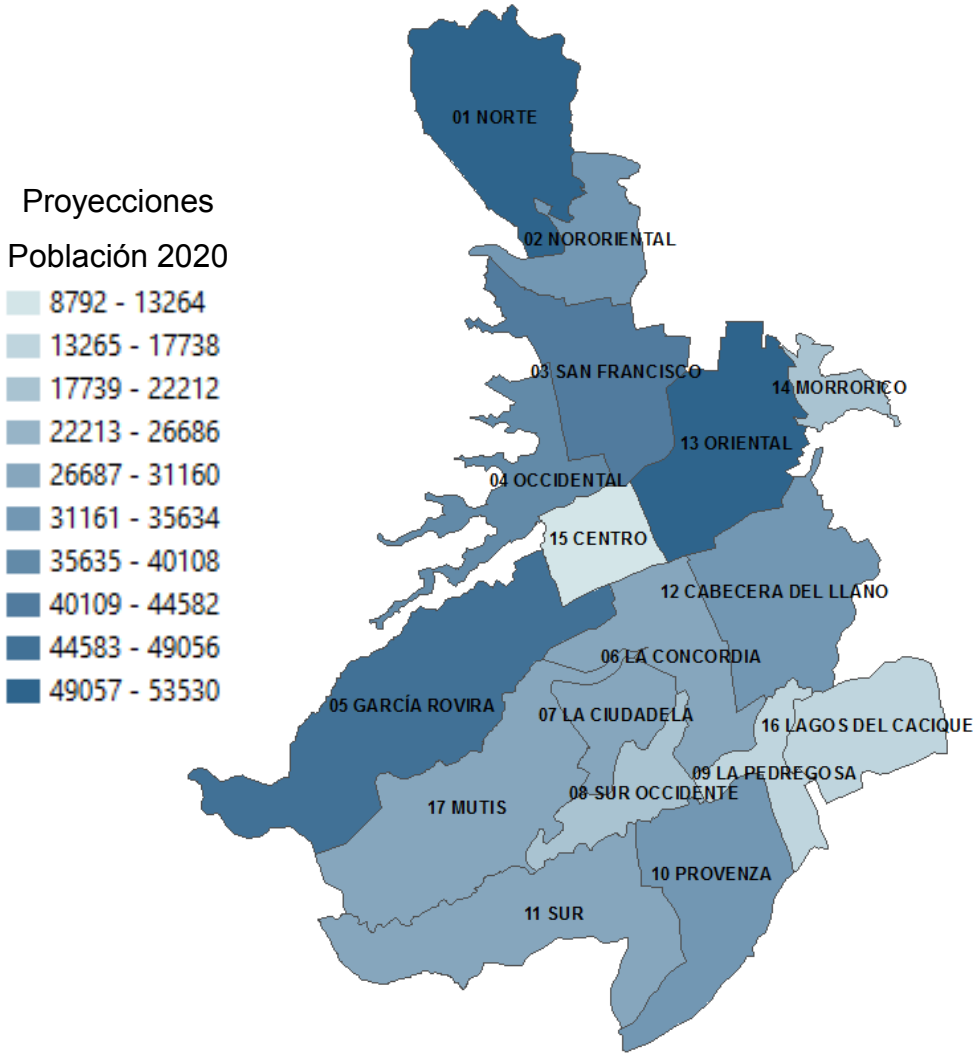
3.2. PROYECCIÓN DEMOGRÁFICA

Para el estudio se realizaron proyecciones por comuna, género y edad, para lo cual se emplearon las distribuciones del censo del 2005 (ver

ANEXO B, Proyecciones demográficas). En la Figura 10 se encuentran las proyecciones de población para el año 2020. Allí se puede observar que las comunas con mayor población son Norte, Oriental y García Rovira y la que cuenta significativamente con menor población en la ciudad es la comuna Centro. Paradójicamente la comuna Centro presenta el nivel más alto de inmisión (53.83

µg/m^3) y con la menor cantidad de población (8572 personas año 2005). En la Tabla 12 se encuentran las proyecciones por comuna y género para el año 2020.

Figura 10 Proyección población 2020



Fuente: Autor (POT BGA 2012-2027 – Censo DANE 2005)

Tabla 12 Proyecciones población 2020 por género y comuna

COMUNA	HOMBRES	MUJERES	SUMA
NORTE	25,987	27,541	53,529
NOR-ORIENTAL	16,988	17,809	34,797
SAN FRANCISCO	21,182	23,392	44,574

COMUNA	HOMBRES	MUJERES	SUMA
OCCIDENTAL	18,409	18,626	37,035
GARCIA ROVIRA	22,565	22,827	45,392
LA CONCORDIA	12,714	15,260	27,974
CIUDADELA REAL DE MINAS	11,974	14,778	26,752
SUR-OCCIDENTE	8,792	9,503	18,294
LA PEDREGOSA	7,831	8,668	16,498
PROVENZA	14,666	17,919	32,585
SUR	13,005	15,248	28,253
CABECERA DEL LLANO	14,138	19,004	33,142
ORIENTAL	25,631	26,234	51,865
MORRORICO	9,128	9,958	19,086
CENTRO	4,516	4,276	8,793
TEJAR	6,727	8,044	14,771
MUTIS	13,429	15,496	28,925
BUCARAMANGA	247,682	274,583	522,265

Fuente: Autor

3.3. BENEFICIOS POTENCIALES

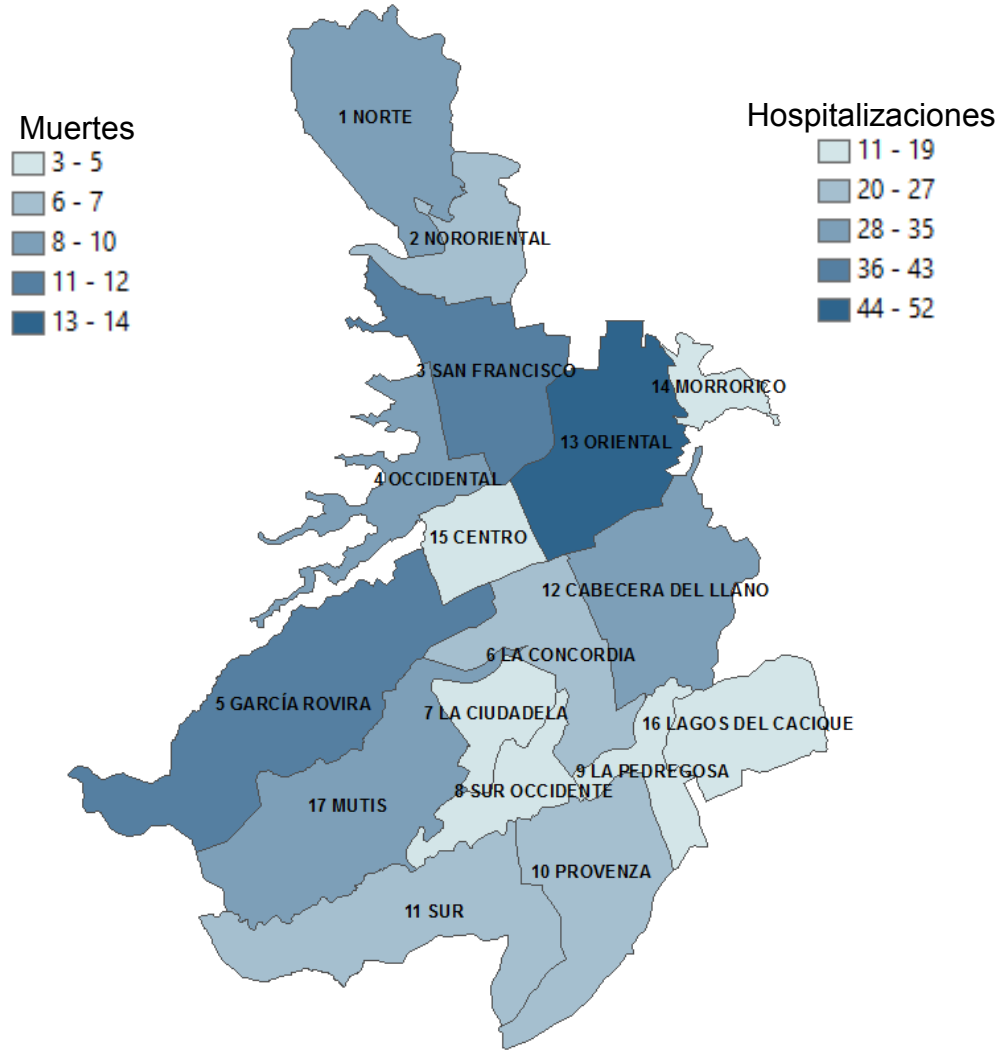
3.3.1. Casos potencialmente evitables

Después de tener el cambio de tasa de incidencia obtenido por medio de las ecuaciones Log-Linear y Lógica para cada uno de los efectos, se multiplicó por la población expuesta (2020), dando como resultado los casos evitados por comuna. De esta manera, las comunas Oriental (Mortalidad 14, Hospitalizaciones 51), San Francisco (Mortalidad 12, Hospitalizaciones 43), García Rovira (Mortalidad 11, Hospitalizaciones 39) y Occidental (Mortalidad 10, Hospitalizaciones 35), fueran las más beneficiadas en reducción de muertes y servicios hospitalarios. A pesar de que la comuna Norte (Mortalidad 3, Hospitalizaciones 12), tiene los niveles más

altos de inmisión, no se ve reflejado en los beneficios debido a que la mayoría de su población es flotante. Otras comunas que presentan los menores casos potencialmente evitables son L Pedregosa y Lagos del Cacique cada una con 3 muertes y 11 hospitalizaciones potencialmente evitables.

La Figura 11 presenta la distribución espacial de las muertes y hospitalizaciones por causas respiratorias y cardiovasculares potencialmente evitables.

Figura 11 Muertes y Hospitalizaciones potencialmente evitables (2014 - 2020)



Fuente: Autor (POT BGA 2012-2027 – Resultados BenMap)

En la Tabla 13, la Tabla 14 y la Tabla 15 se encuentran los beneficios de reducción en muertes, admisiones hospitalarias, atenciones en urgencias, atenciones en UCI, atención en salas ERA y síntomas respiratorios por comunas.

Tabla 13 Muertes potencialmente evitables (2014 – 2020)

COMUNA	**MORTALIDAD**		
	<1	**>30**	**TOTAL**
NORTE	1.2	7.9	9.0
	0.0 - 3.1	3.4 - 12.3	2.7 - 15.4
NOR-ORIENTAL	0.9	5.8	6.7
	0.0 - 2.3	2.6 - 9.1	2.0 - 11.4
SAN FRANCISCO	1.5	10.3	11.8
	0.0 - 4.1	4.6 - 16.0	3.6 - 20.0
OCCIDENTAL	1.3	8.4	9.7
	0.0 - 3.3	3.8 - 13.1	3.0 - 16.5
GARCIA ROVIRA	1.4	9.5	10.9
	0.0 - 3.8	4.2 - 14.7	3.3 - 18.5
LA CONCORDIA	0.8	5.3	6.1
	0.0 - 2.1	2.3 - 8.2	1.8 - 10.3
CIUDADELA REAL DE MINAS	0.6	4.0	4.6
	0.0 - 1.6	1.7 - 6.2	1.4 - 7.7
SUR-OCCIDENTE	0,5	3.2	3.7
	0.0 - 1.3	1.4 - 5.0	1.1 - 6.2
LA PEDREGOSA	0.4	2.6	2.9
	0.0 - 1.0	1.1 - 4.0	0.9 - 5.0
PROVENZA	0.9	5.9	6.8
	0.0 - 2.3	2.6 - 9.2	2.0 - 11.5
SUR	0.8	5.6	6.5
	0.0 - 2.2	2.5 - 8.8	1.9 - 11.0
CABECERA DEL LLANO	1.1	7.1	8.2
	0.0 - 2.8	3.1 - 11.1	2.5 - 13.9

COMUNA	MORTALIDAD		
	<1	>30	TOTAL
ORIENTAL	1.8	12.3	14.1
	0.0 - 4.9	5.5 - 19.1	4.3 - 23.9
MORRORICO	0.6	4.1	4.7
	0.0 - 1.6	1.8 - 6.4	1.4 - 8.0
CENTRO	0.4	2.9	3.3
	0.0 - 1.1	1.3 - 4.5	1.0 - 5.6
LAGOS DEL CACIQUE	0.4	2.7	3.1
	0.0 - 1.1	1.2 - 4.2	0.9 - 5.2
MUTIS	0.9	6.3	7.2
	0.0 - 2.5	2.8 - 9.8	2.2 - 12.3
TOTALES	**15.5**	**103.7**	**119.2**

Fuente: Autor

Tabla 14 Hospitalizaciones potencialmente evitables (2014 – 2020)

COMUNA	HOSPITALIZACIONES				
	CAUSAS RESPITATORIAS			CAUSAS CARDIOVASCULARES	TOTAL
	0-5	5-99	TOTAL	0-99	
NORTE	8.2	22.9	31.1	1.4	32.5
	5.8 - 10.6	16.2 - 29.7	22.0 - 40.3	0.8 - 1.9	22.8 - 42.2
NOR-ORIENTAL	6.1	17.1	23.3	1.0	24.3
	4.3 - 7.9	12.1 - 22.2	16.4 - 30.1	0.6 - 1.4	17.0 - 31.5
SAN FRANCISCO	10.8	30.3	41.1	1.8	42.9
	7.6 - 14.0	21.4 - 39.2	29.0 - 53.1	1.1 - 2.6	30.1 - 55.7
OCCIDENTAL	8.9	25.0	33.9	1.5	35.4
	6.3 - 11.6	17.6 - 32.3	24.0 - 43.8	0.9 - 2.1	24.9 - 45.9
GARCIA ROVIRA	10.0	27.8	37.8	1.7	39.5

COMUNA	HOSPITALIZACIONES				
	CAUSAS RESPITATORIAS			CAUSAS CARDIOVASCULARES	TOTAL
	0-5	5-99	TOTAL	0-99	
	7.0 - 12.9	19.7 - 36.0	26.7 - 48.9	1.0 - 2.3	27.7 - 51.3
LA CONCORDIA	5.5	15.4	20.9	0.9	21.9
	3.9 - 7.1	10.9 - 20.0	14.8 - 27.1	0.6 - 1.3	15.3 - 28.4
CIUDADELA REAL DE MINAS	4.1	11.6	15.7	0.7	16.4
	2.9 - 5.3	8.2 - 15.0	11.1 - 20.3	0.4 - 1.0	11.5 - 21.3
SUR-OCCIDENTE	3.3	9.3	12.6	0.6	13.2
	2.3 - 4.3	6.6 - 12.0	8.9 - 16.3	0.3 - 0.8	9.2 - 17.1
LA PEDREGOSA	2.7	7.5	10.2	0.5	10.6
	1.9 - 3.5	5.3 - 9.7	7.2 - 13.2	0.3 - 0.6	7.4 - 13.8
PROVENZA	6.1	17.2	23.3	1.0	24.3
	4.3 - 7.9	12.1 - 22.2	16.4 - 30.1	0.6 - 1.4	17.1 - 31.6
SUR	5.9	16.5	22.4	1.0	23.3
	4.1 - 7.6	11.6 - 21.3	15.8 - 28.9	0.6 - 1.4	16.4 - 30.3
CABECERA DEL LLANO	7.4	20.8	28.2	1.3	29.5
	5.2 - 9.5	14.7 - 27.0	19.9 - 36.5	0.8 - 1.8	20.7 - 38.2
ORIENTAL	13.0	36.2	49.2	2.2	51.4
	9.2 - 16.8	25.6 - 46.9	34.8 - 63.6	1.3 - 3.1	36.1 - 66.7
MORRORICO	4.3	12.1	16.5	0.7	17.2
	3.1 - 5.6	8.6 - 15.7	11.6 - 21.3	0.4 - 1.0	12.1 - 22.3
CENTRO	3.1	8.6	11.7	0.5	12.2
	2.2 - 4.0	6.1 - 11.1	8.3 - 15.1	0.3 - 0.7	8.6 - 15.8
LAGOS DEL CACIQUE	2.8	7.8	10.6	0.5	11.0
	2.0 - 3.6	5.5 - 10.1	7.4 - 13.7	0.3 - 0.7	7.7 - 14.3
MUTIS	6.5	18.4	24.9	1.1	26.0
	4.6 - 8.5	13.0 - 23.8	17.6 - 32.2	0.7 - 1.5	18.3 - 33.8
TOTALES	**108.6**	**304.6**	**413.2**	**18.3**	**431.6**

Fuente: Autor

Tabla 15 Atención en urgencias, UCI y ERA potencialmente evitables (2014-2020)

COMUNA	ATENCIÓN EN URGENCIAS. Causas Respiratorias		ATENCIÓN EN UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS (UCI): Causas Respiratorias	ATENCIÓN EN SALAS ERA	SINTOMAS RESPIRATORIOS
	< 5	> 5	< 5	< 5	< 5
NORTE	25	7	2	22	164
NOR-ORIENTAL	18	5	1	17	122
SAN FRANCISCO	32	10	2	29	216
OCCIDENTAL	27	8	2	24	179
GARCIA ROVIRA	30	9	2	27	199
LA CONCORDIA	16	5	1	15	110
CIUDADELA REAL DE MINAS	12	4	1	11	82
SUR-OCCIDENTE	10	3	1	9	66
LA PEDREGOSA	8	2	1	7	53
PROVENZA	18	6	1	16	122
SUR	18	5	1	16	117
CABECERA DEL LLANO	22	7	1	20	147
ORIENTAL	39	12	3	35	259

COMUNA	ATENCIÓN EN URGENCIAS. Causas Respiratorias		ATENCIÓN EN UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS (UCI): Causas Respiratorias	ATENCIÓN EN SALAS ERA	SINTOMAS RESPIRATORIOS
	< 5	> 5	< 5	< 5	< 5
MORRORICO	13	4	1	12	87
CENTRO	9	3	1	8	62
LAGOS DEL CACIQUE	8	2	1	7	55
MUTIS	20	6	1	18	131
TOTALES	**326**	**97**	**22**	**293**	**2172**

Fuente: Autor

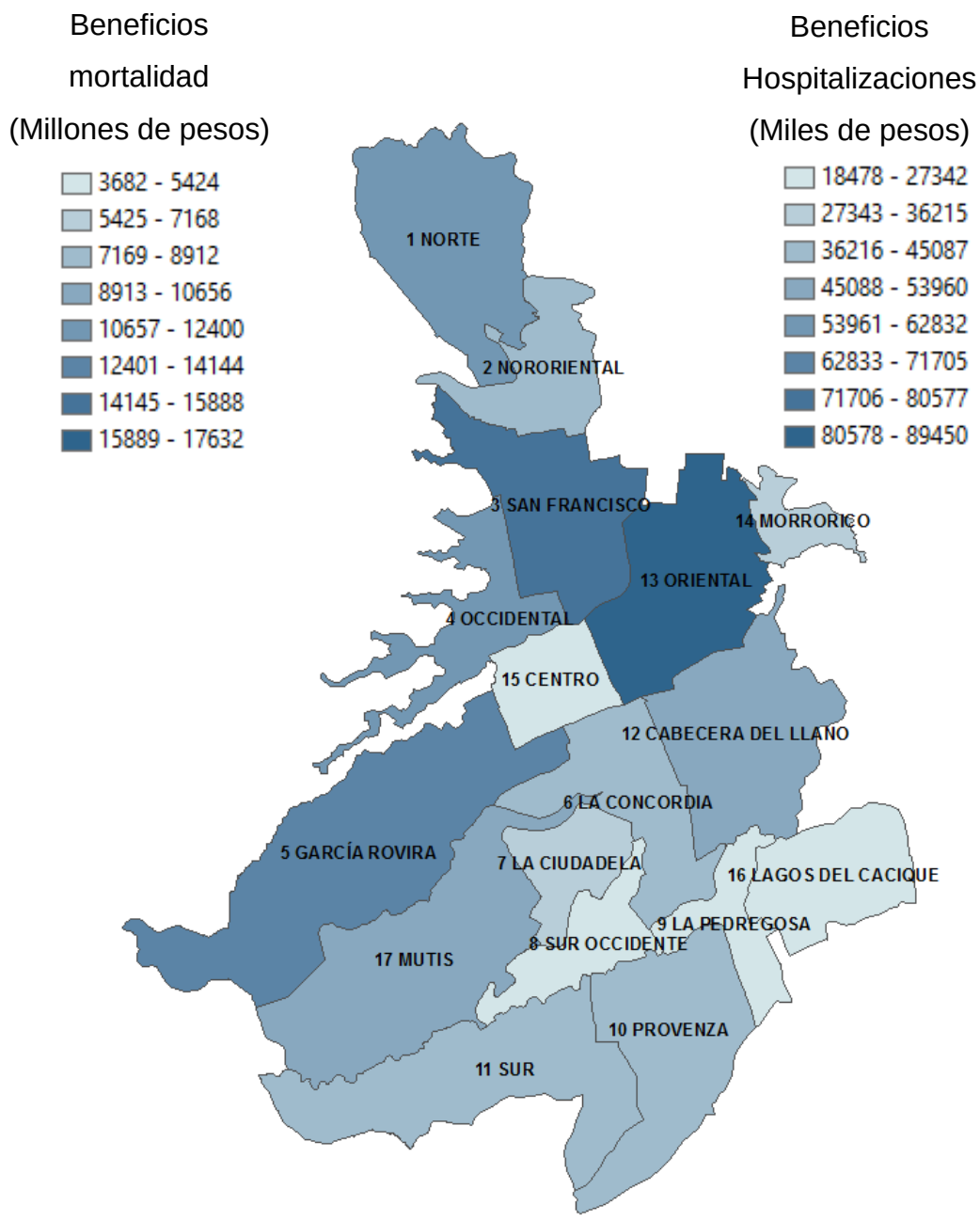
3.3.2. Beneficios económicos

En la Figura 12 se puede observar la distribución espacial de los beneficios económicos por la reducción de material particulado menor a 10 micras, por cada una de las comunas evaluadas. Tanto en mortalidad como en hospitalizaciones, la comuna Oriental es la que presenta el mayor beneficio económico (Mortalidad: $17.631.000.000, Hospitalizaciones: $85.415.000). Seguida de la comuna Oriental, se encuentran las comunas San Francisco (Mortalidad 14758 millones de pesos, Hospitalizaciones 74683 miles de pesos) y García Rovira (Mortalidad 13591 millones de pesos, Hospitalizaciones 68732 miles de pesos) con uno de los mayores beneficios económicos.

Si bien la comuna Centro es la que presenta los mayores niveles de inmisión, es una de las que presenta menores beneficios económicos y esto se debe a que la mayoría de su población es flotante. La comuna que presenta el menor beneficio económico es La Pedregosa (Mortalidad 3681 millones de pesos, Hospitalizaciones 18478 miles de pesos), seguida de la comuna Lagos de Cacique (Mortalidad 3825 millones de pesos, Hospitalizaciones 19183 miles de pesos) y la comuna Centro (Mortalidad 4161 millones de pesos, Hospitalizaciones 21256 miles de pesos).

La Tabla 16, la Tabla 17y la Tabla 18 presentan los beneficios económicos por la reducción de PM_{10}, en cada una de las comunas y para cada uno de los efectos evaluados.

Figura 12 Beneficios económicos mortalidad (Millones de pesos)



Fuente: Autor (POT BGA 2012-2027 – Resultados BenMap)

Tabla 16 Beneficios económicos Mortalidad

COMUNA	COSTOS MORTALIDAD 2014 (millones de pesos)		
	<1	>30	TOTAL
NORTE	$ 1,473.73	$ 9,812.89	$ 11,286.62
	$- - $ 3,913.17	$4,279.35 - $15,346.42	$3,315.02 - $19,258.22
NOR-ORIENTAL	$ 1,096.92	$ 7,302.39	$ 8,399.31
	$- - $ 2,906.08	$3,205.60 - $11,399.18	$2,494.84 - $14,303.79
SAN FRANCISCO	$ 1,920.05	$ 12,838.33	$ 14,758.37
	$- - $ 5,069.25	$5,705.35 - $19,971.30	$4,480.69 - $25,036.06
OCCIDENTAL	$ 1,586.43	$ 10,552.89	$ 12,139.32
	$- - $ 4,186.17	$4,699.24 - $16,406.54	$3,689.94 - $20,588.69
GARCIA ROVIRA	$ 1,777.77	$ 11,813.34	$ 13,591.11
	$- - $ 4,699.49	$5,223.80 - $18,402.88	$4,083.24 - $23,098.98
LA CONCORDIA	$ 980.04	$ 6,591.45	$ 7,571.49
	$- - $ 2,593.35	$2,905.05 - $10,277.84	$2,273.40 - $12,869.58
CIUDADELA REAL DE MINAS	$ 735.43	$ 4,952.40	$ 5,687.84
	$- - $ 1,949.08	$2,171.64 - $ 7,733.17	$1,694.36 - $ 9,681.32
SUR-OCCIDENTE	$ 593.34	$ 3,968.54	$ 4,561.88
	$- - $ 1,571.39	$1,744.01 - $ 6,193.08	$1,360.14 - $ 7,763.62
LA PEDREGOSA	$ 478.77	$ 3,202.78	$ 3,681.54
	$- - $ 1,268.78	$1,404.57 - $ 5,000.98	$1,093.93 - $ 6,269.15
PROVENZA	$ 1,092.52	$ 7,351.96	$ 8,444.49
	$- - $ 2,893.68	$3,229.92 - $11,474.00	$2,522.83 - $14,366.15
SUR	$ 1,048.41	$ 7,037.50	$ 8,085.91
	$- - $ 2,774.16	$3,101.29 - $10,973.71	$2,425.66 - $13,746.16
CABECERA DEL LLANO	$ 1,313.62	$ 8,898.67	$ 10,212.29
	$- - $ 3,472.38	$3,935.76 - $13,861.58	$3,093.15 - $17,331.43
ORIENTAL	$ 2,302.00	$ 15,329.70	$ 17,631.70
	$- - $ 6,074.13	$6,826.72 - $23,832.69	$5,362.43 - $29,900.98
MORRORICO	$ 769.99	$ 5,147.81	$ 5,917.79
	$- - $ 2,033.46	$2,284.36 - $ 8,011.25	$1,792.57 - $10,043.01
CENTRO	$ 544.85	$ 3,616.22	$ 4,161.07
	$- - $ 1,435.01	$1,624.85 - $ 5,607.59	$1,281.44 - $ 7,040.70
LAGOS DEL CACIQUE	$ 495.84	$ 3,329.92	$ 3,825.76
	$- - $ 1,313.86	$1,460.89 - $ 5,198.95	$1,139.36 - $ 6,512.16
MUTIS	$ 1,168.73	$ 7,837.92	$ 9,006.65
	$- - $ 3,092.45	$3,454.38 - $12,221.46	$2,701.31 - $15,311.99
TOTALES	**$ 19,378.44**	**$ 129,584.71**	**$ 148,963.14**

Fuente: Autor

Tabla 17 Beneficios económicos hospitalizaciones

COMUNA	COSTOS HOSPITALIZACIONES 2014 (miles de pesos)				
	CAUSAS RESPITATORIAS			CAUSAS CARDIOVASCULARES	TOTAL
	0-5	5-99	TOTAL	0-99	
NORTE	$ 14,217.93	$ 39,808.27	$ 54,026.20	$ 2,565.42	$ 56,591.62
	$10,025.54 - $18,410.31	$28,070.16 - $51,546.38	$38,095.70 - $ 69,956.69	$ 1,539.77 - $3,591.08	
NOR-ORIENTAL	$ 10,625.33	$ 29,730.93	$ 40,356.26	$ 1,917.34	$ 42,273.60
	$ 7,498.27 - $13,752.39	$20,981.05 - $38,480.82	$28,479.31 - $ 52,233.21	$ 1,151.69 - $2,682.99	
SAN FRANCISCO	$ 18,744.14	$ 52,546.63	$ 71,290.76	$ 3,392.26	$ 74,683.02
	$13,247.90 - $24,240.39	$37,138.65 - $67,954.60	$50,386.54 - $ 92,194.98	$ 2,040.39 - $4,744.13	
OCCIDENTAL	$ 15,505.49	$ 43,320.35	$ 58,825.84	$ 2,798.15	$ 61,623.98
	$10,961.67 - $20,049.30	$30,625.51 - $56,015.18	$41,587.18 - $ 76,064.49	$ 1,683.70 - $3,912.59	
GARCIA ROVIRA	$ 17,296.78	$ 48,316.49	$ 65,613.27	$ 3,118.76	$ 68,732.04
	$12,217.28 - $22,376.28	$34,127.51 - $62,505.48	$46,344.79 - $ 84,881.76	$ 1,875.07 - $4,362.46	
LA CONCORDIA	$ 9,518.93	$ 26,801.62	$ 36,320.55	$ 1,728.07	$ 38,048.62
	$ 6,720.79 - $12,317.07	$18,923.14 - $34,680.09	$25,643.94 - $ 46,997.16	$ 1,038.20 - $2,417.94	
CIUDADELA REAL DE MINAS	$ 7,121.36	$ 20,072.51	$ 27,193.87	$ 1,293.43	$ 28,487.30
	$ 5,024.86 - $ 9,217.86	$14,163.24 - $25,981.78	$19,188.10 - $ 35,199.65	$ 776.59 - $1,810.26	
SUR-OCCIDENTE	$ 5,751.47	$ 16,139.92	$ 21,891.40	$ 1,040.67	$ 22,932.07
	$ 4,059.34 - $ 7,443.60	$11,391.42 - $20,888.43	$15,450.77 - $ 28,332.03	$ 625.09 - $1,456.25	
LA PEDREGOSA	$ 4,634.10	$ 13,005.77	$ 17,639.87	$ 838.40	$ 18,478.28
	$ 3,269.87 - $ 5,998.32	$ 9,177.02 - $16,834.52	$12,446.90 - $ 22,832.85	$ 503.45 - $1,173.35	
PROVENZA	$ 10,589.52	$ 29,830.69	$ 40,420.21	$ 1,922.69	$ 42,342.90
	$ 7,473.72 - $13,705.33	$21,053.47 - $38,607.90	$28,527.19 - $ 52,313.23	$ 1,154.66 - $2,690.72	
SUR	$ 10,179.48	$ 28,622.83	$ 38,802.31	$ 1,845.75	$ 40,648.06
	$ 7,187.03 - $13,171.92	$20,208.63 - $37,037.04	$27,395.67 - $ 50,208.96	$ 1,108.92 - $2,582.58	
CABECERA DEL LLANO	$ 12,787.85	$ 36,159.66	$ 48,947.50	$ 2,331.30	$ 51,278.80
	$ 9,032.72 - $16,542.98	$25,541.43 - $46,777.89	$34,574.14 - $ 63,320.87	$ 1,400.90 - $3,261.69	
ORIENTAL	$ 22,502.10	$ 62,913.58	$ 85,415.68	$ 4,063.40	$ 89,479.07
	$15,908.03 - $29,096.16	$44,477.24 - $81,349.92	$60,385.27 - $110,446.08	$ 2,444.98 - $5,681.82	
MORRORICO	$ 7,509.02	$ 21,050.61	$ 28,559.63	$ 1,358.78	$ 29,918.41
	$ 5,306.19 - $ 9,711.85	$14,875.25 - $27,225.97	$20,181.44 - $ 36,937.81	$ 817.14 - $1,900.43	
CENTRO	$ 5,357.23	$ 14,933.59	$ 20,290.82	$ 965.65	$ 21,256.47
	$ 3,791.67 - $ 6,922.79	$10,569.49 - $19,297.68	$14,361.17 - $ 26,220.48	$ 581.74 - $1,349.55	
LAGOS DEL CACIQUE	$ 4,801.53	$ 13,510.82	$ 18,312.35	$ 870.82	$ 19,183.17
	$ 3,388.18 - $ 6,214.89	$ 9,533.84 - $17,487.80	$12,922.02 - $ 23,702.69	$ 522.91 - $1,218.73	
MUTIS	$ 11,349.89	$ 31,897.44	$ 43,247.33	$ 2,056.94	$ 45,304.27
	$ 8,013.49 - $14,686.29	$22,520.90 - $41,273.98	$30,534.39 - $ 55,960.27	$31,611.99 - $2,878.04	
TOTALES	**$ 188,492.15**	**$ 528,661.70**	**$ 717,153.86**	**$ 34,107.83**	**$751,261.69**

Fuente: Autor

Tabla 18 Beneficios económicos urgencias, UCI, ERA

COMUNA	COSTOS 2014 (miles de pesos)					
	ATENCIÓN EN URGENCIAS. Causas Respiratorias			ATENCIÓN EN UCI	ATENCIÓN EN SALAS ERA	SINTOMAS RESPIRATORIOS
	< 5	> 5	TOTAL	< 5	< 5	< 5
NORTE	$ 10,358.78	$ 3,093.67	$ 13,452.45	$ 13,892.95	$ 1,645.22	$ 81,245.31
NOR-ORIENTAL	$ 7,741.31	$ 2,310.52	$ 10,051.83	$ 10,382.47	$ 1,229.50	$ 60,716.18
SAN FRANCISCO	$ 13,656.45	$ 4,083.62	$ 17,740.07	$ 18,315.70	$ 2,168.96	$ 107,109.38
OCCIDENTAL	$ 11,296.86	$ 3,366.61	$ 14,663.46	$ 15,151.08	$ 1,794.21	$ 88,602.79
GARCIA ROVIRA	$ 12,601.94	$ 3,754.88	$ 16,356.82	$ 16,901.42	$ 2,001.48	$ 98,838.74
LA CONCORDIA	$ 6,935.22	$ 2,082.87	$ 9,018.09	$ 9,301.35	$ 1,101.48	$ 54,393.89
CIUDADELA REAL DE MINAS	$ 5,188.42	$ 1,559.92	$ 6,748.34	$ 6,958.59	$ 824.04	$ 40,693.49
SUR-OCCIDENTE	$ 4,190.36	$ 1,254.30	$ 5,444.66	$ 5,620.01	$ 665.53	$ 32,865.56
LA PEDREGOSA	$ 3,376.27	$ 1,010.73	$ 4,387.01	$ 4,528.18	$ 536.23	$ 26,480.56
PROVENZA	$ 7,715.22	$ 2,318.27	$ 10,033.50	$ 10,347.48	$ 1,225.36	$ 60,511.57
SUR	$ 7,416.48	$ 2,224.40	$ 9,640.88	$ 9,946.80	$ 1,177.91	$ 58,168.44
CABECERA DEL LLANO	$ 9,316.86	$ 2,810.12	$ 12,126.98	$ 12,495.55	$ 1,479.74	$ 73,073.41
ORIENTAL	$ 16,394.38	$ 4,889.28	$ 21,283.67	$ 21,987.76	$ 2,603.81	$ 128,583.41
MORRORICO	$ 5,470.86	$ 1,635.93	$ 7,106.79	$ 7,337.38	$ 868.90	$ 42,908.68
CENTRO	$ 3,903.13	$ 1,160.55	$ 5,063.68	$ 5,234.78	$ 619.91	$ 30,612.77
LAGOS DEL CACIQUE	$ 3,498.26	$ 1,049.98	$ 4,548.24	$ 4,691.79	$ 555.61	$ 27,437.34
MUTIS	$ 8,269.21	$ 2,478.89	$ 10,748.09	$ 11,090.47	$ 1,313.34	$ 64,856.53
TOTALES	**$ 137,330.00**	**$ 41,084.57**	**$ 178,414.56**	**$ 184,183.76**	**$ 21,811.23**	**$ 1,077,098.02**

Fuente: Autor

4. CONCLUSIONES

Se analizaron los datos de 2004 a 2011 de 5 estaciones fijas automáticas del SVCA del área Metropolitana y se concluyó que los datos del año 2011 son los que presentan mayor continuidad, cantidad y calidad de datos, por lo tanto estos se establecieron como línea base para el proyecto. A pesar que los datos del 2011 son la línea base, el año 2011 no lo es, puesto que se estarían calculando eventos pasados, por lo tanto se asumió que la calidad del aire no varó durante los años 2012, 2013 y 2014 y de esta manera se estipuló como año base el 2014, teniendo como promedio anual en $\mu g/m^3$ de PM_{10} 44.63 para la estación de Cabecera, 31.35 para la Norte, 55.88 para la estación Centro, 32.75 para Ciudadela y 38.26 para Cañaveral.

Por la reducción en los niveles de inmisión en las comunas a 20 $\mu g/m^3$ de PM_{10}, en el período 2014 - 2020, se podrían evitar 109 muertes, 432 hospitalizaciones, 423 atenciones en urgencias por causas respiratorias, 22 atenciones en UCI, 293 atenciones en sala ERA y 2172 síntomas respiratorios en menores de 5 años, lo que representaría unos beneficios económicos de alrededor de 0.15 billones de pesos, de los cuales 149 mil millones de pesos son por muertes, 751 millones de pesos por hospitalizaciones, 178 millones de pesos por atención en urgencias por causas respiratorias, 184 millones por atención en UCI, 22 millones por atención en salas ERA y 1080 millones por síntomas respiratorios en menores de 5 años.

Las comunas más beneficiadas por la reducción de casos y costos son la Oriental, San Francisco, García Rovira y la Occidental, con casos potencialmente evitados y beneficios económicos que oscilan entre los de 414 ($ 18 mil millones), 344 ($ 15 mil millones), 317 ($ 14 mil millones) y 284 ($12 mil millones) respectivamente.

Por la implementación de la reducción de concentración, las comunas con menores casos y costos evitados en el período 2014 – 2020, son; La pedregosa con 85 casos y $3.7 mil millones, Lagos del Cacique con 88 casos lo que representa $3.9 mil millones de pesos y la comuna Centro, que a pesar que es la que posee los mayores niveles de material paticulado, sus casos reducidos son 98 y sus costos asociados son de alrededor de $4.2 mil millones de pesos. Esto resultados se debe a que la comuna Centro es la que menos población alberga.

Los casos evitados y sus valores económicos asociados por comuna para el período 2014-2020 se encuentran en la Tabla 19. Los costos por mortalidad están dados en millones de pesos colombianos VPN 2014 y los demás costos de los efectos restantes se encuentran en miles de pesos colombianos VPN 2014.

La estimación de los impactos en salud de las áreas de estudio se ve sesgada por diferentes factores como los datos de entrada, ya que se toman valores de otras ciudades y de años diferentes al de estudio (Calidad del aire, índices de incidencia, COI), proyecciones de la población. La relación $PM_{2.5}/PM_{10}$ se encuentra dentro del promedio para Colombia, pero no es específica para Bucaramanga. Los parámetros de FCR son específicos para $PM_{2.5}$. No se tuvo en cuenta la vulnerabilidad causada por el historial médico, el estrato, nivel educativo, fumadores. Relación de SMLV para la estimación de los beneficios.

Es la primera aproximación a los beneficios potenciales por la reducción en los niveles de concentración de PM_{10}, lo que es una base para tomar decisiones de inversión y normativas, así mismo es un acercamiento para poder generar concientización de la población y de las autoridades ambientales.

Tabla 19 Casos y costos evitados período 2014-2020

Comuna	Muertes		Hospitalizaciones		Atención en urgencias: causas respiratorias		Atención en UCI: causas respiratorias <5		Atención en salas ERA <5		Síntomas respiratorios <5	
	Casos	Costos	Casos	Costos	Casos	Costos	Casos	Costos	Casos	Costos	Casos	Costos
NORTE	9	$11,286.6	33	$56,591.6	32	$13,452.5	2	$13,892.9	22	$1,645.2	164	$81,245.3
NOR-ORIENTAL	7	$8,399.3	24	$42,273.6	24	$10,051.8	1	$10,382.5	17	$1,229.5	122	$60,716.2
SAN FRANCISCO	12	$14,758.4	43	$74,683.0	42	$17,740.1	2	$18,315.7	29	$2,168.9	216	$107,109.4
OCCIDENTAL	10	$12,139.3	35	$61,623.9	35	$14,663.5	2	$15,151.1	24	$1,794.2	179	$88,602.8
GARCIA ROVIRA	11	$13,591.1	39	$68,732.0	39	$16,356.8	2	$16,901.4	27	$2,001.5	199	$98,838.7
LA CONCORDIA	6	$7,571.5	22	$38,048.6	21	$9,018.1	1	$9,301.4	15	$1,101.5	110	$54,393.8
CIUDADELA REAL DE MINAS	5	$5,687.8	16	$28,487.3	16	$6,748.3	1	$6,958.6	11	$824.1	82	$40,693.5
SUR-OCCIDENTE	4	$4,561.9	13	$22,932.1	13	$5,444.7	1	$5,620.0	9	$665.53	66	$32,865.7
LA PEDREGOSA	3	$3,681.5	11	$18,478.3	10	$4,387.0	1	$4,528.2	7	$536.2	53	$26,480.6
PROVENZA	7	$8,444.5	24	$42,342.9	24	$10,033.5	1	$10,347.5	16	$1,225.4	122	$60,511.6
SUR	6	$8,085.9	23	$40,648.1	23	$9,640.9	1	$9,946.8	16	$1,177.9	117	$58,168.4
CABECERA DEL LLANO	8	$10,212.3	29	$51,278.8	29	$12,126.9	1	$12,495.6	20	$1,479.7	147	$73,073.4
ORIENTAL	14	$17,631.7	51	$89,479.1	50	$21,283.7	3	$21,987.8	35	$2,603.8	259	$128,583.4
MORRORICO	5	$5,917.8	17	$29,918.4	17	$7,106.8	1	$7,337.4	12	$868.9	87	$42,908.7
CENTRO	3	$4,161.1	12	$21,256.5	12	$5,063.7	1	$5,234.8	8	$619.9	62	$30,612.8
LAGOS DEL CACIQUE	3	$3,825.8	11	$19,183.2	11	$4,548.2	1	$4,691.8	7	$555.6	55	$27,437.3
MUTIS	7	$9,006.7	26	$45,304.3	26	$10,748.1	1	$11,090.5	18	$1,313.3	131	$64,856.5
TOTALES	**119**	**$148,963**	**432**	**$751,262**	**423**	**$178,415**	**22**	**$184,184**	**293**	**$21,811**	**2172**	**$1,077,098**

5. RECOMENDACIONES

Para una segunda evaluación de beneficios generados por la reducción a la exposición a PM_{10}, se recomienda:

- Usar datos de calidad del aire del año a estudiar.
- Utilizar datos de incidencia y prevalencia de la ciudad, del año base y por comunas o barrios.
- Emplear parámetros de FCR estimados para PM_{10} y/o aplicar relaciones de $PM_{2.5}/PM_{10}$ de la ciudad.
- Utilizar datos de costos de enfermedad de la ciudad del año de estudio o no menor a un año.
- Realizar evaluación de costos con otras metodologías.
- Espacializar los resultados por barrios.
- Realizar estudios que incluyan la población flotante y su tiempo de exposición a la contaminación.

BIBLIOGRAFÍA

Abt Associates Inc. Environmental Benefits Mapping and Analysis Program – BenMAP, User's Manual. Octubre 2012. http://www.epa.gov/air/benmap/models/BenMAPManualOct2012.pdf

BALLESTER Ferran, MARTÍN-OLMEDO Piedad, PASCAL Mathilde, DECLERCQ Christophe, NEBOT Manel, MARTÍNEZ-RUEDA Teresa, IÑIGUEZ Carmen, DAPONTE Antonio, ALONSO-FUSTEL Eva, SÁNCHEZ-VILLEGAS Pablo, CAMBRA Koldo, LACASAÑA Marina, VALERO Natalia, CORSO Magali y MEDINA Sylvia. Evaluación de impacto en salud de la contaminación atmosférica. El proyecto Aphekom. (Diapositivas) Madrid, España. Octubre 2011. 26 diapositivas.

CASTILLO, J.J. Estimación de los beneficios en salud asociados a la reducción de la contaminación atmosférica en Bogotá, Colombia. Universidad de los Andes. Bogotá, 2010.

CERDA, Arcadio A., GARCÍA, Leidy Y. Contaminación del aire en la Florida (Talca, Chile): Beneficios económicos en salud por la reducción de los niveles PM10. En: Beneficios económicos en reducción de contaminación del aire. Revista Médica. Chile 2010; p:138: 1395-1402.

CIFUENTES, L. Estimación de los Beneficios Sociales de la Reducción de Emisiones y Concentraciones de Contaminantes Atmosféricos en la Región Metropolitana. Santiago, Chile. (2000) CONAMA RM.

CIFUENTES, Luis A., RIZZI, Luis, JORQUERA, Héctor, VERGARA, Javier. Valoración económica y ambiental aplicada a casos del manejo de la Calidad del

Aire y Control de la Contaminación: Informe para el Diálogo Regional de Política del Banco Interamericano de Desarrollo. México, 2004.BID-DRP Informe 2.

DAVIDSON, Kenneth, HALLBERG, Aaron, McCUBBIN, Donald, HUBBELL, Bryan. Analysis of $PM_{2.5}$ using the environmental benefits mapping and analysis program (BenMAP). U.S.EPA and Abt Associates Inc., Bethesda.

FERRER CARBONELL, Jimy Alberto, ESCALANTE SEMERENA, Roberto I. Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud en la Zona Metropolitana del Valle de México. En: Economía informa. Nº. 360. Sep – Oct, 2009.p. 22-39.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2005. Documento soporte norma de calidad del aire.

Introduction to atmospheric dispersion modeling. http://www.envirometrics.com/abstracts/dismodel.pdf

KRÖGER, Timm. Descontaminación atmosférica en Lima Metropolitana: Beneficios en la salud y costos. (Diapositivas). Lima, 2011. 29 diapositivas.

LARSEN, Bjorn Environmental Economist Consultant (2004). Cost of environmental damage: a socio-economic and environmental health risk assessment. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá.

McCUBBIN, Donald. Health Benefits of Alternative $PM_{2.5}$ Standards. Julio de 2011. p. 1 – 66.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 909 del 5 de junio de 2008.

Ministerio de ambiente y desarrollo Sostenible. Política de prevención y control de la contaminación del aire. Viceministerio de ambiente. 2010. http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ambiente/politica/polit_calidad_aire.pdf

MIRANDA, Juan José. Impacto económico en la salud por contaminación del aire en Lima metropolitana. Lima, septiembre, 2006. Instituto de Estudios Peruanos.

MOSQUERA, Cesar, GARCÍA, Neida. Asociación entre la morbilidad por enfermedad respiratoria y contaminantes atmosféricos (PM10, NO2 y O3) en Fontibón y Puente Aranda de la ciudad de Bogotá D.C. Universidad de la Salle, Facultad de ingeniería ambiental y sanitaria, Bogotá, 2007.

PÉREZ, Laura, KÜNZLI, Nino. Los beneficios para la salud pública de la reducción de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de Barcelona. Creal. Septiembre, 2007.

PÉREZ, Laura, SUNYER, Jordi, KÜNZLI, Nino. Estimating the health and economic benefits associated with reducing air pollution in the Barcelona metropolitan area (Spain). Gaceta Sanitaria, 2009. Volume 23, Issue 4, Pages 287-294.

Querol Carceller, Xavier. El Material Particulado Atmosférico. Congreso Nacional del Medio Ambiente, Cumbre del Desarrollo Sostenible.

SANCHEZ C, José Miguel, MOREL L., José Tomás. Una estimación de los beneficios en la salud de reducir la contaminación atmosférica en Santiago. En: Medio ambiente en desarrollo. Capítulo III. Ricardo Katz y Gabriél del Fávero, editores, Centro de Estudios Públicos, Julio de 1993.p. 162 – 182.

TORILLO PORTILLA, Esmeralda. Estimación del beneficio económico en materia de salud por reducciones de ozono y PM_{10} en mexicali: Un enfoque de costos evitados. Trabajo de grado Maestra en Economía Aplicada. Tijuana, México El Colegio de la Frontera Norte. 2008. 112 p.

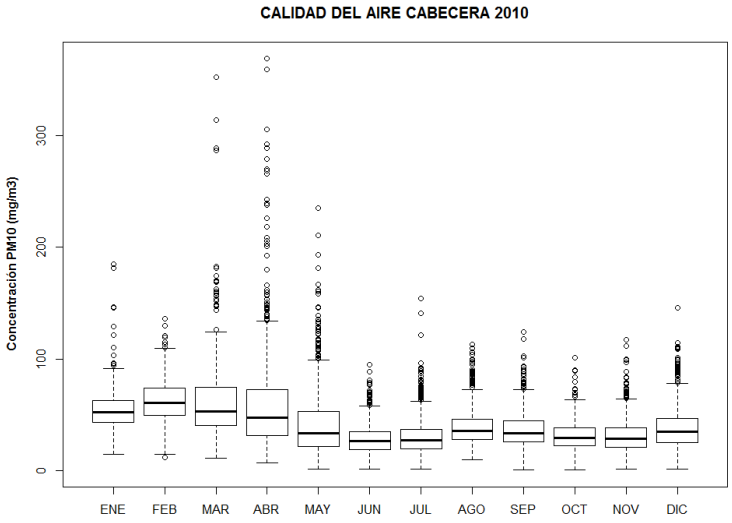
US Environmental Protection Agency. http://www.epa.gov/air/benmap/basic.html

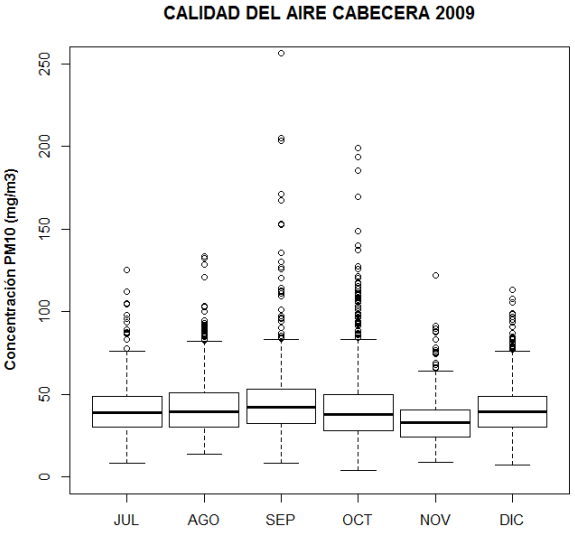
VALENCIA, Alexander. Documento metodológico para el desarrollo de estudios de cuantificación de costos de la degradación ambiental y sus efectos en la salud humana. Departamento Nacional de Planeación. Bogotá, 2012.

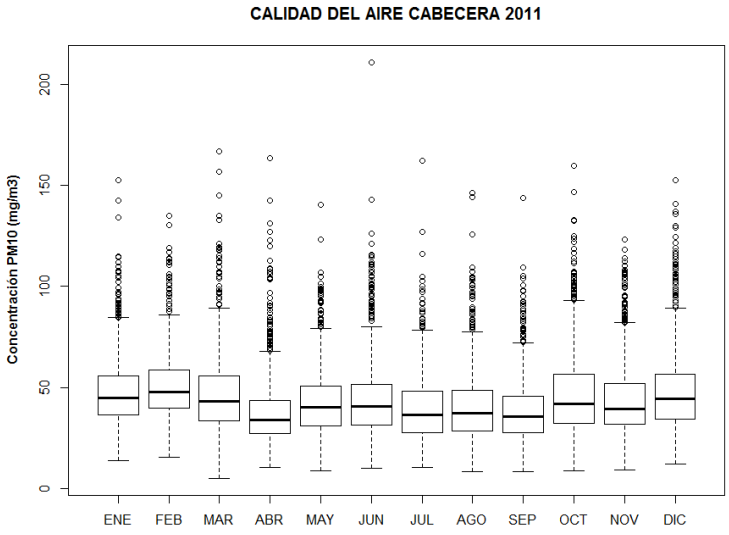
YASSI, Annalee, KJELLSTRÖM, Tord, KOK, Theo, GUIDOTTI, Tee. Salud ambiental básica. Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente, oficina regional para América Latina y el Caribe, Organización Mundial de la Salud, Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología Ministerio de Salud Pública de Cuba. http://www.ambiente.gov.ar/infotecaea/descargas/yassi01.pdf.

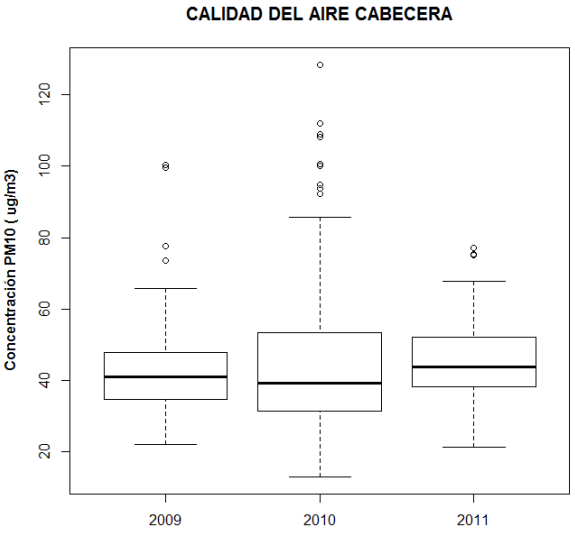
ANEXO A BOXPLOT CALIDAD DEL AIRE

CALIDAD DEL AIRE CABECERA

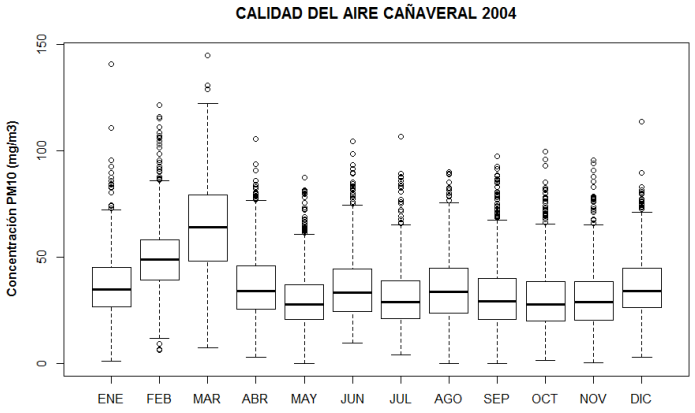


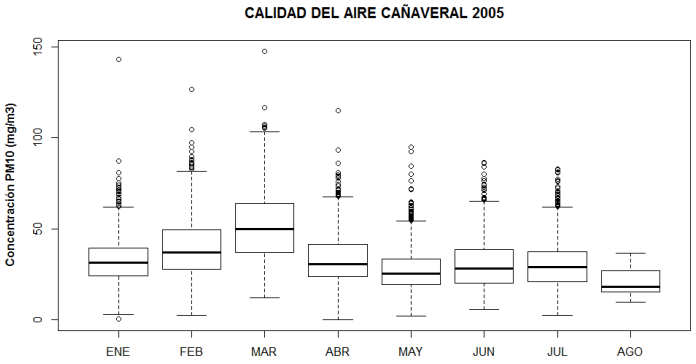


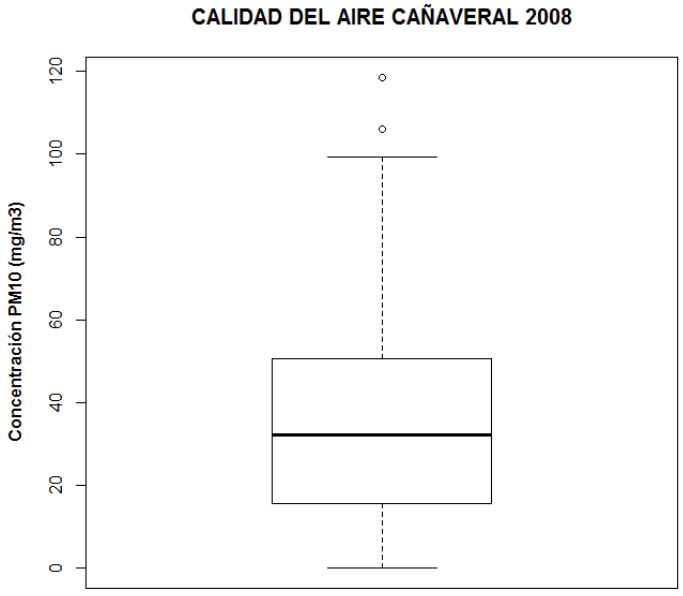


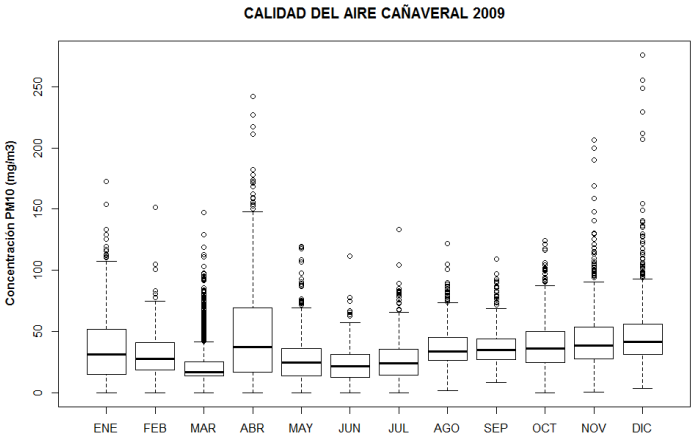


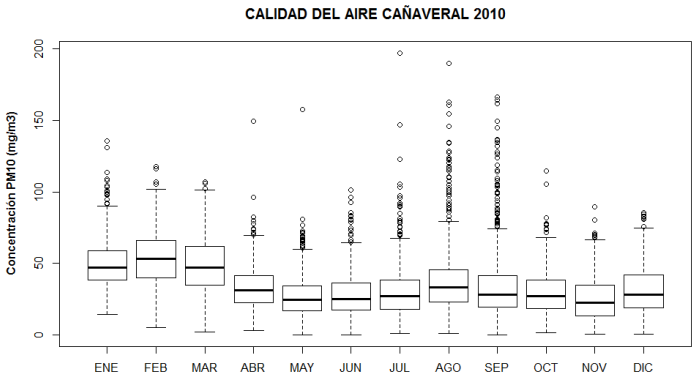
CALIDAD DEL AIRE CAÑAVERAL

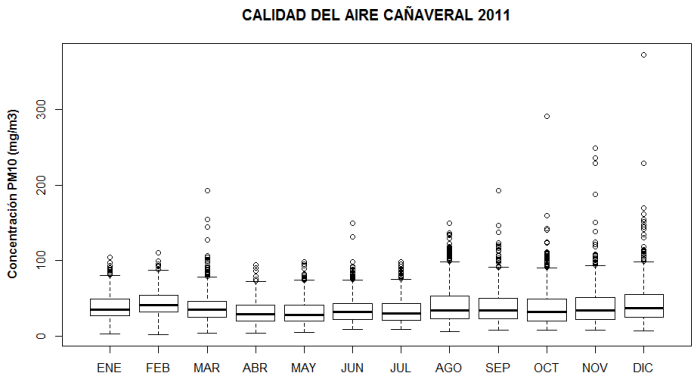


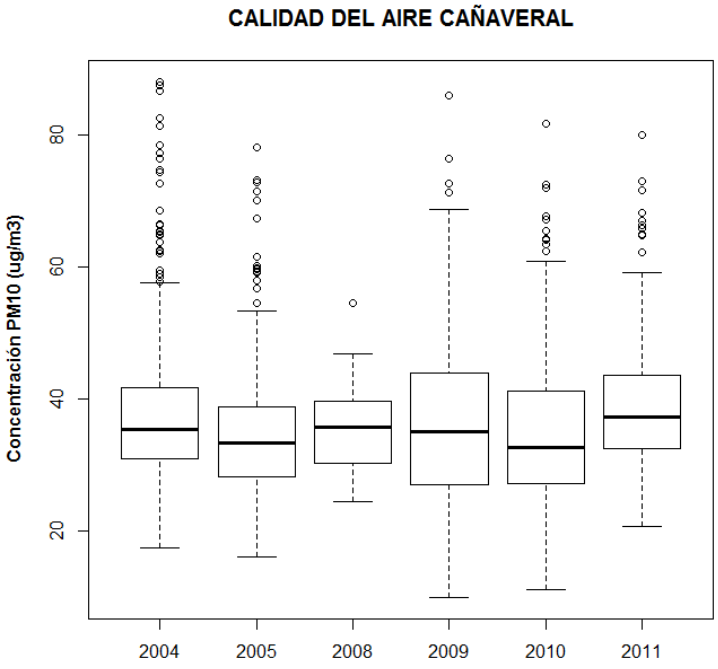




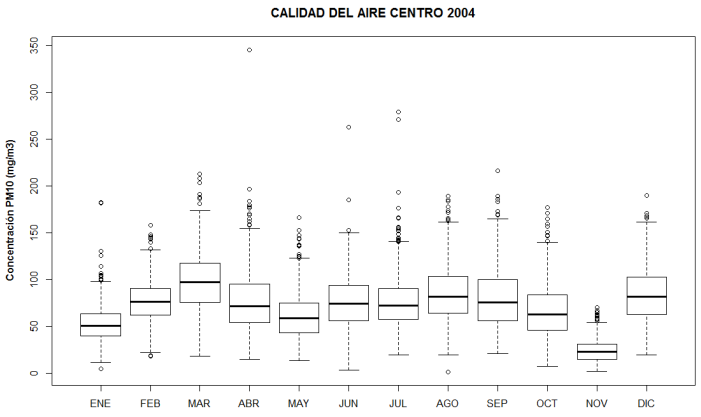


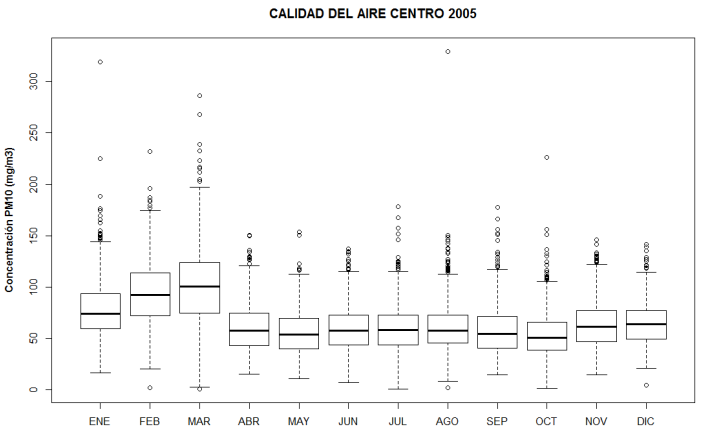

CALIDAD DEL AIRE CAÑAVERAL 2010
Concentración PM10 (mg/m3)
0
50
100
150
200
ENE
FEB
MAR
ABR
MAY
JUN
JUL
AGO
SEP
OCT
NOV
DIC

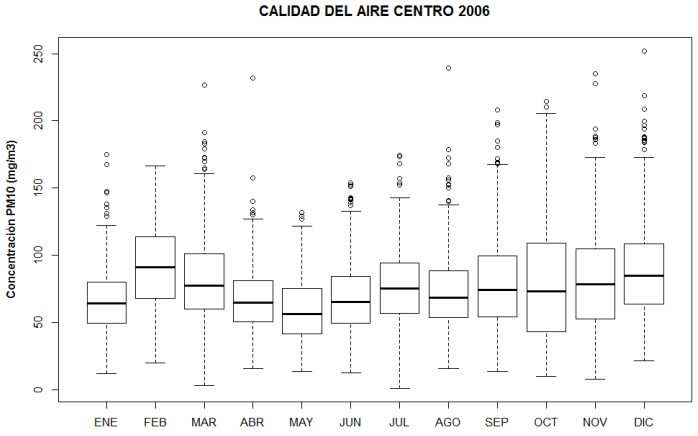

CALIDAD DEL AIRE CAÑAVERAL 2011
Concentración PM10 (mg/m3)
0
100
200
300
ENE
FEB
MAR
ABR
MAY
JUN
JUL
AGO
SEP
OCT
NOV
DIC

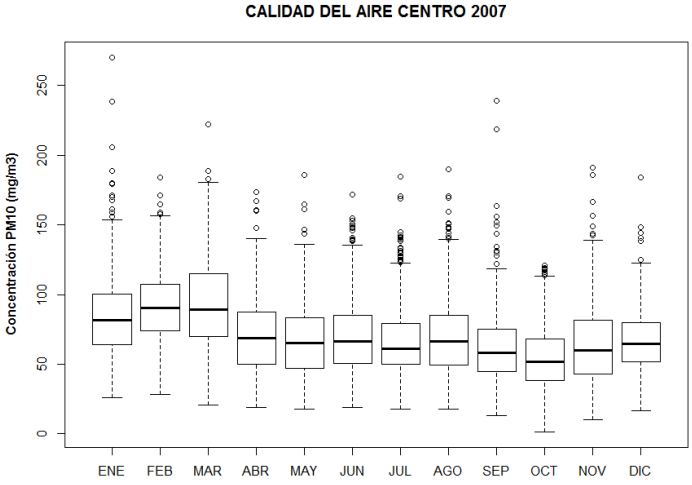

CALIDAD DEL AIRE CAÑAVERAL
Concentración PM10 (ug/m3)
20
40
60
80
2004
2005
2008
2009
2010
2011

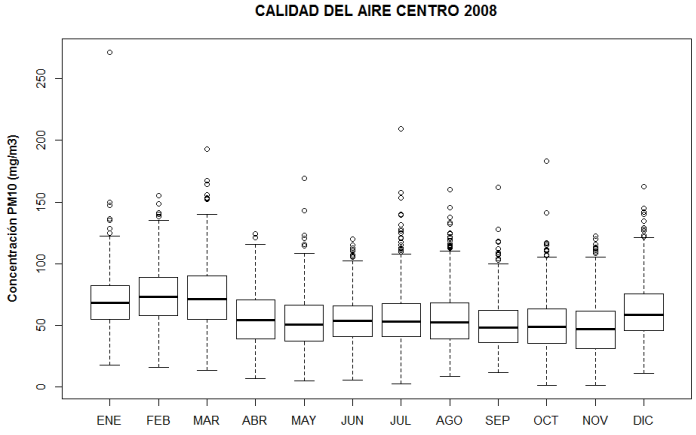
CALIDAD DEL AIRE CENTRO

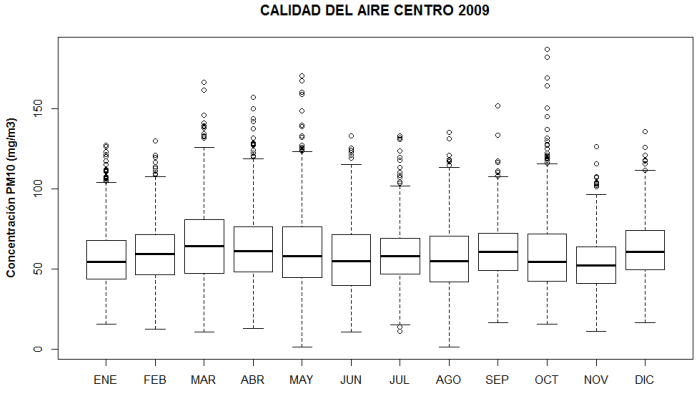


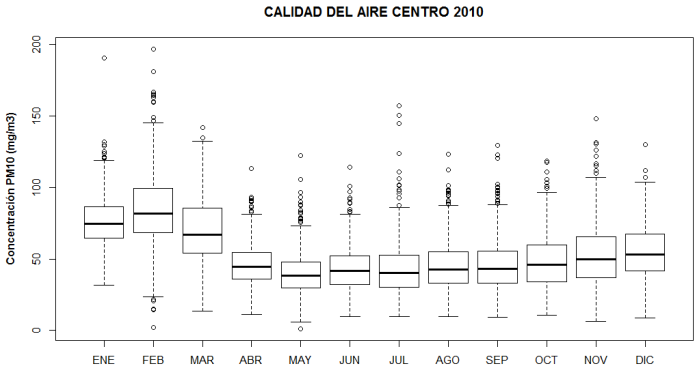


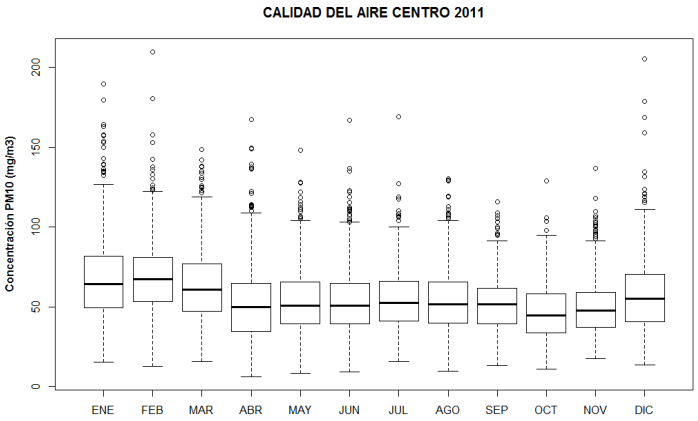


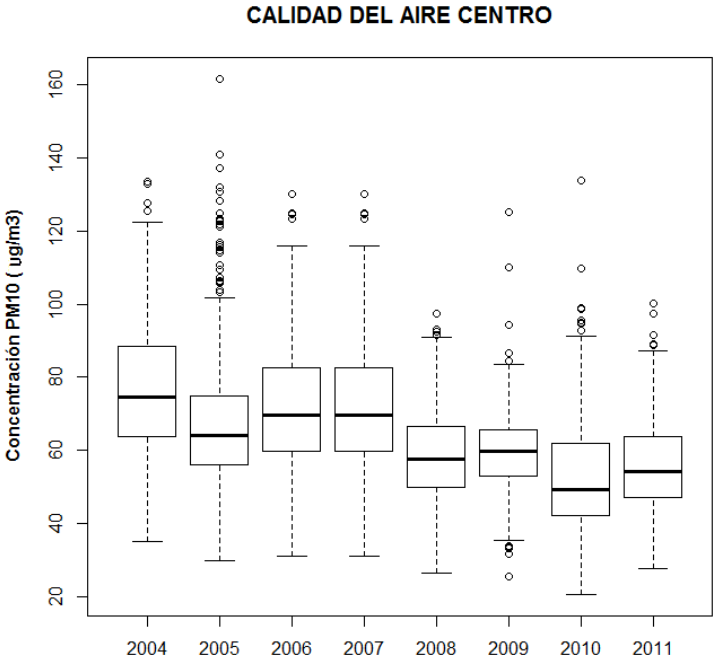




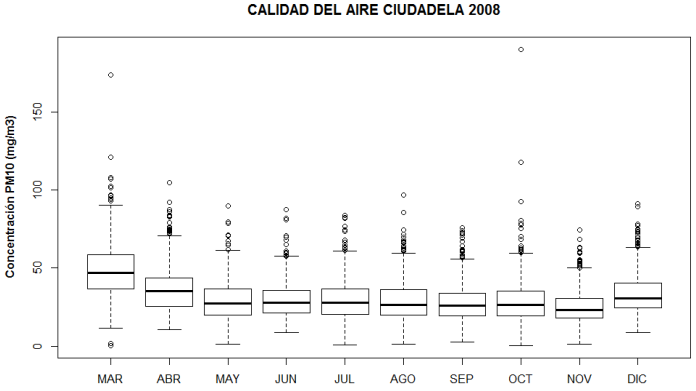


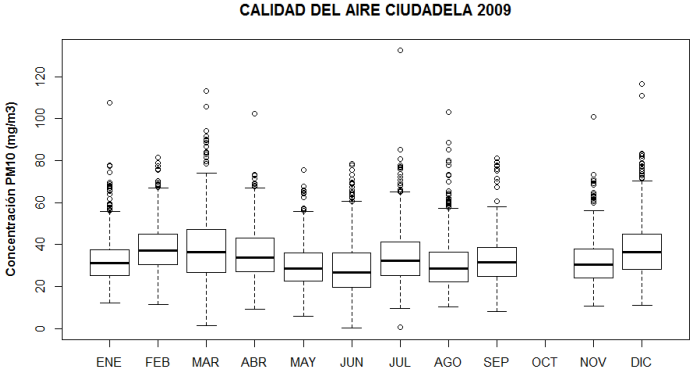

CALIDAD DEL AIRE CENTRO 2010
Concentración PM10 (mg/m3)
0
50
100
150
200
ENE
FEB
MAR
ABR
MAY
JUN
JUL
AGO
SEP
OCT
NOV
DIC

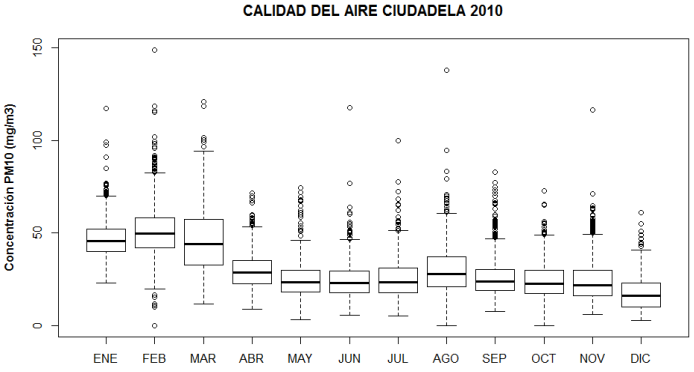

CALIDAD DEL AIRE CENTRO 2011
Concentración PM10 (mg/m3)
0
50
100
150
200
ENE
FEB
MAR
ABR
MAY
JUN
JUL
AGO
SEP
OCT
NOV
DIC

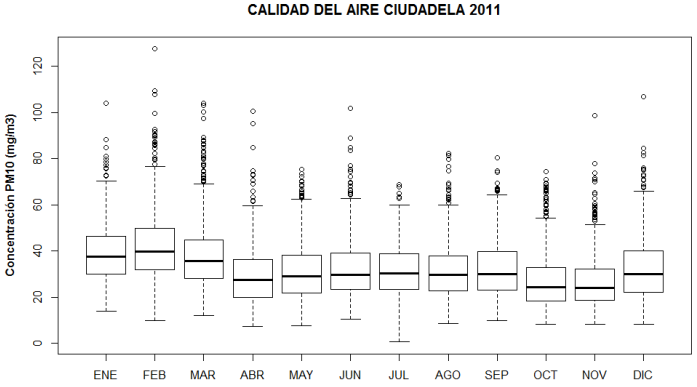

CALIDAD DEL AIRE CENTRO
Concentración PM10 (ug/m3)
20
40
60
80
100
120
140
160
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011

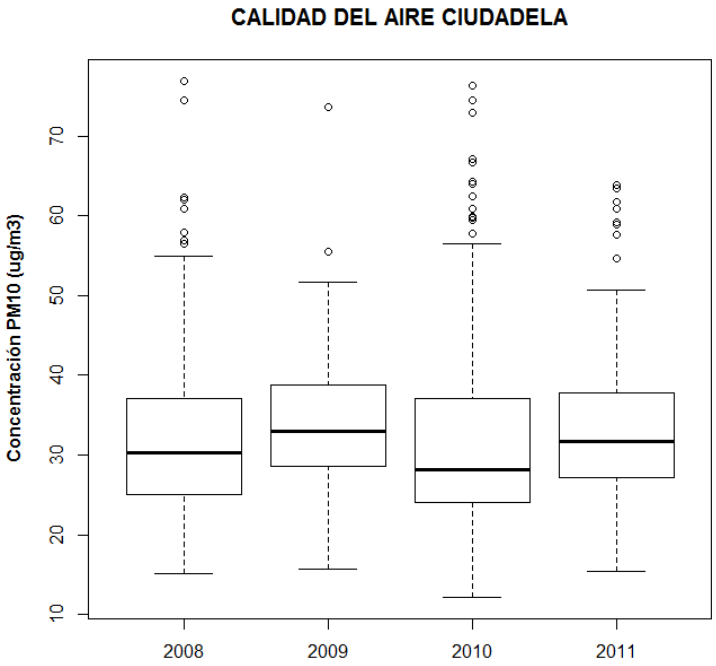
CALIDAD DEL AIRE CIUDADELA





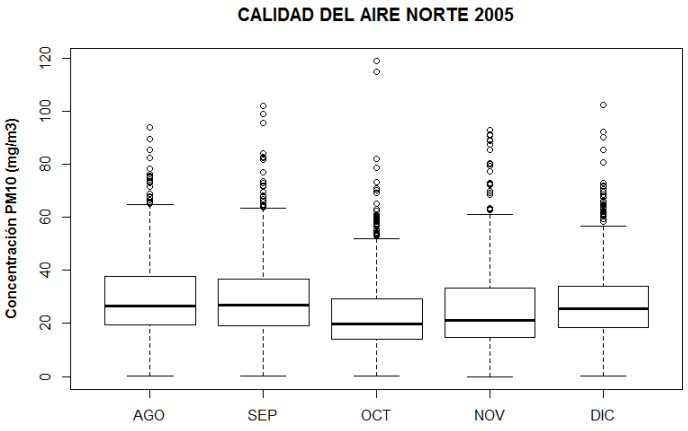


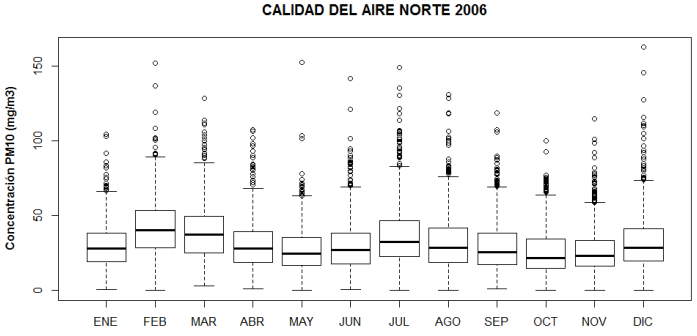


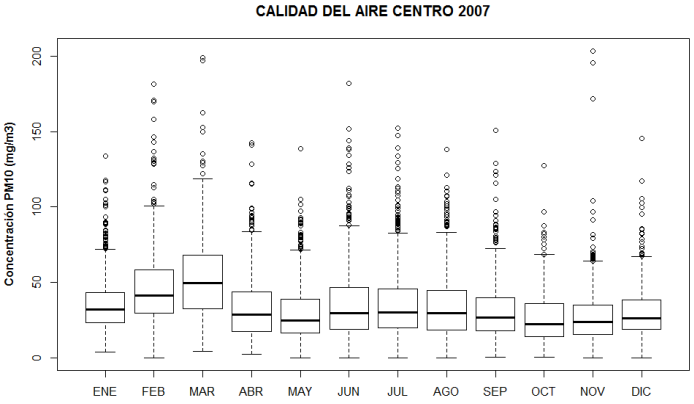

CALIDAD DEL AIRE CIUDADELA
Concentración PM10 (ug/m3)
10
20
30
40
50
60
70
2008
2009
2010
2011

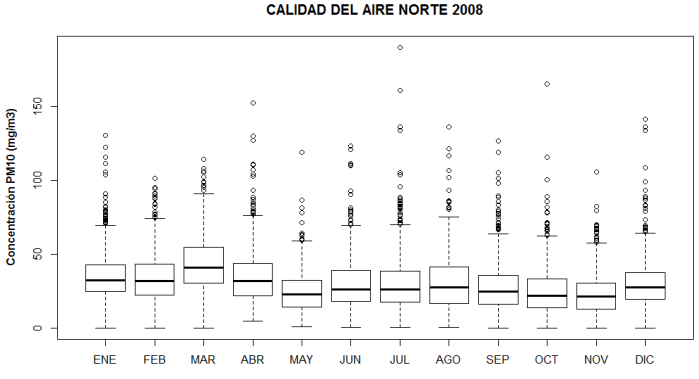
.

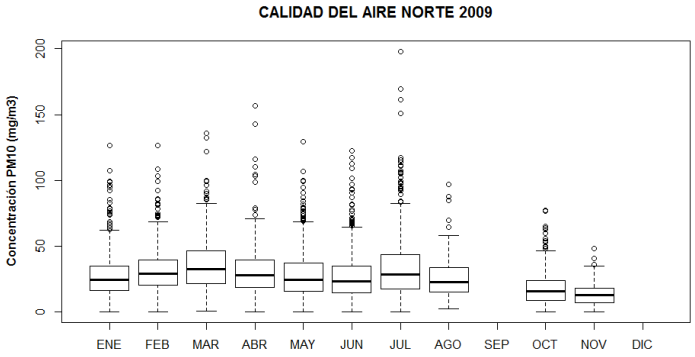
CALIDAD DEL AIRE NORTE

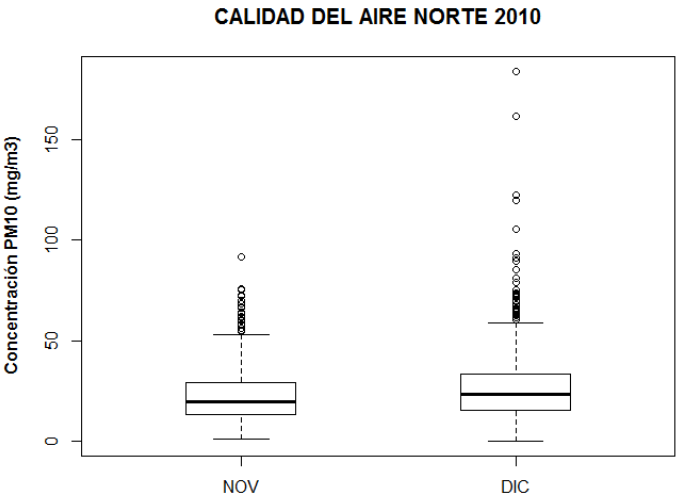


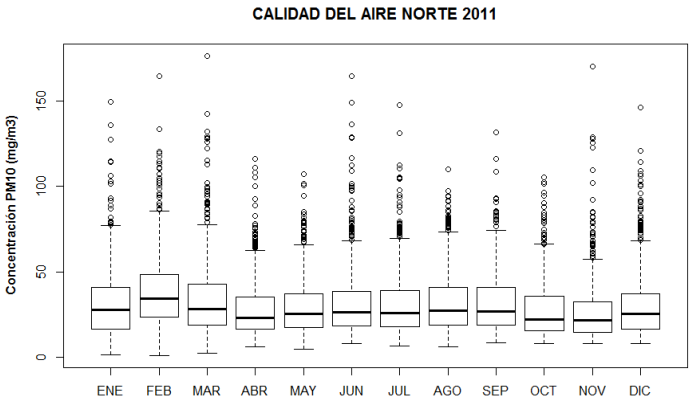


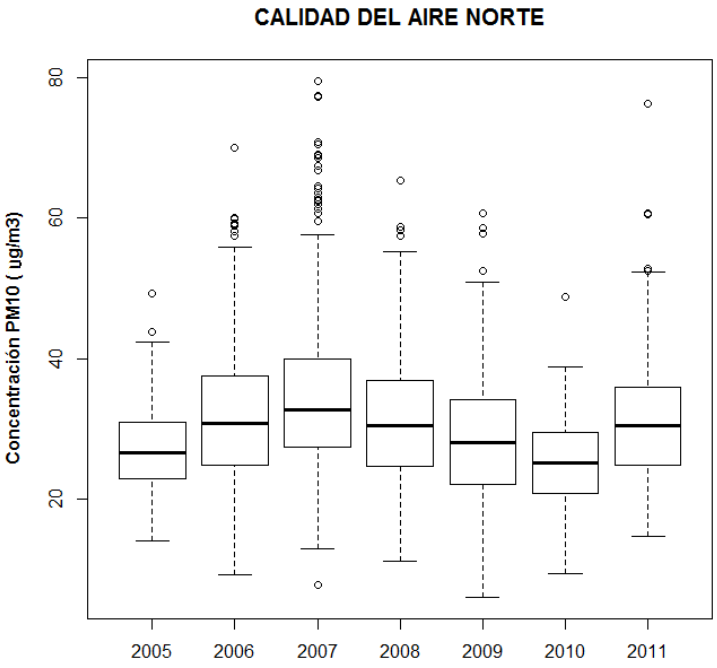





CALIDAD DEL AIRE NORTE 2009
Concentración PM10 (mg/m3)
0
50
100
150
200
ENE
FEB
MAR
ABR
MAY
JUN
JUL
AGO
SEP
OCT
NOV
DIC


CALIDAD DEL AIRE NORTE 2010
Concentración PM10 (mg/m3)
0
50
100
150
NOV
DIC


CALIDAD DEL AIRE NORTE 2011
Concentracion PM10 (mg/m3)
0
50
100
150
ENE
FEB
MAR
ABR
MAY
JUN
JUL
AGO
SEP
OCT
NOV
DIC


CALIDAD DEL AIRE NORTE
Concentración PM10 (ug/m3)
20
40
60
80
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011

ANEXO B PROYECCIONES DEMOGRÁFICAS 2020

COMUNA	0 a 4		5 a 9		10 a 14		15 a 19	
	HOMBRES	MUJERES	HOMBRES	MUJERES	HOMBRES	MUJERES	HOMBRES	MUJERES
NORTE	2.226	1.944	2.383	2.143	2.592	2.289	2.556	2.670
NOR-ORIENTAL	1.455	1.258	1.558	1.386	1.694	1.480	1.671	1.726
SAN FRANCISCO	1.815	1.652	1.943	1.820	2.112	1.944	2.083	2.267
OCCIDENTAL	1.577	1.315	1.688	1.449	1.835	1.547	1.810	1.805
GARCIA ROVIRA	1.934	1.612	2.069	1.776	2.250	1.897	2.218	2.213
LA CONCORDIA	1.089	1.077	1.166	1.187	1.268	1.269	1.250	1.480
CIUDADELA REAL DE MINAS	1.026	1.043	1.098	1.151	1.194	1.228	1.178	1.432
SUR-OCCIDENTE	753	671	806	739	877	789	865	920
LA PEDREGOSA	671	613	717	675	781	720	770	840
PROVENZA	1.257	1.265	1.345	1.394	1.463	1.489	1.442	1.737
SUR	1.114	1.078	1.192	1.186	1.297	1.267	1.279	1.478
CABECERA DEL LLANO	1.212	1.342	1.297	1.478	1.411	1.580	1.390	1.842
ORIENTAL	2.196	1.852	2.351	2.042	2.556	2.181	2.521	2.543
MORRORICO	782	703	837	774	909	827	898	965
CENTRO	387	302	414	334	450	355	444	414
TEJAR	576	569	617	626	671	669	662	780
MUTIS	1.151	1.094	1.231	1.206	1.338	1.288	1.321	1.502
BUCARAMANGA	21.221	19.390	22.712	21.366	24.698	22.819	24.358	26.614

COMUNA	20 a 24		25 a 29		30 a 34		35 a 39	
	HOMBRES	MUJERES	HOMBRES	MUJERES	HOMBRES	MUJERES	HOMBRES	MUJERES
NORTE	2.752	2.805	2.224	2.358	1.844	2.054	1.866	2.068
NOR-ORIENTAL	1.799	1.814	1.454	1.525	1.206	1.328	1.220	1.337
SAN FRANCISCO	2.243	2.382	1.813	2.003	1.503	1.744	1.521	1.757
OCCIDENTAL	1.950	1.897	1.576	1.595	1.307	1.389	1.322	1.399
GARCIA ROVIRA	2.390	2.325	1.932	1.954	1.602	1.702	1.620	1.714
LA CONCORDIA	1.346	1.554	1.088	1.306	902	1.138	913	1.146
CIUDADELA REAL DE MINAS	1.268	1.505	1.025	1.265	850	1.102	860	1.110
SUR-OCCIDENTE	931	968	753	814	624	709	631	714
LA PEDREGOSA	829	883	670	742	556	646	562	651
PROVENZA	1.553	1.825	1.255	1.534	1.041	1.336	1.053	1.346
SUR	1.377	1.553	1.113	1.305	923	1.137	934	1.145
CABECERA DEL LLANO	1.497	1.935	1.210	1.627	1.003	1.417	1.015	1.427
ORIENTAL	2.714	2.671	2.194	2.246	1.819	1.956	1.840	1.970
MORRORICO	967	1.014	781	853	648	743	655	748
CENTRO	478	435	387	366	321	319	324	321
TEJAR	712	819	576	689	477	600	483	604
MUTIS	1.422	1.578	1.150	1.327	953	1.156	964	1.164
BUCARAMANGA	26.228	27.963	21.201	23.509	17.579	20.476	17.783	20.621

COMUNA	40 a 44		45 a 49		50 a 54		55 a 59	
	HOMBRES	MUJERES	HOMBRES	MUJERES	HOMBRES	MUJERES	HOMBRES	MUJERES
NORTE	1.762	2.062	1.455	1.675	1.103	1.386	885	1.094
NOR-ORIENTAL	1.152	1.334	951	1.083	721	896	578	707
SAN FRANCISCO	1.436	1.752	1.186	1.423	899	1.177	721	929
OCCIDENTAL	1.248	1.395	1.030	1.133	782	937	627	740
GARCIA ROVIRA	1.530	1.709	1.263	1.388	958	1.149	768	907
LA CONCORDIA	862	1.143	712	928	540	768	433	606
CIUDADELA REAL DE MINAS	812	1.107	670	899	508	744	408	587
SUR-OCCIDENTE	596	712	492	578	373	478	299	377
LA PEDREGOSA	531	649	438	527	333	436	267	344
PROVENZA	994	1.342	821	1.090	623	902	499	712
SUR	882	1.142	728	927	552	767	443	606
CABECERA DEL LLANO	958	1.423	791	1.156	600	957	481	755
ORIENTAL	1.738	1.964	1.435	1.595	1.088	1.320	872	1.042
MORRORICO	619	746	511	606	388	501	311	396
CENTRO	306	320	253	260	192	215	154	170
TEJAR	456	602	377	489	286	405	229	319
MUTIS	910	1.160	752	942	570	780	457	615
BUCARAMANGA	16.792	20.562	13.865	16.699	10.516	13.818	8.432	10.906

COMUNA	60 a 64		65 a 70		70 a 74		75 a 79	
	HOMBRES	MUJERES	HOMBRES	MUJERES	HOMBRES	MUJERES	HOMBRES	MUJERES
NORTE	693	816	547	721	380	597	355	402
NOR-ORIENTAL	453	528	357	466	249	386	232	260
SAN FRANCISCO	565	693	446	613	310	507	290	341
OCCIDENTAL	491	552	387	488	269	404	252	272
GARCIA ROVIRA	602	677	475	598	330	495	308	333
LA CONCORDIA	339	452	268	400	186	331	174	222
CIUDADELA REAL DE MINAS	319	438	252	387	175	320	164	215
SUR-OCCIDENTE	235	282	185	249	129	206	120	139
LA PEDREGOSA	209	257	165	227	115	188	107	126
PROVENZA	391	531	309	469	215	389	200	261
SUR	347	452	274	399	190	331	178	222
CABECERA DEL LLANO	377	563	298	498	207	412	193	277
ORIENTAL	684	778	539	687	375	569	350	383
MORRORICO	243	295	192	261	134	216	125	145
CENTRO	120	127	95	112	66	93	62	62
TEJAR	179	238	142	211	98	174	92	117
MUTIS	358	459	283	406	197	336	184	226
BUCARAMANGA	6.605	8.138	5.214	7.192	3.625	5.954	3.386	4.003

COMUNA	> 80		Total		TOTAL
	HOMBRES	MUJERES	HOMBRES	MUJERES	
NORTE	364	457	25987	27541	53528
NOR-ORIENTAL	238	295	16988	17809	34797
SAN FRANCISCO	296	388	21182	23392	44574
OCCIDENTAL	258	309	18409	18626	37035
GARCIA ROVIRA	316	378	22565	22827	45392
LA CONCORDIA	178	253	12714	15260	27974
CIUDADELA REAL DE MINAS	167	245	11974	14778	26752
SUR-OCCIDENTE	123	158	8792	9503	18295
LA PEDREGOSA	110	144	7831	8668	16499
PROVENZA	205	297	14666	17919	32585
SUR	182	253	13005	15248	28253
CABECERA DEL LLANO	198	315	14138	19004	33142
ORIENTAL	359	435	25631	26234	51865
MORRORICO	128	165	9128	9958	19086
CENTRO	63	71	4516	4276	8792
TEJAR	94	133	6727	8044	14771
MUTIS	188	257	13429	15496	28925
BUCARAMANGA	3.467	4.553	247.682	274.583	**522.265**