

Análisis del impacto de las políticas ambientales de la ciudad de Bogotá en los niveles de contaminación del aire en la localidad de Kennedy 2010-2021



Karol Julianna Sánchez Castro

Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca

Working Paper presentado para optar al

Título de Economista

Tutor: Rafael Mora

Noviembre 2022

Contenido

1	Tabla de ilustraciones.....	3
2	Resumen.....	4
3	<i>Palabras claves</i>	4
4	Abstract.....	4
5	Keywords.....	4
6	Marco conceptual.....	5
6.1	1.Calidad Del Aire.....	5
6.1.1	ATMÓSFERA TERRESTRE.....	5
6.1.2	CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS.....	5
6.1.3	CONTAMINANTES PRIMARIOS Y CONTAMINANTES SECUNDARIOS.....	6
6.1.4	CONTAMINANTES CRITERIO.....	7
6.1.5	MATERIAL PARTICULADO.....	7
7	Introducción.....	9
8	Pregunta de investigación.....	10
9	Objetivos.....	11
9.1	Objetivo General.....	11
9.2	Objetivos específicos.....	11
10	Justificación.....	11
11	Antecedentes.....	12
12	Metodología.....	13
13	Desarrollo.....	14
13.1	FASE 1. TRATAMIENTO INICIAL DE DATOS.....	14
13.2	FASE 2: ANALISIS EXPLORATORIO.....	15
13.3	FASE 3. ANÁLISIS DE ESTUDIOS DE VALORACIÓN ECONÓMICA.....	16
13.4	FASE 4. IDENTIFICACIÓN DE LA NORMATIVIDAD PÚBLICA.....	17
13.5	ANÁLISIS DE LA NORMATIVIDAD PÚBLICA IDENTIFICADA.....	20
13.6	Análisis de la información a través de Power BI.....	22
14	Resultados y discusión.....	24
14.1	Costo de enfermedad.....	26
15	Referencias.....	30
16	Anexos.....	32

1 Tabla de ilustraciones

Tabla 1. Clasificación contaminantes. Fuente. Tomado de: http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IDEntrega=1881	6
Tabla 2. Fuente. Tomado de: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA)	7
Tabla 3. Decretos y consideraciones. Fuente. Tomado de: informático de normatividad, doctrina y jurisprudencia de la Secretaría Jurídica Distrital	8
Tabla 4. Cantidad de datos faltantes por contaminante	15
Tabla 5. Porcentaje de datos obtenidos por contaminante.....	15
Tabla 6. Media de los datos por año. Elaboración propia.....	16
Tabla 7. Variación de los datos por año. Elaboración propia.....	16
Tabla 8. Normatividad. Elaboración propia	17
Tabla 9. Niveles Máximos permisibles. Tomado de la Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible.	21
Tabla 10. Niveles de prevención y alerta. Tomado de la Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible	21
Tabla 11. Tomado de: Castillo 2010; Secretaría Distrital de Ambiente, 2010.	24
Tabla 12. Tomado de (Beltrán, 2022)	26
Tabla 13. Promedio salarios. Fuente elaboración propia	27
Tabla 14. Tabla de muertes. Elaboración propia.....	32

2 Resumen

En Colombia anualmente la contaminación atmosférica resulta ser una de las más importantes causas de mortalidad y morbilidad en las principales ciudades del país. El Gobierno ha implementado campañas y Decretos para mitigar estos niveles de contaminación. Este escrito plantea averiguar si estas políticas fueron eficientes, con enfoque en la localidad de Kennedy durante el periodo 2010-2021, para este estudio se tuvo en cuenta los reportes otorgados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible a través de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire en Bogotá- RMCAB y la resolución No. 2254 emitida por dicho ministerio, analizando esta gran base de datos a través de metodologías propias del Big Data, además de, realizar un análisis económico mediante la metodología del costo de enfermedad, para estimar el posible costo económico de la pérdida de productividad de las muertes atribuibles a la contaminación atmosférica.

3 Palabras claves

Contaminación atmosférica, costo de enfermedad, Gobierno, Decretos, PM10, PM2.5, CO.

4 Abstract

In Colombia, air pollution annually turns out to be one of the most important causes of mortality and morbidity in the main cities of the country. The Government has implemented campaigns and Decrees to mitigate these levels of contamination. This Working-paper proposes to find out if these policies were efficient, with a focus on Kennedy during the period 2010-2021. For this study, the reports issued by the Ministry of Environment and Sustainable Development through the Monitoring Network of Air Quality in Bogotá-RMCAB and resolution No. 2254 issued by said ministry, analyzing this large database through Big Data methodologies, in addition to carrying out an economic analysis through the cost of illness methodology, to estimate the possible economic cost of lost productivity from deaths attributable to air pollution.

5 Keywords

Air pollution, cost of illness, Government, Laws, PM10, PM2.5, CO.

6 Marco conceptual

6.1 1.Calidad Del Aire

Este concepto se refiere a la condición en la que se encuentra la atmosfera con el fin de poder establecer condiciones aceptables para la salud pública y una buena calidad de vida, básicamente depende de forma como se encuentra compuesto el aire y de la presencia sustancias contaminantes y además del grado de concentración el cual determina el nivel de toxicidad para el cuerpo humano, así como de los factores climáticos y físicos de las regiones específicas (López, 2004)

6.1.1 ATMÓSFERA TERRESTRE

Se define como la capa gaseosa que se encuentra alrededor de nuestro planeta y lo protege de las radiaciones del sol y del cosmos, se pueden encontrar gases tales como oxígeno (20.9%), el nitrógeno (78.1%) y el argón (0.9%) y gases variables en una proporción menos considerable; como el vapor de agua, el óxido nitroso, el metano, el ozono y el dióxido de carbono. Este último existe en cantidades relativamente altas (0.035%), pero su concentración depende del cambio climático.

Otro compuesto que se encuentra en un pequeño porcentaje es el material particulado como partículas de humo, residuos de humo, sal del océano, bacterias, esporas, semillas, cenizas volcánicas y partículas meteóricas, que absorbe total o parcialmente. (Pabon,1998)

6.1.2 CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Teniendo en cuenta la Resolución No. 610 del 24 de marzo de 2010 del MAVDT los contaminantes atmosféricos son; “fenómenos físicos o sustancias, en estado sólido, líquido o gaseoso, que por efectos de acumulación o concentración en el aire son causantes o generadores de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana, que solos, o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas”.

6.1.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Según (Marcano, 2014) estos se pueden clasificar por la forma de generación en procesos:

- Naturales, los cuales son producidos por fuentes como volcanes, incendios forestales, partículas ultrafinas creadas por la erosión del suelo y el metano formado por los procesos orgánicos,

- Antropogénicos, estos surgen a partir de las actividades propias del ser humano y dependen directamente del desarrollo socioeconómico, y pueden ser fábricas en las que se generen combustiones para el tratamiento de materiales entre otras y a su vez también se pueden encontrar fuentes móviles tales como los vehículos que utilicen combustibles fósiles.

6.1.3 CONTAMINANTES PRIMARIOS Y CONTAMINANTES SECUNDARIOS

Es posible establecer una clasificación de los contaminantes según la generación si es directa se denominan primarios y se refieren a aquellos que se generan en alguno de los dos procesos enunciados en el párrafo anterior y si es indirecta se denominan secundarios y se refieren a los compuestos generados producto de la reacción de los contaminantes primarios entre ellos mismos o con la interacción con la atmósfera que en su gran mayoría adquieren este grado debido a su interacción con la radiación solar. En la tabla 1 se puede ver esta clasificación.

Tabla 1. Clasificación contaminantes. Fuente. Tomado de: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IDEntrega=1881>

CONTAMINANTE	Primario	Secundario	Natural	Antropogénico
SO_2	X		Volcanes, incendios forestales	Derivados del petróleo y quema indiscriminada de carbón
H_2S	X		Descomposición de materia orgánica y volcanes	Procesos industriales
H_2SO_4		X	Humedad mezclada con H_2S	Humedad mezclada con H_2S
MSO_4		Sales metálicas de sulfatos	Agentes oxidantes en síntesis orgánicas	
NO	X		procesos biológicos en suelos	Combustión en temperaturas altas
NO_2	X	X	Procesos biológicos en suelos	Combustión en temperaturas altas
NH_3	X		Descomposición vegetal y animal	Procesos industriales
MNO_3		Sales metálicas de nitratos		
Compuestos orgánicos	Hidrocarburos alifáticos Hidrocarburos aromáticos	Cetonas aldehídos ácidos	Derivados oxigenados Derivados halogenados	
CO	X		Océanos, incendios y oxidación de metano ambiente	Automóviles, industria
CO_2	X		Respiración de los seres vivos	Procesos de producción de energía, la

				calefacción y el transporte
Formado en reacciones fotoquímicas		O_3	Formaldehído	Nitratos de peroxiacetilo
			Hidroperóxidos orgánicos	
Material particulado en PM_{10} y $PM_{2.5}$	X		X	Incendios forestales, ciclones, polinización de las plantas
				Quema de combustibles o la incineración de cualquier otro tipo de sustancia

6.1.4 CONTAMINANTES CRITERIO

En nuestro país, como en otros, existe una categorización de los contaminantes de las sustancias normalmente encontradas en el aire, los cuales debido a su concentración pueden o no ser perjudiciales para la salud y para el medio ambiente, estos se resumen en la tabla 2

Tabla 2. Fuente. Tomado de: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA)

PST	Partículas suspendidas totales
PM_{10}	Material particulado menor a 10 micras
$PM_{2.5}$	Material particulado menor a 2.5 micras
SO_2	Dióxido de azufre
NO_2	Dióxido de nitrógeno
O_3	Ozono
CO	Monóxido de carbono
Pb	Plomo

6.1.5 MATERIAL PARTICULADO

El material particulado se compone de partículas sólidas y líquidas, que se encuentran suspendidas y dispersas en el aire. Dado que se presentan de diferentes formas y tamaños se ha establecido una clasificación en términos de su diámetro como partículas finas o gruesas, las finas son aquellas con diámetro menor o igual a $2,5\mu m$, denominadas $PM_{2.5}$. El otro grupo de partículas se compone por aquellas cuyo diámetro oscila alrededor de las 10 micras, PM_{10} .

El material particulado llega al aire por procesos naturales o por procesos antropogénicos y posteriormente al ser humano ocasionando serias implicaciones en la salud, varios estudios epidemiológicos en los últimos años mostraron una relación directa entre la exposición a corto plazo a PM_{10} y $PM_{2.5}$ y el aumento en la morbilidad y mortalidad, ya que debido a su tamaño, con facilidad pueden llegar a los pulmones ocasionando daños o agravando enfermedades respiratorias ya existentes en los seres humanos (Muñoz, 2006).

A continuación, en la tabla 3, se presentan los decretos más relevantes utilizados en este estudio.

Tabla 3. Decretos y consideraciones. Fuente. Tomado de: *informático de normatividad, doctrina y jurisprudencia de la Secretaría Jurídica Distrital*

Acto	Consideraciones
DECRETO 02 DE 1982	Establece el control de Emisiones Atmosféricas, estipula las normas y parámetros de la calidad del aire y los rangos y límites permisibles de emisión.
DECRETO 2206 DE 1983	Sustituye el Capítulo XVI de la vigilancia, el control y las sanciones, del Decreto No. 02 de 1982 sobre emisiones atmosféricas.
DECRETO 948 DE 1995	Reglamenta parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 75 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.
DECRETO 898 DE 1995	Regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores.
RESOLUCION 1351 DE 1995.	Por medio de la cual se adopta la declaración denominada Informe de Estado de Emisiones.
DECRETO 1098 DEL 2000	Primera norma distrital que impulsó el día sin carro el primer jueves de todos los meses de febrero. Actualmente derogada.
RESOLUCIÓN 1015 DEL 2005	Fija los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por las fuentes móviles con motor a gasolina y diésel, dentro del perímetro urbano del Distrito Capital y se toman otras determinaciones.
RESOLUCION 003500 DEL 2005	Establece las condiciones mínimas que deben cumplir los Centros de Diagnóstico Automotor para realizar la revisión técnico-mecánica y de gases de los vehículos automotores que transiten por el territorio nacional.
RESOLUCION 2200 DEL 2006	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 003500 de noviembre 21 de 2005, por la cual se establecen las condiciones mínimas que deben cumplir los Centros de Diagnóstico Automotor para realizar las revisiones técnico-mecánicas y de gases de los vehículos automotores que transitan por el territorio nacional.
RESOLUCION 005975 DEL 2006	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 3500 del 21 de noviembre de 2005, modificada por la Resolución 2200 del 30 de mayo de 2006.
RESOLUCION 000015 DEL 2007	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 3500 del 21 de noviembre de 2005, modificada por las Resoluciones 2200 del 30 de mayo de 2006 y 5975 del 28 de diciembre de 2006.
Ley 1205 DEL 2008	Estrategia que ha exigido una reducción gradual del contenido de azufre en el combustible diésel, con el fin de que se situé con un ACPM de calidad internacional.
RESOLUCION 909 DEL 2008	Establece las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones
RESOLUCION 0910 DEL 2008	Reglamenta los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones.
DECRETO 035 DEL 2009	Impone medidas sobre la circulación de motocicletas, cuatrimotor, moto triciclos, motociclos, ciclomotores y motocarros en el Distrito Capital.

DECRETO 1076 DE 2015	Reglamenta los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones.
DECRETO 054 DEL 2017	Establece medidas para la circulación de vehículos automotores y motocicletas, en la ciudad de Bogotá el primer jueves del mes de febrero de todos los años y se dictan otras disposiciones.
RESOLUCIÓN 2254 DEL 2017	Establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión y adopta disposiciones para la gestión del recurso el aire en el territorio nacional, con el objeto de garantizar un ambiente sano y minimizar el riesgo sobre la salud humana que pueda ser causado por la exposición a los contaminantes en la atmósfera.

Este trabajo está basado en la línea de investigación número doce denominada ecología y desarrollo sostenible de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca y la primera línea de investigación del programa de Economía ‘Teoría Económica-Economía del sector público’, ya que busca analizar el impacto de las políticas ambientales de la ciudad en los niveles de contaminación del aire en la localidad de Kennedy y se fundamenta en la meta número once de los objetivos de desarrollo sostenible de la OMS donde se afirma que desde 2016, el 90% de los habitantes de las ciudades respiraba aire que no cumplía las normas de seguridad establecidas por la Organización Mundial de la Salud, lo que provocó un total de 4,2 millones de muertes debido a la contaminación atmosférica y más de la mitad de la población urbana mundial estuvo expuesta a niveles de contaminación del aire al menos 2,5 veces más altos que el estándar de seguridad.

7 Introducción

La pésima calidad del aire en Bogotá es un problema que se ha ido acrecentando, especialmente en los últimos años. Según el informe “La carga de la contaminación atmosférica en Bogotá, Colombia 2021” realizado por Greenpeace, afirma que Bogotá está incumpliendo con la directriz impuesta por la Organización Mundial de la Salud, si esta se hubiera cumplido, según la proyección, se hubieran reducido en un 64% las muertes, esto es equivalente a 2200 vidas por año (Datos obtenidos a través de monitores a nivel del suelo, valorando las muertes prematuras atribuibles a la contaminación del aire por partículas finas).

Según el Plan Decenal de Descontaminación del aire para Bogotá 2010-2020, elaborado por la Secretaria de Ambiente SDA, ofrece la mejor estimación en la actualidad sobre la planeación que debe tener la ciudad para disminuir los niveles de contaminación del aire, evaluando los beneficios de disminuir la contaminación atmosférica en el sector de la salud, los cuales fueron obtenidos teniendo en cuenta los gastos del sistema de salud al ofrecer

sus servicios de atención a los pacientes, al igual que, el valor de las vidas humanas perdidas y el beneficio económico de su posible futura actividad productiva.

La contaminación atmosférica se asocia con diversos problemas de la salud de los habitantes de la ciudad, como muertes prematuras, inflamación en el tracto respiratorio, infecciones respiratorias, entre otros agravantes de la salud. La tasa de mortalidad a causa de la contaminación aérea es comparable con las muertes a causa del tabaquismo y mayor que la del consumo de drogas, con base en el informe de Greenpeace anteriormente mencionado.

Dicha contaminación se divide en dos tipos de acuerdo a su origen de liberación, fuentes fijas y fuentes móviles, las primeras pertenecen a aquellas emisiones provenientes de un lugar en específico, como por ejemplo, las plantas de producción de las diferentes industrias, vías sin pavimentar y actividades comerciales; y el segundo grupo, son aquellas emisiones que por distintos motivos se están desplazando, como es el caso de los vehículos, según el Ideam en el 2018, de las emisiones de la ciudad de Bogotá, el 61% provienen de fuentes móviles.

La importancia de disminuir los niveles de contaminación por parte del Estado Colombiano se evidencia formalmente en la Constitución de 1991, estableciendo el Desarrollo Sostenible como un principio de la República, garantizando un medio ambiente sano y la protección de los recursos naturales; el 4 de agosto de 2021 el presidente Iván Duque firmó una Ley de Delitos Ambientales, que establece cinco nuevos delitos ambientales, los cuales son: promoción y financiación de la deforestación, tráfico de fauna, apropiación ilegal de los baldíos de la nación y financiación de invasión de áreas de especial importancia ecológica, logrando así, una pena de quince años de cárcel a quien incurra en la deforestación ilegal en Colombia.

El Gobierno en su legislación incluye varias normas enfocadas en eliminar los efectos la contaminación atmosférica, como los Decretos 174, 325 y 417 de 2006. Donde se clasifican las localidades de Puente Aranda, Fontibón y Kennedy, como áreas-fuente de contaminación alta, Clase I, por PM10, este decreto logró la adopción del pico y placa ambiental, las normas más relevantes para esta investigación fueron mencionadas anteriormente.

8 Pregunta de investigación

Dados los anteriores argumentos, el presente trabajo pretende responder a la pregunta ¿Las políticas ambientales emitidas de 2010 a 2020 para mitigar la contaminación aérea en la capital colombiana han ayudado a disminuir los niveles de dicha contaminación en la localidad de Kennedy?

Se tiene la hipótesis de que la capital colombiana ha presentado campañas y políticas ambientales que han resultado ineficientes para mitigar el impacto ambiental a nivel de la calidad de aire.

9 Objetivos

9.1 Objetivo General

- Determinar la efectividad de las políticas ambientales emitidas de 2010 a 2021 enfocadas en la mitigación de la contaminación aérea en la capital colombiana de la localidad de Kennedy

9.2 Objetivos específicos

- Analizar la tendencia de los niveles de contaminación atmosférica en la localidad de Kennedy a través de los niveles de PM_{10} , $PM_{2.5}$ y CO emitidos por la Red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá durante el periodo de 2010 a 2021.
- Proyectar a través de la herramienta Power BI las tendencias de las variables de contaminación atmosférica.
- Contrastar el resultado obtenido con las planeaciones del Ministerio de Ambiente a través de sus campañas y las regulaciones ambientales impuestas con el fin disminuir la contaminación aérea.

10 Justificación

Kennedy es la octava localidad de la capital colombiana, ubicada en la zona sur occidente, sus principales actividades económicas son la industria y el comercio, sin embargo en la mayoría de su territorio predominan las zonas residenciales, esta localidad ha sido una de las que tiene la peor calidad de aire de Bogotá, según Sergio Cortes en su trabajo “Material particulado en el aire y su correlación con la función pulmonar en personas que realizan actividad física en la ciclorruta en la localidad Kennedy en Bogotá: estudio descriptivo transversal”, se concluye, que Kennedy es la localidad con la peor calidad de aire de la ciudad, afectando la calidad de vida de los habitantes de la localidad; además, los estudios distritales indican que la localidad de Kennedy es la segunda localidad más poblada de Bogotá y una de las que más presenta contaminación atmosférica en la ciudad, esto provoca una proporción directa en las afectaciones de salud de sus habitantes, generando enfermedades respiratorias, este tema ha sido de alto interés nacional en los últimos años, por esto, el Gobierno Nacional durante el periodo de 2010 a 2021 ha emitido 20 Decretos y

resoluciones enfocados en la mitigación del impacto de la contaminación atmosférica buscando mejorar la calidad de vida de los habitantes y reducir los costos de enfermedad.

11 Antecedentes

Bogotá posee la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB, la cual se encarga de registrar los niveles de las variables de contaminación críticas (PM10, PM2.5, O3, SO2, NO2 y CO) y las variables meteorológicas como precipitación, temperatura, presión atmosférica, radiación solar, entre otras. Esta Red está constituida por 20 estaciones distribuidas a lo largo de la ciudad, una de ellas está en Kennedy, ubicada en la Carrera 80 No. 40-55 sur.

Esta herramienta otorga la capacidad de tener un registro de las condiciones meteorológicas y el nivel de contaminación del aire de la capital colombiana en intervalos de una hora, ayudando así a los científicos y la ciudadanía en general a dimensionar el grado de contaminación de la ciudad y de las localidades en general.

A continuación, se realizará una breve descripción de algunas investigaciones pasadas relacionadas al tema en cuestión que serán el pilar teórico del presente trabajo.

Mauricio Ángel en su trabajo de grado de Doctorado de la Universidad Nacional “Contaminación del aire en Bogotá en el siglo XX. Análisis histórico de la construcción socio ambiental de un problema sanitario”, expone la historia de cómo Bogotá fue entendiendo la atmósfera con base en mediciones técnicas para ir erradicando la percepción colectiva de la calidad del aire, este avance permitió comprender como el modelo social, sanitario y económico de la capital repercute en la calidad del aire bogotano.

En el 2012 Juan Franco en su estudio sobre “Contaminación atmosférica en centros urbanos. Desafío para lograr su sostenibilidad: caso de estudio Bogotá” demuestra que debido a que la mayoría de las personas vive en la ciudad y de acuerdo con las proyecciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) la mayor parte del crecimiento poblacional de los próximos 30 años se concentrará en centros urbanos (UN, 2010) lo que representa una amenaza para el medio ambiente, siendo la contaminación atmosférica uno de los mayores retos para los Gobiernos, haciendo énfasis en Bogotá podemos decir que dicha contaminación tiene un efecto directo en la calidad de vida de los ciudadanos, como se ha podido corroborar en diversos estudios, Juan Franco también afirma la importancia de la Red de Monitoreo de la calidad del aire y otros factores meteorológicos, que desde 1997 ha sido de vital importancia para evaluar las medidas que ha impuesto el Gobierno para regular esta contaminación.

En el escrito “Estimación de los beneficios en salud asociados a la reducción de la contaminación atmosférica en Bogotá, Colombia” por Juan Castillo, es evidente como al

disminuir los niveles de PM10 cumpliendo con el plan decenal de descontaminación atmosférica de la ciudad PDDDB, “Representaría beneficios cercanos a 16.0 billones de pesos; la reducción en más de 13,000 casos de mortalidad atribuible; cerca de 28,000 hospitalizaciones por causas respiratorias en niños menores de 5 años y alrededor de 5,500 atenciones en unidad de cuidados intensivos durante el periodo 2010-2020.” lo que es un gran incentivo para el sector de la Salud en Bogotá.

Posteriormente en el año 2021 María Camila Palencia en su escrito “Contaminación atmosférica, asesina silenciosa” ilustra como la calidad del aire afecta directamente la calidad de vida de los habitantes, alterando de manera negativa su salud además de causar un daño en nuestro ecosistema, finaliza haciendo una invitación al Gobierno, las grandes industrias colombianas y a la ciudadanía en generar para incrementar su participación en la búsqueda de soluciones para mitigar la contaminación atmosférica en busca de un beneficio para todos. A continuación, se describe la metodología utilizada en este trabajo de investigación.

12 Metodología

Este trabajo tiene una metodología mixta, es decir cuantitativa y cualitativa, se analiza la efectividad y cumplimiento de los decretos y campañas elaboradas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible con base en la información obtenida de la base de datos tratada con herramientas Big Data.

Es necesario examinar datos estructurados, semiestructurados y no estructurados, acerca de la contaminación ambiental de la octava localidad de la capital colombiana, además de temas afines que contribuyan a la investigación, para tener una visión más amplia y concisa del panorama a estudiar, es así como este proyecto de investigación usa el Big Data como un activo estratégico que facilite el análisis del volumen de datos, con el objetivo de examinar de forma ágil y efectiva los datos hallados, de esta manera, es como se debe segmentar en las siguientes etapas la obtención de datos con el fin de garantizar la confiabilidad y variedad de la información, con el fin de obtener un resultado fructuoso en la presente investigación:

- Tratamiento inicial de datos: Consiste en organizar, limpiar, catalogar y mantener actualizadas las diferentes bases de información.
- Análisis exploratorio: Se examina la calidad de los datos y su relevancia en el análisis de estos.
- Análisis de estudios de Valoración Económica: Rastreo bibliográfico y justificación económica
- Identificación de la normatividad pública y sus propósitos.

Las fuentes de información primarias provienen de bases de datos de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB otorgados directamente por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en los cuales se tienen los datos del promedio diario de emisiones de PM_{10} , $PM_{2.5}$, CO , NO , NO_2 , SO_2 , NOX y O_3 desde el primero de Enero de 2010 hasta el 31 de diciembre de 2021 y los decretos más relevantes para el estudio desde el año 2000 del Ministerio anteriormente mencionado. Las fuentes de información secundarias provienen de organizaciones y movimientos independientes del Ministerio, con interés ambiental que analizan y dan su propia percepción de las fuentes primarias. En el momento que se tienen los datos catalogados correctamente se realiza su análisis observando si el resultado es viable o no, de acuerdo con la hipótesis planteada. Posteriormente, se le dará un agregado, analizando los beneficios económicos aproximados obtenidos en el sector de la salud con el Plan decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá.

Con el fin de evaluar el posible costo de enfermedad de la contaminación atmosférica en la localidad, se tomó la información que otorga la Secretaria Distrital de Salud, para generar un panorama de las condiciones de salud de los habitantes, procediendo a evaluar los costos de enfermedad

A continuación, se presentan a detalle las fases seguidas para la culminación de esta investigación.

13 Desarrollo

13.1 FASE 1. TRATAMIENTO INICIAL DE DATOS

Desde el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se obtuvieron los reportes diarios de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá-RMCAB, según la concentración de contaminantes criterio (SO_2 , NO , NO_2 , NOX , $PM_{2.5}$, PM_{10} , O_3 y CO). El tratamiento inicial de la información se asemejó al empleado por (Tsai, Zeng, & Chang, 2018) en su estudio:

1. Descarga de datos.
2. Generación de scripts primarios y cambio de formato de datos: necesario para el procesamiento de las series de tiempo en los paquetes informáticos a emplear.

3. Limpieza y perfilamiento de las bases de datos: conteo de datos faltantes, en la tabla 5 se resaltan aquellos agentes contaminantes que poseen menos del 75% de datos en el periodo de estudio.
4. Identificación de valores atípicos, mínimos y máximos (esto se realizó en la fase 3).
A continuación, en la tabla 4, se muestra la cantidad de datos faltantes.

Tabla 4. Cantidad de datos faltantes por contaminante

Contaminante	PM10	PM2.5	CO	NO	NO2	NOX	SO2	OZONO
Unidad	µg/m3	µg/m3	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
	293	328	663	1116	1150	1116	1121	2176

13.2 FASE 2: ANALISIS EXPLORATORIO

Se procedió a determinar la calidad de los datos para la posterior construcción de los modelos. Este análisis consideró la cantidad y confiabilidad de datos y en él se generó un resumen de estadísticas para todas las variables contempladas, permitiendo así una evaluación primaria de los parámetros estudiados, se utilizó como referente metodológico el trabajo realizado por (Kadiyala & Kumar, 2017). En la tabla 5 se muestra el porcentaje de datos disponibles de cada variable por cada contaminante. Se resaltan aquellos que no superaron el 75% (considerando 4.382 datos como el 100%), lo cual supone que estas variables no se deben considerar, como señala la tabla 5.

Tabla 5. Porcentaje de datos obtenidos por contaminante.

Contaminante	PM10	PM2.5	CO	NO	NO2	NOX	SO2	OZONO
Unidad	µg/m3	µg/m3	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
	93,31%	92,51%	84,86%	74,54	73,75	74,53	74,41	50,34

Es necesario hacer la aclaración que hay datos faltantes porque en el periodo de tiempo estudiado, existen días en que el medidor de Kennedy no registra datos de algunas variables, esto se puede deber a varios motivos, ya sea que, el medidor presentaba fallas técnicas que le impedían recibir la información correctamente o se encontraba en mantenimiento.

La tabla 6, indica los promedios anuales para cada una de las variables objeto de estudio, esto genera un panorama del nivel de exposición diaria que tuvieron los habitantes de Kennedy.

Tabla 6. Media de los datos por año. Elaboración propia.

AÑO	PM10	PM2.5	CO
2010	88,80785257	38,78927429	1,127619462
2011	78,50283702	31,03414192	0,994089822
2012	70,78562672	3,882401415	0,987877162
2013	71,23296064	28,34180485	0,942661334
2014	71,42242627	31,66712801	0,862563077
2015	66,175173	26,98994922	0,675418052
2016	58,21150524	30,12114657	0,87269389
2017	54,81674315	26,88490308	0,845044425
2018	50,24111971	24,20340224	0,807872858
2019	43,65447869	25,12834061	0,792514691
2020	41,06400585	21,58937638	0,710463537
2021	43,47425492	20,82619417	0,913464811

A continuación, en la tabla 7, se muestra la variación anual de las variables por contaminante.

Tabla 7. Variación de los datos por año. Elaboración propia

AÑO	PM10	PM2.5	CO
2010	5,020249143	3,544708256	0,704702293
2011	4,659614491	3,302237264	0,49885414
2012	4,836728708	3,305309089	0,47269828
2013	4,538351683	3,05405708	0,483942108
2014	5,074554738	3,312183012	0,563275577
2015	4,636513886	3,022497478	0,440044236
2016	4,281174909	3,1391607	0,526236032
2017	4,047502174	2,960849008	0,467278085
2018	3,657091697	2,85758828	0,400460772
2019	3,918293592	3,056778655	0,436343057
2020	3,924995451	3,111059371	0,456764852
2021	3,779068861	2,700900508	0,539405541

Como los datos de la varianza se encuentran pequeños en relación con la media es posible continuar con el análisis.

13.3 FASE 3. ANÁLISIS DE ESTUDIOS DE VALORACIÓN ECONÓMICA

En este paso se hizo un rastreo bibliográfico en fuentes de estudios relacionados con el tema de la contaminación atmosférica a nivel local, realizando una comparación entre ellos con el fin de analizar la efectividad de las diversas normativas distritales de calidad del aire, a lo largo de esta década. Para la identificación de los estudios se empleó la metodología de búsqueda bibliográfica propuesta por (Ome & Zafra, 2018), en donde se define el orden de relevancia por medio de un índice de citación para los factores claves de estudio, los cuales

fueron detectados según las veces que fueron citados en documentos de orden científico, con esto se buscó detectar la relevancia de los términos más importantes usados en el texto, para tal fin se siguieron estos pasos:

- **Determinación de las palabras clave:** Se definió un conjunto de palabras base que fueron ingresadas a los motores académicos de búsqueda más importantes tales como SCopus y Google scholar, el valor arrojado es la base del índice de citación.
- **Uso de descriptores temáticos:** Teniendo como base los resultados obtenidos en la fase inicial se identificaron subcategorías a través de Keywords en Scopus y luego se buscaron en Google scholar.
- **Cálculo del índice de citación:** Se calcula la razón de los datos obtenidos en la primera etapa con los obtenidos en la segunda.

De esta manera se encuentra, una vez aplicado el proceso se concluye que 14 publicaciones permiten la comparación de enfoques de investigación relacionados con la calidad del aire en Bogotá y la localidad de Kennedy.

13.4 FASE 4. IDENTIFICACIÓN DE LA NORMATIVIDAD PÚBLICA

Se realiza el rastreo de la normatividad relacionada con medidas de protección ambiental y calidad del aire generada por el gobierno entre los años 2010 a 2021, se seleccionaron las más relevantes para la investigación y se recopilaron en la tabla 8.

La relevancia de cada Resolución y Decreto seleccionado se evidencia en la descripción de su objetivo en la tabla 8. También se identifica si su meta es cuantitativa o cualitativa con enfoque en la contaminación de fuentes móviles o fijas y por último se indica su clase de medida.

Tabla 8. Normatividad. Elaboración propia

POLITICA	OBJETO	METAS		ORIENTACIÓN FUENTE		CLASE DE MEDIDA						
		CUANT	CUALIT	MOVIL	FIJA	LIMITES	COMBUS.	ORD. TERRIT	MED. CONJUNTA	SEGUIMI	INMISION	MEJ. TECNOL.
Res. 760/2010	Adopta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas		x		x				x		18	
Resol. 2153/2010	Ajusta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas y se adoptan otras disposiciones		x		x					x		
Resol.650/2010	Adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.	x		x	x					x		
Resol. 2154/2010	Ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire		x	x	x					x		
Resol. 610/2010	Modifica los niveles máximos permisibles dispuestos en la R. 601/2006 y agrega ciertas definiciones para el completo entendimiento de la norma	x		x	x						x	
Dec. 677/ 2011	Incentiva el uso del vehículo eléctrico en el Distrito. Autoriza una operación piloto. Los vehículos de servicio particular y los de servicio público individual impulsados exclusivamente por energía eléctrica se excluyen de restricciones de circulación.		x	x								x
Dec. 623 /2011	Clasifican las áreas-fuente de contaminación ambiental Clase I, II y III de Bogotá. Establece: programas de Reducción de Emisiones, medidas de Contingencia para las áreas-fuente y establece suspensión de calderas y hornos.		x		x			x				
Resol. 2394 /2011	Reglamenta el art. 4 de la D.035/2009 el cual restringe el tránsito de motocicletas y demás vehículos dos tiempos, además plantea fechas para salida de circulación de este tipo de automotores las cuales se derogan entre todas las modificaciones y/o derogaciones.		x	x					x			
Resol. 6982 /2011	Prevenir y controlar la contaminación atmosférica por fuentes fijas, fijando límites máximos permisibles para emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes fijas de combustión externa y prohíbe la utilización de aceite usado no tratado como combustible.	x			x	x						
Resol. 1304 /2012	Establece los niveles máximos de emisión y los requisitos ambientales a los que están sujetas las fuentes móviles del sector de servicio público de transporte terrestre de pasajeros en los sistemas colectivo, masivo e integrado que circulen en el Distrito Capital.	x		x		x						

Resol. 90963 /2014	Modifica los criterios de calidad de los biocombustibles para su uso en motores diésel como componente de la mezcla con el combustible diésel de origen fósil en procesos de combustión.	x		x			x				
Resol. 123/2015	Establece el Programa de Filtros de Partículas Diésel para Bogotá – BDPPF, enfocándose en automotores empleados en el SITP, tanto para aquellos troncales como para los zonales	x		x							x
Resol. 41214/2015	Establece medidas temporales en cuanto a los parámetros de calidad de la gasolina motor corriente, del diésel, y de sus mezclas con biocombustibles. Exceptúa temporalmente el cumplimiento de la especificación para RVP, máximo (valor máximo de la presión del vapor) de las gasolinas básicas, establecida en la tabla 2A del artículo 1o de la Resolución 898 de 1995, modificada por la Resolución 1565 de 2004, a su vez modificada por la Resolución 1180 de 2006, la cual podrá ser de 9,6 Psia.		x		x			x			
Resol. 646/2015	Adopta el plan para la mitigación de emisiones de los vehículos con motor de ciclo de dos (2) tiempos que circulan en la ciudad de Bogotá 2015 – 2020 (-MMT-).			x	x		x				
Resol Conjunta. 2410 /2015	Definición niveles de prevención, alerta o emergencia por contaminación atmosférica en Bogotá estableciendo el Índice Bogotano de Calidad del Aire –IBOCA, el cual opera como indicador para la gestión y articulación de las acciones conjuntas entre los sectores de ambiente y salud.		x		x	x				x	
Resol Conjunta. 789 /2016	Modifica la Resolución 898 de 1995 en lo relacionado con los parámetros y requisitos de calidad del Etanol Anhidro Combustible y Etanol Anhidro Combustible Desnaturalizado utilizado como componente oxigenante de gasolinas.		x		x			x			
Resol. 2254 /2017	Adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.		x		x	x					x
Resol .40619 /2017	Modifica el artículo 4º de la R. 898/1995, en relación con los criterios de calidad del combustible diésel (ACPM) y los biocombustibles para su uso en motores diésel		x		x			x			

	como componente de la mezcla de procesos de combustión, y se dictan otras disposiciones como establecer los contenidos para la calidad de los combustibles.											
Resol. 40937 /2017	Establece medidas temporales en cuanto a los parámetros de calidad de la gasolina con el fin de asegurar el abastecimiento de combustibles en el territorio nacional.		x		x			x				
Resol. 0847 /2022	Se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones	x		x	x	x						
	TOTALES	9	12	10	15	5	2	5	2	4	2	2
		45%	60%	50%	75%	25%	10%	25%	10%	20%	10%	10%

13.5 ANÁLISIS DE LA NORMATIVIDAD PÚBLICA IDENTIFICADA

Dadas las constantes modificaciones de algunos de estos instrumentos se dificultó concluir el alcance que tuvieron en una periodicidad menor a un año, también se encontró entre el 2010 y el 2017 hubo cuatro cambios normativos con nuevos decretos o resoluciones y/o derogaciones para la regulación de normas tendientes a la protección del medio ambiente, lo cual representa posiblemente una inadecuada planeación. Con relación a las fuentes emisoras móviles cabe resaltar que entre 2011 y 2012 hubo tres reajustes a la resolución 2394 donde se reglamentaba la salida de los automotores de dos tiempos.

En el periodo comprendido entre 2011 y 2022 se han dictado cuatro resoluciones puntuales en cuanto a los niveles máximos permisibles de contaminantes tóxicos en el aire que son la 6982/2011, la 1804/2012, la 2410/2015 y la 0847/ 2022, estas reglamentaciones son de orden cuantitativo y buscaron establecer estándares para proteger la salud pública y para generar estados de emergencia en posibles desbordamientos de los límites, constituyendo el 45% de las regulaciones del periodo de estudio.

Existió una alta preocupación en atacar la contaminación atmosférica desde las fuentes con un 50% de legislación relacionada con las fuentes móviles y un 75% enfocada a las fuentes fijas, con relación a las mejoras tecnológicas, únicamente 2 resoluciones que corresponden al 10% de las emitidas hablan de ellas, lo cual indica que el presupuesto para el lanzamiento o adquisición de nuevos productos así como la mejora o rediseño de los ya existentes que contribuyan al mejoramiento de la calidad del aire son casi nulos.

Según la Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, en su artículo 2 se establecen los Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en el aire de la siguiente manera:

Tabla 9. Niveles Máximos permisibles. Tomado de la Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible.

Contaminante	Nivel máximo permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tiempo de exposición
PM₁₀	50	Anual
	100	24 horas
PM_{2.5}	25	Anual
	50	24 horas
SO₂	50	24 horas
	100	1 hora
NO₂	60	Anual
	200	1 hora
O₃	100	8 horas
CO	5000	8 horas
	35000	1 hora

De igual manera se establecieron las concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los niveles de prevención, alerta o emergencia.

Tabla 10. Niveles de prevención y alerta. Tomado de la Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible

Contaminante	Tiempo de exposición	Prevención	Alerta	Emergencia
PM₁₀	24 horas	155-254	255-354	Mayor o igual a 355
PM_{2.5}	24 horas	38 – 55	56 - 150	Mayor o igual a 151
O₃	8 horas	139 – 167	168 – 207	Mayor o igual a 208
SO₂	1 hora	198 – 486	487 – 797	Mayor o igual a 798
NO₂	1 hora	190 – 677	678 – 1221	Mayor o igual a 1222
CO	8 horas	10820 – 14254	14255 – 17688	Mayor o igual a 17689

13.6 Análisis de la información a través de Power BI

La herramienta que usaremos para analizar nuestra base de datos Big Data obtenida con la colaboración del Ministerio de Ambiente es Power BI, se escogió esta herramienta de Microsoft porque es la más apropiada por la naturaleza de los datos, ya que, facilita el análisis, permitiendo visualizar los datos de una manera clara y sencilla de interpretar, además que se actualiza automáticamente con respecto a la base de datos ligada.

Después de filtrar la base de datos como se explicó en la fase uno de la metodología se procedió a cargar el archivo Excel en Power BI, usando la opción ‘Obtener datos’ en el menú de Inicio, especificando la tabla a manejar y transformando los datos, de tal manera que cada vez que se modifique el archivo original automáticamente se vea reflejado este cambio en Power BI sin necesidad de repetir el proceso para el análisis. “Power BI trabaja en un entorno local y en la nube (sistema cloud), permitiéndonos acceder a la información desde cualquier dispositivo y desde cualquier lugar. Los cuadros de mando se actualizan, además, en tiempo real.” (Evotic, 2019)

Luego de que se especificó la naturaleza de cada variable, se procede a obtener las visualizaciones, mismas que son el soporte gráfico de este trabajo de investigación, ya que, permiten entender de una manera clara al lector los niveles de concentración en la octava localidad de Bogotá de cada variable estudiada, dando soporte a las siguientes conclusiones:

Con respecto a la variable PM10, la Resolución No. 2254 del 2017 establece que el nivel máximo permisible anual es $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a partir del 2018, con las siguientes gráficas se comprueba que, en promedio, efectivamente se ha cumplido con esta regulación.

Ilustración 1. Fuente propia. Tomada de Power BI

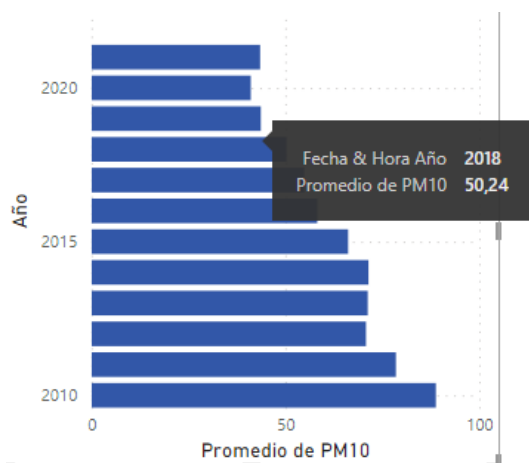
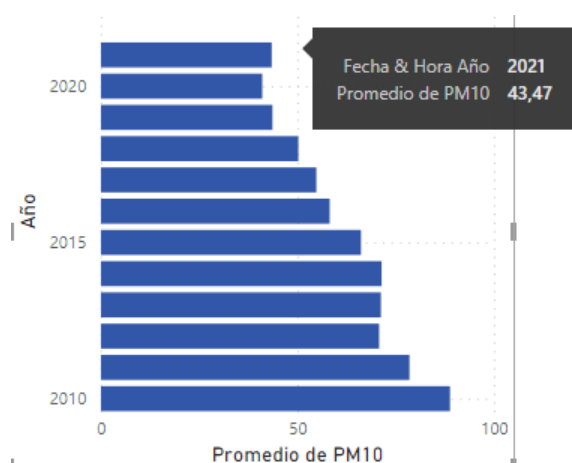


Ilustración 2. Fuente propia. Tomada de Power BI



Además, podemos concluir un escenario factible para alcanzar la meta de 2030, la cual consiste en que el nivel máximo permisible sea de $30 \mu g/m^3$ con un tiempo de exposición anual, según la previsión realizada con Power BI obtenemos que para el 2030 se espera una exposición anual de $5.41 \mu g/m^3$.

Pasando a la segunda variable de estudio, PM2.5 la meta es de un nivel máximo permisible anual de $25 \mu g/m^3$ a partir del 2018, lo cuál se puede señalar en las siguientes ilustraciones.

Ilustración 4. Fuente propia. Tomada de Power BI

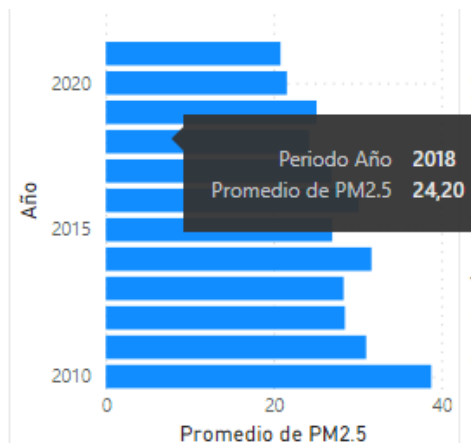
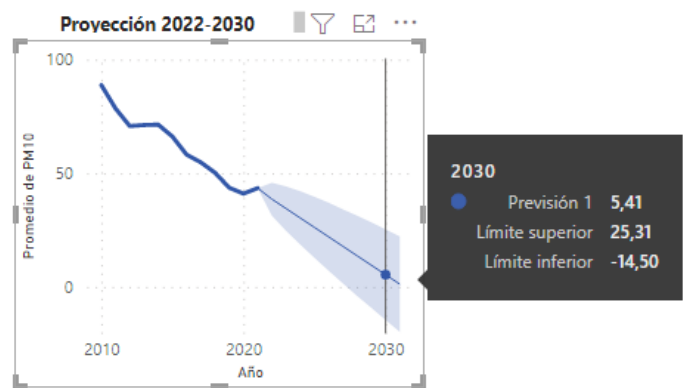
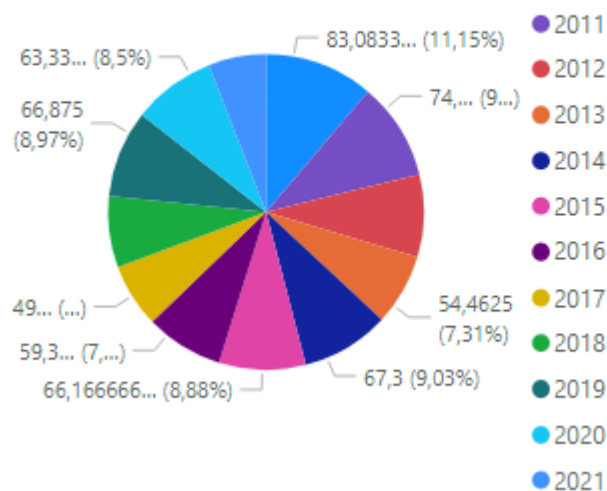


Ilustración 3. Fuente propia. Tomada de Power BI



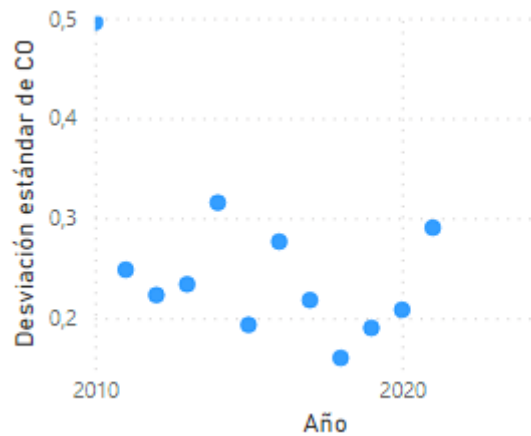
Es importante notar los efectos de la planeación de descontaminación ambiental sobre el promedio máximo de PM2.5 por año han sido positivos, como se puede evidenciar en el siguiente diagrama:

Ilustración 5. Fuente propia. Tomada de Power BI



Con respecto al monóxido de carbono (CO), en el siguiente diagrama se representa la desviación anual en promedio de la variable en cuestión, se evidencia que, aunque las políticas y regulaciones han sido favorables evitando la dispersión de los datos, no es un patrón muy fuerte, en comparación a la evidencia del 2021.

Ilustración 6. Fuente propia. Tomada de Power BI



14 Resultados y discusión

Con respecto a los beneficios económicos obtenidos en el sector de la salud con el Plan decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá (PDDB) 2010-2020, a continuación, se presenta un cuadro elaborado por la SDA en el cual se proyectan los beneficios que se esperan en el sector de la Salud.

Tabla 11. Tomado de: Castillo 2010; Secretaría Distrital de Ambiente, 2010.

Beneficios esperados en la población infantil (casos evitados)	27.500 hospitalizaciones por enfermedades respiratorias.
	74.000 atenciones en salas para la atención de las enfermedades respiratorias agudas.
	Más de 5.000 atenciones en unidades de cuidados intensivos.
	1.600 casos potencialmente evitables en mortalidad infantil.
Beneficios esperados en adultos (casos evitados)	38.000 casos evitados en urgencias.
	Más de 10.000 casos de hospitalizaciones por causas respiratorias.
	Más de 13.000 muertes potencialmente evitadas.

Para evaluar los beneficios económicos del PDDB 2010-2020, se acude a la ecuación de Valor Presento Neto VPN, que se puede definir como el cálculo que permite conocer el valor monetario de la suma de todos los flujos durante una valoración económica (Villareal, 2013).

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{ft}{(1+i)^n}$$

Donde,

$ft = \text{Flujo de dinero}$

$i = \text{Tasa de descuento}$

$n = \text{Periodo (Año de estudio)}$

En este trabajo se usa una tasa de descuento de 3%, que es la Tasa de Descuento para licenciamiento Ambiental TAD usada para descontar los beneficios y costos de los proyectos para el corto plazo (0-10 años) (Castro & Casallas, 2019).

Así que,

$$VPN = \sum_{t=0}^{11} \frac{ft}{(1+0.05)^{11}} \quad (1)$$

Utilizando la ecuación aconsejada por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, obtenemos que la Valoración de Una Vida Estadística (VSL), que indica un valor monetario aproximado de las muertes atribuibles que se pudieron evitar, se halla de la siguiente manera:

$$VSL_{Col,n} = VSL_{us} \frac{Y_{Col,n}}{Y_{us,1990}}^{elasticity} * PPP_{Col,n} \frac{CPI_{Col,n}}{CPI_{us,1990}} \quad (2)$$

Donde,

$VSL_{Col,n} = \text{Valor en pesos VSL durante el año estudiado}$

$VSL_{us,1990} = \text{Valor en dólares VSL durante 1990}$

$Y = \text{PPP en dólares, PIB per cápita } \left(\frac{Usa}{Colombia}\right)$

$CPI = \text{índice de precios al consumidor del país estudiado}$

$elasticity = \text{Cambio en ingreso con respecto al VSL}$

Alejandra Beltrán En su trabajo “Estimación económica de los beneficios en salud obtenidos durante el periodo de implementación del Plan Decenal de Descontaminación del Aire (2010-2020)”. elaboro este cálculo con una elasticidad de 1.06 y obtuvo los siguientes resultados

Tabla 12. Tomado de (Beltrán, 2022)

	VSL Pesos (COP) por año	VSL anual
2010		\$2,134,227,341
2011		\$2,207,166,473
2012		\$2,277,074,621
2013		\$2,323,028,230
2014		\$2,390,345,377
2015		\$2,509,629,211
2016		\$2,698,210,109
2017		\$2,814,560,735
2018		\$2,905,759,092
2019		\$3,008,201,418
2020		\$3,084,147,089

Es importante recalcar como a medida que las políticas y planes de descontaminación atmosférica avanzan en su desarrollo el valor de las muertes atribuibles evitables aumenta a pesar de que estadísticamente, con los datos obtenidos por la RMCAB indiquen que las emisiones están disminuyendo y cumpliendo con las metas establecidas.

Es fácil ver, según la tabla 12 que la cantidad de muertes presentes en la última década poseen un crecimiento lineal. A pesar de que se han establecido políticas de prevención y mitigación de los riesgos que las ocasionan (como es la contaminación atmosférica), en efecto está mejorando la calidad de aire de Bogotá, pero aún no se obtienen los resultados esperados por parte del Gobierno Colombiano, los cuales son mejorar la calidad de vida de los habitantes, disminuir el gasto público en el sector de la salud y aprovechar las etapas de productividad económica de cada persona.

14.1 Costo de enfermedad

Para evaluar el Costo de enfermedad que provoca la contaminación atmosférica en la localidad de Kennedy, se sigue la metodología usada por Pulido Gutiérrez, Delgado & Garzón, en su artículo “COSTOS DE ENFERMEDADES RESPIRATORIAS RELACIONADAS AL HUMEDAL JABOQUE”.

En primer lugar, se consolida la información acerca de las condiciones de Salud de la localidad de Kennedy, a través de la base de datos de Excel “Anexo - Exceso de mortalidad en Colombia por causas naturales, causas externas y todas las causas.” Suministrada por el DANE, se filtra la localidad, periodo de 2010-2020, el margen de edad de 15 a 59 años, ya que, este es el rango de época productiva y por último, se filtran las enfermedades que se

acentúan ante altos niveles de contaminación atmosférica (Neumonía, enfermedades cerebrovasculares, cardiopulmonares, infecciones respiratorias agudas, entre otras).

En la tabla 14 está el detalle la información obtenida con el ejercicio anterior, en conclusión, la suma de las muertes es 3.340.894 en el periodo de 2010-2020, es importante recordar que la población total de la localidad es de: 1.273.390 habitantes (según el último censo poblacional realizado por el DANE en 2019), el 70% está en edad de ser económicamente activos, es decir, 891.373 personas, según las proyecciones de la Secretaría Distrital de Planeación en 2019, únicamente en el 2019, se registraron 1660 muertes dentro del filtro anteriormente mencionado.

Lo que representa que para el año 2019, la pérdida de personas en época productiva representa el 0.186%, sin olvidar que antes de su fallecimiento la mayoría de las personas estuvieron incapacitadas u hospitalizadas, que, por generalidad, son quince días, “Días de actividad restringida: para atención en sala 2 días y para admisión hospitalaria 15 días” (Universidad de los Andes, 2010).

Según la metodología de Dixon, Fallon, Carpenter y Sherman, para calcular el valor económico total primero se debe determinar el costo de morbilidad, de la siguiente manera

$$\# \text{ de días} = A * B * C * D$$

Donde,

A: # de individuos afectados por la enfermedad

B: % de población productiva

C: Días de actividad restringida

D: % Días de actividad restringida de trabajo

Reemplazando,

$$\# \text{ de días} = 1660 * 70\% * 2 * 50\%$$

$$\# \text{ de días} = 1162 \text{ días}$$

Para convertir el resultado anterior en un valor económico, se debe multiplicar por las horas laborales, teniendo en cuenta el valor de la hora, según, salario mínimo legal vigente,

Tabla 13. Promedio salarios. Fuente elaboración propia

Nivel educativo	Salario (Promedio)	Salario por Hora	Valor económico
Bachiller	\$ 1.000.000,00	\$ 4.166,67	\$ 38.733.333,33
técnico	\$ 1.200.000,00	\$ 5.000,00	\$ 46.480.000,00

tecnólogo	\$	1.600.000,00	\$	6.666,67	\$	61.973.333,33
Profesional	\$	2.000.000,00	\$	8.333,33	\$	77.466.666,67
Especialista	\$	2.400.000,00	\$	10.000,00	\$	92.960.000,00
Magister	\$	3.800.000,00	\$	15.833,33	\$	147.186.666,67
				Total	\$	464.800.000,00

Esto nos indica que gracias a las muertes relacionadas con enfermedades que pueden ser causadas por la contaminación atmosférica en el 2019, Colombia dejó de percibir \$464.800.000,00 para el aporte del crecimiento económico, siendo dinero que nunca circuló en la economía y de lo contrario, representó un gasto en el sector público, destinado al área de la salud.

Con esta investigación podemos concluir lo siguiente:

- Las campañas y regulaciones hechas por el Ministerio de Ambiente para disminuir los niveles de contaminación atmosférica han sido eficientes, ya que, los rangos de las variables que perjudican la calidad del aire de Bogotá se han mantenido dentro del parámetro establecido, lo que nos indica que, en los últimos años, Kennedy ha tenido una mejor calidad del aire.
- Las proyecciones de los niveles de $PM_{2.5}$, PM_{10} y CO hasta el año 2030 son decrecientes, lo cual sugiere que se cumplirán sin problemas las metas propuestas por el Gobierno para ese año, manteniendo el enfoque del plan de acción previsto.
- De acuerdo con los datos obtenidos por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá – RMCAB y la visualización que otorga la herramienta de PowerBI, es evidente confirmar que efectivamente los niveles de las variables estudiadas cada vez son menores.
- A pesar de que se comprueba que las políticas ambientales para disminuir los niveles de contaminación atmosférica han sido eficientes, es importante aportar que, la cantidad de muertes atribuibles evitables en los últimos años presenta un patrón de crecimiento, que, entre otras variables, significa un aumento de gasto en el sector de la salud para el Gobierno, se podría proponer como objeto de estudio si la causa del incremento de estas muertes es atribuible a la exposición prolongada de las personas a estos agentes contaminantes y que revelan sus efectos tardíos y de esta manera sería factible asegurar que las políticas públicas que intentaron disminuir las emisiones que provocan contaminación atmosférica surgieron efecto positivo en estudios que se realicen en años posteriores, donde se puedan discriminar las personas con

posibles antecedentes de salud adquiridas por las causas mencionadas a lo largo de esta década.

- El propósito del Gobierno colombiano en tener un enfoque en la disminución de la contaminación atmosférica es mejorar la calidad de vida de sus habitantes, implicando un menor gasto en el sector de la salud, sin embargo, los beneficios esperados del cumplimiento de los Planes Decenales de Descontaminación Atmosférica, entre otras herramientas usadas por el Ministerio de Ambiente, serán vistos a largo plazo, con las nuevas generaciones que crecerán expuestas a una mejor calidad de aire.

15 Referencias

- Aleman, & Lopez. (2004). *Dispersión de Contaminantes en la Atmósfera*. Editor Alfaomega, vol 2, (10), Mexico. Pag 36.
- Beltrán, A. (2022). *Estimación económica de los beneficios en salud obtenidos durante el periodo de implementación del Plan Decenal de Descarbonización del Aire (2010-2020)*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Castro, D., & Casallas, Y. (2019). *Guía para la definición de la Tasa de Descuento: Aspectos relevantes en el marco del Licenciamiento Ambiental en Colombia*. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, Subdirección de Instrumentos Permisos y Trámites.
- Cortes. (2018). *Material particulado en el aire y su correlación con la función pulmonar en personas que realizan actividad física en la cicloruta en la localidad Kennedy en Bogotá: estudio descriptivo transversal*. Universidad Nacional de Colombia.
- Estrucplan. (2000). Obtenido de Contaminantes primarios y contaminantes secundarios: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IDEntrega=1881>
- Evotic. (2019). *Evotic*. Obtenido de Big Data en la empresa: analiza tus datos con Power BI: <https://evotic.es/business-intelligence-bi/big-data-en-la-empresa-analiza-tus-datos-con-power-bi/>
- Farrow, A., Anhäuser, A., Chen, Y. J., & Cespedes, T. (2022). *La carga de la contaminación del aire en Bogotá, Colombia 2021*. Laboratorio de Investigación de Greenpeace.
- FrancoR, & JuanFelipe. (2012). *Contaminación atmosférica en centros urbanos. Desafío para lograr su sostenibilidad: caso de estudio Bogotá*. Revista EAN.
- Gaitán, M., Cancino, J., & Behrentz, E. (2007). *Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá*. Bogotá: Revistas Uniandes.
- Greenpeace. (2022). *La carga de la contaminación del aire en Bogotá, Colombia 2021*. Informes Greenpeace.
- Greenpeace Colombia. (2022). *Greenpeace*. Obtenido de <https://www.greenpeace.org/colombia/noticia/issues/contaminacion/mas-de-3-000-muertesprematurasenbogotaacausadelaidequeserespiraenlaciudad%EF%BF%BC/#:%7E:text=Seg%C3%BAn%20el%20C3%BAltimo%20reporte%20de,5%20en%202021>.
- Ideam. (2019). *SIAC*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/siac/emisionesaire>
- J.J, C. (2010). *Estimación de los beneficios en salud asociados a la reducción de la contaminación atmosférica en Bogotá, Colombia*. Bogotá: Revista Uniandes.
- Kadiyala, A., & Kumar, A. (2017). *Applications of Python to evaluate environmental data science problems*. <https://doi.org/10.1002/ep.12786>.
- Lugo, J. J. (2010). *Estimación de los beneficios en salud asociados a la reducción de la contaminación atmosférica en Bogotá, Colombia*. Universidad de los.
- Macano, J. (2014). *Educación ambiental en la República Dominicana*. Obtenido de La contaminación atmosférica: <http://www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf4.html>
- Macías, M. A. (2020). *Contaminación del aire en Bogotá en el siglo XX. Análisis histórico de la construcción socio ambiental de un problema sanitario*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Macías, S. I. (1999). *Modelo para la definición de la arquitectura de datos de la empresa*. Colecciones Tecnológico de Monterrey.
- Microsoft. (2021). *Microsoft Power BI*. Obtenido de ¿Cómo usar Power BI con big data?: <https://community.powerbi.com/t5/Translated-Spanish-Desktop/C%C3%B3mo-usar-Power-BI-con-big-data/m-p/2169724>

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). (2008). *Alcaldía Bogotá*. Obtenido de ley 1205 de 2008: Por medio de la cual se mejora la calidad de vida a través de la calidad del diésel y se dictan otras disposiciones. : <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=31441>
- Ministerio de salud y protección social. (2020). *Gov.co*. Obtenido de Calidad del aire: elemento importante en las enfermedades respiratorias. : <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Calidad-del-aire-elemento-importante-en-las-enfermedades-respiratorias.aspx#:~:text=Por%20tanto%2C%20quienes%20est%C3%A1n%20expuestos,superiores%2C%20dificultad%20para%20respirar%2C%20falta>
- Ministerio de salud y protección social. (2020). *Minsalud.gov*. Obtenido de Calidad del aire: elemento importante en las enfermedades respiratorias.: <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Calidad-del-aire-elemento-importante-en-las-enfermedades-respiratorias.aspx#:~:text=Por%20tanto%2C%20quienes%20est%C3%A1n%20expuestos,superiores%2C%20dificultad%20para%20respirar%2C%20falta>
- Muñoz, A. M., Paz, J. J., & Quiroz, C. M. (2007). *Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud de adultos que laboran en diferentes niveles de exposición*. Medellín: Universidad de Antioquia. Facultad nacional de salud pública.
- National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). (s.f.). *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA Environment Protection Agency)*. Obtenido de <http://www.epa.gov/air/criteria.html>
- Ome, B., & Zafra, M. (2018). *Factores clave en procesos de biorremediación para la depuración de aguas residuales*. Revista U.D.C.A Actualidad & Amp.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Economicos. (2015). *Estudios económicos de la OCDE Colombia*.
- Pabon, J., Zea, J., Leon, C., Hurtado, G., Gonzalez, O., & Montoalegre, J. (1998). *El medio ambiente en Colombia*. Bogotá: Siac.
- Pachon. (2018). *Desarrollo y evaluación de un inventario integral de emisiones atmosféricas para el modelado de la calidad del aire en la megaciudad de Bogotá*. Ambiente .
- Palencia. (2021). *Contaminación atmosférica, asesina silenciosa*. Bogotá: Corporación Universitaria Minuto de Dios.
- Population Division United Nations. (2018). *United Nations*. Obtenido de <https://population.un.org/wup/>
- Pulido Gutiérrez, M. A., Delgado, W., & Garzón, G. (2018). *Costos de enfermedades respiratorias relacionadas al humedal Jaboque*. Revista Caribeña de Ciencias Sociales.
- Sánchez, & Saavedra. (2009). *Asociación entre la morbilidad por enfermedad respiratoria y contaminantes atmosféricos (PM10, NO2 y O3) en la localidad de Kennedy de la ciudad de Bogotá D.C*. Universidad de la Salle.
- Suarez, M. M. (2008). *La gestión ambiental urbana. El caso de la contaminación atmosférica en Bogotá*. . Revista Escuela de Administración de Negocios.
- Tsai, Y.-T., Zeng, Y.-R., & Chang, Y.-S. (2018). *Air Pollution Forecasting Using RNN with LSTM*. Athens, Greece: Conference.
- Universidad de los Andes. (2010). *Plan decenal de descontaminación del aire de Bogotá, Anexos parte B*. Bogotá.
- Villareal. (2013). *Ingeniería Económica*. Pearson.

16 Anexos.

Tabla 14. Tabla de muertes. Elaboración propia

Etiquetas de fila	Suma de Año
Femenino	1559404
Kennedy	1559404
15 a 19 años	32158
Enfermedad cardiopulmonar, enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón	6018
Enfermedades cerebrovasculares	8044
Infecciones respiratorias agudas	12062
Resto de enfermedades del sistema respiratorio	6034
20 a 24 años	74419
Enfermedad cardiopulmonar, enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón	14076
Enfermedades cerebrovasculares	18106
Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	6036
Infecciones respiratorias agudas	24130
Resto de enfermedades del sistema respiratorio	12071
25 a 29 años	68454
Enfermedad cardiopulmonar, enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón	28185
Enfermedades cerebrovasculares	26173
Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	2012
Infecciones respiratorias agudas	8059
Resto de enfermedades del sistema respiratorio	4025
30 a 34 años	78479
Enfermedad cardiopulmonar, enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón	24153
Enfermedades cerebrovasculares	20114
Infecciones respiratorias agudas	28176
Resto de enfermedades del sistema respiratorio	6036
35 a 39 años	84473
Enfermedad cardiopulmonar, enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón	22132
Enfermedades cerebrovasculares	40220
Infecciones respiratorias agudas	10053
Resto de enfermedades del sistema respiratorio	12068
40 a 44 años	162962
Enfermedad cardiopulmonar, enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón	36246
Enfermedades cerebrovasculares	80440
Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	2014
Infecciones respiratorias agudas	28149
Resto de enfermedades del sistema respiratorio	16113
45 a 49 años	243471

Enfermedad cardiopulmonar, enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón	36219
Enfermedades cerebrovasculares	136807
Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	20134
Infecciones respiratorias agudas	32208
Resto de enfermedades del sistema respiratorio	18103
50 a 54 años	370173
Enfermedad cardiopulmonar, enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón	60370
Enfermedades cerebrovasculares	215247
Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	30171
Infecciones respiratorias agudas	44261
Resto de enfermedades del sistema respiratorio	20124
55 a 59 años	444815
Enfermedad cardiopulmonar, enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón	100637
Enfermedades cerebrovasculares	227434
Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	24144
Infecciones respiratorias agudas	52353
Resto de enfermedades del sistema respiratorio	40247
Masculino	1781490
Kennedy	1781490
15 a 19 años	54344
Enfermedad cardiopulmonar, enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón	18136
Enfermedades cerebrovasculares	8048
Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	6035
Infecciones respiratorias agudas	20114
Resto de enfermedades del sistema respiratorio	2011
20 a 24 años	92570
Enfermedad cardiopulmonar, enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón	20153
Enfermedades cerebrovasculares	30171
Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	6030
Infecciones respiratorias agudas	22159
Resto de enfermedades del sistema respiratorio	14057
25 a 29 años	108780
Enfermedad cardiopulmonar, enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón	30202
Enfermedades cerebrovasculares	42328
Infecciones respiratorias agudas	22150
Resto de enfermedades del sistema respiratorio	14100
30 a 34 años	145007
Enfermedad cardiopulmonar, enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón	44344
Enfermedades cerebrovasculares	48315
Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	4031
Infecciones respiratorias agudas	36244
Resto de enfermedades del sistema respiratorio	12073

35 a 39 años	132850
Enfermedad cardiopulmonar, enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón	42275
Enfermedades cerebrovasculares	44288
Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	6041
Infecciones respiratorias agudas	32197
Resto de enfermedades del sistema respiratorio	8049
40 a 44 años	165072
Enfermedad cardiopulmonar, enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón	32214
Enfermedades cerebrovasculares	62410
Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	10059
Infecciones respiratorias agudas	44298
Resto de enfermedades del sistema respiratorio	16091
45 a 49 años	253546
Enfermedad cardiopulmonar, enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón	48301
Enfermedades cerebrovasculares	106635
Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	16089
Infecciones respiratorias agudas	54362
Resto de enfermedades del sistema respiratorio	28159
50 a 54 años	346154
Enfermedad cardiopulmonar, enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón	56362
Enfermedades cerebrovasculares	162971
Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	26147
Infecciones respiratorias agudas	72497
Resto de enfermedades del sistema respiratorio	28177
55 a 59 años	483167
Enfermedad cardiopulmonar, enfermedades de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón	94615
Enfermedades cerebrovasculares	185243
Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	62384
Infecciones respiratorias agudas	94613
Resto de enfermedades del sistema respiratorio	46312
Total general	3340894