

**ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN ENTRE LAS EMISIONES DE PM₁₀ Y PM_{2,5}
GENERADAS POR FUENTES FIJAS, MÓVILES Y FUGITIVAS Y EL AUSENTISMO
ESCOLAR DE LA POBLACIÓN INFANTIL EN LOS JARDINES DE LA SDIS DEBIDO
A ENFERMEDADES RESPIRATORIAS DENTRO DE LA LOCALIDAD DE KENNEDY
PARA EL AÑO 2013.**

ANDREA FRANCO GIRALDO

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, SEDE BOGOTÁ
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
Abril de 2015**

**ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN ENTRE LAS EMISIONES DE PM₁₀ Y PM_{2,5}
GENERADAS POR FUENTES FIJAS, MÓVILES Y FUGITIVAS Y EL AUSENTISMO
ESCOLAR DE LA POBLACIÓN INFANTIL EN LOS JARDINES DE LA SDIS DEBIDO
A ENFERMEDADES RESPIRATORIAS DENTRO DE LA LOCALIDAD DE KENNEDY
PARA EL AÑO 2013.**

**ANDREA FRANCO GIRALDO
Código. 2101088**

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL

**ING. NIDIA ISABEL MOLINA GÓMEZ
(DIRECTOR)**

**ING. RONAL JACKSON SIERRA PARADA
(DIRECTOR)**

**SANDRA MILENA MENESES MARTÍNEZ
(CO-DIRECTOR)**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, SEDE BOGOTÁ
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
Abril de 2015**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C., Abril de 2015

Hace tiempo comprendí que "no es lo que decimos"
Cuando nos comunicamos, sino las vibraciones que
emanan de nosotros, lo que lleva el verdadero
mensaje y crea nuestra realidad.

αλεξανδρα βαλδριχη

***A mi Papá y Mamá quienes me brindaron su apoyo,
esfuerzo y dedicación para seguir adelante
y cumplir mis sueños.***

AGRADECIMIENTOS

Especiales agradecimientos a:

Ingeniero Ronal Jackson Sierra Parada, profesor y director, por su total colaboración y acompañamiento constante en el desarrollo del proyecto.

Ingeniera Nidia Isabel Molina Gómez, profesora y directora, por sus aportes, aclaraciones y acompañamiento para el desarrollo del proyecto.

Sandra Milena Meneses, co-directora y funcionaria de la Secretaría Distrital de Ambiente por sus aportes y colaboración para el desarrollo del proyecto.

La Secretaría Distrital de Ambiente, La Secretaría Distrital de Salud, La Secretaría de Movilidad de Bogotá y La Secretaría de Integración Social por su aporte con información que sirvió de soporte para realizar el estudio.

A los docentes Johan Álvarez Berrio y Juan José Vargas Osorio que aportaron con su conocimiento y experiencia para la orientación del proyecto.

A mi familia y amigos por el apoyo brindado.

RESUMEN

En los últimos años La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá ha registrado excedencias en las variaciones del comportamiento del material particulado (MP) en la ciudad, por lo que se estableció que este es el contaminante criterio con mayor excedencia de la norma de calidad del aire. Una de las zonas de la ciudad más afectadas por emisiones de material particulado es la localidad de Kennedy, en donde el Decreto 623 del 2011 de la Alcaldía Mayor de Bogotá clasificó a la localidad como una zona área-fuente de contaminación clase I por PM₁₀.

La exposición constante al PM supone uno de los principales riesgos para la salud humana ya que penetra en el organismo por la vía respiratoria. Entre estas partículas respirables se encuentran las nanopartículas, que debido a su tamaño penetran en la vía respiratoria hasta llegar a los alvéolos pulmonares, generando una mayor afectación a la salud.

El sistema respiratorio de los niños es vulnerable frente a la contaminación atmosférica; humo de tabaco, combustibles, emisión de contaminantes por fuentes fijas, móviles y fugitivas. Sin embargo la susceptibilidad individual también está correlacionada a esta vulnerabilidad. La exposición a temprana edad reduce el crecimiento pulmonar y resulta en función pulmonar disminuida.

Mediante el presente trabajo se analizó la correlación espacial existente entre las emisiones de PM₁₀ y PM_{2,5} por fuentes fijas, fuentes móviles, por el estado de la malla vial y el ausentismo escolar que presentó la población infantil entre cero y cinco años en los jardines de la Secretaría de Integración Social dentro de la Localidad de Kennedy para el año 2013, teniendo en cuenta los resultados del índice sobre condiciones de la primera infancia publicado en el año de estudio por la Secretaría Distrital de Planeación y las enfermedades respiratorias registradas en la localidad de Kennedy por la Secretaría Distrital de Salud.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	13
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivo General	17
2.2. Objetivos Específicos	17
3. NORMATIVA	18
4. ANTECEDENTES	20
5. MARCO TEÓRICO	22
5.1. Estabilidad atmosférica	22
5.1.1. <i>Determinación de la estabilidad atmosférica</i>	22
5.1.2. <i>Desviación Estándar</i>	23
5.2. Modelo de dispersión	23
5.2.1. <i>Modelo de dispersión para Fuentes Móviles</i>	24
5.2.2. <i>Modelo de dispersión para Fuentes Fugitivas</i>	25
5.3. Modelo de densidad	26
5.3.1. <i>Modelo de densidad de KERNEL</i>	26
5.4. Análisis espacial de la información	27
5.4.1. <i>Método de interpolación IDW</i>	28
6. ENFERMEDADES RESPIRATORIAS	29
6.1. Enfermedades Respiratorias Agudas (ERA)	29
6.1.1. <i>Enfermedades Respiratorias Agudas (Altas)</i>	30
6.1.2. <i>Enfermedades Respiratorias Agudas (Altas)</i>	30
7. CARACTERÍSTICAS DE LA LOCALIDAD DE KENNEDY	31
7.1. Características y usos del suelo	31
7.2. Unidades de Planeación Zonal (UPZ)	31
7.3. Población Local	33
7.4. Primera Infancia	35
7.5. Problemática Ambiental	37

8. METODOLOGÍA	39
9. RESULTADOS	43
9.1. Condiciones Meteorológicas.	43
9.1.1. <i>Velocidad y Dirección del viento.</i>	43
9.1.2. <i>Estabilidad Atmosférica.</i>	44
9.1.3. <i>Desviación Estándar.</i>	44
9.2. Modelos de Dispersión.	44
9.2.1. <i>Fuentes Fijas.</i>	45
9.2.2. <i>Fuentes Móviles.</i>	48
9.2.3. <i>Fuentes Fugitivas.</i>	56
9.3. Ausentismo Escolar por Enfermedades Respiratorias.	67
9.3.1. <i>Modelo de Recepción.</i>	71
9.3.2. <i>Enfermedades respiratorias.</i>	75
10. CONCLUSIONES	78
11. RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	82

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Antecedentes normativos del proyecto.....	18
Tabla 2. Categorías de estabilidad.....	22
Tabla 3. Condiciones de estabilidad.....	22
Tabla 4. Constantes de las desviaciones en la dirección del viento y la condición de estabilidad.....	23
Tabla 5. UPZ ubicadas dentro de la Localidad de Kennedy.	32
Tabla 6. Población de primera infancia por UPZ. Localidad de Kennedy. Año 2013	35
Tabla 7. Planteamiento de las temática, modelos a trabajar para el desarrollo del proyecto.....	40
Tabla 8. Categorías de las fuentes industriales de Bogotá.	45
Tabla 9. Número de industrias dentro de la Localidad de Kennedy según la categoría.	46
Tabla 10. Factores de emisión de PM de acuerdo a la categoría vehicular.....	48
Tabla 11. Puntos de Aforo Vehicular.....	50
Tabla 12. Factores de emisión de PM _{2,5} en la flota vehicular en la Localidad de Kennedy.	51
Tabla 13. Tipo y cantidad de vehículos que transitaron en el año 2013 en las principales vías de la localidad de Kennedy.	51
Tabla 14. Valores de Cs de acuerdo al estado de la vía.....	57
Tabla 15. Coeficientes de ajuste de tamaño de partículas para el cálculo de emisiones en vías pavimentadas.	62
Tabla 16. Factores de emisión por uso de llantas, frenos y exhosto para la flota de vehículos.....	62
Tabla 17. Peso promedio de los vehículos que se desplazan en la vía (Toneladas).	62
Tabla 18. Factores de emisión (FE) de los diferentes estados viales.	63
Tabla 19. Factores de emisión (FE) de los diferentes estados viales para el año 2013.	63
Tabla 20. Número de jardines infantiles por UPZ dentro de la localidad de Kennedy. Año 2013.	68

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localidad de Kennedy; UPZ.....	33
Ilustración 2. Prevalencia de desnutrición crónica en menores de cinco años. Kennedy y Bogotá. 2009-2013.....	36
Ilustración 3. Proceso Metodológico	39
Ilustración 4. Rosa de vientos de la Estación Kennedy para el año 2013	43
Ilustración 5. Ubicación de las fuentes fijas dentro de la Localidad de Kennedy. Año 2013.....	46
Ilustración 6. Comportamiento del material particulado emitido por fuentes fijas dentro de la localidad de Kennedy. Año 2013.....	47
Ilustración 7. Vías de referencia para el análisis de emisión de material particulado por fuentes móviles en la localidad de Kennedy. Año 2013.....	50
Ilustración 8. Comportamiento del PM _{2,5} emitido por la flota vehicular en la localidad de Kennedy. Año 2013.....	55
Ilustración 9. Proyección geográfica del desplazamiento del PM _{2,5} dentro de la Localidad de Kennedy. Año 2013.....	56
Ilustración 10. Clasificación de la malla vial según el estado de la vía en la localidad de Kennedy.....	59
Ilustración 11. Densidad de segmentos viales de estado malo por UPZ dentro de la localidad de Kennedy.....	60
Ilustración 12. Densidad de segmentos viales de estado regular por UPZ dentro de la localidad de Kennedy.....	60
Ilustración 13. Densidad de segmentos viales de estado bueno por UPZ dentro de la localidad de Kennedy.....	61
Ilustración 14. Comportamiento del PM _{2,5} emitido por la malla vial en la localidad de Kennedy. Año 2013	65
Ilustración 15. Comportamiento del PM ₁₀ emitido por la malla vial en la localidad de Kennedy. Año 2013	65
Ilustración 16. Estado de la malla vial en la Corporación de Abastos de Bogotá. Localidad de Kennedy. Año 2013.....	66

Ilustración 17. Estado de la malla vial por los alrededores de Corabastos. Localidad de Kennedy.....	67
Ilustración 18. Jardines infantiles ubicados dentro de la localidad de Kennedy. Año 2013.....	68
Ilustración 19. Ausentismo escolar por enfermedades respiratorias en los jardines infantiles de la SDIS. Localidad de Kennedy. Año 2013	70
Ilustración 20. Relación de ausentismo escolar por enfermedades respiratorias y emisión de PM ₁₀ por fuentes fijas. Localidad de Kennedy. Año 2013	72
Ilustración 21. Relación de ausentismo escolar por enfermedades respiratorias y emisión de PM _{2,5} por fuentes móviles. Localidad de Kennedy. Año 2013.....	73
Ilustración 22. Relación de ausentismo escolar por enfermedades respiratorias y emisión de PM _{2,5} por fuentes fugitivas. Localidad de Kennedy. Año 2013	74
Ilustración 23. Relación de ausentismo escolar por enfermedades respiratorias y emisión de PM ₁₀ por fuentes fugitivas. Localidad de Kennedy. Año 2013.....	74
Ilustración 24. Estado de las vías aledañas a los jardines de la SDIS con mayor ausentismo escolar. Localidad de Kennedy.	75

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Clasificación de las UPZ.

Anexo 2. Distribución poblacional por UPZ, Localidad de Kennedy.

Anexo 3. Velocidad y dirección del viento en la Localidad de Kennedy durante el año 2013.

Anexo 4. Radiación Solar en la Localidad de Kennedy durante el año 2013.

Anexo 5. Coeficientes de desviación estándar.

Anexo 6. Resultado de estudios isocinéticos en las industrias ubicadas dentro de la Localidad de Kennedy.

Anexo 7. Cantidad de vehículos que transitan al año por las vías de estudio en la Localidad de Kennedy.

Anexo 8. Factor de emisión de $PM_{2,5}$ de cada fuente móvil por distancia unitario en la Localidad de Kennedy.

Anexo 9. Comportamiento del $PM_{2,5}$ emitido por cada tipo de vehículo dentro de la Localidad de Kennedy.

Anexo 10. Factor de emisión de $PM_{2,5}$ de cada fuente móvil por distancia unitario en la Localidad de Kennedy.

Anexo 11. Ingreso mensual de vehículos por categorías en La Corporación de Abastos de Bogotá.

Anexo 12. Valores de Cs para vías pavimentadas.

Anexo 13. Valores de porcentaje de sólidos resuspendido para vías no pavimentadas.

Anexo 14. Jardines de la Secretaría Distrital de Integración Social (SDIS) ubicados dentro de la localidad de Kennedy.

Anexo 15. Registro fotográfico de las zonas aledañas en los Jardines que presentaron un mayor número de ausentismo escolar por enfermedades respiratorias.

Anexo 16. Número de atenciones en los hospitales de la localidad de Kennedy por enfermedades respiratorias en niños de cero a cinco años.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es la presencia de sustancias o formas de energía en la atmósfera que alteran el estado de la misma, generando molestia, daño o riesgo a la población humana y demás seres vivos. Este tipo de contaminación que es emitida mediante gases, aerosoles, vapores o polvo se puede presentar por las actividades humanas; procesos industriales y la quema de combustibles fósiles (contaminación antropogénica), por el metabolismo de los seres vivos y por fenómenos naturales como incendios forestales no provocados y erupciones volcánicas que se dan en la superficie terrestre o al interior de la tierra.

Desde la ocurrencia de episodios de contaminación atmosférica agudos en ciudades como Londres en 1952, en los cuales murieron miles de personas, se ha venido estudiando el impacto de las emisiones atmosféricas sobre la mortalidad y morbilidad en la población [1]. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) la contaminación atmosférica constituye un riesgo ambiental para la salud y se estima que aproximadamente causa dos millones de muertes prematuras al año en todo el mundo, además se calculó que la contaminación atmosférica urbana causa en todo el mundo 1,3 millones de muertes al año [2]. En nuevas estimaciones la Organización Mundial de la Salud informó que en 2012 aproximadamente 7 millones de personas murieron (una de cada ocho del total de muertes en el mundo) como consecuencia de la exposición a la contaminación atmosférica. Datos de la OMS revelan que existe una relación entre la exposición a la contaminación atmosférica y las enfermedades cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares, cardiopatías isquémicas y cáncer. Además la contaminación atmosférica tiene gran influencia en el desarrollo de enfermedades respiratorias, como las infecciones respiratorias agudas y las neumopatías obstructivas crónicas [3].

El Material particulado (PM) es el conjunto de partículas sólidas y/o líquidas que engloba tanto las partículas en suspensión como las partículas sedimentables (diámetro > 20 μm) presentes en suspensión en la atmósfera [4] o como una mezcla compleja de partículas extremadamente pequeñas y gotas líquidas, en donde la contaminación por partículas se compone de un número de componentes, incluyendo ácidos (tales como nitratos y sulfatos), productos químicos orgánicos, metales, y partículas de suelo o de polvo [5]. La exposición a material particulado en el aire supone unos de los principales riesgos para la salud humana ya que penetra en el organismo por las vías respiratorias. Las partículas inhalables (diámetro inferior

a 100 nm) quedan retenidas en las vías respiratorias altas (nariz y boca); las partículas torácicas (diámetro inferior a 10 nm) penetran más allá de la laringe y alcanzan la región traqueo bronquial, y las partículas respirables (diámetro inferior a 4 nm), debido a su pequeño tamaño son capaces de acceder hasta la región de intercambio de gases (alvéolos pulmonares) [6] y por consiguiente causar una mayor alteración a la salud. Entre estas partículas respirables se encuentran las nanopartículas; partículas de materiales cerámicos, metales, semiconductores, polímeros o una combinación de estos, en donde su tamaño varía entre 1 y 100 nm [7]. Tienen propiedades y efectos muy diferentes a la de los mismos materiales en tamaños convencionales, lo que también puede dar lugar a nuevos riesgos para la salud del hombre y de otras especies [8]. El PM afecta a una mayor población que cualquier otro contaminante, en donde sus principales componentes son los sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro sódico, el carbón, el polvo de minerales y el agua. El material particulado de diámetro aerodinámico inferior a 2,5 μm ($\text{PM}_{2.5}$) presenta una mayor amenaza a las personas porque, al inhalarlas, pueden alcanzar las zonas periféricas de los bronquiolos y alterar el intercambio pulmonar de gases [2]. Las partículas ultrafinas son capaces de acceder hasta la región de intercambio de gases en el cuerpo [6] y por consiguiente causar una mayor alteración a la salud.

Bogotá es la sexta ciudad más contaminada de Latinoamérica, por material particulado [9]. Existen lugares en Bogotá donde se exceden con frecuencia los límites permisibles establecidos en la legislación colombiana y en la mayor parte de la ciudad se exceden los límites recomendados por la OMS [10].

En los últimos años el comportamiento histórico del material particulado menor a 10 micrómetros (PM_{10}) en la ciudad ha venido presentando una serie de variaciones según lo ha informado por La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB); para 2002 la concentración fue de 66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en 2005 fue de 74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en 2008 fue de 67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [11]. Durante 2009 y 2010 se registraron respectivamente valores de 17 y 16 días de excedencias del límite normativo de 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en base anual (Resolución 601 de 2006)¹. Respecto al año 2012, en 2013 las estaciones de la RMCAB en su conjunto, registraron niveles levemente mayores de PM_{10} , en donde el número de días de excedencias diarias a la norma vigente (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ día) igualmente aumentó; en el 2013 se presentaron 85 días de excedencias a la norma, mientras que en 2012 se registraron 69 días de excedencia [12].

¹ Un día de excedencia es aquel donde una o más estaciones de la RMCAB registran excedencias diarias de la normatividad vigente de material particulado

Según el Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá (PDDAB)², al analizar el número de casos de morbilidad y mortalidad en un escenario tendencial y en un escenario con la implementación del plan de descontaminación en un periodo de 10 años (2010-2020) se reduciría los casos presentados en la población, en donde se apreciaría una reducción en la morbilidad cercana al 32%; reducción en la mortalidad infantil aproximadamente en un 40% y en adultos mayores de 30 años en un 28%. [11] La reducción propuesta por el plan de descontaminación representa en la población infantil (menores de 5 años) una reducción aproximada de 27.500 hospitalizaciones por problemas respiratorios, 74.200 atenciones en enfermedades respiratorias agudas (ERA) y 1.500 casos de mortalidad. Y en adultos (población mayor a 30 años) se evitaría 38.300 casos en atención en urgencias, 10.900 casos de hospitalización por causas respiratorias y 13.700 casos de mortalidad. [11]

Teniendo en cuenta el comportamiento que ha presentado el material particulado en la ciudad, la RMCAB estableció que el PM es el contaminante criterio con mayor excedencia de la norma y que ha sido recurrente en los últimos años; ha presentado un aumento moderado en su valor desde 1997 [13]. A raíz de esto y mediante monitoreos en las diferentes localidades de la ciudad, la Alcaldía Mayor de Bogotá en el Decreto 623 del 2011 clasificó la Localidad de Kennedy como una zona de área-fuente de contaminación clase I por material particulado menor o igual a 10 micras (PM₁₀).

La contaminación atmosférica en la localidad de Kennedy se debe al amplio parque automotor; fuentes móviles generadoras de contaminación las cuales se intensifican en las vías tales como Av Ciudad de Cali, Agoberto Mejía, Primera de Mayo y 68 en la Kr 76 y Cll 33 sur, lo que se intensifica dada las condiciones tecnológicas y de mantenimiento de las mismas. Además se han observado altos índices de contaminación atribuidos al sector Industrial (fuentes fijas) de la Localidad, el cual genera las emisiones de gases tóxicos y sustancias como partículas suspendidas totales (PST), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), dióxido de carbono (CO₂) y PM₁₀, entre otros que son generados por los sectores de tintorerías, fundiciones, industria galvánica, y en general la industria metalmecánica. Igualmente se le suman los altos índices de contaminación generados por la actividad ilegal

² Instrumento de planeación a corto y mediano plazo que orienta las acciones de los actores públicos y privados progresivas tendientes a la descontaminación del aire de la ciudad, con el propósito de prevenir y minimizar los impactos al ambiente y a la salud de los residentes [13], el cual fue formulado por la Secretaría Distrital de Ambiente junto con la colaboración de TransMilenio, la Universidad de la Salle y la Universidad de los Andes y adoptado mediante el decreto 098 de 2011 de la Alcaldía Mayor de Bogotá

de quema de madera, llantas, y plástico en la UPZ 82 Patio Bonito que contribuyen a las emisiones de gases tóxicos [14].

El Hospital del Sur realizó estudios sobre las enfermedades respiratorias que más fueron atendidas durante el año 2011 en las diferentes localidades de la ciudad. Al analizar la afectación a la salud en la localidad de Kennedy con relación a las enfermedades respiratorias, se encuentra que en 2011 la población más afectada por enfermedades respiratorias agudas fueron los niños menores de 5 años con un total de 4249 niños y los adultos mayores de 60 años con un total de 3695 adultos [15]. Además el Observatorio Ambiental de Bogotá indica que la morbilidad por enfermedades respiratorias agudas (ERA) en menores de 5 años para el año 2013, en donde se presentaron 519.330 casos, los constituyen un alto porcentaje de la carga total de esta enfermedad en todos los grupos de edad. Según estas estadísticas para el año 2012 se presentaron 301.400 casos, para el 2011 se presentaron 283.150 casos y para el 2010 se presentaron 215.126 casos.

La ciudad de Bogotá actualmente no tiene conocimiento del comportamiento que presenta la concentración de material particulado emitido por las diferentes fuentes en cada una de las localidades de la ciudad. Según el Decreto 623 del 2011 la Administración Distrital debe tomar todas las medidas tendientes al cumplimiento de la Resolución 601 de 2006, modificada por la Resolución 610 de 2010 que establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional, en su artículo noveno prevé que las autoridades ambientales, que de acuerdo con las mediciones de calidad del aire, hayan clasificado una zona como área-fuente de contaminación, conforme con lo establecido en el artículo 108 del Decreto Nacional 948 de 1995, deberán identificar el contaminante o contaminantes que exceden la norma de calidad del aire, y elaborar un programa de reducción de la contaminación, identificando acciones y medidas que permitan reducir los niveles de concentración de los contaminantes a niveles por debajo de los máximos establecidos.

Debido a lo anterior, y en concordancia con los programas ya establecidos por la autoridad ambiental del distrito se hace necesario conocer para la Localidad de Kennedy las principales fuentes de contaminación de material particulado (PM_{10} y $PM_{2,5}$) y la manera en que se está dispersando este contaminante en la atmósfera, para así poder determinar la correlación entre este contaminante y el ausentismo escolar de la población infantil por enfermedades respiratorias en los jardines de la Secretaría de Integración Social (SDIS) para el año 2013.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Analizar la correlación espacial entre las emisiones de PM_{10} y $PM_{2,5}$ por fuentes fijas, móviles y fugitivas y el ausentismo escolar de la población infantil en los jardines por causa de enfermedades respiratorias en la localidad de Kennedy para el año 2013.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar un modelo de dispersión por cada fuente de emisión y a partir de este analizar el comportamiento del PM_{10} y $PM_{2,5}$ dentro de la localidad.
- Establecer el ausentismo escolar de la población infantil en los jardines de la SDIS por enfermedades respiratorias dentro de la localidad de Kennedy.
- Realizar un modelo de recepción para hallar la correlación espacial entre las emisiones de PM_{10} y $PM_{2,5}$ y el ausentismo escolar de la población infantil en los jardines por enfermedades respiratorias dentro de la localidad de Kennedy

3. NORMATIVA

A continuación se presentan las principales normas asociadas al desarrollo del presente estudio

Tabla 1. Antecedentes normativos del proyecto.

NORMA	PUBLICADO POR	ESTABLECE
<i>Constitución Política de 1991</i>	Congreso de la república	Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, y que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente y fomentar la educación para el logro de estos fines
<i>Decreto 623 del 2011</i>	Alcaldía Mayor de Bogotá	Se clasifican las áreas-fuente de contaminación ambiental Clase I, II y III de Bogotá, D.C., y se dictan otras disposiciones. Artículo 3. Se clasifica a las localidades de Puente Aranda, Kennedy, Bosa y Tunjuelito, así como las UPZ 76, 77 y 112 de la localidad de Fontibón, y las UPZ 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69 y 70 de la localidad de Ciudad Bolívar, comprendidas dentro del perímetro urbano de Bogotá, D.C, como áreas-fuente de contaminación alta, Clase I, por material particulado menor o igual a 10 micras (PM ₁₀ .) [16]
<i>Resolución 610 de 2010</i>	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	La norma de calidad del aire o nivel de inmisión para todo el territorio nacional en condiciones de referencia y modifica la resolución 601 de 2006. Artículo 4. Indica los niveles máximos permisibles para contaminantes criterio, En donde el nivel máximo permisible para PM ₁₀ es de 50 µg/m ³ anual y para PM ₅ es de 25 µg/m ³ anual [17].
<i>Resolución 910 del 2008</i>	Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible	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, en donde establece los niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes que deben cumplir las fuentes móviles terrestres, reglamenta los requisitos y certificaciones a las que están sujetos los vehículos y demás fuentes móviles, sean importadas o de fabricación nacional, y se adoptan otras disposiciones.

<i>Resolución 1111 de 2013</i>	Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se modifica los artículo 2, 18, 22, 32 y se adoptan otras disposiciones de la Resolución número 910 de 2008.
<i>Resolución 1223 del 2013</i>	Secretaría Distrital de Ambiente	Modifica la Resolución 1304 de 2012, en donde se estableció 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; es modificado el Artículo 6 y 9 de la Resolución 1304 de 2012. [18]
<i>Resolución 909 del 2008</i>	Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible	Establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones, en donde establece las normas y los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para fuentes fijas, adopta los procedimientos de medición de emisiones para fuentes fijas y reglamenta los convenios de reconversión a tecnologías limpias [19].
<i>Resolución 6982 de 2011</i>	Secretaría Distrital de Ambiente	Se dictan normas sobre prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas y protección de la calidad del aire, en donde establece las normas y los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para fuentes fijas en el perímetro urbano del Distrito Capital y se dictan otras disposiciones [20].
<i>Decreto 619 de 2000</i>	Alcaldía Mayor de Bogotá	Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial para Santa Fe de Bogotá, Distrito Capital. Modificado por el decreto 469 de 2003; Por el cual se revisa el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.
<i>Decreto 98 de 2011</i>	Alcaldía Mayor de Bogotá	Por el cual se adopta el Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá.

4. ANTECEDENTES

Diversos estudios y análisis se han realizado alrededor del mundo para determinar las emisiones atmosféricas que se generan por fuentes fijas, fuentes móviles o fuentes fugitivas, el comportamiento que estas presentan dentro de una zona de estudio, el impacto a la población y el impacto económico que el manejo de los efectos adversos de las emisiones atmosféricas representa para las entidades.

En México se realizó una estimación de factores de emisión de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en vías urbanas en Mexicali - Baja California para valorar la cantidad de material particulado de las vías pavimentadas y no pavimentadas de la ciudad. Se obtuvo como resultado que a pesar de que la erosión del viento es una fuente significativa de polvo en las vías urbanas de la Ciudad de Mexicali, la acción mecánica de los vehículos contribuye a ser una emisión importante, por sus altos valores de factor de emisión de PM_{10} en vías no pavimentadas obteniendo un valor de 2.330 g/VKT (kilómetros transitados por toda la flota vehicular). En las vías pavimentadas los valores de emisión para PM_{10} guardan una relación cercana a los factores de emisión para $PM_{2.5}$; 923 g/VKT contra 734 g/VKT respectivamente. El mantenimiento de limpieza periódica en las avenidas, contrarrestan la acumulación de material particulado fino. [21]

En Estados Unidos se han realizado varios estudios en donde se determina el impacto que tienen las emisiones de PM en la salud de la población. Tracey J. Woodruff, Lyndsey A. Darrow and Jennifer D. Parker determinaron que para el periodo de 1999–2002 el índice de probabilidad del incremento de enfermedades respiratorias por PM_{10} fue de 1.16, en donde concluyeron que la contaminación por material particulado es un factor de riesgo para la mortalidad postneonatal por causas respiratorias [22].

En Bogotá D.C. con el PDDAB se estableció la línea base de emisiones atmosféricas para fuentes móviles y fijas en la ciudad, considerando el inventario de emisiones hasta el año 2008. Como resultado se obtuvo que las industrias aportan más del 40% de las emisiones para PM y con relación a las fuentes móviles los buses de transporte público colectivo aportan un 39%, la flota de vehículos de carga un 33% y las motocicletas un 21%. Además del establecimiento de la línea base de emisiones atmosféricas en el PDDAB, un estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia titulado "*Distribución espacial de las emisiones de partículas fugitivas de tráfico para la ciudad de Bogotá – Colombia*" determinó que aproximadamente el

50% de todo el $PM_{2.5}$ que se emite en la ciudad es proveniente de emisiones fugitivas; los vehículos ligeros representan el 80% de las emisiones de PM. Asimismo la desagregación espacial mostró que $PM_{2.5}$ y PM_{10} proveniente de emisiones fugitivas son más altos en el sur-oeste de la ciudad, una zona con carreteras en mal estado, con un mayor volumen de vehículos y con los más altos niveles de concentración de partículas en la ciudad. Estas zonas también cuentan con las mayores concentraciones de PM_{10} observado en las estaciones de monitoreo de calidad del aire y con las más altas emisiones por combustión en fuentes fijas y móviles [23].

Castillo JJ. en el año 2010 estimó que los beneficios para Bogotá al llevar la concentración promedio de PM_{10} al cumplimiento de la Norma Colombiana ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual) entre 2010 y 2020, se podrían reducir más de 13000 casos de mortalidad atribuible, alrededor de 28.000 hospitalizaciones por causas respiratorias en niños menores de 5 años y cerca de 5.500 atenciones en unidades de cuidados intensivos, que en términos monetarios representaría beneficios de alrededor de 16 billones de pesos [24]. En el 2013 el Departamento de Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia publicó "*Estimación de los beneficios económicos en salud asociados a la reducción de PM_{10} en Bogotá*" en donde al alcanzar una reducción de PM en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual en toda la ciudad de Bogotá, entre 2010 y 2020 se podría evitar alrededor de 21.000 muertes por exposición a largo plazo para la población mayor de 30 años y cuya valoración económica alcanzaría más de 20 billones de pesos, 900 muertes por exposición a largo plazo en la población menor de un año, obteniendo un beneficio económico de cerca de 1 billón de pesos. Para menores de 5 años, se evitarían más de 12.000 hospitalizaciones por causas respiratorias, cerca de 3.800 atenciones en salas de urgencias, más de 34.000 visitas a las salas ERA y cerca de 2.500 visitas a las unidades de cuidados intensivos. Para mayores de 5 años, se evitarían alrededor de 44.000 hospitalizaciones por causas respiratorias, 350 hospitalizaciones por causas cardiovasculares (en mayores de 65 años), y cerca de 155.000 atenciones en las salas de urgencias en todo el período. [10]

La universidad de la Salle junto con la Secretaría Distrital del Ambiente realizaron una modelación del comportamiento del material particulado en la ciudad de Bogotá, teniendo como énfasis el comportamiento de este en cada localidad de la ciudad.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Estabilidad atmosférica.

Mediante el conocimiento de la estabilidad atmosférica se determina el nivel de dispersión de los contaminantes en la atmósfera; las fuerzas que influyen sobre el desplazamiento del contaminante analizado en una zona de estudio específica.

5.1.1. Determinación de la estabilidad atmosférica.

Para determinar cuál es la estabilidad atmosférica en una determinada zona Pasquill propuso un método que permite establecer los coeficientes de dispersión a partir de una clasificación de las condiciones atmosféricas, definidas como categorías de estabilidad (tabla 2) [25]. A partir de la velocidad del viento, la radiación solar incidente en el día y la nubosidad en la noche se determina la categoría de estabilidad atmosférica en la zona de estudio utilizando la tabla 3.

Tabla 2. Categorías de estabilidad.

Estabilidad	
A	Extremadamente inestable
B	Moderadamente inestable
C	Ligeramente inestable
D	Neutral
E	Ligeramente estable
F	Moderadamente estable

Fuente [26].

Tabla 3. Condiciones de estabilidad.

Velocidad del viento (m/s)	Día			Noche	
	Radiación Solar Incidente			Nubosidad 4/8	Nubosidad 3/8
	Fuerte (mayor de 50 cal/cm ² h)	Moderada (entre 25 y 50 cal/cm ² h)	Débil (menor de 25 cal/cm ² h)		
< 2	A	A - B	B	F	F
2 - 3	A - B	B	C	E	F
3 - 5	B	B - C	C	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D
➤ 6	C	D	D	D	D

Fuente [26]

5.1.2. Desviación Estándar.

El cálculo de las desviaciones se realiza utilizando las ecuaciones propuestas por Delance O. Martin; teniendo en cuenta que son funciones de la posición de X en la dirección del viento y de las condiciones de estabilidad atmosféricas existentes [27].

Las ecuaciones básicas son [27]:

$$\sigma_y = aX^b \quad (1)$$

$$\sigma_z = cX^d + f \quad (2)$$

Donde.

- σ_y Desviación estándar horizontal de la distribución de concentración (m)
- σ_z Desviación estándar vertical de la distribución de concentración (m)
- b Constante de valor 0,894
- X Distancia a la cual se determina la desviación (m)
- a, c, d y f Constantes de estabilidad dependientes.

Tabla 4. Constantes de las desviaciones en la dirección del viento y la condición de estabilidad.

Estabilidad	X ≤ 1 Km				X ≥ 1 Km		
	a	c	d	f	c	d	f
A	213	440,8	1,941	9,27	459,7	2,094	-9,6
B	156	106,6	1,149	3,3	108,2	1,098	2
C	104	61	0,911	0	61	0,911	0
D	68	33,2	0,725	-1,7	44,5	0,516	-13
E	50,5	22,8	0,678	-1,3	55,4	0,305	-34
F	34	14,35	0,740	-0,35	62,6	0,180	-48,6

Fuente [28].

5.2. Modelo de dispersión.

Los modelos de dispersión son un grupo de ecuaciones matemáticas que permiten interpretar y predecir la distribución de los contaminantes en una zona de estudio. Estos modelos integran datos como las condiciones meteorológicas; temperatura, velocidad del viento, estabilidad atmosférica, entre otros. Y datos directamente relacionados a la fuente de estudio.

En la modelación de contaminantes atmosféricos son usados comúnmente dos tipos de modelos de dispersión, los cuales se diferencian dependiendo del sistema de coordenadas empleado. Uno es el modelo de trayectoria Lagrangiano que emplea un marco móvil de referencia; simula los compuestos químicos y procesos físicos de la atmósfera inferior a través de la trayectoria del viento. El otro es el modelo de rejilla Euleriano que utiliza un sistema de coordenadas fijo con respecto al nivel del suelo [29]; simula el comportamiento de los contaminantes en un punto fijo del espacio.

5.2.1. Modelo de dispersión para Fuentes Móviles.

Se emplea el modelo para fuente lineal continua de emisión infinita. Modelo que asume la emisión de los contaminantes como una fuente lineal infinita (ecuación 3); existe un flujo constante de vehículos sobre una vía, por lo que se considera que a lo largo de ella siempre existe un foco de emisión [30].

Para realizar el análisis del comportamiento de los contaminantes se establece como punto de referencia el centro de la vía; el comportamiento de los contaminantes es generado por una fuente continua lineal infinita, en donde se supone que la dirección del viento es perpendicular a la línea de emisión.

$$C(x, 0) = \frac{2q}{(2\pi)^{1/2} \sigma_z u} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right) \quad (3)$$

Donde.

- C Concentración a nivel del suelo de PM en la dirección del viento (g/m^3)
- H Altura promedio de descarga del contaminante (m)
- X Distancia desde el centro de la vía (m)
- q Emisión de la fuente por distancia unitaria ($\text{g}/\text{s}\cdot\text{m}$)
- u Velocidad del viento (m/s)
- σ_z Desviación estándar vertical de la distribución de concentración (m)

5.2.2. Modelo de dispersión para Fuentes Fugitivas.

Las emisiones de partículas de tráfico de no escape (E), es una estimación dada a partir de los factores de emisión (FE) y kilómetros transitados por toda la flota vehicular de la vía (VKTp), obteniendo como ecuación básica:

$$E = FE * VKTp \quad (4)$$

Para determinar el factor de emisión de resuspensión de las vías pavimentadas y no pavimentadas se utiliza la metodología de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de America; "Emission Factor Documentation for AP-42, Section 13.2.1 Paved Roads" y "Emission Factor Documentation for AP-42 Section 13.2.2 Unpaved Roads".

5.2.2.1. Vías Pavimentadas.

Las emisiones de partículas ocurren también cada vez que un vehículo viaja sobre una superficie pavimentada, ya sea una carretera o un parqueadero. Estas suceden debido a las emisiones directas del vehículo en forma de emisiones por el uso del freno, las llantas y el exhosto y de la resuspensión de material suelto en la superficie de la vía. La cantidad de emisiones de partículas producto de dicha resuspensión en la superficie de la vía, debido al viaje de un vehículo en una carretera pavimentada seca, se pueden determinar a través del factor de emisión, que se calcula de la siguiente forma [31]:

$$FE = K \left(\frac{Cs}{2}\right)^{0,65} * \left(\frac{W}{3}\right)^{1,5} - C \quad (5)$$

Donde.

- FE Factor de emisión de partículas (g/VKT)
- K Coeficiente de ajuste de tamaño de partícula para rangos de tamaño de partícula
- Cs Contenido de limos (partículas con diámetro inferior a 75 µm) en la superficie de la vía (g/m²)
- W Peso promedio de los vehículos que se desplazan en la vía (toneladas)
- C Factor de emisión para flota de vehículos por uso de llantas, frenos y exhosto.

La anterior ecuación puede ser extrapolada para considerar condiciones no controladas, pero con mitigación de emisiones naturales como precipitación,

bajo la suposición que las emisiones anuales promedio son inversamente proporcionales a la frecuencia de precipitación medible y por medio de la aplicación de un término de corrección por precipitación [31], para una base horaria se tiene:

$$FE = \left[K \left(\frac{Cs}{2} \right)^{0,65} * \left(\frac{W}{3} \right)^{1,5} - C \right] \left[1 - \frac{1,2P}{N} \right] \quad (6)$$

Donde.

- FE Factor de emisión promedio anual u otro largo plazo con las mismas unidades que k.
- P Número de horas húmedas con al menos 0.254 mm de precipitación durante el período promedio.
- N Número de horas en el período promedio (por ejemplo 8760 para anual, 720 para mensual).

5.3. Modelo de densidad.

Mediante este método se busca obtener a partir de una serie de puntos localizados de la población el esquema de densidad. Se trata de alcanzar una representación de la tendencia o pauta global de su distribución, dónde existe más concentración, dónde menos, con que gradiente se produce la variación espacial, entre otros [32].

5.3.1. Modelo de densidad de KERNEL.

El método de estimadores focales para el cálculo de densidades a partir de variables referidas espacialmente a entidades puntuales, incluye una serie de parámetros que pueden condicionar de manera importante los resultados obtenidos [33]. El ajuste de funciones de densidad Kernel a las respectivas distribuciones empíricas permite captar diferencias en tramos específicos de la distribución [34]. Presenta gran flexibilidad y lo que hace es construir una función de densidad girando en torno a los valores maestres. Genéricamente y para el caso univariado el modelo está descrito por la ecuación 7, en donde posee propiedades que la caracterizan como: funciones simétricas centradas en cero y su integral vale la unidad, puesto que el Kernel es una función de densidad el estimador f también lo es y en la mayoría de los casos (dependiendo del Kernel) se trata también defunciones continuas y diferenciables [32].

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (7)$$

Donde.

- x Punto en el cual se trata de estimar la densidad.
- x_i Valor de la variable.
- K Símbolo de Kernel.
- h Anchura de la ventana o parámetro suavizado.

El modelo de densidad Kernel se realizará mediante la utilización del software ArcGis, el cual mediante a la herramienta density que se ubica en la barra de herramientas de Spatial Analyst se puede modelar la información de salud en la localidad.

5.4. Análisis espacial de la información.

La Geografía es una ciencia que se apoya en la imagen para transmitir elementos y contenidos referidos a un espacio. La Cartografía es una herramienta de representación y análisis utilizada frecuentemente en cualquiera de las vertientes o corrientes geográfica. Los ámbitos en los que se ha generalizado su empleo es en el análisis espacial de información de la población, ya que su presentación y comprensión resulta necesaria para entender muchos fenómenos territoriales. [35]

Las emisiones de material particulado emitido por las diferentes fuentes en la localidad de Kennedy presentan un gran componente geográfico, en donde el estudio de la existencia de patrones espaciales puede contribuir al estudio del comportamiento de las enfermedades producidas por este contaminante a la población dentro de la localidad. Con los modelos de dispersión de cada fuente de emisión se tienen las concentraciones puntuales de material particulado, por lo que es necesario conocer el comportamiento del contaminante como si fuera un campo continuo en el que todos los puntos de la localidad presenten un valor.

La interpolación espacial es un procedimiento matemático utilizado para estimar el valor de un atributo, en este caso, la concentración del material particulado, en una celda a partir de valores obtenidos en puntos de medición. La interpolación espacial transforma un número finito de observaciones en un espacio continuo de manera que su patrón espacial sea comparable con aquel presentado por las observaciones puntuales de origen [36]. La literatura acerca de la materia presenta diferentes métodos de interpolación, éstos pueden ser globales o locales, de acuerdo con la

cantidad de información que utilizan y exactos e inexactos según el valor de las estimaciones respecto a los datos de origen.

Existen diferentes tipos de algoritmos que se pueden emplear para el análisis espacial de la información: el método IDW, Spline y Kriging. Estos algoritmos ya han sido ensayados para estudios de modelos digitales, climatología o relieve. El objetivo fundamental de su empleo no es el de obtener valores donde no los hay, sino generar una representación lógica y aproximada de la distribución de la variable en el espacio, pero conservando el valor y la posición real de los elementos. [35]

5.4.1. Método de interpolación IDW.

Inverse Distance Weighting (IDW) es un método matemático de interpolación que usa una función inversa de la distancia. Parte del supuesto que las cosas que están más cerca son más parecidas, por lo tanto tienen más peso e influencia sobre el punto a estimar [37]. Matemáticamente se expresa como:

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^N \delta_i \cdot Z(S_i) \quad (8)$$

Donde.

- $Z(S_0)$ Valor a predecir.
- N Número de muestras alrededor del punto a predecir.
- δ_i Peso asignado a cada punto vecino.
- $Z(S_i)$ Valores Medios.

6. ENFERMEDADES RESPIRATORIAS

La contaminación atmosférica es la emisión de sustancias peligrosas a una tasa que excede la capacidad de los procesos naturales de la atmósfera para transformarlos, precipitarlos y depositarlos o diluirlos por medio del viento y el movimiento del aire. La concentración de los contaminantes se reduce al dispersarse éstos en la atmósfera; proceso que depende de factores climatológicos como la temperatura, la velocidad del viento, el movimiento de sistemas de altas y bajas presiones y la interacción de estos con la topografía local [38]. Por consiguiente, cuando se da que una capa de aire frío se asienta bajo una capa de aire caliente produciendo una inversión térmica, la mezcla atmosférica se retarda y los contaminantes se acumulan cerca del suelo. En un periodo de tan sólo tres días de poca mezcla atmosférica puede llevar a concentraciones elevadas de productos peligrosos en áreas de alta contaminación y en casos extremos, producir enfermedades e incluso la muerte. Los efectos de la exposición a largo plazo a bajas concentraciones de contaminantes no están bien definidos; no obstante, los grupos de riesgo son los niños, los ancianos, los fumadores, los trabajadores expuestos al contacto con materiales tóxicos y quienes padecen enfermedades pulmonares o cardíacas [39].

El sistema respiratorio de los niños es un blanco primario para la contaminación del aire, incluyendo el humo de tabaco, combustibles de biomasa y polución de fuentes móviles y fijas. Los niños son, en general, más susceptibles a los efectos de los contaminantes del aire; sin embargo, la susceptibilidad individual también juega un rol. La exposición a temprana edad reduce el crecimiento pulmonar y resulta en función pulmonar disminuida. El rango de enfermedades respiratorias con una contribución causal ambiental incluye: infecciones agudas virales y bacterianas bajas; otitis media; asma y enfermedades respiratorias crónicas [40].

El material particulado puede generar irritación en las vías respiratorias principalmente en la nariz y en la garganta. Las partículas más grandes pueden quedar retenidas en los tramos superiores del aparato respiratorio, mientras que las más pequeñas pueden penetrar hasta las zonas más profundas de los pulmones [41] generando afectaciones a la salud como enfermedades respiratorias agudas (ERA).

6.1. Enfermedades Respiratorias Agudas (ERA).

Según el Instituto Nacional de Salud, la Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA) es el conjunto de infecciones del Aparato Respiratorio causadas por microorganismos virales, bacterianos y otros, en un período inferior a 15 días, con la presencia de uno

o más síntomas o signos clínicos como: tos, rinorrea, obstrucción nasal, odinofagia, otalgia, disfonía, respiración ruidosa, dificultad respiratoria, los cuales pueden estar o no acompañados de fiebre. Dependiendo de la intensidad y el compromiso del estado general, pueden ser leves, moderados o graves, siendo estas últimas responsables de una mortalidad importante en lactantes y menores de cinco años [42].

Estas enfermedades se pueden presentar en el sector alto o bajo del aparato respiratorio. El primero comprende la nariz (fosas nasales), los senos paranasales (cavidades de la cara y de la base del cráneo que se comunican con la nariz), la garganta (faringe) con las amígdalas y el oído medio y la epiglotis; lengüeta que tapa la vía respiratoria cuando se traga algo. Y el segundo comprende la laringe (cuerdas vocales donde se emite la voz) y la tráquea, o sea el tubo grueso que continúa la laringe hacia abajo y que luego se bifurca en dos gruesos bronquios, uno para cada pulmón, dentro del cual se ramifican en millares de pequeños bronquios y bronquiolos diminutos, que desembocan en los alvéolos, especie de saquitos que constituyen el pulmón propiamente dicho y donde la sangre que viene del corazón toma el oxígeno del aire y expelle el gas carbónico [43].

La contaminación del aire producida por PM no es un factor causal directo de Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA), sino que está asociado en combinación con determinantes como estado nutricional del infante, contaminación intradomiciliaria producida por tabaquismo pasivo, deficientes condiciones higiénicas personales y de la vivienda, inasistencia a los programas de vacunación y el clima; causando afecciones leves como irritación ocular, dolor de garganta, tos, exacerbación de ERA y reducción de la función pulmonar, sumado al ausentismo escolar, medido como impacto de los efectos adyacentes de la contaminación del aire [44].

6.1.1. Enfermedades Respiratorias Agudas (Altas).

Se habla de enfermedades como rinitis, rinofaringitis, faringoamigdalitis, epiglotitis, o de sus complicaciones que son: sinusitis y otitis media [43].

6.1.2. Enfermedades Respiratorias Agudas (Bajas).

Se habla de enfermedades como laringitis (llamada también "croup"), traqueítis, bronquitis, bronquiolitis, alveolitis o neumonitis (que es lo mismo que neumonía) y de combinaciones de éstas como son: laringotraqueobronquitis, bronconeumonía, etc [43].

7. CARACTERÍSTICAS DE LA LOCALIDAD DE KENNEDY

La localidad de Kennedy se ubica en el sector sur occidente de la ciudad y limita, al norte, con la localidad de Fontibón; al sur, con las localidades de Bosa y Tunjuelito; al oriente, con el municipio de Mosquera, y al occidente, con la localidad de Puente Aranda. Kennedy tiene una extensión total de 3.859 ha., de las cuales 389 están clasificadas como suelo protegido [45]. La localidad de Kennedy no presenta suelo rural [46].

7.1. Características y usos del suelo.

Kennedy presenta un territorio plano conformado por depósitos aluviales del río Bogotá en su costado occidental, el río Fucha ubicado en su costado norte y el río Tunjuelo por su costado sur; presentando varios humedales como La Vaca, el Burro y Techo. El humedal El Burro está localizado en la parte occidental y se extiende desde el barrio el Rincón de los Ángeles hasta el costado occidental de la Avenida Ciudad de Cali. Actualmente, se establecen rellenos ilegales y se depositan escombros que poco a poco disminuyen su extensión [45].

De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá, el uso del suelo urbano de Kennedy se divide en seis áreas de actividad: residencial (55,9%), área urbana integral (20,5%), suelo protegido (9,4%), dotacional (6,6%), comercio y servicios (4,5%), industrial (3,1%) [46]. El área de actividad que predomina es la residencial, con actividad económica en la vivienda, que corresponde a áreas en las que se permiten algunos usos comerciales y de servicios localizados sobre ejes viales del sector o manzanas comerciales o centros cívicos, y sin que ocupen más del 30% de área del sector normativo y donde las viviendas pueden albergar, dentro de la estructura arquitectónica, usos de comercio y servicios clasificados como actividad económica limitada (comercio y servicios profesionales de escala vecinal) o usos industriales de bajo impacto [46].

7.2. Unidades de Planeación Zonal (UPZ).

Las Unidades de Planeación zonal tienen como objetivo definir el planeamiento del suelo urbano, respondiendo a la dinámica productiva de la ciudad y a su interacción en el contexto regional, involucrando a los actores sociales en la definición de los aspectos de ordenamiento y control normativo a escala zonal [14].

De acuerdo al Decreto 619 del 2000 por el cual se adoptó el plan de ordenamiento territorial, las UPZ se clasificaron según sus características predominantes en ocho grupos, que son residencial de urbanización incompleta, residencial consolidado, residencial cualificado, desarrollo, con centralidad urbana, predominantemente industrial y de predominio dotacional [14]; En el anexo 1 se explica detalladamente cada una.

La Localidad de Kennedy está conformada por doce (12) UPZ, de las cuales cuatro (4) son de tipo residencial consolidado, tres (3) de tipo residencial de urbanización incompleta, dos (2) son de tipo desarrollo, una (1) es de tipo predominantemente dotacional, una (1) es de tipo de predominio industrial y una (1) es de tipo de centralidad urbana (Ilustración 1). En la tabla 5 se especifican las características de las 12 UPZ ubicadas dentro de la localidad, especificando el número, nombre, tipo, estratos que contienen y el área total de cada una.

Tabla 5. UPZ ubicadas dentro de la Localidad de Kennedy.

Número	Nombre	Tipo UPZ	Descripción Tipo	Estrato	Área (Ha)
78	Tintal Norte	4	Desarrollo	1 y 2	343
46	Castilla	2	Residencial Consolidado	Varios	504
79	Calandaima	4	Desarrollo	1 y 2	319
82	Patio Bonito	1	Residencial de Urbanización Incompleta	1 y 2	317
83	Las Margaritas	8	Predominantemente Dotacional	1 y 2	147
113	Bavaria	7	Predominantemente industrial	Varios	277
80	Corabastos	1	Residencial de Urbanización Incompleta	1 y 2	185
47	Kennedy Central	2	Residencial Consolidado	3, 4, 5 y 6	337
44	Américas	5	Con Centralidad Urbana	Varios	381
81	Gran Britalia	1	Residencial de Urbanización Incompleta	1 y 2	180
45	Carvajal	2	Residencial Consolidado	Varios	439
48	Timiza	2	Residencial Consolidado	Varios	430

Fuente. [14]

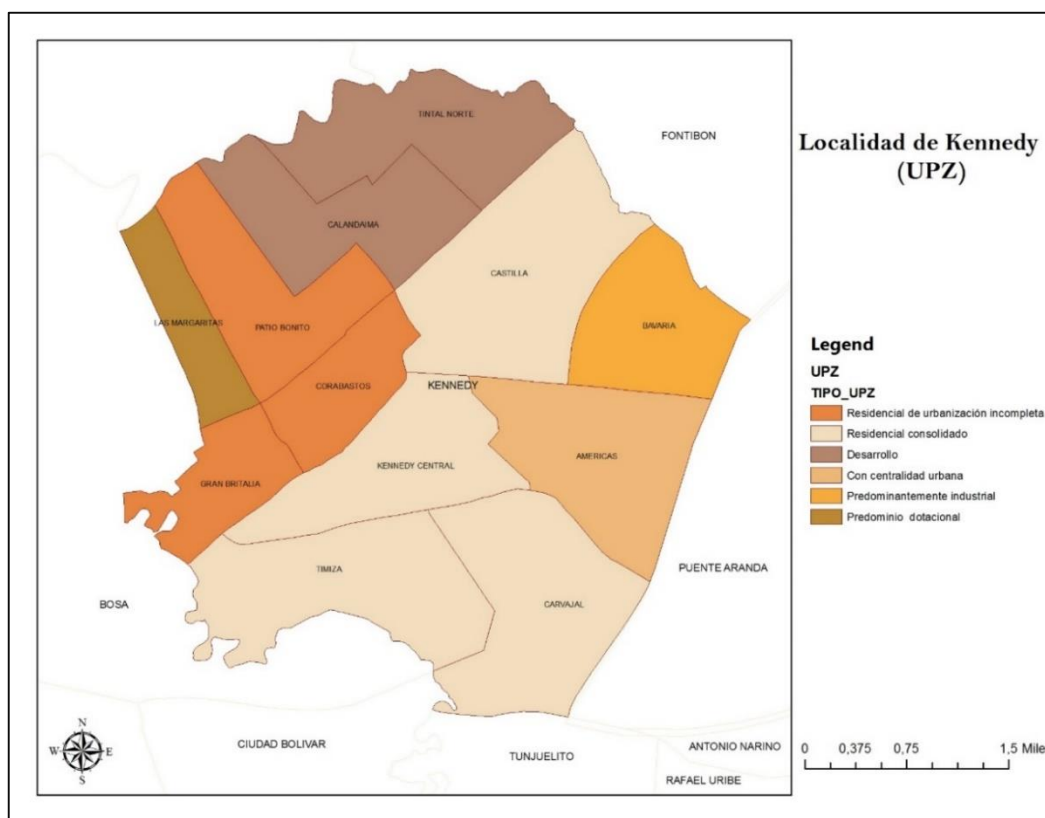


Ilustración 1. Localidad de Kennedy; UPZ.

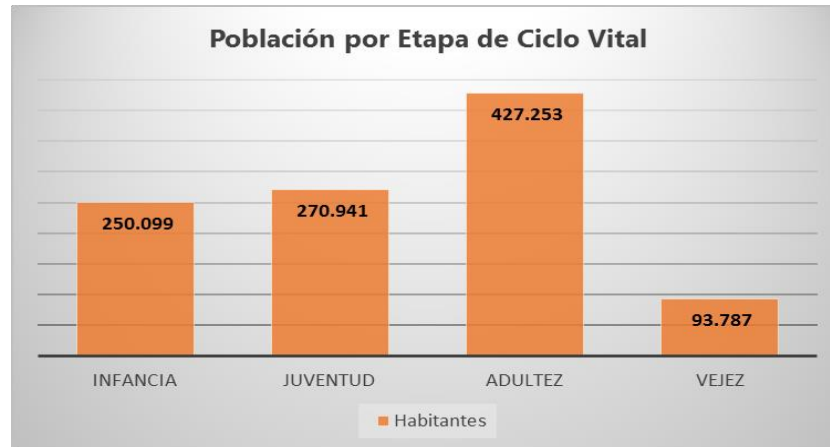
7.3. Población Local.

En el censo general realizado por el DANE en el año 2005 se estimó que Kennedy es la localidad más poblada de la ciudad con una población de 937.831 habitantes; 13,83% del total de Bogotá [46].

Según las proyecciones del DANE, teniendo en cuenta el crecimiento poblacional que ha presentado la localidad, se estimó que para el año 2010 Kennedy contó con una población total de 1.009.527 habitantes, de los cuales el 51,4% son mujeres y 48,6% son hombres. Concentrándose esta población en las UPZ de Castilla, Timiza y Patio Bonito con el 44,9% del total de la población y la mayor densidad poblacional se encuentra en Patio Bonito con 565 habitantes por hectárea, seguidas de Gran Britalia (392) y Corabastos (379), caracterizándose por ser una zonas residenciales urbanísticamente incompletas [47].

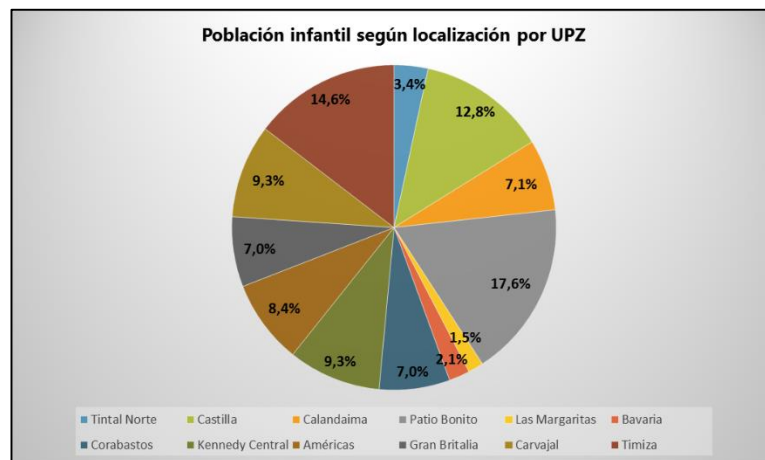
La proporción de población para el año 2013 fue un 41% para adultos, infancia en un 24%, juventud en un 26% y vejez en un 9% [48].

En el anexo 2 se relaciona la cantidad de población por UPZ para el año 2010 y su proyección para el 2013, obteniendo como resultado un total de 1.042.080 habitantes [47], [48]. Además se calculó la cantidad de población para cada etapa vital teniendo en cuenta los porcentajes anteriormente dados (grafica 1).



Gráfica 1. Total población por etapa de ciclo de vida. Localidad de Kennedy. Año 2013.
Fuente. Autor

Al observar la proporción de población infantil dentro de la localidad en las diferentes UPZ (gráfica 2), se encuentra que el mayor porcentaje de población está ubicado dentro de la UPZ Patio Bonito; residencial de urbanización incompleta, seguida de la UPZ Timiza y la UPZ Castilla; residencial consolidado. Y los menores porcentajes de población infantil se encuentran en la UPZ Las Margaritas; zonas predominantemente de uso Dotacional y la UPZ Bavaria; zonas predominantemente de uso industrial.



Gráfica 2. Porcentaje de población infantil por UPZ. Localidad de Kennedy. Año 2013.
Fuente. Autor

7.4. Primera Infancia.

La Secretaría Distrital de Planeación publicó en 2013 el Índice sobre condiciones de la primera infancia en Bogotá D.C. La primera infancia es el ciclo vital que comprende desde la gestación hasta los 5 años de edad. En este periodo de vida, mujeres y hombres desarrollan un altísimo porcentaje de las capacidades cognitivas y psicosociales que permiten sentar las bases para continuar el crecimiento y desarrollo en el resto de ciclos vitales: infancia (6 a 12 años), adolescencia (13 a 17 años), adultez (18 a 59 años), vejez (60 y más años).

En Kennedy el porcentaje de población de la primera infancia fue del 9,95% con relación al total de la población de la localidad [49]. Si se calcula este porcentaje para cada UPZ de la localidad se obtiene que:

Tabla 6. Población de primera infancia por UPZ. Localidad de Kennedy. Año 2013

#	Nombre	Población 2013	Primera Infancia	% dentro de la localidad
78	Tintal Norte	35.195	3.502	3%
46	Castilla	133.337	13.267	13%
79	Calandaima	73.862	7.349	7%
82	Patio Bonito	183.176	18.226	18%
83	Las Margaritas	15.874	1.579	2%
113	Bavaria	21.621	2.151	2%
80	Corabastos	73.397	7.303	7%
47	Kennedy Central	96.431	9.595	9%
44	Américas	87.236	8.680	8%
81	Gran Britalia	72.573	7.221	7%
45	Carvajal	97.095	9.661	9%
48	Timiza	152.281	15.152	15%
Total		1.042.080	103.687	100%

Fuente. Autor

Para el 2013 hubo un total de 103.687 niños entre los cero (0) y los cinco (5) años, en donde la mayor población se encontró en la UPZ Patio Bonito, seguido de la UPZ Timiza y la UPZ Castilla.

En la Localidad de Kennedy el 1,30% (1.348) de niños de 0 a 5 años se encontraron en situación de desplazamiento y el 20,60% (21.360) de niños de 0 a 5 años se encontraron en situación de pobreza durante el 2013 [49].

Con relación a la nutrición sólo un 12,9% en promedio de los niños y niñas de primera infancia en Bogotá recibe o recibió lactancia materna por 4 meses o más desde su nacimiento, porcentaje que en todas las localidades es similar oscilando entre 12% y 14% [49]. La desnutrición crónica se encuentra asociada normalmente a situaciones permanentes de ingesta insuficiente de alimentos o de frecuentes enfermedades. Es un problema social muy importante porque a corto plazo incrementa en el niño su riesgo de enfermar y morir. Además, produce deterioro neurológico, reduce la función inmune, retrasa el crecimiento, aumenta la susceptibilidad a las Infecciones, aumenta el riesgo de problemas de desempeño escolar y el rendimiento cognitivo [48].

Bogotá presenta una prevalencia de 17,4% de desnutrición crónica en menores de 5 años y con relación a la localidad de Kennedy se presenta el 14,9% de desnutrición crónica; las UPZ con mayor prevalencia de desnutrición en el 2013 son Patio Bonito y Corabastos con 18,3% mucho más alta que la prevalencia a nivel local.

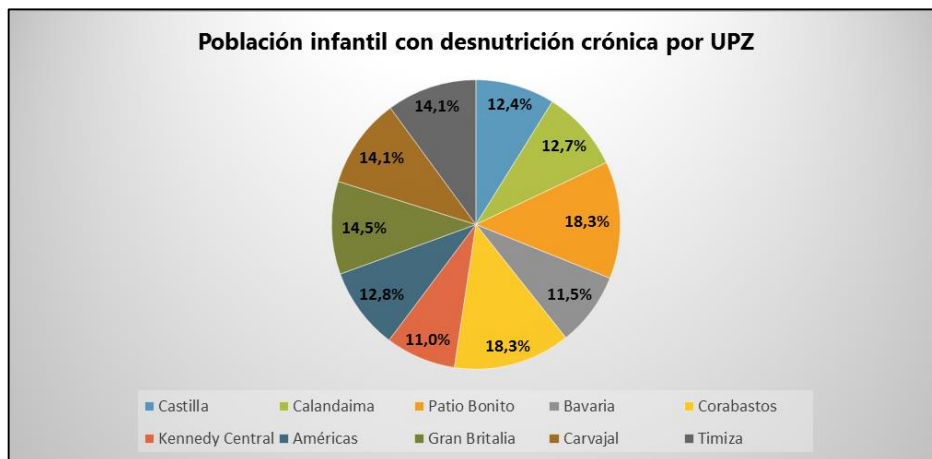


Ilustración 2. Prevalencia de desnutrición crónica en menores de cinco años. Kennedy y Bogotá. 2009-2013.

Fuente. [48]

Las enfermedades prevalentes para 2013 fueron enfermedades diarreicas agudas (EDA) y ERA, en donde se comprueba que en Bogotá en promedio un 48% de los niños y niñas ha sufrido estas enfermedades. Muchas localidades se

aproximan o superan el 50% en esta situación, especialmente Engativá, Suba, Bosa, Usme, Tunjuelito, Kennedy y Fontibón [49].

Con relación a los ambientes habitables y seguros un 70,22% de los niños y niñas en Bogotá viven muy cerca a lugares que los ponen en riesgo como basureros, expendios de drogas, prostíbulos, entre otros, con porcentajes más altos de estas condiciones en Santa Fe, Usme, Kennedy, Fontibón, Barrios Unidos, Mártires y Candelaria [49].

7.5. Problemática Ambiental.

Actualmente la problemática ambiental en la localidad se debe a la afectación de los recursos aire, agua y suelo producto de las actividades domésticas, comerciales, Industriales, de movilidad, desarrollo urbanístico legal e ilegal que se desarrollan en ella, afectando la calidad de vida de sus habitantes [14]. Entre esta problemática encontramos:

- *Afectación a los cuerpos de agua* por el desarrollo urbanístico en términos legales e informales, por la disposición de residuos sólidos, vertimientos industriales y domésticos arrojados al sistema de alcantarillado y en algunos casos directamente a los canales, cauces de los ríos y humedales, degradando en gran medida el recurso hídrico [14].
- *Contaminación auditiva y visual* debido a la presencia de ruido en la Avenida Primero de Mayo y la Avenida de Las Américas entre las avenidas 68 y Boyacá, de vallas y avisos alusivos al comercio en los sectores comerciales e industriales.
- *Contaminación por residuos sólidos* debido a que la población no respeta los horarios de recolección establecidos y presentan y arrojan los desechos en andenes y vías públicas, por lo que se constituyen en focos de contaminación. Adicionalmente, se realiza disposición de escombros en los humedales y son rellenados con ellos, en la actualidad el Sector Sur del humedal La Vaca es un vivo ejemplo de ésta problemática [14].
- *Afectación al recurso aire* debido al amplio parque automotor; fuentes móviles generadoras de contaminación las cuales se intensifican en las vías tales como Av Ciudad de Cali, Agoberto Mejía, Primera de Mayo y 68 en la Kr 76 y Cl 33 sur, lo que se intensifica dada las condiciones tecnológicas y de mantenimiento de las mismas. Además se ha visto altos índices de contaminación atribuidos al sector Industrial (fuentes fijas) de la Localidad, el cual genera las emisiones de gases tóxicos y sustancias como partículas suspendidas totales (PST), óxidos de

nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), dióxido de carbono (CO₂), PM₁₀ y entre otros que son generados por los sectores de tintorerías, fundiciones, industria galvánica, y en general la industria metalmecánica. Igualmente a esto se le suma los altos índices de contaminación generados por la actividad ilegal de quema de madera, llantas, y plástico en la UPZ 82 Patio Bonito contribuyen a las emisiones de gases tóxicos [14].

8. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se aplicó una metodología cuantitativa, en donde se buscó identificar la correlación espacial entre las emisiones de PM_{10} y $PM_{2,5}$ y el ausentismo escolar de la población infantil en los jardines de la Secretaría Distrital de Integración Social (SDIS) por enfermedades respiratorias dentro de la localidad de Kennedy. Para realizar esta correlación fue necesario la aplicación de diversas metodologías para el análisis del comportamiento del material particulado y de los efectos en la salud dentro de la localidad.

El proceso metodológico cumple con el desarrollo de diferentes fases que se relacionan en la Ilustración 3. Se basó en el planteamiento de la temática, la búsqueda de información de las fuentes de emisión y los factores de emisión, la obtención de la información por ausentismo escolar de la población infantil en los jardines por enfermedades respiratorias en la Localidad de Kennedy, el procesamiento de la información y la realización del modelo de recepción.

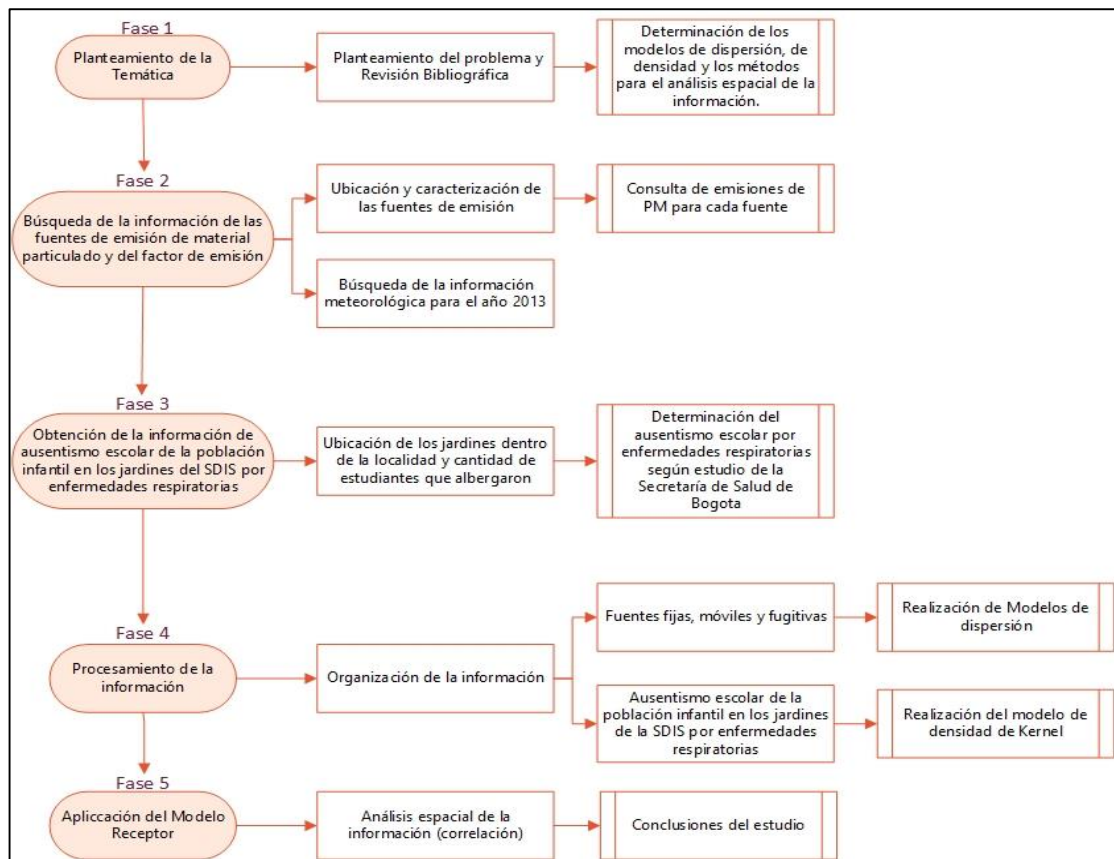


Ilustración 3. Proceso Metodológico

Fuente: Autor

Las fases para el desarrollo del proyecto fueron:

Fase 1. Planteamiento de la temática: Se realizó el planteamiento del problema a trabajar durante el proyecto; analizar la correlación que se puede presentar entre las emisiones de material particulado y el ausentismo escolar por enfermedades respiratorias en la población infantil de la localidad de Kennedy. Posteriormente se procede a realizar una revisión bibliográfica de estudios previos, investigaciones o trabajos sobre el tema a tratar.

Una vez realizada toda la revisión bibliográfica se establecieron los modelos de dispersión para el análisis del comportamiento del material particulado por fuentes fijas, móviles y fugitivas. En la modelación de contaminantes atmosféricos son usados comúnmente dos tipos de modelos de dispersión, los cuales se diferencian dependiendo del sistema de coordenadas empleado. Los modelos Lagrangiano emplea un marco móvil de referencia, es decir que simula los compuestos químicos y procesos físicos de la atmósfera inferior a través de la trayectoria del viento, y el modelo de rejilla Euleriano utiliza un sistema de coordenadas fijo con respecto al nivel del suelo; simula el comportamiento de los contaminantes en un punto fijo del espacio.

Durante la realización del estudio se emplearon modelos de rejilla Euleriano, ya que se tenía puntos fijos de emisión totales para 2013 por fuentes fijas, móviles y fugitivas. Además se contó datos poblacionales totales durante el año de estudio, por lo que se estableció el modelo de densidad poblacional para el análisis del ausentismo escolar de la población infantil en los jardines por enfermedades respiratorias y se planteó los posibles métodos a utilizar para el análisis espacial de la información. En la tabla 7 describe cada método propuesto para el desarrollo del proyecto.

Tabla 7. Planteamiento de las temática, modelos a trabajar para el desarrollo del proyecto.

Modelo	Nombre	Característica
Modelos de dispersión	Modelo de dispersión para fuentes móviles	Se emplea el modelo para fuente lineal continua de emisión infinita. Modelo que asume la emisión de los contaminantes como una fuente lineal infinita; existe un flujo constante de vehículos sobre una vía, por lo que se considera que a lo largo de ella siempre existe un foco de emisión [30].
	Modelo de dispersión	Las emisiones de partículas de tráfico de no escape (E), es una estimación que se da a partir de los factores de emisión (FE) y kilómetros transitados por toda la flota vehicular de la vía (VKTp). Para determinar el factor de emisión de resuspensión de las vías

	para fuentes fugitivas	pavimentadas y no pavimentadas se utiliza la metodología de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.; "Emission Factor Documentation for AP-42, Section 13.2.1 Paved Roads" y "Emission Factor Documentation for AP-42 Section 13.2.2 Unpaved Roads".
Modelo de densidad	Modelo de densidad de Kernel	El método de estimadores focales para el cálculo de densidades a partir de variables referidas espacialmente a entidades puntuales, incluye una serie de parámetros que pueden condicionar de manera importante los resultados obtenidos [33]. El ajuste de funciones de densidad Kernel a las respectivas distribuciones empíricas permite captar diferencias en tramos específicos de la distribución [34]. Presenta una gran flexibilidad y lo que hace es construir una función de densidad girando en torno a los valores maestres. El modelo de densidad Kernel se realizará mediante la utilización del software ArcGis, el cual mediante a la herramienta density que se ubica en la barra de herramientas de Spatial Analyst se puede modelar la información de salud en la localidad.
Análisis espacial de la información		La interpolación espacial es un procedimiento matemático utilizado para estimar el valor de un atributo, en este caso, la concentración del material particulado, en una celda a partir de valores obtenidos en puntos de medición. La interpolación espacial transforma un número finito de observaciones en un espacio continuo de manera que su patrón espacial sea comparable con aquel presentado por las observaciones puntuales de origen [36]. Dentro de la literatura se encuentran diferentes métodos de interpolación, éstos pueden ser globales o locales, de acuerdo con la cantidad de información que utilizan y exactos e inexactos según el valor de las estimaciones respecto a los datos de origen. En el estudio se puede utilizar tres algoritmos dependiendo de las características que cada uno brinde para hacer una adecuada modelación de la información. El programa Arcgis proporciona en su módulo Spatial Analyst los algoritmos IDW, Spline y Kriging. Estos algoritmos ya han sido ensayados para estudios de modelos digitales, climatología o relieve. El objetivo fundamental de su empleo no es el de obtener valores donde no los hay, sino generar una representación lógica y aproximada de la distribución de la variable en el espacio, pero conservando el valor y la posición real de los elementos. [35]

Fase 2. Búsqueda de la información de las fuentes de emisión de material particulado y del factor de emisión: Se determinó la ubicación de las fuentes de emisión dentro de la localidad y las características de estas, según la información suministrada por la SDA. A partir de esto se hace consulta acerca de la cantidad de emisiones de material particulado de las fuentes fijas mediante información secundaria suministrada por los estudios isocinéticos de cada industria en la zona de estudio, de las fuentes móviles mediante información secundaria suministrada por la SDA en sus últimas actualizaciones en los años 2012, 2013 y 2014 de emisiones en la flota vehicular de la ciudad y de las fuentes fugitivas mediante información secundaria suministrada por el estudio realizado por la Universidad de la Salle con la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá sobre el comportamiento del MP en la malla vial de la ciudad de Bogotá..

En esta fase, se revisan y analizan además las condiciones meteorológicas para el año de estudio dentro de la localidad (la velocidad y dirección del viento, las horas húmedas y la radiación solar), proporcionadas por la RMCAB de la Secretaría Distrital de Ambiente.

Fase 3. Obtención de la información de ausentismo escolar de la población infantil en los jardines por enfermedades respiratorias: Dado que en la localidad de Kennedy se encuentra gran porcentaje de población de estrato bajo y medio (estratos 1, 2 y 3), se busca realizar el estudio en jardines infantiles del gobierno pues presenta una mayor cobertura en esta población. Se tomó como referencia a la SDIS ya que ellos contaban con el mayor número de jardines e información detallada de la cantidad de estudiantes que albergaron en el año 2013, la cual fue suministrada para el desarrollo de este estudio por los funcionarios de dicha entidad. Se descartan los datos del ICBF debido a la falta de acceso a la información en los datos de escolaridad y la baja representatividad dentro de la localidad.

Después de obtener esta información, se calcula el ausentismo escolar teniendo en cuenta el estudio realizado por la Secretaría de salud de Bogotá en donde especifican que si se presenta un aumento de 10 a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de material particulado teniendo como referencia los valores anuales de la norma de calidad de aire se da un 40% de ausentismo escolar por enfermedades respiratorias en población más expuesta.

Fase 4. Procesamiento de la información: Se organiza y procesa la información obtenida en la fase 2 y 3. Se calculan las emisiones de material particulado para cada fuente de emisión, según la metodología de los modelos de dispersión correspondiente para cada fuente; tabla 8.

Se realiza el modelo de dispersión de cada fuente teniendo en cuenta el comportamiento meteorológico en la zona de estudio para 2013 y se procede con los resultados a hacer un análisis espacial de la información para determinar el comportamiento del material particulado dentro de la localidad.

Posteriormente, se realiza el modelo de densidad de Kernel utilizando los datos de ausentismo escolar en cada jardín infantil de la SDIS dentro de la localidad para el análisis geográfico de estos datos.

Fase 5. Aplicación del modelo receptor: Mediante el análisis espacial de la información de los resultados obtenidos en la fase 4 se analiza la correlación espacial que se presenta entre las emisiones de PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$ y el ausentismo escolar de la población infantil en los jardines por enfermedades respiratorias dentro de la localidad de Kennedy. Posteriormente se procede a analizar los resultados obtenidos y se determina las conclusiones de la investigación.

9. RESULTADOS

9.1. Condiciones Meteorológicas.

Para el desarrollo de un modelo de dispersión de contaminantes, en este caso de material particulado es necesario conocer diferentes condiciones meteorológicas como la dirección y velocidad del viento, la estabilidad atmosférica y la desviación estándar en la zona de estudio. La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) cuenta con una estación de monitoreo en la localidad de Kennedy que mide dichos parámetros meteorológicos.

9.1.1. Velocidad y Dirección del viento.

En la zona de estudio se encuentra localizada la Estación Kennedy, la cual para 2013 registró una velocidad de viento (anexo 3) promedio de $2,44 \text{ m/s}$ [50] y con respecto a la dirección del viento generaron la rosa de vientos (Ilustración 4) que muestra el comportamiento de este dentro de la localidad [51].

Se concluye con relación a la rosa de los vientos que la dirección del viento predominante durante todo el año es la dirección Sureste, seguida por la dirección Sur y Oeste.

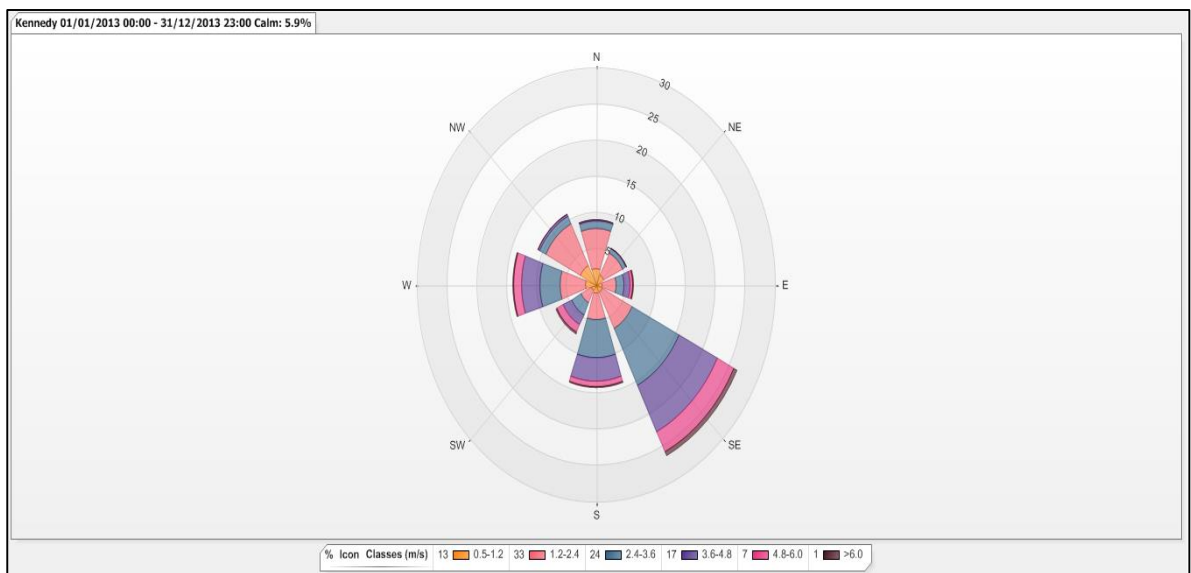


Ilustración 4. Rosa de vientos de la Estación Kennedy para el año 2013

Fuente: [51]

9.1.2. Estabilidad Atmosférica.

Para el empleo de los modelos de dispersión que se utilizaron en el análisis del comportamiento del material particulado fue necesario conocer las variables de estabilidad atmosférica que se presentan en la zona de estudio; radiación solar y días de lluvia durante el periodo de estudio.

Para 2013 la radiación promedio que reportó la estación Kennedy fue de 157 W/m^2 [50], lo que equivale a $13,499802 \text{ cal/cm}^2 \text{ h}$ (anexo 4). Además registró 95 días de lluvia, en donde el promedio de precipitación fue de $7,2 \text{ mm/día}$ [51].

Para calcular el número de horas húmedas durante este año se multiplican los días lluviosos por las 24 horas que conforman un día. Obteniendo como resultado que el número de horas húmedas para el caso de estudio es de 2.280 horas y el total de horas para 2013 fue de 8.760 horas .

9.1.3. Desviación Estándar.

En el modelo de dispersión para fuentes móviles, al considerarse este como una fuente lineal infinita la distancia (X) es el único valor que presenta cambios de acuerdo a la localización del receptor; la distancia es una variable independiente en el modelo y es determinada según lo considera el autor. En el anexo 5 se establece el comportamiento de las desviaciones utilizando las ecuaciones 1 y 2 con respecto a la distancia y a la clase de estabilidad; en el caso de estudio se utilizan las estabilidades que se presentan durante el día.

Por lo anterior se obtiene que en la localidad de Kennedy para 2013 se presentó una radiación solar de $13.5 \text{ cal/cm}^2 \text{ h}$; la radiación solar incidente es débil de acuerdo con la tabla 3. Y teniendo en cuenta que la velocidad promedio del viento fue de $2,44 \text{ m/s}$ se concluye que la categoría de estabilidad atmosférica dentro de la localidad es la C; *ligeramente inestable* (Tabla 2 y 3).

9.2. Modelos de Dispersión.

Los modelos de dispersión se desarrollaron utilizando las variables meteorológicas de la zona de estudio y las variables de cada fuente de emisión como cantidad, emisión total de material particulado, entre otras. Se descartó la aplicación de variables relacionadas a las características del terreno debido a la falta de información.

9.2.1. Fuentes Fijas.

En 2008 la Secretaría Distrital de Ambiente junto con TransMilenio S.A., la Universidad de la Salle y la Universidad de los Andes estimaron la línea base de las emisiones del sector industrial en la ciudad de Bogotá partiendo de los resultados de la actualización del inventario de emisiones; mediante la aplicación de factores de emisión de la metodología AP-42 de la EPA.

Las fuentes industriales dentro de la ciudad se categorizaron en catorce (14) grupos según los equipos de combustión y el tipo de combustible (tabla 8). A raíz de esto se determinó el factor de emisión de material particulado para cada industria según la categoría a la que pertenezcan [11].

Tabla 8. Categorías de las fuentes industriales de Bogotá.

Categoría	Tecnología	Combustible
CG1	Caldera > 100 BHP (año de fabricación menor o igual a 1997)	Gas Natural
CG2	Caldera < 100 BHP (año de fabricación mayor a 1997)	Gas Natural
CG3	Caldera < 100 BHP	Gas Natural
HG1	Horno de alimentos	Gas Natural
HG2	Horno de secado y curado	Gas Natural
HG3	Horno de fundición, incineración y cremación	Gas Natural
CC1	Caldera > 100 BHP	Carbón
CC2	Caldera < 100 BHP	Carbón
HL	Horno ladrillero	Carbón
HC	Horno	Carbón
CTA	Caldera	Aceite usado
HFA	Horno fundición	Aceite usado
ACF	Caldera industrial y comercial > 15 BHP	Fuel oíl residual
ACD	Caldera industrial y comercial > 15 BHP	Fuel oíl destilado (Diésel)
AHF	Horno	Fuel oíl destilado
GLP	Horno y caldera con aplicaciones industriales	Gas licuado de petróleo

Fuente. [11]

En los últimos años la Secretaría Distrital de Ambiente cuenta con los informes de estudios isocinéticos que se han realizado a fuentes industriales, mediante los cuales es posible conocer la cantidad de emisiones emitidas a la atmósfera (PM, NO_x, SO_x,

CO) según la actividad productiva de cada industria, el tipo de fuente, el tipo de combustible que utilizan y la categoría industrial a la que pertenece.

Para 2013 la Secretaría Distrital de Ambiente cuenta con el listado de cuarenta y cinco (45) fuentes fijas ubicadas en la localidad en donde se han realizado estudios isocinéticos (Anexo 6) [52]. Estas industrias se localizan en las UPZ Gran Britalia (1), Corabastos (1), Kennedy Central (1), Américas (1), Castilla (4), Bavaria (6) y Carvajal (31); Ilustración 5. En la tabla 9 se relaciona la cantidad de industrias que se presenta por cada categoría y el tipo de combustible que utilizan según la tabla 8.

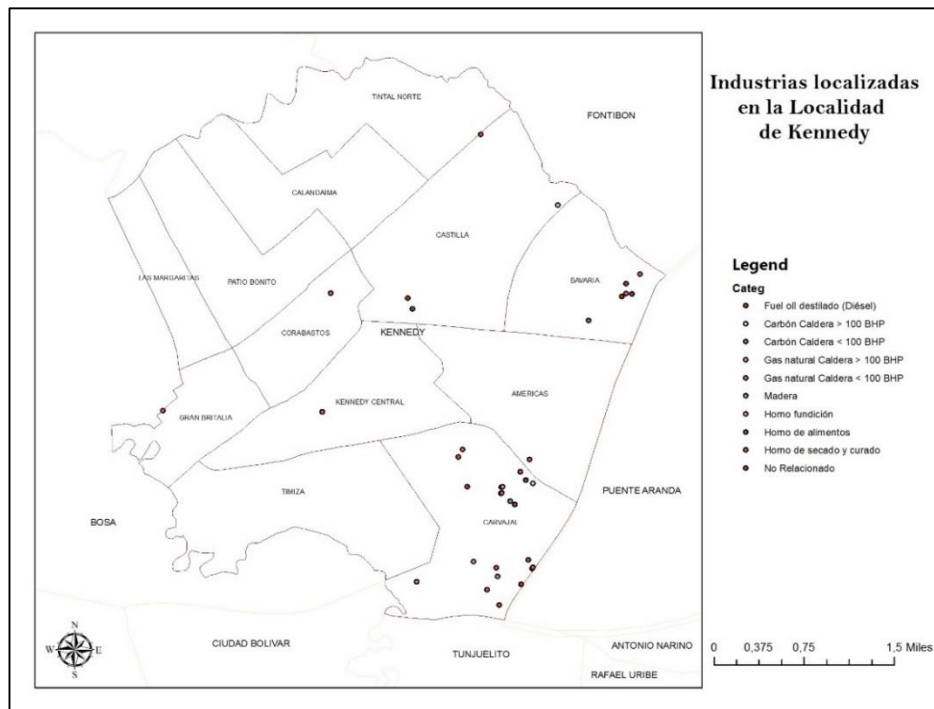


Ilustración 5. Ubicación de las fuentes fijas dentro de la Localidad de Kennedy. Año 2013.

Fuente: Autor

Tabla 9. *Número de industrias dentro de la Localidad de Kennedy según la categoría.*

Categoría	Combustible	Cantidad
ACD	Fuel oíl destilado (Diésel)	3
CC1	Carbón	5
CC2	Carbón	1
CG1	Gas Natural	7
CG2	Gas Natural	12
CM	Madera	1

HFA	Horno fundición	2
HG1	Horno de alimentos	2
HG2	Horno de secado y curado	5
NR	No Relacionado	7

Fuente: Autor

En total, para 2013 las fuentes fijas ubicadas dentro de la localidad de Kennedy emitieron un total de **3049,1 g/m³** de PM₁₀. La mayor concentración de material particulado se encontró en las UPZ de Carvajal y Bavaria en donde el factor de emisión está entre los rangos de 1506,11 g/m³ y 2942,55 g/m³ dado a que en estos sectores se encuentran ubicadas las industrias de categoría HFA, que usan como combustible aceite usado y presentan los más altos valores de emisión de PM₁₀ al año, seguido de algunas industrias de categoría CC2 que usan como combustible carbón y presentan una emisión de PM₁₀ considerable. Las UPZ que presentaron los más bajos niveles de emisión fueron Corabastos y Gran Britalia (Ilustración 6).

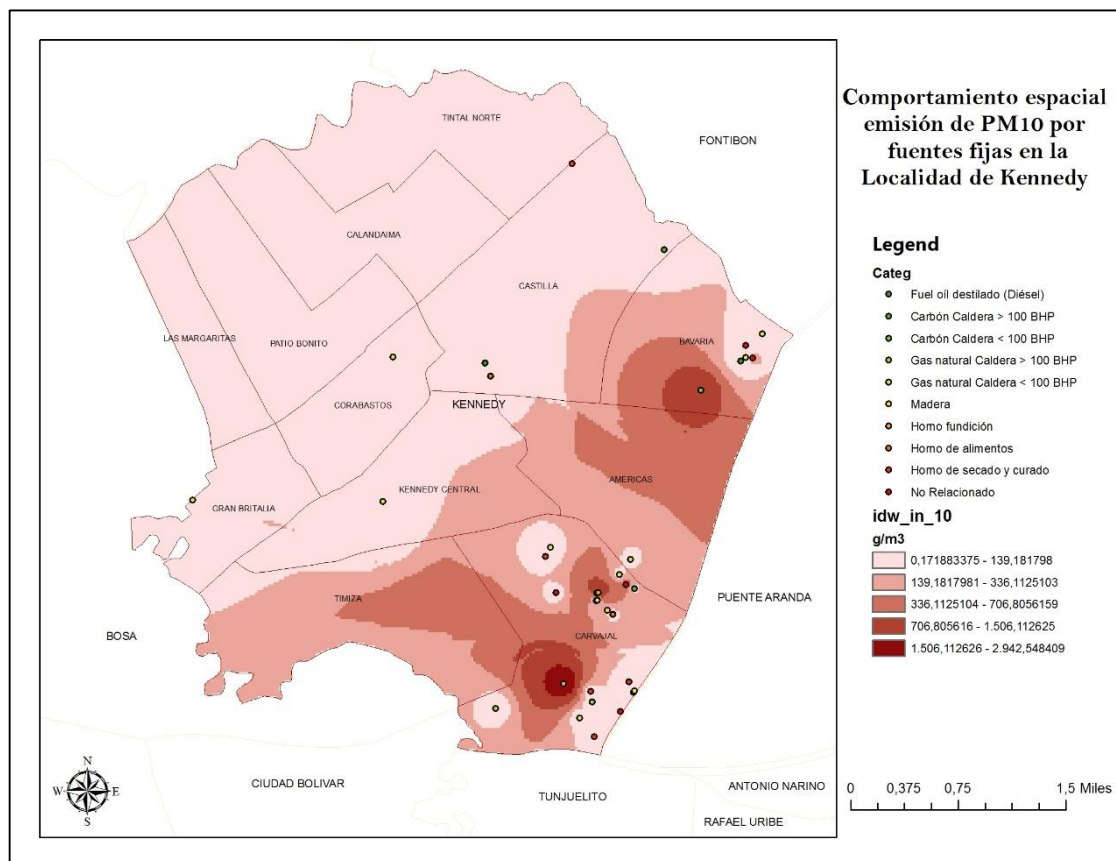


Ilustración 6. Comportamiento del material particulado emitido por fuentes fijas dentro de la localidad de Kennedy. Año 2013.

Fuente: Autor

9.2.2. Fuentes Móviles.

La Localidad de Kennedy presenta un alto flujo vehicular, entre los cuales se encuentran vehículos de servicio público, vehículos de carga, vehículos particulares y motocicletas que generan emisiones de material particulado.

Para estimar las emisiones de material particulado en la flota vehicular que circula en el distrito capital, la SDA realizó en 2012, 2013 y 2014, mediciones directas en los mismos automotores, de acuerdo a: modelo (año), categoría (tipo de vehículo), tipo de combustible (gasolina, ACPM, gas), tecnología (inyección o carburador) y cilindraje. Es de anotar que la muestra se tomó de los modelos vehiculares pertenecientes del 1980 al 2014. En la tabla 10 se presentan los factores de emisión de material particulado menor a 2,5 micras (PM_{2,5}) asociados a las diferentes categorías vehiculares.

Tabla 10. Factores de emisión de PM de acuerdo a la categoría vehicular.

Categoría Vehículo	Factores de Emisión PM _{2,5} (g/Km)
Carros (Automóviles Gasolina)	0,003
Carros (Automóviles Gasolina placa blanca)	0,003
Camperos y camionetas con catalizador	0,003
Camperos y camionetas sin catalizador	0,003
Camperos y camionetas Diesel	0,10
Camperos y camionetas con gas natural vehicular	0,023
Motocicletas 4 tiempos (< 150 C.C.)	0,008
Motocicletas 4 tiempos (> 150 C.C.)	0,016
Motos 2 tiempos	0,221
Microbús Euro II y III	0,03
Buseta Euro II y III	0,26
Buseta Euro IV	0,06
Buseton Euro II y III	0,26
Buseton Euro IV	0,12
Buseton Euro V	0,12
Padrón Euro IV	0,09
Padrón Euro V	0,09
Taxis	0,00342

Fuente. [53]

Para determinar la emisión de material particulado generada por fuentes móviles en la Localidad de Kennedy es necesario contar con los datos del aforo vehicular para

2013. La Secretaría Distrital de Movilidad (SDM) realiza permanente el aforo vehicular en 36 estaciones maestras localizadas estratégicamente en las principales vías de la ciudad, en donde realizan conteo de los carros livianos, motos, bicicletas, colectivos, buseta/buseton, buses, alimentadores, articulados, biarticulados y camiones (camión de 2 ejes pequeño, camión de 2 ejes grande, camión de 3 ejes, camión de 4 ejes, camión de 5 ejes y camión de más de 5 ejes) que transitan durante el día en estos puntos [54].

La SDM cuenta con tres puntos de aforo vehicular en las principales vías de la localidad de Kennedy; sin embargo, debido a la cercanía de la Localidad de Fontibón con la zona de estudio se toman además dos puntos de aforo ubicados en dicha Localidad. En la tabla 11 se relacionan la localidad y las direcciones de los puntos de aforo.

Atendiendo a esta información se estableció que el análisis de las emisiones de $PM_{2,5}$ por fuentes móviles en Kennedy se realizara en las vías: Avenida carrera 86, Avenida carrera 72, Avenida carrera 80, Avenida calle 55 sur, Avenida carrera 68, Avenida calle 45 A sur y Avenida calle 26 sur (Ilustración 7).

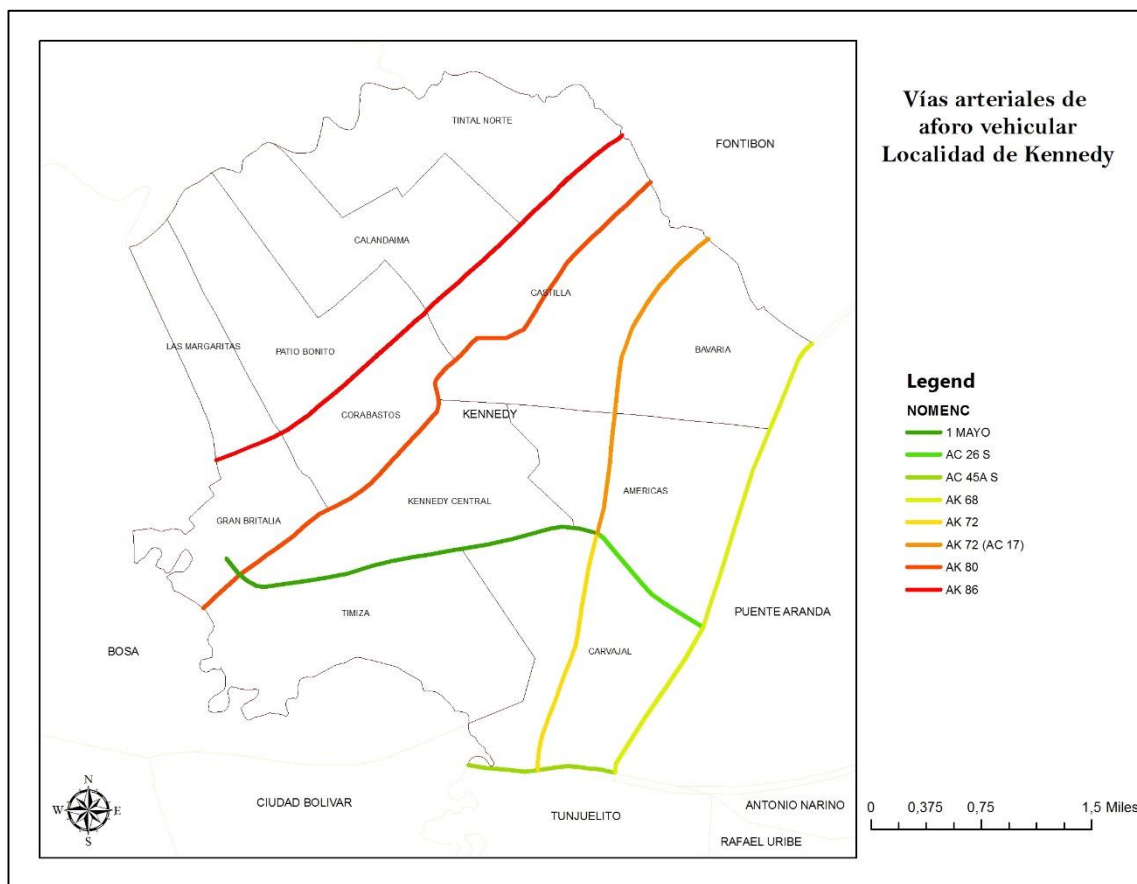


Ilustración 7. Vías de referencia para el análisis de emisión de material particulado por fuentes móviles en la localidad de Kennedy. Año 2013.

Fuente: Autor

Tabla 11. Puntos de Aforo Vehicular.

Punto	Localidad	Dirección
1	Fontibón	AK_86_x_AC_17
2	Fontibón	AK_72_x_AC_17
3	Kennedy	AK_80_x_AC_55S
4	Kennedy	AC_45A_S_x_AK_68
5	Kennedy	AK_72_X_AC_26S

Fuente. [54]

Al relacionar las categorías vehiculares que monitorean SDA y SDM se obtienen las fuentes de emisión móviles dentro de la Localidad de Kennedy con su respectivo factor de emisión de PM_{2,5} (tabla 13). Es preciso mencionar que la SDM realiza el monitoreo vehicular de acuerdo al tipo de vehículo y no al tipo de la tecnología

como se requiere para cálculo de emisiones vehiculares. En este orden de ideas se asocian los factores de emisión de la tabla 10 dados por la SDA a los diferentes tipos de vehículo definidos en el conteo efectuado por SDM en 2013 (ver tabla 12).

Tabla 12. Factores de emisión de $PM_{2,5}$ en la flota vehicular en la Localidad de Kennedy.

Tipo de Vehículo	Categoría Vehículo	Emisión $PM_{2,5}$ (g/Km)
Carros Livianos	Automóviles Gasolina y Automóviles Gasolina placa blanca.	0,003
Motos	Motocicletas 4 tiempos (< 150 C.C.), Motocicletas 4 tiempos (> 150 C.C.) y Motos 2 tiempos.	0,082
Buseta/Buseton	Buseton Euro II y III.	0,16
Buses	Buseta Euro II y III	0,26
Alimentador	Buseton Euro IV y Euro V	0,12
Articulado/Biarticulado	Padrón Euro IV y Euro V	0,09
Colectivo	Microbús Euro II y III	0,03

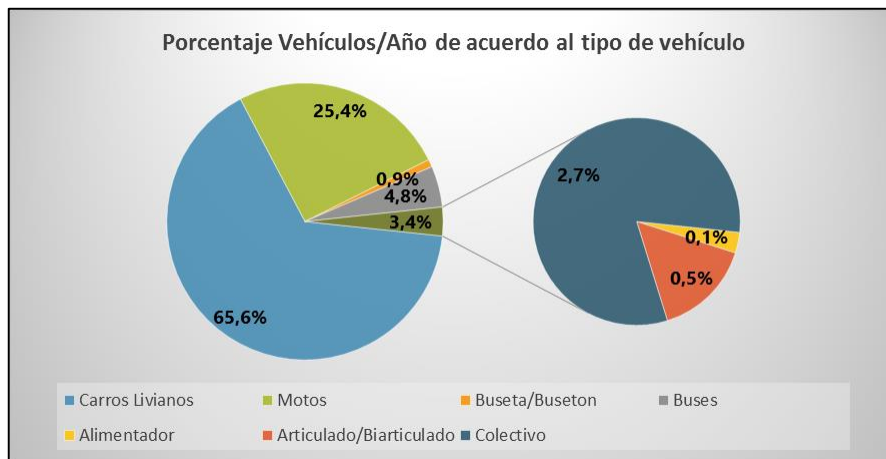
Fuente: [53], [54].

En 2013 transitaron un total de 229.630.260 vehículos (representa la suma de los vehículos que transitaron por ambos carriles en la zona de estudio), en donde el mayor porcentaje de vehículos transitados correspondieron a carros liviano y motos, y el menor porcentaje a buses alimentadores, articulados y biarticulados (Gráfica 3). En la tabla 13 se relaciona la cantidad de vehículos que transitaron en las vías de estudio en 2013 de acuerdo al tipo de vehículo.

Tabla 13. Tipo y cantidad de vehículos que transitaron en el año 2013 en las principales vías de la localidad de Kennedy.

Tipo de Vehículo	Cantidad/año
Carros Livianos	150.608.490
Motos	58.284.295
Buseta/Buseton	2.012.245
Buses	11.025.190
Alimentador	248.565
Articulado/Biarticulado	1.177.855
Colectivo	6.273.620

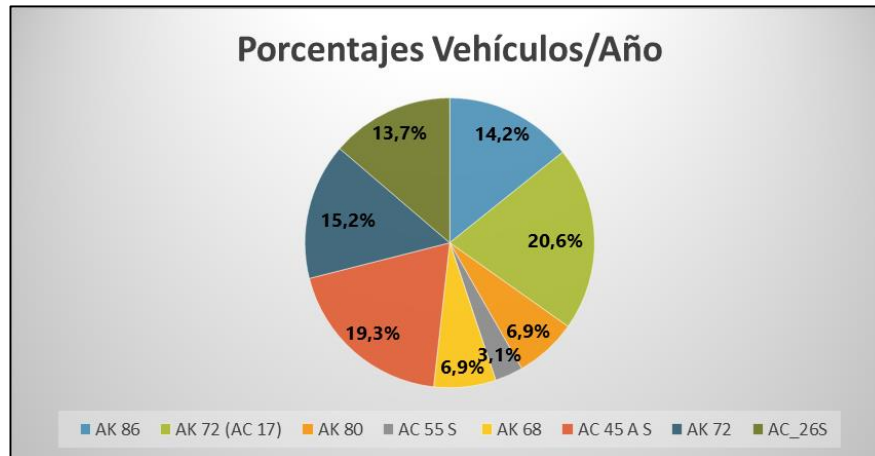
Fuente: [54].



Gráfica 3. Porcentaje de vehículos que transitaron en la localidad de Kennedy en sus principales vías según el tipo. Año 2013.

Fuente: Autor

Con relación a los vehículos que transitan en las vías de la localidad, la Avenida carrera 72 cerca de la Avenida calle 17 y la Avenida calle 45 A sur presentaron el mayor porcentaje y la Avenida calle 55 sur presentó el menor porcentaje con relación a los otros ejes vehiculares (Gráfica 4).



Gráfica 4. Porcentaje de vehículos que transitaron en la localidad de Kennedy en sus principales vías. Año 2013

Fuente: Autor

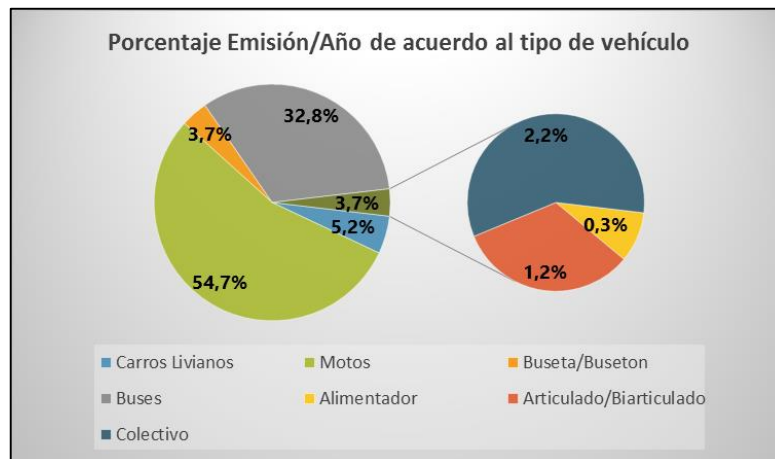
La Localidad de Kennedy es conocida por tener la principal plataforma de abastecimiento de alimentos del país, en la que diariamente ingresan vehículos de carga provenientes de diferentes sectores; La Corporación de Abastos de Bogotá "CORABASTOS". En 2013 ingresaron aproximadamente 3.787.051 vehículos [55] que

fueron clasificados en cinco categorías; *Categoría 1*: Tractomulas de 36 Ton (0,7%), *Categoría 2*: Turbos de 10 Ton (14,8%), *Categoría 3*: Turbos de 6 Ton (5,6%), *Categoría 4*: vehículos de 2 a 5 ton (39,7%) y *Categoría 5*: Automóviles (39,2%). (Anexo 11)

Diferentes estudios han hallado factores de emisión de material particulado proveniente de vehículos de carga (camiones), pero debido a la complejidad de la caracterización de la flota vehicular en el sector no se puede asignar estos factores de emisión a las categorías anteriores debido a que no se conoce el año específico y la tecnología de esta flota.

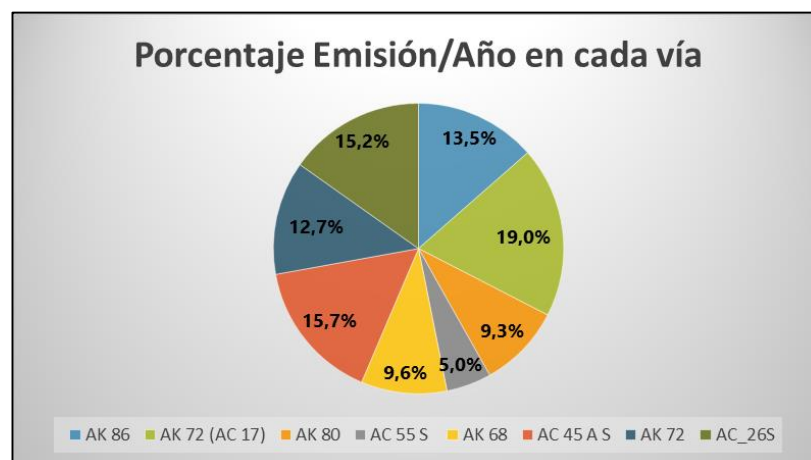
Al realizar una visita de campo en la zona se aprecia la variedad de vehículos que ingresan a la corporación y se destaca que varios de estos vehículos llevan muchos años en funcionamiento y presentan un deterioro en la maquinaria, por lo que esto puede ejercer influencia sobre la emisión de material particulado en la zona de estudio. Además es importante considerar que los vehículos de la categoría tres, cuatro y cinco son aquellos que se desplazan dentro de la localidad abasteciendo el comercio local, por consiguiente las emisiones provenientes de estos vehículos pueden estar en contacto de forma más directa con la población y posiblemente generar una afectación a la salud. Esto sería muy importante evaluarlo en futuros estudios.

Teniendo el resultado de la cantidad de vehículos que transitaron por tipo y por vía, se multiplica este valor por el factor de emisión de $PM_{2,5}$ (tabla 12) y se obtiene que para 2013 la flota vehicular emitió un total de **8743,69 g/m** de material particulado. En donde la mayor concentración emitida de $PM_{2,5}$ según el tipo de vehículo corresponde a motos con 4779,3 g/m y a buses con 2866,5 g/m. Y según la vía en la que transita corresponde a la Avenida carrera 72 cerca de la Avenida calle 17 con 1664,3 g/m, la Avenida calle 45 A sur con 1376,1 g/m, la Avenida carrera 86 con 835,6 g/m y la Avenida calle 26 sur con 1328,6 g/m; Gráfica 5 y 6.



Gráfica 5. Porcentaje de emisión de $PM_{2,5}$ en la localidad de Kennedy según el tipo de vehículo. Año 2013

Fuente: Autor



Gráfica 6. Porcentaje de emisión de $PM_{2,5}$ en la localidad de Kennedy en cada vía. Año 2013

Fuente: Autor

En los anexos 7 y 8 se relacionan la cantidad de vehículos que transitan en las vías estudiadas y el factor de emisión de $PM_{2,5}$ de cada fuente móvil por distancia unitaria para 2013 en las vías seleccionadas.

En la ilustración 8 se observa geográficamente el comportamiento del $PM_{2,5}$ emitido por las fuentes vehiculares en las vías de estudio. Para relajar este análisis se estimó un radio de influencia de la emisión de 200 m desde el centro de la vía y no toda la localidad, debido a que el comportamiento del material particulado emitido puede variar dependiendo de los vehículos que transitan por las vías locales e intermedias y de las condiciones meteorológicas que se presentan durante todo el año. Para 2013

la vía que presentó mayor emisión de $PM_{2,5}$ con valores entre 1.460 g/m hasta 1.664 g/m, por fuentes vehiculares fue la avenida carrera 72 que pasa por las UPZ de Américas y Bavaria, seguido por las avenidas calle 45 A S y la calle 26 S con una emisión que va desde los 1255,7 g/m hasta 1460 g/m.

En el anexo 9 se muestra geográficamente el comportamiento del $PM_{2,5}$ emitido por cada tipo de vehículo dentro de la localidad. Las motos presentaron una mayor emisión de material particulado, en donde se concentró principalmente en la avenida carrera 72 que pasa por las UPZ de Américas y Bavaria; entre 882,9 g/m hasta 1026,4 g/m. Seguida por los buses, en donde se presentó una mayor emisión en la avenida calle 26 S con valores entre 536,5 g/m hasta 599,3 g/m. Los alimentadores presentaron las menores emisiones de $PM_{2,5}$, en donde los valores oscilan entre 0 g/m hasta 16 g/m.

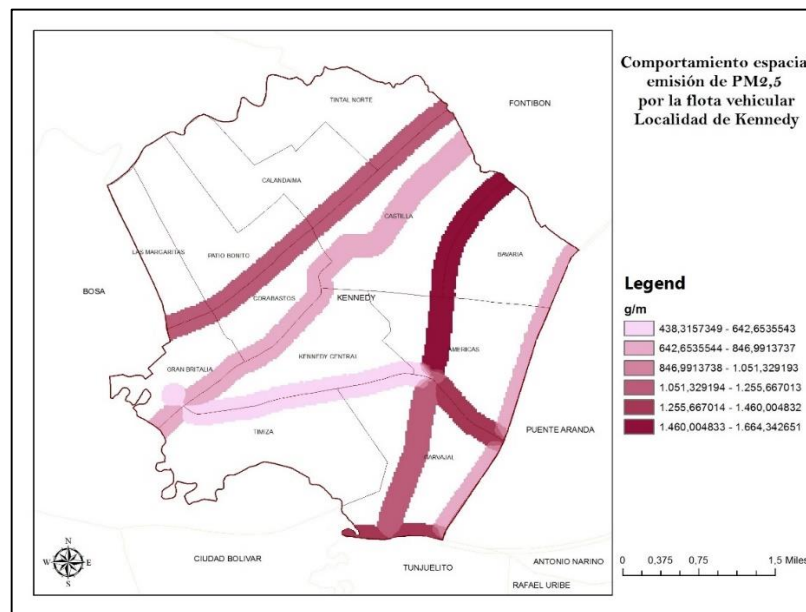


Ilustración 8. Comportamiento del $PM_{2,5}$ emitido por la flota vehicular en la localidad de Kennedy. Año 2013.

Fuente. Autor

Para estimar la concentración a nivel del suelo de $PM_{2,5}$ en la dirección del viento se utilizó la ecuación 3, en donde al contar con la información de altura promedio de descarga del contaminante de 0,30 metros, la distancia desde el centro de la vía, la velocidad del viento, la desviación estándar vertical y la emisión de material particulado en el año de estudio se calculó este valor para cada vía y tipo de vehículo (Anexo 10). Según los resultados obtenidos al aumentar la distancia desde el centro

de la vía hasta dos kilómetros la concentración de $PM_{2,5}$ emitido por cada tipo de vehículo estudiado se reduce a valores que oscilan entre los $9,244E-07$ g/m^3 hasta $0,0448$ g/m^3 según va aumentando la distancia. Y para el total de vehículos para cada vía la concentración de $PM_{2,5}$ emitido se reducen a valores que oscilan entre $0,00125$ g/m^3 hasta $0,0727$ g/m^3 .

Al analizar estos resultados geográficamente y teniendo en cuenta la rosa de los vientos para 2013, se puede concluir que el material particulado emitido se desplazó principalmente hacia las UPZ ubicadas en la zona noroeste de la localidad (ilustración 9); la concentración a nivel del suelo de $PM_{2,5}$ en cada distancia tomada desde el centro de las vías se ubica hacia el lado noroeste de estas.

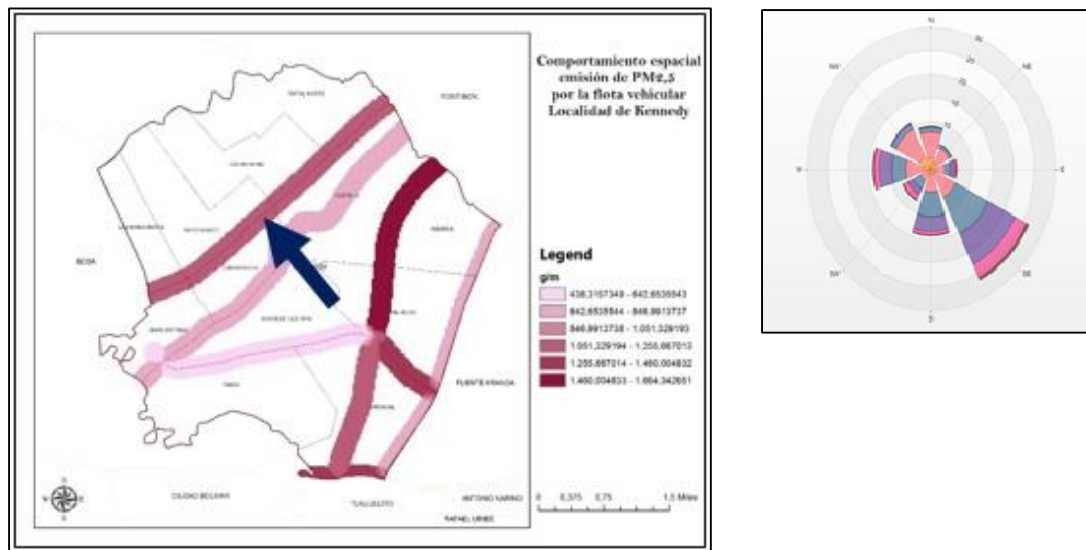


Ilustración 9. Proyección geográfica del desplazamiento del $PM_{2,5}$ dentro de la Localidad de Kennedy. Año 2013.

Fuente. Autor

9.2.3. Fuentes Fugitivas.

Para el cálculo de las emisiones de partículas de tráfico de no escape en la malla vial se determina el factor de emisión a partir del contenido de limos en la superficie de la vía.

La Universidad de la Salle en convenio con la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá en el contrato 1467 de 2013 para el desarrollo de actividades de ciencia y tecnología determinaron el contenido de limos en vías pavimentadas (Cs) y en vías no pavimentadas (S) en la ciudad de Bogotá mediante campañas de muestreo que se llevaron a cabo para la mediación de material resuspendido por circulación de

vehículos en las vías. En total fueron monitoreados 45 puntos en toda la ciudad (Anexo 12 y 13); 30 de estos corresponden a vías pavimentadas y 15 a vías no pavimentadas.

A partir de los valores obtenidos y lo observado en campo por parte del personal de la Universidad de la Salle a la hora de hacer los muestreos, clasificaron el contenido de limos en la superficie de la vía según el estado de estas sin diferenciar el tipo de superficie (asfalto, lozas de concreto). En la tabla 14 se especifica los valores de los Cs promedio de acuerdo al estado de la vía, las cuales fueron clasificadas entre buena, regular y mala.

De acuerdo a estudios realizados por los ingenieros Hugo Rondón Quintana y Fredy Reyes Lizcano se tiene que los factores más importantes para el deterioro de la malla vial son las cargas impuestas por el tránsito, las condiciones ambientales (principalmente temperatura y precipitación) a las cuales se encuentra sometida la estructura, el tipo de suelo o terreno de fundación, la calidad de los materiales y deficiencias durante el proceso constructivo. Las dos principales causas de deterioro son la fatiga y exceso de deformación permanente. La fatiga ocurre en las capas ligadas, y para el caso de estructuras flexibles, se presenta cuando se generan valores altos de deformación a tracción en la zona inferior de la capa asfáltica. Este tipo de deformación es asociado a la respuesta resiliente que presenta la estructura cuando se mueven las cargas vehiculares. La deformación permanente es la deformación vertical residual que se va acumulando debido al paso de los vehículos la cual puede generar fallas estructurales o funcionales en el pavimento [56].

El Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) clasifica el estado de la malla vial de acuerdo al Índice de Condición del Pavimento (“Pavement Condition Index - PCI”); parámetro que permite calificar la condición superficial de la estructura del pavimento [57]. El PCI proporciona una calificación numérica por la condición de los segmentos de carretera en la red de carreteras, donde 0 es la peor condición posible y 100 es la mejor. El PCI mide dos condiciones, una es el tipo, extensión, gravedad de las grietas y deterioro de la superficie del pavimento y el otro es la suavidad y confort de marcha de la carretera [58]. Para Bogotá en 2013 el Índice de Condición de Pavimento fue medido así: $PCI \leq 25$; Vías en mal estado, $26 \leq PCI \leq 55$; Vías en regular estado y $PCI \geq 56$; Vías en buen estado.

Tabla 14. Valores de Cs de acuerdo al estado de la vía

Cs promedio (g/m ²)	Estado vía	Estado vía*
---------------------------------	------------	-------------

2,8	Bueno	Bueno
5,3	Regular	Regular
8,3	Regular/malo	
13,3	Malo	Malo

Fuente. [59]

Con los datos anteriores, se evidencia que existe una relación entre el estado de la vía y los resultados de Cs promedio. En donde a medida que el valor de Cs aumenta, el estado de la vía pasa de bueno a malo; dependiendo del estado de la vía se acumula más material particulado que puede ser resuspendido por la flota vehicular que circula por estos tramos.

En Kennedy se encuentra un total de 2175 segmentos viales (Ilustración 10), que se clasifican según el estado de la vía. En la gráfica 7 se evidencia que el estado que presentó un mayor porcentaje fueron los segmentos de estado malo; principalmente se encuentran ubicados en las UPZ de Patio Bonito, Gran Britalia y Carvajal (Ilustración 11), seguido de los segmentos de estado regular; se encuentran ubicados en su mayoría en las UPZ de Patio Bonito, Timiza y Castilla (Ilustración 12) y finalmente se encuentran los segmentos de estado bueno que se encuentran ubicados en su mayoría en las UPZ de Kennedy Central, Carvajal, Timiza, Corabastos, Américas y Patio Bonito (Ilustración 13).

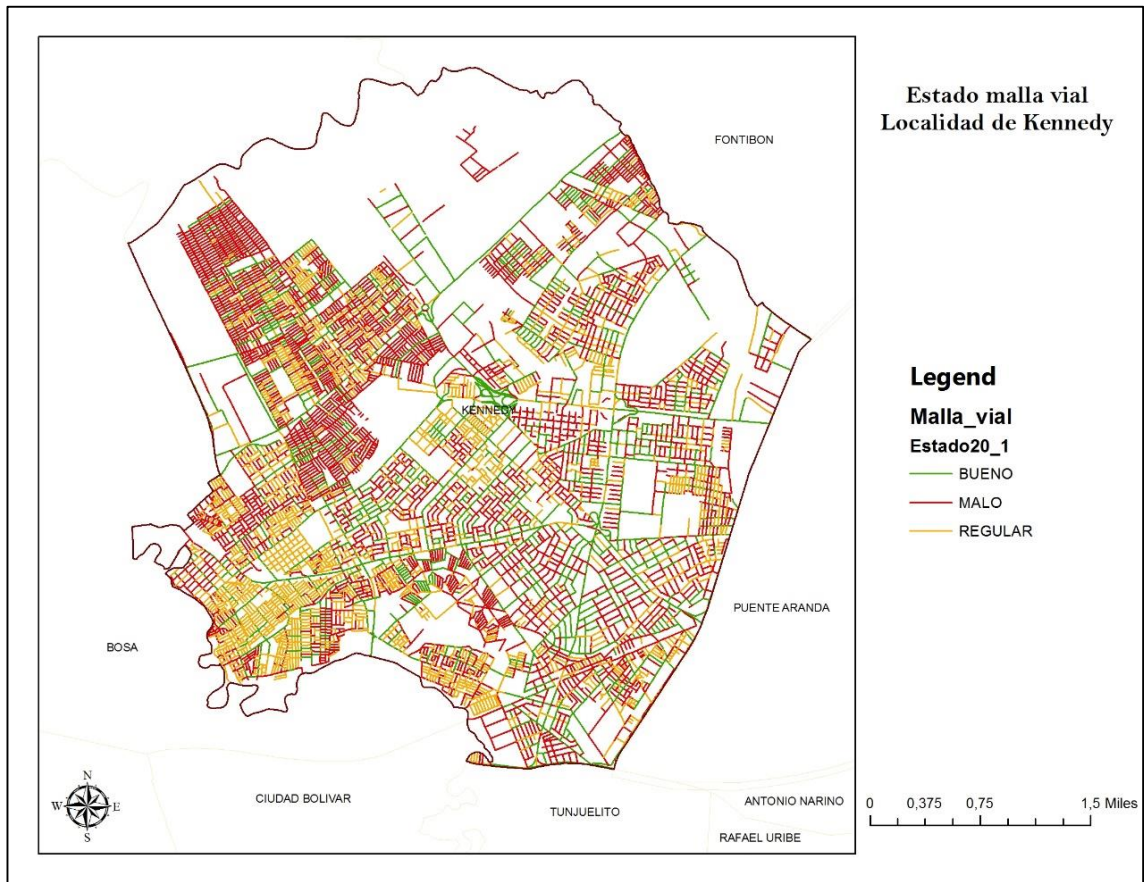
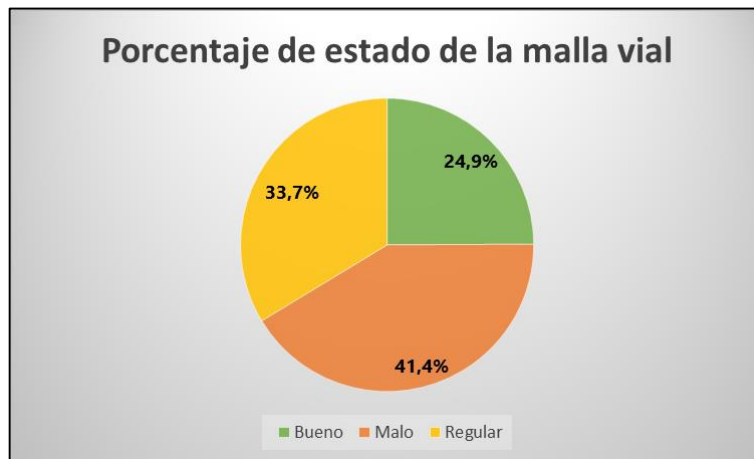


Ilustración 10. Clasificación de la malla vial según el estado de la vía en la localidad de Kennedy.



Gráfica 7. Porcentaje de estado de la malla vial localizada dentro de la localidad de Kennedy. Año 2013.

Fuente. Autor

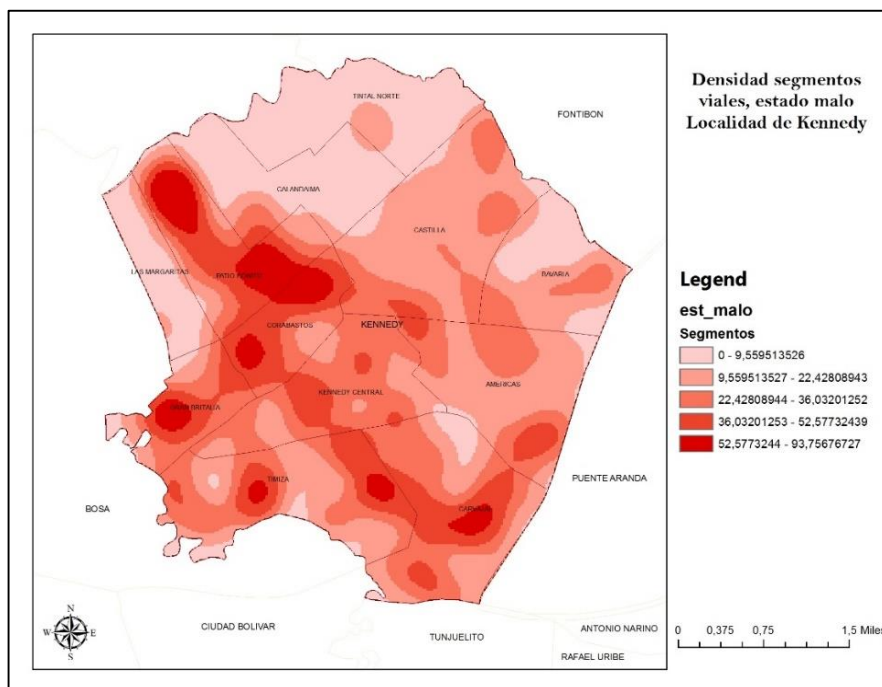


Ilustración 11. Densidad de segmentos viales de estado malo por UPZ dentro de la localidad de Kennedy.
Fuente. Autor

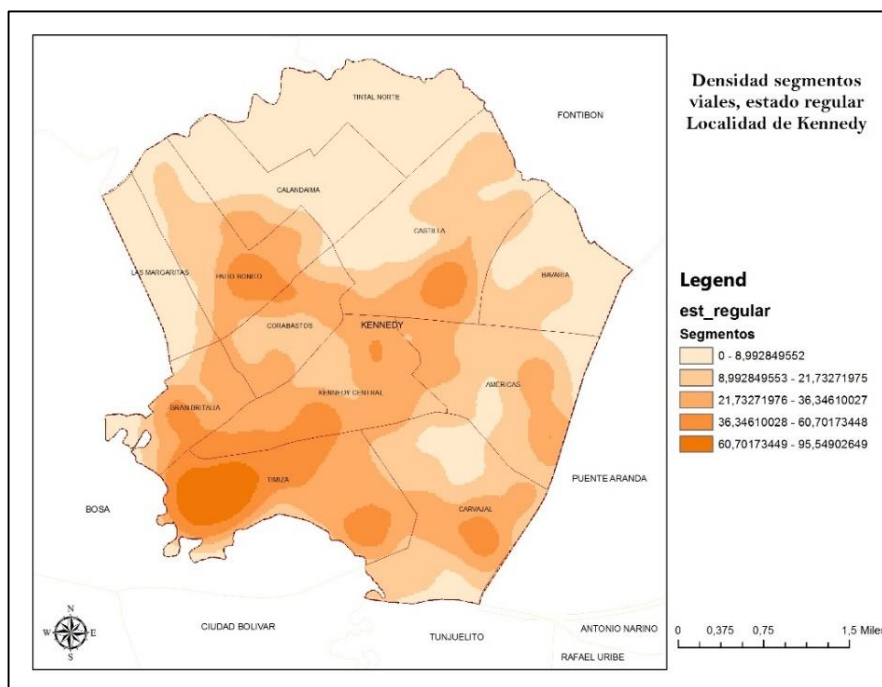


Ilustración 12. Densidad de segmentos viales de estado regular por UPZ dentro de la localidad de Kennedy.
Fuente. Autor

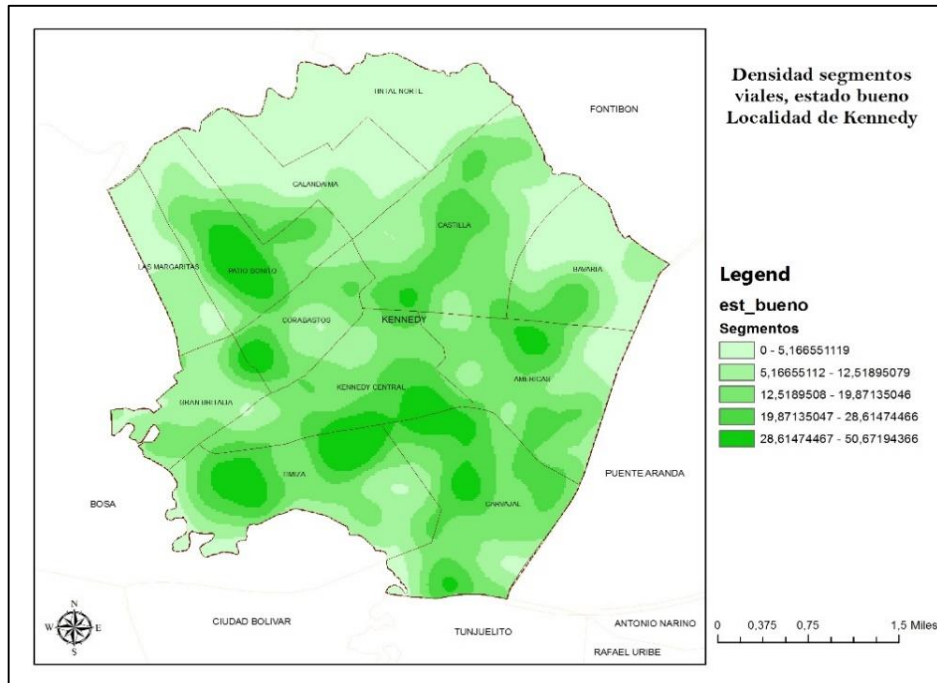


Ilustración 13. Densidad de segmentos viales de estado bueno por UPZ dentro de la localidad de Kennedy
Fuente. Autor

Para el caso de estudio se toma que todas las vías dentro de la localidad son pavimentadas y se clasifican en estado bueno, regular y malo. Esto debido a que la información suministrada por el IDU especifica el estado de las vías en toda la localidad, pero no si son pavimentadas o no.

De acuerdo con la ecuación 5 se establece el factor de emisión de las vías pavimentadas en Kennedy teniendo en cuenta las variables del coeficiente de ajuste de tamaño de partícula para rangos de tamaño de partícula, contenido de limos, peso promedio de la flota vehicular, factor de emisión para flota de vehículos por uso de llantas, frenos y exhosto, número de horas húmedas y número de horas en el período promedio, es decir para 2013.

El coeficiente de ajuste de tamaño de partículas (tabla 15) para diferentes rangos de tamaño es dado por la metodología de la EPA, en donde para el caso de estudio se utilizó:

Tabla 15. Coeficientes de ajuste de tamaño de partículas para el cálculo de emisiones en vías pavimentadas.

Rango de tamaño	K (lb/VKT)	K (g/VKT)
Pm _{2,5}	0,0024	1,1
Pm ₁₀	0,0101	4,6

Fuente. [60]

Según la metodología de la EPA, el valor del factor de emisión por uso de llantas, frenos y exhosto se tomara del año de referencia (1980); estos valores fueron corregidos en 2002 por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América. En la tabla 16 se observa el factor de emisión según el rango de tamaño aerodinámico.

Tabla 16. Factores de emisión por uso de llantas, frenos y exhosto para la flota de vehículos.

Rango de tamaño	C (lb/VKT)	C (g/VKT)
Pm _{2,5}	0,0036	0,1617
Pm ₁₀	0,0047	0,2119

Fuente. [60], [31]

Durante el muestreo para determinar el contenido de limos en las vías seleccionadas se observa también el número de carros que circularon diariamente por estas en 2013. Aproximadamente transitaron 170.440 vehículos, entre los que se encuentran colectivos, busetas, buseton, buses, buses alimentadores, buses especiales, buses intermunicipales, camiones de 2 ejes pequeño, camiones de 2 ejes grande, camiones de 3 y 4 ejes, camiones de 3 y 4 ejes, camiones de 5 ejes, camiones de más de 5 ejes y motos [61]. El peso de cada tipo de vehículo que tránsito en las zonas de muestreo se encuentran descritos en la tabla 17, en donde al sacar un promedio de estos se determinó la variable W "Peso promedio de los vehículos que se desplazan en la vía".

Tabla 177. Peso promedio de los vehículos que se desplazan en la vía (Toneladas).

Tipo de Vehículo	W (Ton)
Automóvil	1,6
Colectivos	2,4
Buseteta/Buseton	8,2
Buses	14,5
Alimentador	14,5
Bus Especial	8,2

Bus Intermunicipal	14,5
Camiones de 2 ejes pequeño	4,6
Camiones de 2 ejes grande	8,5
Camiones de 3 y 4 ejes	28,0
Camiones de 5 ejes	35,0
Camiones de más de 5 ejes	40,0
Motos	0,2
Promedio	13,9

Fuente. [61]

Con relación a los datos obtenidos anteriormente y los datos de estabilidad atmosférica en la zona de estudio para 2013, se calcula el factor de emisión para los diferentes estados viales, obteniendo:

Tabla 18. Factores de emisión (FE) de los diferentes estados viales.

Estado de la Vía	FE (g/VKT)	
	PM _{2,5}	PM ₁₀
<i>Bueno</i>	9,3	39,1
<i>Regular</i>	16,6	69,7
<i>Malo</i>	25,7	108,0

Fuente. Autor

Tabla 19. Factores de emisión (FE) de los diferentes estados viales para el año 2013.

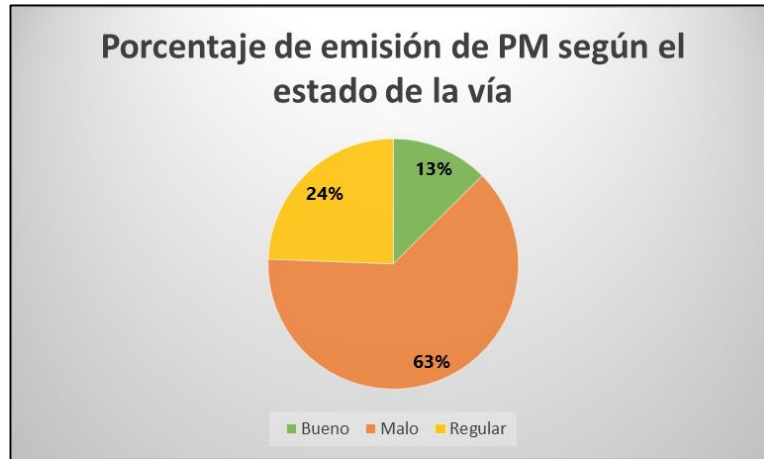
Estado de la Vía	FE (g/VKT)	
	PM _{2,5}	PM ₁₀
<i>Bueno</i>	81468	342516
<i>Regular</i>	145416	610572
<i>Malo</i>	225132	946080

Fuente. Autor

Para determinar la emisión total que se presentó en las vías pavimentadas en la Localidad de Kennedy se multiplica el factor de emisión por la distancia (Km) de la vía para cada estado de la malla vial. Se obtiene como resultado que para el año de estudio se emitió 121.430.997,2 g/VKT de PM_{2,5} y 510.218.911,1 g/VKT de PM₁₀; esto equivale a **121, 43 Ton/VKT** y **510,22 Ton/VKT** respectivamente.

El estado de la vía que emitió más material particulado tanto PM_{2,5} como PM₁₀ fue el estado malo con un 63%, seguido del regular. Este resultado tiene mucha relación con el porcentaje de malla vial en estado malo que se encuentra dentro de la

localidad, ya que resulta siendo de 41,4%, seguido por el estado vial regular (Gráfica 7).



Gráfica 8. Porcentaje de emisión de material particulado según el estado de la vía en la localidad de Kennedy. Año 2013.

Fuente. Autor

Al analizar el comportamiento del PM_{2,5} y del PM₁₀ dentro de la localidad, se evidencia que para ambos casos la mayor emisión se encuentra en las UPZ de Corabastos, Castilla, Calandaima, Kennedy Central, Patio Bonito y Américas (Ilustración 14 y 15). Aunque estas no se ubican en un lugar específico, los mayores valores y en mayor proporción se encuentran en estas UPZ.

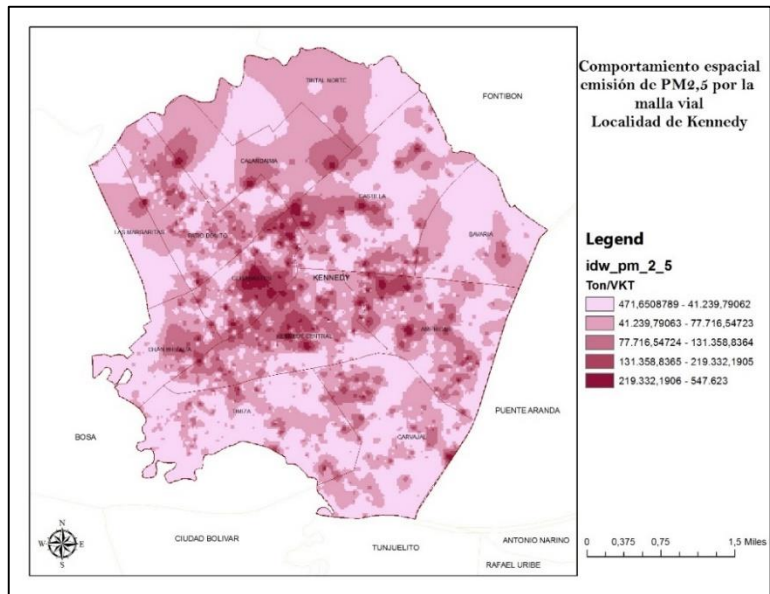


Ilustración 14. Comportamiento del PM_{2,5} emitido por la malla vial en la localidad de Kennedy. Año 2013
Fuente. Autor

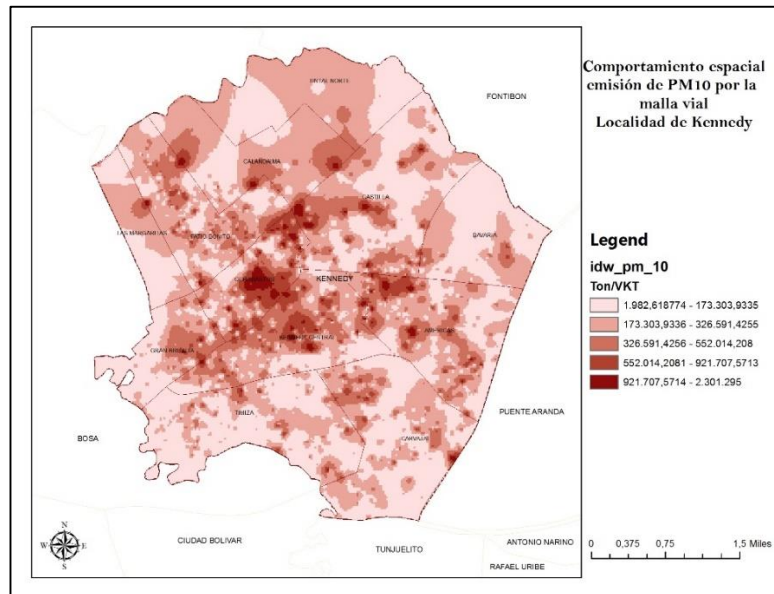


Ilustración 15. Comportamiento del PM₁₀ emitido por la malla vial en la localidad de Kennedy. Año 2013
Fuente. Autor

Es importante destacar que el lugar donde se observa una mayor concentración de material particulado se encuentra ubicado en la Corporación de Abastos S.A, la cual oscila entre 131358,8 hasta 547623 Ton/VKT para PM_{2,5} y entre 552014,2 hasta

2301295 Ton/VKT para PM₁₀. Por consiguiente se decidió realizar una visita de campo para verificar el estado de la malla vial y la influencia que esta presenta en las emisiones de material particulado.

Se observó que las vías se encuentran en buen estado dado que la corporación realizó la construcción y mejoramiento de la malla vial en tres fases, la cual finalizó en los primeros meses del 2013 (Ilustración 16). En estas mejoras se consideraron especificaciones técnicas para tráfico pesado que garantiza altos estándares de calidad, además elaboraron mejoramiento de suelos de fundación con el fin de controlar deformaciones en las capas superiores y garantizar la estabilidad de la estructura, lo cual permite que la obra sea adecuada para el alto tráfico y las grandes cargas de la central de abastos [62].



Ilustración 16. Estado de la malla vial en la Corporación de Abastos de Bogotá. Localidad de Kennedy. Año 2013.

Fuente. [62]

Posteriormente se procedió a identificar el estado de las vías aledañas a la corporación y se encontró que un gran porcentaje de estas se encuentra en estado malo en área de influencia directa de la UPZ de Patio Bonito y de la UPZ de Corabastos se encuentran en estado regular (Ilustración 17). Por consiguiente, se puede concluir que el estado de las vías aledañas a la Corporación de Abastos S.A y las condiciones meteorológicas que se presentaron en la localidad en 2013 contribuyen propiciando a que el PM_{2,5} y del PM₁₀ se concentrara en la zona de Corabastos.



Ilustración 17. Estado de la malla vial por los alrededores de Corabastos. Localidad de Kennedy.

Fuente. [63]

9.3. Ausentismo Escolar por Enfermedades Respiratorias.

La Secretaría Distrital de Integración Social (SDIS) contó en 2013 con 39 jardines infantiles (Ilustración 18) que atendieron sala maternal (SM), párvulos (PV), prejardín (PJ) y jardín (J), con una cobertura para 5323 niños entre cero (0) y cinco (5) años de edad dentro de la localidad. De estos jardines nueve (9) pertenecen a la modalidad de servicio "Acunar"; solo atendieron sala maternal y párvulos. En la tabla 20 se especifica la cantidad de jardines que se encontraban en las diferentes UPZ de la localidad, siendo la UPZ de Patio Bonito con el mayor número de jardines, seguida por la de Timiza. Las UPZ de Tintal Norte, Bavaria y Las Margaritas no tenían ubicado ningún jardín en el año de estudio.

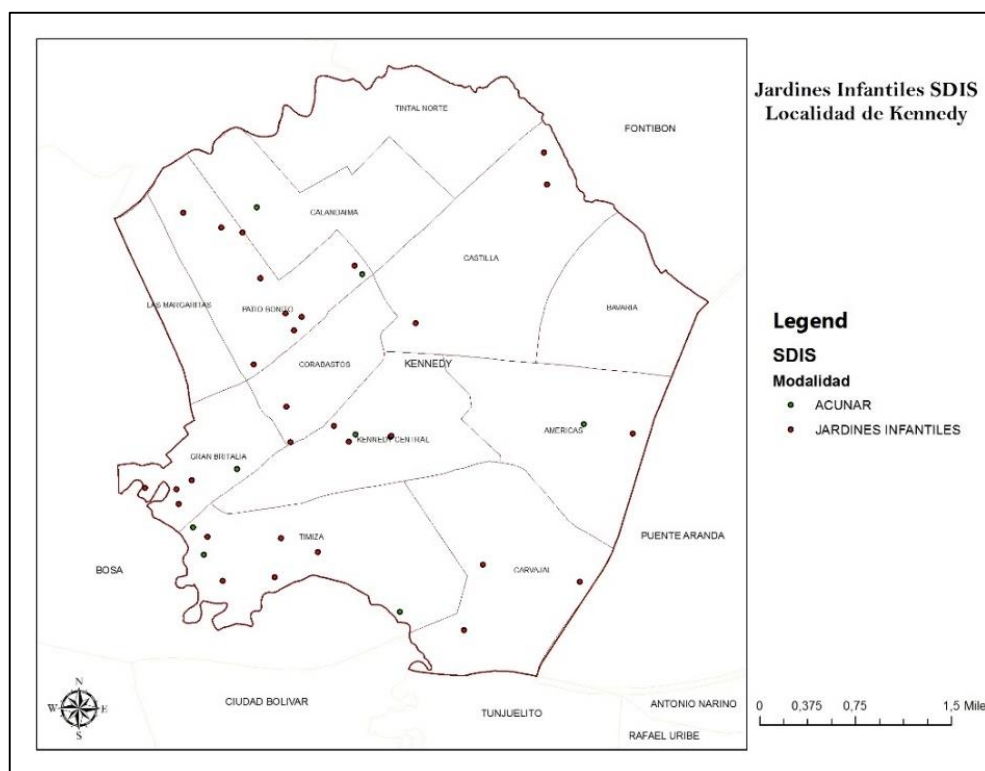


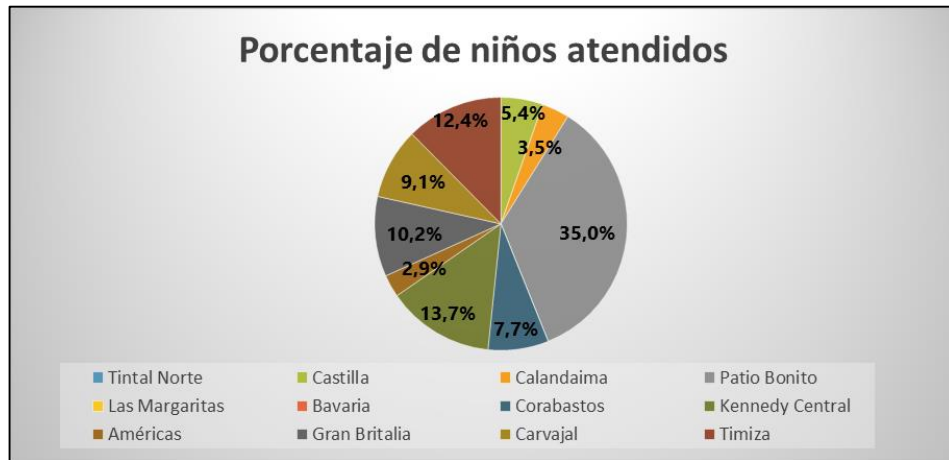
Ilustración 18. Jardines infantiles ubicados dentro de la localidad de Kennedy. Año 2013.
Fuente. Autor

Tabla 200. Número de jardines infantiles por UPZ dentro de la localidad de Kennedy. Año 2013.

#	UPZ	Número de Jardines
78	Tintal Norte	0
46	Castilla	3
79	Calandaima	1
82	Patio Bonito	10
83	Las Margaritas	0
113	Bavaria	0
80	Corabastos	2
47	Kennedy Central	5
44	Américas	2
81	Gran Britalia	5
45	Carvajal	3
48	Timiza	8

Para 2013 los jardines infantiles atendieron a un total de 6117 niños que pertenecen principalmente al régimen subsidiado [64]. Los jardines que atendieron a más niños fueron los ubicados en la UPZ de Patio Bonito con un total del 35% de atenciones

con relación al total en toda la localidad, seguido por la UPZ de Kennedy Central con el 13,7% y Timiza con el 12,4% de atenciones (Gráfica 9).



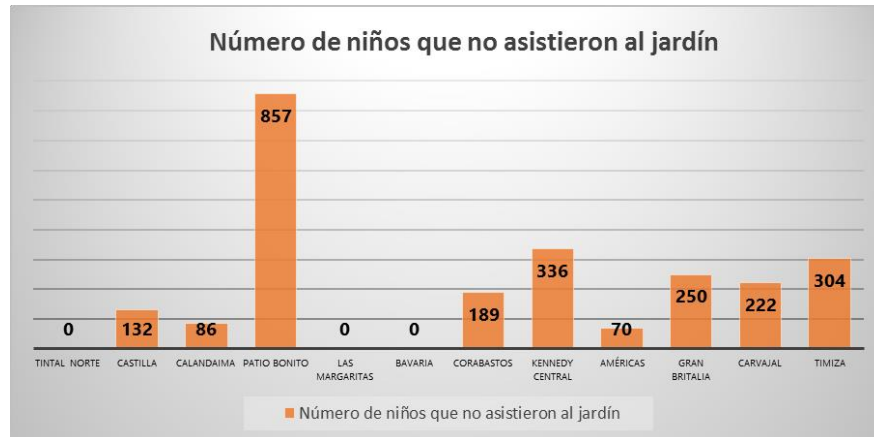
Gráfica 9. Porcentaje de niños atendidos en los jardines infantiles en la cada UPZ de la localidad. Año 2013.

Fuente. Autor

Debido a que la SDIS para el año de estudio no contaban con los listados de ausentismo escolar de los niños, ni tampoco un listado de enfermedades respiratorias presentadas en la población durante este periodo, se determina el ausentismo escolar con base al estudio realizado por la Secretaría de Salud (SDS), en donde especifican que: "En Bogotá los estudios realizados por la SDS muestran que por cada 10 microgramos por metro cubico que aumenta el material particulado, se puede incrementar hasta en un 20% las consultas por ERA en menores 5 años. Así mismo que un incremento entre 10 a 20 microgramos por metro cubico está asociada con un 40 % de ausentismo escolar en población más expuestas por enfermedades respiratorias" [44].

De acuerdo a la Resolución 610 de 2010, el nivel máximo permisible en un tiempo de exposición anual para PM_{10} es $50 \mu g/m^3$. En el año de estudio la RMCAB registró que las mayores concentraciones de PM_{10} promedio anuales se presentaron en las estaciones Carvajal y Kennedy, teniendo la última un promedio anual de $71 \mu g/m^3$ [51]; en 2013 el PM_{10} registrado en la localidad de Kennedy excedió $21 \mu g/m^3$, según la norma anual. Por consiguiente, se concluye que en la localidad se presentó un ausentismo escolar del 40% por enfermedades respiratorias en la población más expuesta. Con relación a lo anterior, en 2013 en los jardines infantiles de la SDIS en

la localidad de Kennedy 2447 niños no asistieron por presentar enfermedades respiratorias, de los cuales 857 asistieron a jardines ubicados en la UPZ de Patio Bonito (Gráfica 10).



Gráfica 10. Número de niños que no asistieron al jardín por enfermedades respiratorias en la localidad de Kennedy. Año 2013.

Fuente. Autor

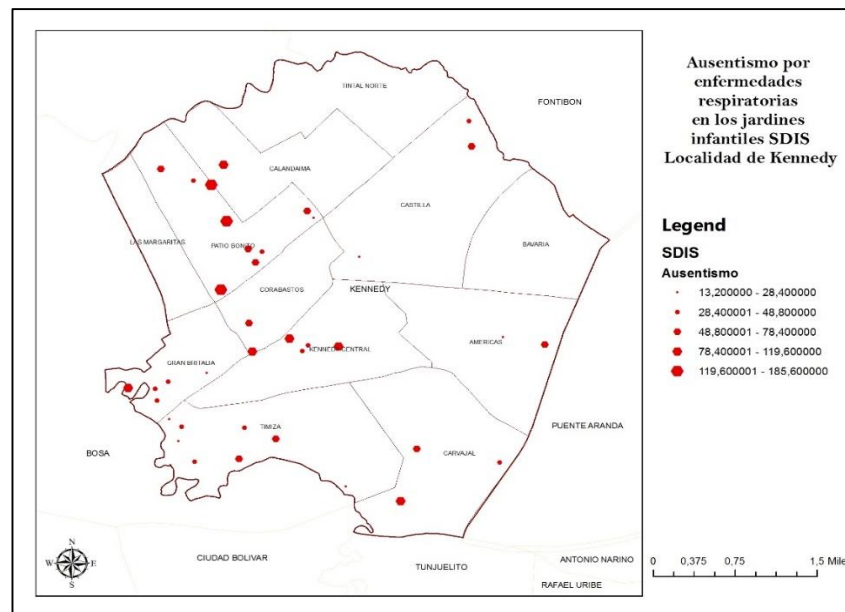


Ilustración 19. Ausentismo escolar por enfermedades respiratorias en los jardines infantiles de la SDIS. Localidad de Kennedy. Año 2013

Fuente. Autor

En la ilustración 19 se observa la ubicación de los jardines de la SDIS dentro de la localidad de Kennedy, en donde se muestra la concentración de niños por jardín que en el año de estudio no asistieron por presentar alguna enfermedad respiratoria.

En el anexo 14 se especifica el nombre, dirección, modalidad de servicio, cobertura autorizada, atenciones y el ausentismo escolar por enfermedades respiratorias en los 39 jardines infantiles ubicados dentro de la localidad en el año de estudio.

9.3.1. Modelo de Recepción.

Al analizar los datos geográficamente con relación a las emisiones de material particulado PM_{10} y $PM_{2,5}$, dentro de la localidad de Kennedy se observa con relación a las fuentes fijas (Ilustración 20) que en las UPZ donde se presentó una mayor emisión (Carvajal, Bavaria y Américas) se encuentran ubicados cinco (5) jardines; tres en la UPZ Carvajal y dos en la UPZ Américas, de los cuales tres de ellos presentaron ausentismo escolar en un rango de 489 a 117 niños en el año de estudio. Es importante resaltar que el jardín que presentó un mayor ausentismo se encuentra ubicado muy cerca de la industria que al año emitió entre 1.506 a 2.942 g/m^3 de PM_{10} .

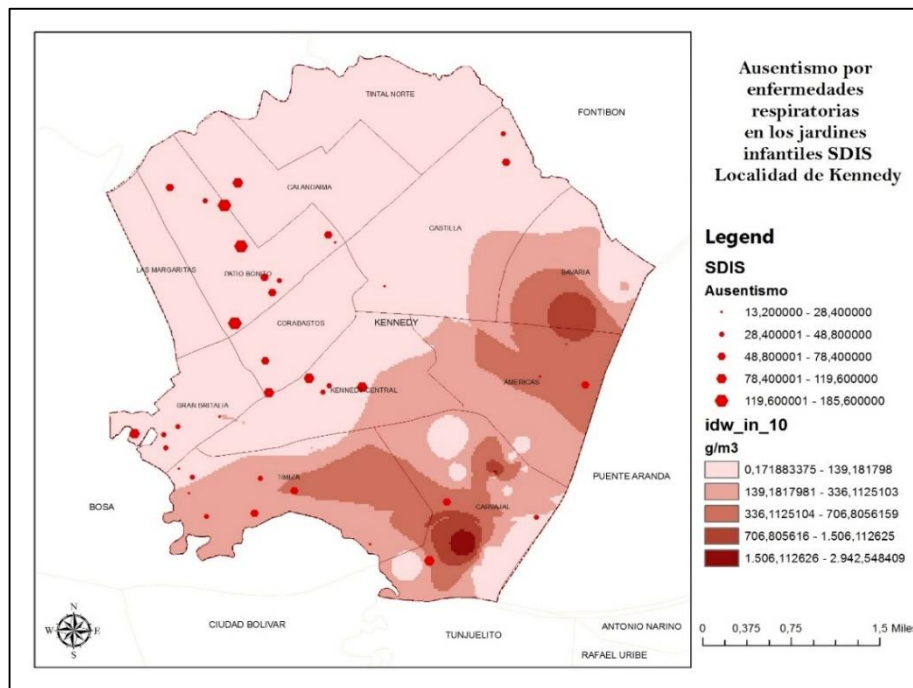


Ilustración 20. Relación de ausentismo escolar por enfermedades respiratorias y emisión de PM_{10} por fuentes fijas. Localidad de Kennedy. Año 2013

Fuente. Autor

Con relación a las fuentes móviles (Ilustración 21) se destaca que catorce (14) jardines se encuentran ubicados dentro de la zona de influencia de emisión en las avenidas de estudio, cuatro de ellos presentan un ausentismo escolar medio alto y alto (entre 78 a 185 niños) y se encuentran cerca de las vías avenida carrera 86 y 80 y la avenida carrera 72. Aquel que presenta un mayor ausentismo se encuentra sobre la AK 86, la cual presenta una emisión entre 1255 g/m hasta 1460 g/m; es importante considerar que esta vía queda relativamente cerca de Corabastos, por lo que en la zona se puede encontrar vehículos de carga que pueden influenciar en la concentración de material particulado.

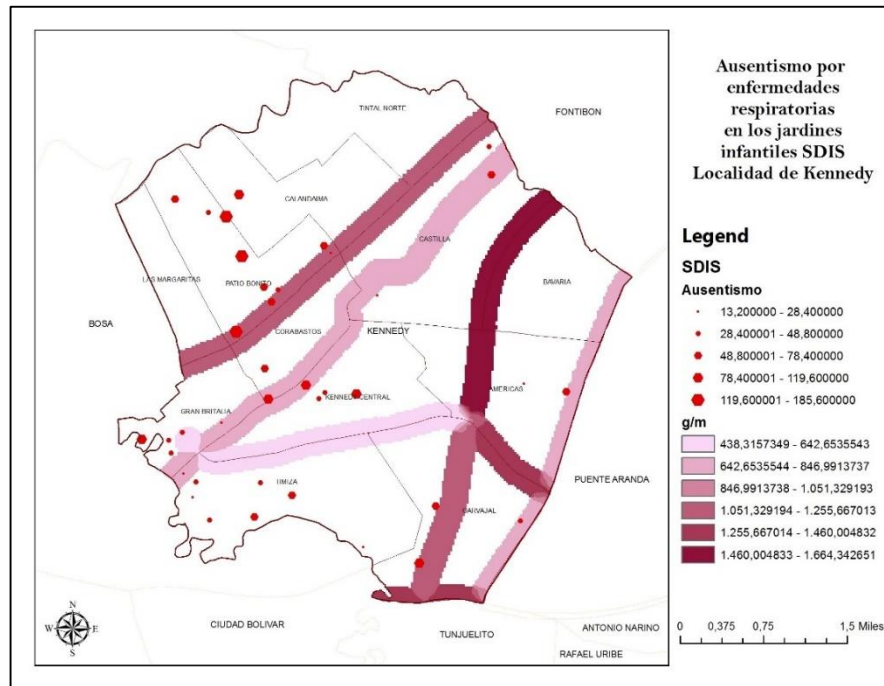


Ilustración 21. Relación de ausentismo escolar por enfermedades respiratorias y emisión de $PM_{2,5}$ por fuentes móviles. Localidad de Kennedy. Año 2013

Fuente. Autor

Finalmente, con relación a las fuentes fugitivas; malla vial (Ilustración 22 y 23) se aprecia que los jardines con mayor ausentismo escolar por enfermedades respiratorias se encuentran ubicados en las UPZ donde hay una mayor densidad de segmentos viales en estado malo (Patio Bonito, Gran Britalia y Carvajal) y en donde la emisión de material particulado para el año de estudio oscila entre los 77 a 547 Ton/VKT de $PM_{2,5}$ y los 326 a 2301 Ton/VKT de PM_{10} .

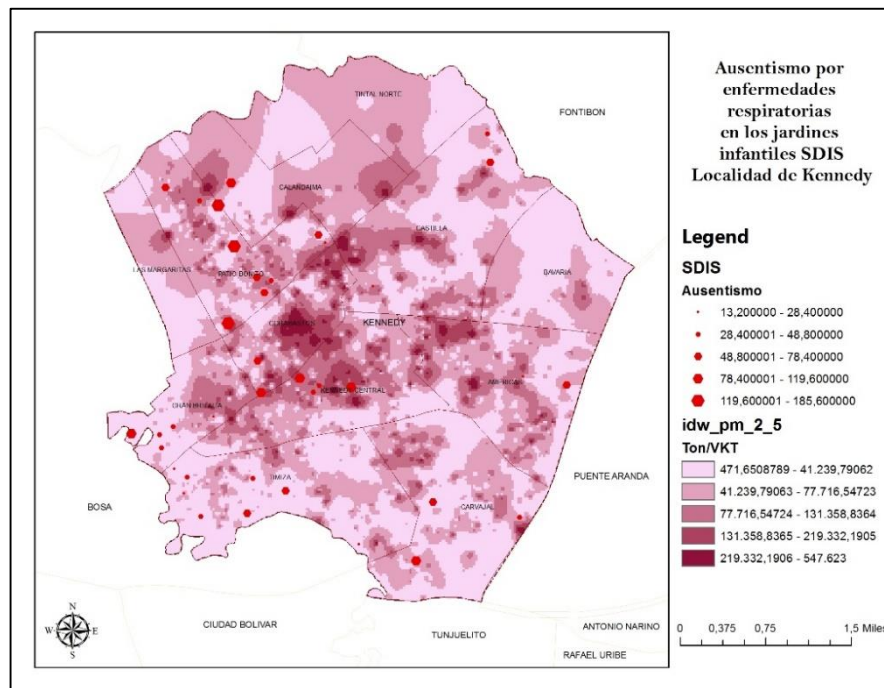


Ilustración 22. Relación de ausentismo escolar por enfermedades respiratorias y emisión de $PM_{2,5}$ por fuentes fugitivas. Localidad de Kennedy. Año 2013
Fuente. Autor

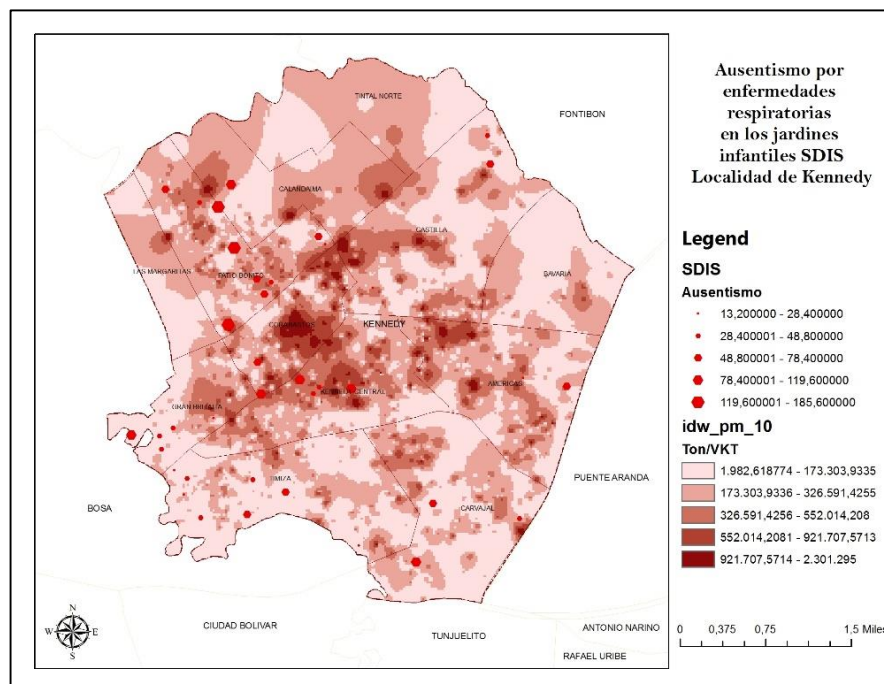


Ilustración 23. Relación de ausentismo escolar por enfermedades respiratorias y emisión de PM_{10} por fuentes fugitivas. Localidad de Kennedy. Año 2013
Fuente. Autor

Al obtener estos resultados se decide realizar una visita de campo a aquellos jardines ubicados en las UPZ de Patio Bonito, Calandaima, Corabastos, Timiza y Carvajal que presentaron un mayor ausentismo escolar para observar el estado de la malla vial en las zonas aledañas a estos. Como resultado se obtuvo que las principales vías entre los barrios en donde se presenta alto comercio se encuentran en buen estado, pero las vías locales se encuentran en mal estado (Ilustración 24). Además también se evidencia que en estas zonas se presenta un alto porcentaje de transporte de carros, buses y camiones.



Ilustración 24. Estado de las vías aledañas a los jardines de la SDIS con mayor ausentismo escolar. Localidad de Kennedy.

Fuente. Autor

En el anexo 15 se presenta el registro fotográfico de las zonas aledañas en los Jardines con mayor número de ausentismo escolar por enfermedades respiratorias.

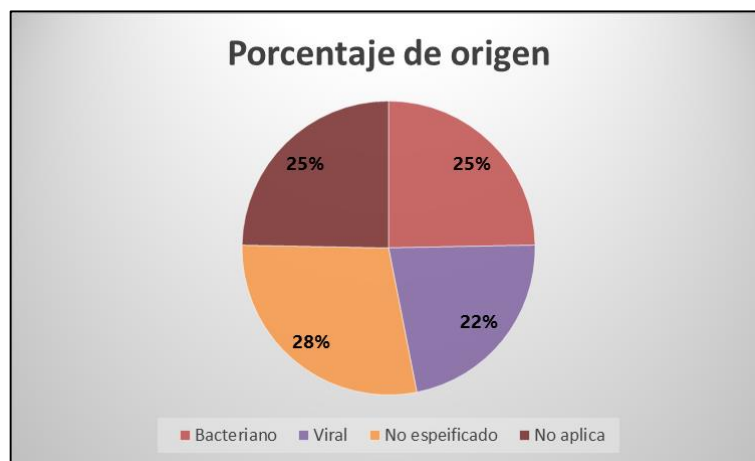
9.3.2. Enfermedades respiratorias.

Estudios han revelado que las emisiones de diésel, las cuales contienen una mezcla compleja de gases y partículas afecta los nervios que se encuentran dentro del pulmón. Debido al tamaño de las partículas (alrededor de 20 nanómetros de diámetro), estas son invisibles a simple vista y pueden penetrar profundamente en los pulmones. Por lo que al entrar en contacto con los nervios pulmonares pueden exacerbar las condiciones respiratorias, por ejemplo en las enfermedades como asma (espasmo de las paredes bronquiales) [65]. Además, otros estudios han demostrado que la exposición de mujeres embarazadas a hidrocarburos aromáticos

policíclicos y contaminantes provenientes de la quema de gasolina, combustible diésel, combustible para calefacción y carbón pueden generar cambios en la estructura cerebral de los bebés y por consiguientes causar déficits intelectuales y problemas de conducta en la infancia [66].

La SDS para 2013 en la localidad de Kennedy registro que la población infantil entre los cero y cinco años del régimen subsidiado que fue atendida en los diferentes centros médicos por enfermedades respiratorias fue de 6959 niños para un total de 81 diagnósticos; 45% del género femenino y el 55% del género masculino [67]; es de anotar que este resultado es relativo debido a que se atendieron a niños con más de un diagnóstico médico.

Estos diagnósticos fueron clasificados en cuatro categorías de acuerdo a su origen: viral, bacteriano, no especificado (virus o bacterias) y no aplica (se presenta debido a condiciones sistémicas del niño). La gráfica 11 muestra que presentó un 28% de diagnósticos que pudieron ser causados por virus o bacterias, seguido por diagnósticos que indican como causa las bacterias y diagnósticos que indican como causa directamente las condiciones sistémicas del niño.



Gráfica 11. Causas principal de incidencia de enfermedades respiratorias en la primera infancia. Localidad de Kennedy.

En el anexo 16 se registra el número de atenciones en los hospitales de la localidad de Kennedy por enfermedades respiratorias en niños de cero a cinco años.

Dado los resultados anteriores, se realiza una revisión bibliográfica para conocer el porcentaje de influencia que puede presentar el material particulado en las enfermedades respiratorias. Dado a que no se encontró valores de este, se decide consultar a médicos pediatras la incidencia que puede presentar el material particulado en las enfermedades respiratorias en la primera infancia. Concordaron, que el material particulado no es un factor determinante de causa de enfermedades respiratorias pero que tiene una incidencia aproximada del 60% al 70% cuando las condiciones de nutrición son bajas en la primera infancia. También puede influir el ambiente donde vive el menor; sectores altamente poblados y contaminados.

10. CONCLUSIONES

El material particulado presenta una correlación con el ausentismo escolar en los jardines de la SDIS por enfermedades respiratorias en la Localidad de Kennedy, principalmente aquel que proviene por el deterioro de la malla vial, dado a que un alto número de segmentos viales se encuentran en mal estado y por consiguiente emitieron la mayor cantidad de PM, seguido del material particulado que proviene de las fuentes móviles.

Para el año 2013 las industrias emitieron un total de 3049,1 g/m³ de PM₁₀, encontrándose la mayor concentración en las UPZ de Carvajal y Bavaria con valores entre 1506,11 g/m³ y 2942,55 g/m³ debido a que en estos sectores se encuentran ubicadas las industrias que usan como combustible aceite usado. La flota vehicular emitió un total de 8743,69 g/m de PM_{2,5}, en donde la mayor concentración emitida según el tipo de vehículo corresponde a motos con 4779,3 g/m y según la vía en la que transita corresponde a la Avenida carrera 72 cerca de la Avenida calle 17 con 1664,3 g/m. Y la malla vial emitió un total de 121430,9972 g/m de PM_{2,5} y 510218,9111 g/m de PM₁₀, en donde las mayores concentraciones se encontró en las UPZ de Corabastos, Castilla, Calandaima, Kennedy Central, Patio Bonito y Américas.

En la localidad de Kennedy se está presentando un cambio en el uso del terreno. La UPZ de Bavaria es la única considerada en el Decreto 619 del 2000 de uso industrial, pero la UPZ de Carvajal que es de tipo residencial consolidado para el año de estudio presentó la mayor concentración de industrias ubicadas dentro de esta zona. Se concluye que la UPZ de Carvajal está cambiando el uso del terreno de tipo residencial a tipo industrial.

La SDIS contó con 39 jardines infantiles, de los cuales el mayor porcentaje se ubicó en la UPZ de Patio Bonito con un 35 %, seguido por la UPZ de Kennedy Central con el 13,7% y Timiza con el 12,4% de atenciones. En el 2013 2447 niños no asistieron por presentar enfermedades respiratorias, de los cuales 857 asistieron a jardines ubicados en la UPZ Patio Bonito.

Los modelos receptores mostraron con relación a las fuentes fijas que en las UPZ donde se presentó una mayor emisión (Carvajal, Bavaria y Américas) se encuentran ubicados cinco jardines, de los cuales tres de ellos presentaron un ausentismo escolar entre 49 a 117 niños en el año de estudio. Con relación a las fuentes móviles, catorce jardines se encuentran ubicados dentro de la zona de influencia de emisión

en las avenidas de estudio, cuatro de ellos presentan un ausentismo escolar medio alto y alto (entre 78 a 185 niños) y uno principalmente se encuentra ubicado sobre la AK 86 que emitió entre 1255 g/m hasta 1460 g/m de $PM_{2,5}$. Y con relación a la malla vial los jardines con mayor ausentismo se encuentran ubicados en las UPZ donde hay una mayor densidad de segmentos viales en estado malo (Patio Bonito, Gran Britalia y Carvajal) y en donde la emisión de material particulado oscila entre los 77 a 547 Ton/VKT de $PM_{2,5}$ y los 326 a 2301 Ton/VKT de PM_{10} .

Dado que la localidad presentó un alto porcentaje de desnutrición crónica principalmente en las UPZ con una alta densidad poblacional infantil de cero a cinco años, y además presentó un alto índice de población vulnerable en condiciones de desplazamiento y pobreza y con condiciones ambientales que ponen en riesgo a los menores, se puede afirmar que unido a dicha situación, la emisión de material particulado por las fuentes fijas, fuentes móviles y asociado al estado de la malla vial si influyó en la ocurrencia de enfermedades respiratorias en los jardines de la SDIS y lo que se refleja en la cantidad de niños atendidos en los hospitales de la localidad. Aunque se requiere de mayores estudios en el tema, se puede dar una idea a groso modo de la cantidad de niños afectados.

Al ser la localidad de Kennedy una de las más contaminadas por material particulado es importante distinguir la principal fuente de emisión de este contaminante, para de esta forma como ingenieros ambientales poder plantear alternativas de reducción de emisión de $PM_{2,5}$ y PM_{10} que le ayuden al distrito y las diferentes entidades al cumplimiento de la normativa y a la mejora de las condiciones ambientales de la población más afectada.

Mediante el uso de herramientas geoespaciales se busca orientar la toma de decisiones en materia de política de salud pública conociendo donde se presenta los valores más altos de contaminación y a quienes afecta, mediante las cuales se busque el mejoramiento de las condiciones ambientales de la población más afectada con la implementación de alternativas de reducción de la contaminación; mediante la ubicación geográfica de las concentraciones de emisión de $PM_{2,5}$ y PM_{10} proveniente de fuentes fijas, móviles y fugitivas y la ubicación poblacional (densidad poblacional, estrato económico, enfermedades, entre otros) se puede definir la población que se encuentra más expuesta a estas fuentes y de esta forma determinar la vulnerabilidad de esta frente a la contaminación atmosférica.

11. RECOMENDACIONES

Para que futuros estudios arroje una mayor significancia entre las asociaciones se recomienda:

Contar con toda la información de las fuentes de emisión ubicadas dentro del área de estudio. Para fuentes fijas tener la actualización del inventario de las industrias que se encuentran en funcionamiento dentro de la localidad, y para fuentes móviles realizar un estudio de caracterización del parque para conocer los factores de emisión específicos. Esto dado a que la Localidad de Kennedy es conocida por tener la principal plataforma de abastecimiento de alimentos del país, en la que diariamente ingresan vehículos de carga y por consiguiente su aporte a las emisiones vehiculares total podría ser considerable.

Debido la modificación en el uso del suelo que se evidenció en el estudio se recomienda que las entidades distritales tengan un seguimiento más riguroso del cambio del uso del terreno ya que se observa que zonas que aparecen de uso residencial se están convirtiendo en zonas de uso industrial, por lo que cambiaría la dinámica social, económica y ambiental de la zona.

Realizar aforos vehiculares en las vías intermedias y locales de la localidad para poder determinar la cantidad de vehículos por categoría que transitan en estas vías, la edad vehicular y su posible influencia en el deterioro de la malla vial. Además poder determinar el impacto de las emisiones de material particulado proveniente de estas fuentes en la salud de la población infantil aledaña a las vías donde se presenta el mayor tránsito vehicular.

Realizar una modelación de las emisiones de material particulado proveniente de fuentes móviles utilizando diferentes software que permitan obtener como resultado el comportamiento geoespaciales de este contaminante dentro de la zona de estudio de una forma más clara y detallada.

Al conocer que la población infantil menor de 5 años presenta una mayor vulnerabilidad frente a las emisiones de material particulado y especialmente aquella que vive en zonas con un alto nivel de contaminación ambiental. Se recomienda determinar los riesgos sanitarios a los que se encuentra expuesta la población infantil menor a 5 años, especialmente aquella que se está ubicada en las zonas aledañas a las fuentes hídricas más contaminadas y de esta manera poder determinar la

correlación que se puede presentar entre estas condiciones ambientales y la vulnerabilidad frente al material particulado.

Mejorar el Registro Individual de procedimientos en salud (RIPS), debido a que este formato es la base para llegar a mejores resultados de correlación; actualmente la digitación de los datos no es muy clara y no son cien por ciento confiables.

Realizar un seguimiento de las enfermedades respiratorias que se presentan en un periodo de tiempo en la población de estudio, a su vez llevar un seguimiento de las emisiones que se dan dentro de la zona y de las condiciones meteorológicas. Esto con el fin de poder correlacionar de una forma más precisa la relación que se puede presentar entre estos factores y la influencia que puede tener uno sobre otro.

Realizar un estudio de valoración económica de los costos que conllevan la atención de menores que presentan afectación a la salud derivado de la exposición a la contaminación del aire y de esta forma poder identificar los beneficios económicos que se obtendrían con la reducción de las emisiones según lo soporta las políticas en materia de reducción de la contaminación atmosférica, que conllevarían a una reducción en la morbilidad infantil.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] N. Alem, M. Luján y D. Bascopé, «Impacto de la Contaminación del Aire en Enfermedades Respiratorias Atendidas en el Centro Pediátrico Albina Patiño.,» *ACTA NOVA*, vol. 3, pp. 56-78, Junio 2005.
- [2] OMS, «Organización Mundial de la Salud,» Septiembre 2011. [En línea]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>. [Último acceso: Abril 2014].
- [3] OMS, «Organización Mundial de la Salud,» Marzo 2014. [En línea]. Available: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/es/>. [Último acceso: Abril 2014].
- [4] X. Querol Carceller, «El material particulado atmosférico,» Congreso Nacional del Medio Ambiente. Cumbre del Desarrollo Sostenible, España, 2006.
- [5] EPA, «United States Environmental Protection Agency,» EPA, 18 Marzo 2013. [En línea]. Available: <http://www.epa.gov/airquality/particulatematter/>. [Último acceso: Marzo 2014].
- [6] J. M. Santamaría, «Efectos del material particulado en la salud,» *Medicina y salud*, nº 10, Marzo - Abril 2008.
- [7] C. E. Gutierrez Wing, «Las nanopartículas: pequeñas estructuras con gran potencial ¿Porqué el interes en estos materiales? ¿Que aplicaciones tienen?,» *Contacto Nuclear*, pp. 24-29, s.f..
- [8] Instituto Riojano de Salud Laboral, «La seguridad y la salud en la exposición a nanopartículas,» Área de Higiene Industrial, España, 2011.
- [9] M. Krzyzanowski y A. Cohen , «Air Quality, Atmosphere & Health,» *Update of WHO air quality guidelines*, vol. 1, nº 1, pp. 7-13, 2008.
- [10] E. Y. Ortiz Durán y N. Y. Rojas Roa, «Estimación de los beneficios económicos en salud asociados a la reducción de PM10 en Bogotá.,» *Salud Pública*, vol. 15, nº 1, pp. 90-102, 2013.
- [11] Secretaría Distrital de Ambiente, «Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá,» Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Bogotá, 2008.
- [12] RMCAB, «Comportamiento histórico de los contaminantes,» Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogota, Secretaría Distrital de Ambiente, Bogotá, s.f..
- [13] Alcaldía Mayor de Bogotá, *Decreto 098. Por el cual se adopta el Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá.*, Bogotá, 2011.

- [14] Alcaldía Local de Kennedy, «Plan Ambiental Local Kennedy,» Secretaría Distrital de Gobierno, Bogotá, 2012.
- [15] Hospital del SuR E.S.E., Boletín epidemiológico del aire, Bogotá: Observatorio de Calidad de Aire y Salud, 2011.
- [16] Alcaldía Mayor de Bogotá, *Decreto 623. Por medio del cual se clasifican las áreas-fuente de contaminación ambiental Clase I, II y III de Bogotá, D.C., y se dictan otras disposiciones.*, Bogotá: EL ALCALDE MAYOR DE BOGOTÁ D. C, 2011.
- [17] Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Resolución 610. Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006.*, Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2010.
- [18] Secretaría Distrital de Ambiente, *Resolución 1223*, Bogotá: Secretaría Distrital de Ambiente, 2013.
- [19] Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Resolución 909. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.*, Bogotá: Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2008.
- [20] Secretaría Distrital de Ambiente, *Resolución 6982. Por la cual se dictan normas sobre prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas y protección de la calidad del aire.*, Bogotá: Secretaría Distrital de Ambiente, 2011.
- [21] L. M. Meza, M. Quintero, R. García y J. Ramírez, «Estimación de Factores de Emisión de PM₁₀ y PM_{2.5}, en Vías Urbanas en Mexicali, Baja California, México,» *Información Tecnológica*, vol. 21, n° 4, pp. 45-56, 2010.
- [22] T. J. Woodruff, L. A. Darrow y J. D. Parker, «Air Pollution and Postneonatal Infant Mortality in the United States, 1999–2002.» *Environ Health Perspect*, n° 119, p. 725–730, 2008.
- [23] D. Beltran, L. C. Belalcazar y N. Rojas, «Spatial distribution of non-exhaust particulate matter emissions from road traffic for the city of Bogota – Colombia.» National University of Colombia, Bogotá, s.f..
- [24] J. Castillo, «Estimación de los beneficios en salud asociados a la reducción de la contaminación atmosférica en Bogotá, Colombia.» Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 2010.
- [25] J. H. Butrago Arango, «Aplicación del modelo Gaussiano para determinar la calidad del aire de Manizales,» Manizales, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales., 2003.

- [26] A. Santa Cruz, *Difusión de contaminantes gaseosos en la atmósfera, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional, 2000.*
- [27] M. Dalance O., *The change of concentration standard deviations with distance, vol. 26, Air Pollution Control Association, 1976, pp. 145-147.*
- [28] N. Nevers, *Air pollution control engineering, New York: McGraw-Hill, 2000.*
- [29] C. Ji-Cheng Jang, «Development and Applications of U.S. EPA's Regulatory Air Quality Modeling Systems,» U.S. EPA / Office of Air Quality Planning and Standards, North Carolina, U.S.A., s.f..
- [30] J. H. Buitrago Arango, «Aplicación del modelo Gaussiano para determinar la calidad del aire de Manizales,» Universidad Nacional de Colombia , Manizales, Colombia, 2003.
- [31] Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial & K-2 Ingeniería Ltda., «Manual de Inventario de Fuentes Difusas,» Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, s.f..
- [32] . A. Moreno Jiménez, «Modelización cartográfica de densidades mediante estimadores Kernel,» *Treballs de la Societat Catalanade Geografia*, vol. 6, nº 30, pp. 155-170, 1991.
- [33] O. De Cos Guerra, «Valoración del método de densidades focales (Kernel) para la identificación de los patrones espaciales de crecimiento de la población en España,» *GeoFocus*, nº 4, pp. 136-165, 2004.
- [34] J. Z. Brufman, H. L. Urbisaia y L. A. Trajtenberg, «Distribución del ingreso según género. Un enfoque no paramétrico,» *Cuadernos del CIMBAGE*, nº 8, pp. 129-168, 2006.
- [35] J. A. García González y F. Cebrián Abellán, «La interpolación como método de representación cartográfica para la distribución de la población: Aplicación a la provincia de Albacete,» *EL ACCESO A LA INFORMACIÓN ESPACIAL Y LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS GEOGRÁFICAS*, pp. 165-178.
- [36] A. Vargas, A. Santos , E. Cárdenas y N. Obregón, «Análisis de la distribución e interpolación espacial de las lluvias en Bogotá, Colombia,» *Dyna*, nº 167, pp. 151-159, Junio 2011.
- [37] D. Murillo, I. Ortega, J. D. Carrillo, A. Pardo y J. Rendón, «Comparación de métodos de interpolación para la generación de mapas de ruido en entornos urbanos,» *USBMed*, vol. 3, nº 1, pp. 62-68, Enero-Junio 2012.
- [38] A. Yassi, T. Kjellström, T. de Kok y T. L. Guidotti, «El Aire,» de *Salud Ambiental Básica*, México, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe., 202, pp. 239-278.

- [39] H. Gutiérrez, *La Contaminación del Aire, riesgos para la Salud.*, México: El Manual Moderno, 1997.
- [40] T. Gavidia, J. Pronczuk y E. D. Sly, «Impactos ambientales sobre la salud respiratoria de los niños. Carga global de las enfermedades respiratorias pediátricas ligada al ambiente.» *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, nº 25, pp. 99-108, 2009.
- [41] P. A. Morales Riaño, *Manual para la medición y evaluación de emisiones atmosféricas en fuentes fijas*, Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2005.
- [42] Salud Total EPS, «Saludtotal,» Supersalud, 2009. [En línea]. Available: <http://www.saludtotal.com.co/contenido/contenido.aspx?conID=1529&catID=1>. [Último acceso: 01 Abril 2015].
- [43] K. A. Miranda Romero y L. A. Ortiz Florez, «EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SUSPENDIDO PM10 Y SU RELACIÓN CON LA MORBILIDAD ASOCIADOS A ERA'S EN NIÑOS MENORES A CATORCE AÑOS POR ENFERMEDAD RESPIRATORIA AGUDA EN EL MUNICIPIO DE TOLUVIEJO (SUCRE),» Universidad de la Salle, Facultad de ingeniería Ambiental y Sanitaria, Bogotá, 2008.
- [44] Secretaría Distrital de Salud, «PROTOCOLO DE LA VIGILANCIA EPIDEMIOLOGICA, AMBIENTAL Y SANITARIA DEL IMPACTO EN LA SALUD POR CONTAMINACION DEL AIRE,» ÁREA DE VIGILANCIA EN SALUD PÚBLICA, Bogotá D.C., 2012.
- [45] Secretaría Distrital de Planeación, «Conociendo la Localidad de Kennedy: Diagnóstico de los aspectos físicos, demográficos y socioeconómicos.» Secretaría de Planeación. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. , Bogotá D.C. , 2009.
- [46] Secretaría de Cultura, Recreación y Deportes, «LOCALIDAD DE KENNEDY – FICHA BÁSICA,» Observatorio de Culturas, Bogotá D.C., 2008.
- [47] Hospital del Sur E.S.E., «ANÁLISIS SITUACIÓN DE SALUD LOCALIDAD DE KENENDY 2009 - 2010,» HOSPITAL DEL SUR EMPRESA SOCIAL DEL ESTADO, Bogotá D.C., 2011.
- [48] HOSPITAL DEL SUR E.S.E., «INDICADORES DE SITUACIÓN DE SALUD LOCALIDAD DE KENNEDY 2013,» EQUIPO ASIS, VIGILANCIA EN SALUD PÚBLICA, Bogotá D.C., 2014.
- [49] Secretaría Distrital de Planeación, «Índice sobre condiciones de la primera infancia en Bogotá D.C.,» Alcaldía Mayor de Bogotá, Bogotá D.C., 2013.

- [50] Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB), «Sitio Web de Información Ambiental,» Secretaría Distrital del Ambiente, 2013. [En línea]. Available: http://201.245.192.252:81/StationInfo.aspx?ST_ID=9. [Último acceso: Octubre 2014].
- [51] Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB), «Informe anual de calidad de aire de Bogotá, Año 2013,» Secretaría Distrital de Ambiente, Bogotá D.C., 2014.
- [52] Secretaría Distrital de Ambiente, Base Isocinéticos Kennedy, Bogotá, 2014.
- [53] Secretaría Distrital de Ambiente, «Inventario de Emisión de Fuentes Móviles,» Secretaría Distrital de Ambiente, Bogotá, 2014.
- [54] Secretaría de Movilidad, «Volumenes vehiculares en la ciudad de Bogotá,» Secretaría de Movilidad, Bogotá, 2013.
- [55] Corporación de Abastos S.A., «INGRESO MENSUAL DE VEHICULOS POR CATEGORIAS,» Bogotá D.C., 2015.
- [56] H. A. Rondón Quintana y F. A. Reyes Lizcano, «METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES: TENDENCIAS, ALCANCES Y LIMITACIONES,» *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 17, n° 2, pp. 41-65, 2007.
- [57] Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), «Estado de la Malla Vial a 31 de Diciembre de 2013,» Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Bogotá D.C., 2013.
- [58] Denso North America I.N.C, «PAVEMENT CONDITION INDEX,» OGRA'S MILESTONES, 2009.
- [59] Universidad de la Salle, Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, «Capítulo 4, Estimación de emisiones por material resuspendido,» Contrato 1467 de 2013. Para el desarrollo de actividades de ciencia y tecnología., Bogotá, 2014.
- [60] EPA, «Emission Factor Documentation for AP-42, Section 13.2.1. Paved Roads,» Measurement Policy Group, Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency., Bogotá, 2011.
- [61] Universidad de la Salle, «Contrato 1467 de 2013,» Secretaría Distrital del Ambiente de Bogotá, Bogotá, 2014.
- [62] CONCESIONARIA COVIAL S.A., «Proyecto Corabastos,» Corporación de Abastos S.A., 2015. [En línea]. Available: <http://www.covial.co/index.php/proyecto-corabastos>. [Último acceso: Marzo 2015].
- [63] Google Maps, «Streetview,» Google, 2015. [En línea]. Available: <http://www.instantstreetview.com/@4.627312,-74.158381,316.1h,-4.55p,0.34z>. [Último acceso: Abril 2015].

- [64] Secretaría Distrital de Integración Social (SDIS), «Jardines Infantiles, localidad de Kennedy. Año 2013,» Bogotá D.C., 2015.
- [65] R. Robinson, «Why Diesel Vehicles Are More Harmful?,» 13th European Respiratory Society Lung Science, Estoril, Portugal, 2015.
- [66] B. S. Dr. Peterson, «Study: Air Pollution Can Be Bad For Children – Starting Even Before Birth,» Institute for the Developing Mind at Children’s Hospital Los Angeles., 2015.
- [67] Secretaría Distrital de Salud, «base de datos Rips 2013 Ministerio de Salud y Protección Social, población contributiva y subsidiada,» Bogotá, 2015.
- [68] D. A. García Lozano , «Modelado numérico de la dispersión de contaminantes asociada al flujo atmosférico dentro de un entorno urbano específico de la Ciudad de Bogotá.,» Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Bogotá, Colombia , 2012.
- [69] CIEMAT, «Modelización de la contaminación atmosférica,» Gobierno de España, 2014. [En línea]. Available: <http://www.ciemat.es/MCAportal/portal.do;jsessionid=DDFEE478D7580252F6F56BB6727DA106?IDM=56&NM=3>.
- [70] F. C. Cabrera Vivas, *Distribución gaussiana*, México: Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, 2008.
- [71] L. L. Schulman y J. S. Scire, «Buoyant line and point source (BLP) dispersion model user’s guide.,» The Aluminum Association, INC., Washington, DC, 1980.
- [72] L. F. Escobar Franco, Plan Ambiental Local Kennedy, Bogotá D.C.: Alcaldía Local de Kennedy, 2012.
- [73] EPA, «Emission Factor Documentation for AP-42, Section 13.2.2. Unpaved Roads,» For U. S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Emission Factor and Inventory Group, United States, 1998.