



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Relación entre temperatura y enfermedades isquémicas del corazón en Bogotá de 2009 - 2014

Jeimy Carolay Corredor Gutiérrez

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina
Bogotá D.C., Colombia
2018

Relación entre temperatura y enfermedades isquémicas del corazón en Bogotá de 2009 - 2014

Jeimy Carolay Corredor Gutiérrez

Código: 599647

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Salud Pública

Director:

PhD. Luís Jorge Hernández Flórez

Codirectores:

MSc. Rodrigo Sarmiento Suárez
MSc. Carlos Alberto Agudelo Calderón

Línea de Investigación:

Grupo de Epidemiología

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina

Bogotá D.C., Colombia

2018

A Dios, porque sin él nada de esto habría sido posible; a mis padres, por su ejemplo de trabajo y entrega; a mi hermana por su apoyo; a mi familia por ser ese soporte y eje en donde se afianza la vida. A mis profesores y asesores de la academia y de la vida, quienes con su impulso y consejo me ayudaron a llegar a la meta. Para finalizar, a Aquiles, Noche y Leónidas quienes me han dado su compañía y amor.

Agradecimientos

Agradezco el apoyo y la confianza brindada por los directores de mi trabajo de investigación, el Dr. Rodrigo Sarmiento y el Dr. Luís Jorge Hernández quienes con su conocimiento y experiencia me han guiado para el culminar con satisfacción este estudio. También agradezco a la Dra. María Zaideé Barbosa, quien con su experiencia y conocimiento en salud pública y ambiental, me guio en la consolidación de esta investigación y al Ing. José Andrés Corredor, referente de la Línea de Cambio Climático de la Secretaria Distrital de Salud de Bogotá por su apoyo en el desarrollo de este trabajo

Resumen

La evidencia que explica los efectos de la temperatura en la salud y otras variables meteorológicas en países tropicales como Colombia es escasa. Debido al cambio climático, las temperaturas en Bogotá han aumentado de 1°C a 2°C desde 1997 y los efectos adversos para la salud de estos cambios son inciertos. El objetivo de este estudio fue identificar la relación entre los ingresos diarios en el servicio de urgencias por cardiopatías isquémicas y la temperatura entre 2009 y 2014 en Bogotá. En este estudio ecológico se exploraron los patrones temporales de admisiones diarias de sala de urgencias de angina de pecho, el infarto agudo de miocardio y otras enfermedades isquémicas del corazón (códigos CIE-10: I20, I21 e I24), en relación con las temperaturas mínima, media y máxima, humedad relativa, ozono troposférico (O_3) y material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) de 2009 a 2014 en Bogotá. El análisis estadístico incluyó correlación de Spearman, modelos de regresión de Poisson y modelos no lineales de rezagos distribuidos (DNLM).

La angina de pecho se correlacionó con temperatura máxima ($Rho = 0,081$, $p < 0,001$) y la disminución de la humedad relativa ($Rho = -0,118$; $p < 0,001$); el infarto agudo de miocardio con disminución de ozono ($-0,168$; $p < 0,001$) y de humedad relativa ($-0,110$; $p < 0,001$) y el grupo total de cardiopatías isquémicas se correlacionó con una disminución de temperatura media ($-0,112$; $p < 0,001$) y de humedad relativa ($-0,133$; $p < 0,001$). El análisis multivariado mostró que el aumento de la temperatura máxima en 1°C aumentó la angina de pecho en un 4,1%, para el infarto agudo de miocardio fue de forma inversa por temperatura media y humedad relativa, disminuyendo los ingresos un 15,7% y un 2,5% por cada grado y unidad de incremento respectivamente. En cuanto a los modelos DNLM, la relación por enfermedades isquémicas del corazón y temperatura fue más fuerte y evidente en temperaturas bajas entre (8 y 11°C) y en temperaturas altas ($\geq 19^\circ C$) con efectos inmediatos (temperatura mínima), aunque algunos permanecen por varios días de retraso (temperatura máxima con un pico entre 2-3 días), especialmente cuando se analiza de forma ajustada con PM_{10} y $PM_{2.5}$; dicho efecto no fue claro en la comparación con la temperatura media; se encontró relación entre el riesgo en la frecuencia de estos eventos con una variación térmica amplia ($\geq 12^\circ C$) en el mismo día.

El efecto combinado de la temperatura máxima y una disminución de la humedad relativa podría tener un impacto negativo en las admisiones en urgencias de cardiopatías isquémicas. El presente estudio es la primera exploración de la relación de la temperatura en una ciudad de alta altitud (2650 msnm) y baja latitud y sus efectos en las admisiones de enfermedades isquémicas del corazón.

Palabras clave: cardiopatías isquémicas, temperatura, calor, humedad, ozono, urgencias.

Abstract

Evidence that accounts for health effects of temperature and other meteorological variables in tropical countries as Colombia is scarce. Due to climate change, temperatures in Bogota has risen from 1°C to 2°C since 1997 and the adverse health effects of such changes are uncertain. Aim of this study was to identify the relationship between of daily hospital emergency admissions from ischemic heart diseases and temperature between 2009 and 2014 in Bogota. In this ecological study we explored the temporal patterns of emergency room daily admissions of angina pectoris, acute myocardial infarction and other ischemic heart diseases (ICD-10 codes: I20, I21 and I24), in relation to minimum, mean and maximum temperatures, relative humidity, ground level ozone (O₃) and particulate matter (PM10 and PM2.5) from 2009 to 2014 in Bogota. Statistical analysis included Spearman rank correlation, Poisson regression models and distributed lag non-linear models (DNLM).

Angina pectoris correlated with maximum temperature (Rho = 0.081, p <0.001) and the decrease in relative humidity (Rho = -0.118, p <0.001); Acute myocardial infarction was with ozone depletion (-0.168, p <0.001) and relative humidity (-0.110; p <0.001) and the total group of ischemic heart diseases correlated with a decrease in mean temperature (-0.112; <0.001) and relative humidity (-0.133, p <0.001). The multivariate analysis showed that the increase in maximum temperature by 1°C increased breast angina by 4.1%, for acute myocardial infarction was inversely by average temperature and relative humidity, decreasing the income by 15.7% and 2.5% for each degree and unit of increase respectively. Regarding DNLM models, the relationship between ischemic diseases of the heart and temperature was stronger and evident at low temperatures between (8 and 11 ° C) and at high temperatures (≥19 ° C) with immediate effects (minimum temperature), although some remain for several days of delay (maximum temperature with a peak between 2 and 3 lags), especially when analyzed in an adjusted manner with PM10 and PM2.5; this effect was not clear in the comparison with the average temperature; A relation was found between the risk in the frequency of these events with a wide thermal variation (≥12 ° C) on the same day.

The combined effect of maximum temperatures and a decrease in relative humidity could have a negative impact on emergency admissions of ischemic heart diseases. The present study is the first exploration of the relationship of temperature in a high altitude city (2650 m) and low latitude and its effects on the admissions of ischemic heart diseases.

Keywords: ischemic heart disease, temperature, hot temperature, humidity, ozono, emergencies.

Contenido

	<u>Pág.</u>
Resumen.....	IX
Lista de figuras.....	XIV
Lista de tablas.....	XVII
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	XIX
Introducción.....	XXI
1. Aspectos preliminares	25
1.1 Problema de investigación	25
1.2 Pregunta de investigación	27
1.3 Justificación.....	28
1.4 Propósito.....	29
1.5 Objetivos	30
1.5.1 Objetivo general.....	30
1.5.2 Objetivos específicos	30
2. Marco conceptual	31
2.1 Temperatura.....	32
2.2 Inversión térmica.....	33
2.3 Humedad relativa	34
2.4 Material particulado.....	35
2.5 Ozono troposférico.....	36
2.6 Isla de calor.....	36
2.7 Antecedentes climatológicos y de contaminación de aire de Bogotá.....	39
2.7.1 Histórico Temperatura.....	40
2.7.2 Histórico humedad relativa	41
2.7.3 Histórico PM ₁₀	42
2.7.4 Histórico PM _{2,5}	43
2.7.5 Histórico O ₃	45
2.7.6 Otros contaminantes	46
2.8 Enfermedades isquémicas del corazón.....	47

2.8.1	Cardiopatía isquémica.....	47
2.8.2	Angina de pecho	48
2.8.3	Angina inestable.....	49
2.8.4	Infarto agudo del miocardio (IAM)	49
2.8.5	Cardiopatía isquémica y clima.....	50
2.9	Mecanismos de intercambio térmico humano.....	51
2.10	Factores asociados en la relación de temperatura con morbilidad y mortalidad. 53	
2.10.1	Factores biológicos	53
2.10.2	Factores clínicos o patofisiológicos	54
2.10.3	Factores socioeconómicos	54
2.10.4	Instituciones de albergue	54
2.10.5	Características del lugar de alojamiento.....	55
2.10.6	Fenómeno de islas de calor	55
2.11	Población vulnerable	55
2.12	Estrategias de adaptación	56
2.13	Modelo de fuerzas motrices	58
3	Metodología	61
3.1	Tipo de Estudio	61
3.2	Hipótesis	61
3.3	Unidad de análisis	61
3.4	Zona de estudio	62
3.5	Muestra	64
3.6	Ventana de observación (criterios de inclusión)	64
3.7	Criterios de exclusión	64
3.8	Fuentes de información	64
3.9	Definición de variables	67
3.10	Recolección, procesamiento y análisis de la información	70
3.10.1	Análisis descriptivo	70
3.10.2	Análisis bivariado.....	70
3.10.3	Análisis multivariado.....	71
3.10.4	Metodología de Modelos no lineales de rezagos distribuidos	71
3.11	Aspectos éticos	74
4	Resultados y discusión.....	75
4.1	Descripción de los eventos en salud	75
4.1.1	Características sociodemográficas.....	81

4.2	Descripción de las variables climatológicas y de contaminantes	87
4.2.1	Temperatura media diaria	88
4.2.2	Temperatura mínima	93
4.2.3	Temperatura máxima	98
4.2.4	Humedad Relativa.....	103
4.2.5	Ozono	107
4.2.6	Material particulado 10 μ (PM ₁₀).....	112
4.2.7	Material particulado 2,5 μ (PM _{2,5})	117
4.3	Análisis bivariado - correlaciones	121
4.4	Análisis multivariado - regresión de Poisson	124
4.5	Modelo no lineal de rezagos distribuido.....	127
4.6	Discusión	141
5	Conclusiones y recomendaciones	149
5.1	Conclusiones.....	149
5.2	Recomendaciones.....	151
	Bibliografía	153
A.	Anexo A: Mapa de la clasificación climática de Köppen-Geiger actualizada con datos de la media mensual de temperatura y precipitación 1951-2000 sobre una cuadrícula regular de 0,5 grados latitud/longitud.....	159
B.	Anexo B: Porcentaje de urgencias atendidas en población general por enfermedades isquémicas del corazón en Bogotá por año 2009-2014	160
C.	Anexo C: Correlaciones cruzadas de los diagnósticos y los grupos de diagnósticos con parámetros meteorológicos en Bogotá periodo 2009-2014.....	161



Lista de figuras

	<u>Pág.</u>
Figura 1. Promedio mensual multianual de temperaturas de tres zonas de la ciudad de Bogotá.....	32
Figura 2. Promedio horario de temperaturas de la ciudad de Bogotá	33
Figura 3. Formas características de la capa límite urbana.....	37
Figura 4. Distribución de la temperatura media anual. Isla de calor urbana en Bogotá 2007.....	38
Figura 5. Temperatura anual media de las estaciones de la RMCAB 2000-2015.....	40
Figura 6. Mapa de temperatura superficial de las estaciones de RMCAB en 2013 y 2015.....	41
Figura 7. Tendencia de Humedad relativa mensual de la RMCAB 2002-2015.....	42
Figura 8. Concentraciones diarias promedio de PM ₁₀ por estación de monitoreo Bogotá, 2011-2015.....	43
Figura 9. Concentraciones diarias promedio de PM _{2,5} por estación de monitoreo Bogotá, 2011-2015.....	44
Figura 10. Concentraciones diarias promedio de Ozono por estación de monitoreo Bogotá, 2011-2015.....	46
Figura 11. Modelos de intercambio térmico del ser humano con el medio ambiente.	52
Figura 12. Esquema de factores que ejercen efectos sobre la relación temperatura alta y morbilidad y mortalidad.....	53
Figura 13. Modelo de fuerzas motrices cambio climático y salud en Bogotá	59
Figura 14. Distribución de las estaciones de la RMCAB al año 2014.....	63
Figura 15. Secuencia de ingresos al servicio de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón en Bogotá 2009-2014.....	75
Figura 16. Gráfico de cajas y bigotes de ingresos diarios al servicio de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón por año en Bogotá, periodo 2009-2014.....	77
Figura 16. Gráficos de secuencia de ingresos al servicio de urgencias para los tres grupos de diagnósticos de enfermedades isquémicas del corazón, en Bogotá 2009-2014.....	78

Figura 18. Gráfico de cajas y bigotes de ingresos diarios a urgencias por grupo angina de pecho e infarto agudo de miocardio por año en Bogotá, periodo 2009-2014.	79
Figura 19. Distribución mensual de los ingresos al servicio de urgencias por diagnósticos más frecuentes y total de EIC, en Bogotá 2009-2014.....	80
Figura 20. Ingresos al servicio de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón, según sexo en Bogotá 2009-2014.	82
Figura 21. Distribución de los ingresos al servicio de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón, según grupo de edad en Bogotá 2009-2014.....	83
Figura 22. Gráficos de cajas y bigotes de la variable de temperatura media diaria por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.....	89
Figura 23. Histogramas de la variable de temperatura media diaria por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	90
Figura 24. Distribución de promedios mensuales de la variable de temperatura media diaria por año de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	92
Figura 25. Secuencia de promedios diarios de la variable de temperatura media diaria de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.....	92
Figura 26. Gráficos de cajas y bigotes de la variable de temperatura mínima diaria por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.....	94
Figura 27. Histogramas de la variable de temperatura mínima diaria por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	95
Figura 28. Distribución de promedios mensuales de la variable de temperatura mínima diaria por año de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	97
Figura 29. Secuencia de promedios diarios de la variable de temperatura mínima diaria de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.....	97
Figura 30. Gráficos de cajas y bigotes de la variable de temperatura máxima diaria por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.....	99
Figura 31. Histogramas de la variable de temperatura máxima diaria por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	100
Figura 32. Distribución de promedios mensuales de la variable de temperatura máxima diaria por año de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	102
Figura 33. Secuencia de promedios diarios de la variable de temperatura máxima diaria de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.....	102
Figura 34. Gráficos de cajas y bigotes de la variable de humedad relativa diaria por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.....	104
Figura 35. Histogramas de la variable de humedad relativa diaria por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	104
Figura 36. Distribución de promedios mensuales de la variable humedad relativa diaria por año de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.....	106
Figura 37. Secuencia de promedios diarios de la variable de humedad relativa diaria de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	106

Figura 38. Gráficos de cajas y bigotes de la variable ozono diario por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	108
Figura 39. Histogramas de la variable ozono diario por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	109
Figura 40. Distribución de promedios mensuales de la variable ozono diario por año de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	111
Figura 41. Secuencia de promedios diarios de la variable ozono diario de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	111
Figura 42. Gráficos de cajas y bigotes de la variable PM ₁₀ diario por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	113
Figura 43. Histogramas de la variable PM ₁₀ diario por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	114
Figura 44. Distribución de promedios mensuales de la variable PM ₁₀ diario por año de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	116
Figura 45. Secuencia de promedios diarios de la variable PM ₁₀ diario de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	116
Figura 46. Gráficos de cajas y bigotes de la variable PM _{2.5} diario por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	118
Figura 47. Histogramas de la variable PM _{2.5} diario por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	118
Figura 48. Distribución de promedios mensuales de la variable PM _{2.5} diario por año de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	120
Figura 49. Secuencia de promedios diarios de la variable PM _{2.5} diario de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.	120
Figura 50. Autocorrelaciones de los grupos y diagnósticos más frecuentes de enfermedades isquémicas del corazón en Bogotá periodo 2009-2014.	121
Figura 51. Autocorrelaciones de variables meteorológicas en Bogotá periodo 2009-2014.	122
Figura 52. Modelo no lineal de rezagos distribuidos para I200- Angina inestable	128
Figura 53. Modelo no lineal de rezagos distribuidos para I209- Angina de pecho no específica	130
Figura 54. Modelo no lineal de rezagos distribuidos para I219 – Infarto agudo del miocardio sin otra especificación	132
Figura 55. Modelo no lineal de rezagos distribuidos para Total enfermedades isquémicas del corazón.....	134
Figura 56. Comparativos DLNM (gráficas de contornos) para total de EIC, temperatura y humedad relativa según contaminantes.	137
Figura 57. Comparativos DLNM (gráficas efecto global) para total de EIC, temperatura y humedad relativa según contaminantes.	138

Lista de tablas

	<u>Pág.</u>
Tabla 1. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio	39
Tabla 2. Resumen de las concentraciones promedio y máxima de PM ₁₀ , Bogotá 2009 - 2015.	42
Tabla 3. Resumen de concentraciones promedio y máximos PM _{2,5} , Bogotá 2010-2015.	44
Tabla 4. Resumen de las concentraciones promedio y máximos de Ozono troposférico (promedio móvil de 8 horas), Bogotá 2009-2015.	45
Tabla 5. Características generales de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá a 2014.	62
Tabla 6. Códigos de enfermedades definidas según clasificación CIE-10 usadas en la consulta de Registros Individuales de Prestación de Servicios (RIPS)	65
Tabla 7. Parámetros de interés medidos de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá.	66
Tabla 8. Variables incluidas en el estudio.	67
Tabla 9. Enfermedades isquémicas del corazón atendidas en servicios de urgencias de Bogotá, 2009 - 2014.	76
Tabla 10. Estadísticos descriptivos de las enfermedades isquémicas del corazón atendidas en servicios de urgencias de Bogotá por año, periodo 2009-2014.	77
Tabla 11. Estadísticos descriptivos por grupo de enfermedades isquémicas del corazón atendidas en servicios de urgencias de Bogotá periodo 2009-2014.	79
Tabla 12. Distribución de los ingresos al servicio de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón, según sexo en Bogotá 2009-2014.	81
Tabla 13. Distribución de las admisiones al servicio de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón, según grupo de edad en Bogotá 2009-2014.	84
Tabla 14. Distribución de las admisiones al servicio de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón, según grupo étnico en Bogotá 2009-2014.	85
Tabla 15. Distribución de las admisiones al servicio de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón, según tipo de afiliación al SGSSS en Bogotá 2009-2014.	86
Tabla 16. Proporción de datos válidos por estación de las variables medidas por la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.	87

Tabla 17. Estadísticos descriptivos exploratorios de la variable Temperatura media diaria cruda de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.....	88
Tabla 18. Estadísticos descriptivos variable Temperatura media diaria de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.....	91
Tabla 19. Estadísticos descriptivos exploratorios de la variable Temperatura Mínima diaria cruda de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.	93
Tabla 20. Estadísticos descriptivos variable Temperatura mínima diaria de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.....	96
Tabla 21. Estadísticos descriptivos exploratorios de la variable Temperatura máxima diaria cruda de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.	98
Tabla 22. Estadísticos descriptivos variable Temperatura máxima diaria de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.....	101
Tabla 23. Estadísticos descriptivos exploratorios de la variable Humedad relativa diaria cruda de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.....	103
Tabla 24. Estadísticos descriptivos variable Humedad relativa diaria de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.....	105
Tabla 25. Estadísticos descriptivos exploratorios de la variable Ozono diaria cruda de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.	107
Tabla 26. Estadísticos descriptivos variable ozono diario de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.	110
Tabla 27. Estadísticos descriptivos exploratorios de la variable PM ₁₀ diario cruda de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.	112
Tabla 28. Estadísticos descriptivos variable PM ₁₀ diario de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.	115
Tabla 29. Estadísticos descriptivos exploratorios de la variable PM _{2.5} diario cruda de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.	117
Tabla 30. Estadísticos descriptivos variable PM _{2.5} diario de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.	119
Tabla 31. Coeficientes de correlación de Spearman entre variables climatológicas y contaminantes y enfermedades isquémicas del corazón en Bogotá, 2009-2014.	123
Tabla 32. Estimación de correlación modelos de regresión de Poisson para diagnósticos de angina de pecho en Bogotá, 2009-2014.	125
Tabla 33. Estimación de correlación modelos de regresión de Poisson para diagnósticos de infarto agudo de miocardio en Bogotá, 2009-2014.	125
Tabla 34. Estimación de correlación modelos de regresión de Poisson para el total de enfermedades isquémicas del corazón (n=11.039) en Bogotá, 2009-2014.....	126

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos

Símbolo	Término
<i>CO</i>	Monóxido de carbono
<i>CO₂</i>	Dióxido de carbono
<i>gL</i>	Grados de libertad
<i>NO₂</i>	Dióxido de nitrógeno
<i>O₃</i>	Ozono
<i>PM_{2,5}</i>	Material particulado menor a 2,5 micras en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<i>PM₁₀</i>	Material particulado menor a 10 micras en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<i>SO₂</i>	Dióxido de azufre

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>ADP</i>	Adenosín difosfato
<i>AVAD</i>	Años de vida ajustados a discapacidad
<i>APVP</i>	Años potenciales de vida perdidos
<i>DANE</i>	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
<i>DLM</i>	<i>Distributed Lag Models</i> – Modelos de rezagos distribuidos
<i>DLNM</i>	<i>Distributed Lag Non-linear Models</i> – Modelos no lineales de rezagos distribuidos
<i>EPS</i>	Entidad Promotora de Salud
<i>HAP</i>	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
<i>HDL</i>	<i>High Density Lipoprotein</i> - Colesterol de alta densidad
<i>IAM</i>	Infarto agudo del miocardio
<i>IDEAM</i>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<i>IPCC</i>	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> - Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
<i>LDL</i>	<i>Low Density Lipoprotein</i> - Colesterol de baja densidad
<i>m.s.n.m.</i>	Metros sobre el nivel del mar
<i>MAVDT</i>	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
<i>OMS</i>	Organización Mundial de la Salud
<i>OPS</i>	Organización Panamericana de la Salud
<i>PST</i>	Partículas suspendidas totales
<i>RM CAB</i>	Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá
<i>SDA</i>	Secretaría Distrital de Ambiente
<i>SDS</i>	Secretaría Distrital de Salud
<i>SGSSS</i>	Sistema General de Seguridad Social en Salud
<i>UPGD</i>	Unidad primaria generadora de datos
<i>ZCIT</i>	Zona de Confluencia intertropical

Introducción

El calor ha sido identificado como un riesgo ambiental y ocupacional capaz de generar un desafío para la protección de salud de la población en general y en especial de grupos vulnerables, en la atención de servicios de salud y en el mejoramiento de infraestructura como viviendas (1), así mismo, el cambio climático juega un papel relevante en la salud pública, el cual se refiere a un aumento en la temperatura promedio del planeta como consecuencia de la acumulación de las altas concentraciones de emisiones de gases efecto invernadero y a la quema de combustibles fósiles en fuentes fijas y móviles, actividades humanas que han ejercido presión en el sistema climático mundial, parte integral de los procesos de vida del planeta, haciendo que el cambio climático se convierta en un reto importante para la protección de la salud de las poblaciones (2).

De acuerdo al IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) en su primer informe en 1991, la población estaba poco sensibilizada sobre los riesgos en salud que podían surgir de los cambios evidenciados en el clima, para el segundo informe en 1996 y el tercero en 2001, esta situación ya fue más evidente con la inclusión de dos capítulos exclusivos sobre los efectos en salud basados en pruebas científicas y en la evaluación de expertos en el tema, en donde concluyen que de acuerdo a las proyecciones, el cambio climático aumentará los peligros para la salud humana de forma directa o indirecta especialmente para poblaciones de bajos ingresos en países tropicales y subtropicales, generando incremento en la mortalidad y morbilidad asociadas al calor, aumento en la frecuencia de epidemias posterior a inundaciones y tormentas, así como efectos por desplazamientos a raíz de eventos climáticos extremos, entre otros (2).

En el siglo XX se observó un incremento de 0,6°C en la temperatura media de la tierra y cerca 0,4°C de éste incremento ha sido desde la década de 1970 (2) (elevado comparado con siglos anteriores), adicional a esto las proyecciones indican un aumento en la frecuencia e intensidad de días cálidos para el siglo XXI, cuya exposición tiene impacto en el ambiente, en la salud y en el bienestar de los habitantes, un ejemplo de esto son las enfermedades asociadas a olas de calor, olas de frío y los desastres naturales (3).

El término “ola de calor” se refiere a un incremento de la temperatura en periodos no muy prolongados de tiempo y en zonas geográficas específicas, las que pueden abarcar condiciones meteorológicas de moderadas a severas, un ejemplo de esto es la ola de calor presentada en Francia para agosto de 2003, en donde se registraron 14.802 muertes en un periodo de 20 días con registro de temperaturas superiores a 35°C en el 60% de las estaciones de monitoreo y en 15% de las estaciones fue mayor o igual a los 40°C (4).

La mayoría de olas de calor registradas también se han asociado con otros peligros para la salud como son episodios de contaminación del aire, incendios forestales y fallas en el suministro de agua y electricidad, lo cual también tiene implicaciones directas en las acciones de salud pública. De igual manera, el impacto de una ola de calor depende de varios factores como, magnitud de la ola, duración, experiencia previa de la población en este tipo de eventos y respuesta de los servicios de salud pública (1).

Otro de los fenómenos asociados con la temperatura son las islas de calor, fenómeno que se genera en áreas urbanas y que se relaciona con la densidad y material de las edificaciones, la topografía y planeación de la ciudad, la concentración de transporte terrestre y la baja cobertura vegetal, conjunto de elementos que hacen que se vea incrementada la temperatura en varios grados en puntos del centro urbano con respecto a la zona circundante o rural (5). En Bogotá, por ser una ciudad con alto nivel de desarrollo aunque no se presentan estaciones o temperaturas extremas, se han encontrado zonas de alta densidad poblacional de tipo residencial y de poca arborización con hasta 3°C superiores a los medidos en la zona periférica (6).

Varios estudios han encontrado que la exposición a temperaturas extremas y en sí al rango térmico, se encuentra relacionada con un incremento en el riesgo de muerte o de enfermedad, cuya distribución toma una forma de “U”, con mayores tasas de mortalidad en temperaturas más calientes o más frías y las menores tasas se presentan en la zona de confort, dicha zona puede variar entre ciudades o localización geográfica (latitud y altitud), siendo mayor en climas más cálidos, lo que sugiere adaptación o climatización a las condiciones climáticas locales (7), teniendo en cuenta la capacidad de los seres de adaptarse a diversos climas a nivel fisiológico, comportamental y cultural (1).

En consecuencia, se han estudiado estos fenómenos y sus efectos sobre la morbimortalidad; tal como en la ola de calor de 2003, en donde los hospitales en Francia y España se encontraron sobrepasados en su capacidad de atención, especialmente en los servicios de urgencias. Varios estudios indican que las admisiones hospitalarias no son tan severas como los datos de mortalidad, debido posiblemente a que las personas murieron de forma repentina o no alcanzaron a recibir atención de los servicios médicos, lo que conlleva a tomar medidas de protección en salud (1,8).

La dinámica de la exposición a los cambios de clima que actualmente se observan en la diferentes regiones se ve agravada con el aumento esporádico de variables climáticas (temperatura y humedad relativa) y de contaminantes (como el ozono y el material particulado), en donde se puede ver afectada la salud de la población, lo que en efecto se constituye en un reto para salud pública, debido a las condiciones de transición que está viviendo la humanidad en cuanto al cambio climático, el incremento en la urbanización y el envejecimiento de la población, cuya afectación por la elevación de la temperatura afecta especialmente a la población vulnerable que habitan en zonas donde las viviendas no cuentan con los elementos o equipos que facilitan el manejo de las temperaturas extremas, principalmente al verse enfrentado a olas y eventos de calor y frío extremo, fenómenos que se presentan cada vez con mayor intensidad y frecuencia (1,7,8). Esta situación ha sido considerada por el panel de expertos en la comisión de Salud y Cambio Climático de *The Lancet* como la mayor oportunidad en la salud mundial para el siglo XXI, en la que recomienda invertir en investigación y monitoreo entre cambio climático y salud y en medidas de mitigación a nivel local y nacional, e indica que

cualquier prioridad en salud global, debe tener en cuenta el desarrollo sostenible y el cambio climático (9).

En el presente documento se detallan los aspectos de la investigación relacionados con los antecedentes, planteamiento del problema, justificación y objetivos del trabajo de investigación, en el capítulo siguiente se presenta el marco conceptual de los contaminantes ambientales y variables meteorológicas de interés, de cardiopatía isquémica y determinantes de salud asociados con temperatura; en los capítulos posteriores se exponen la metodología, los resultados y la discusión de ésta investigación.

BORRADOR

1. Aspectos preliminares

1.1 Problema de investigación

Gracias a diversas áreas del conocimiento como la biometeorología, la climatología, la epidemiología y la salud ambiental, se ha identificado al calor en áreas urbanas como un riesgo, siendo estudiado en varias ciudades de Europa, Estados Unidos, Asia y Australia principalmente. La elevación o la disminución de la temperatura genera un aumento en el número de muertes, las que se ven incrementadas aún más en las denominadas olas de calor o de frío respectivamente; adicionalmente, se ha evidenciado que a futuro sea mayor la frecuencia y la intensidad de estos fenómenos; en consecuencia se ha impulsado la investigación en las proyecciones de riesgo en salud como parte del escenario del cambio climático (5).

Varios estudios han demostrado la modificación de las condiciones térmicas de una ciudad a nivel de microclimas y de la subcapa límite atmosférica, como consecuencia del incremento de la urbanización, debida en gran medida al aumento del crecimiento poblacional, haciendo que la morfología urbana y las superficies de la ciudad se conviertan en captadores de energía térmica, un ejemplo de esto son los estudios que demuestran que la contaminación atmosférica ejerce una influencia en el comportamiento térmico de la ciudad de San Luis (Estados Unidos) y en San Juan (Argentina) y cómo a su vez, este comportamiento influencia el régimen de lluvias modificando su duración y localización (10,11).

En una revisión sistemática consultada, se evidencia una relación directa entre la exposición al calor y al frío y el riesgo de presentar enfermedad cerebrovascular (incluyendo infarto cerebral, hemorragia cerebral) y enfermedad cardiovascular incluyendo enfermedades isquémicas del corazón, por lo cual concluyen que un incremento de 1°C de temperatura, aumenta la frecuencia de morbilidad por enfermedad cardiovascular, enfermedad respiratoria, diabetes mellitus, enfermedad genitourinaria y enfermedades infecciosas (8).

Algunas investigaciones han reportado un riesgo mayor de temperaturas altas con la mortalidad por enfermedad cardiovascular, respiratoria, cerebrovascular, diabetes o trastornos psiquiátricos pre-existentes; se ha observado un riesgo elevado en mortalidad por subgrupos de la enfermedad cardiovascular como enfermedad isquémica del corazón, infarto de miocardio y falla cardíaca congestiva (12). Así mismo, se han realizado estudios que buscan evaluar el posible impacto sobre la mortalidad debido al

incremento de temperatura para los próximos años, algunos realizados a través de modelos de simulación con escenarios en donde por ejemplo, han identificado mayor número de muertes atribuibles al incremento de temperatura en la ciudad de Montreal, Canadá (13).

Existe evidencia principalmente en ciudades europeas y norteamericanas las que sugieren que cuando se presentan temperaturas inusualmente altas, se observa un incremento en la cantidad de ingresos hospitalarios asociados a enfermedades respiratorias, renales, infecciosas (tanto de vectores como transmitidas por alimentos) y accidentes cerebrovasculares, especialmente en población sensible en edades extremas, personas con condiciones médicas preexistentes o con movilidad reducida (14).

En Latinoamérica se han realizado escasos estudios en cuanto a la relación de temperatura y mortalidad, uno de ellos es el que buscó evaluar la vulnerabilidad de la mortalidad relacionada con calor en 3 ciudades: Ciudad de México, Sao Paulo y Santiago de Chile con datos de 1998 a 2002, encontrando que las altas temperaturas se asociaron con el incremento en el riesgo de mortalidad especialmente en personas mayores, aunque el riesgo estimado fue diferente entre las ciudades, por sexo y por nivel educativo (15).

La ciudad de Bogotá cuenta con características geográficas y socioeconómicas particulares que la hacen vulnerable a los efectos relacionados con la ocurrencia de eventos climáticos extremos como inundaciones, incendios y remoción en masa (16), de igual manera, Bogotá se encuentra catalogada como la ciudad de América latina con mayor densidad poblacional y la novena a nivel mundial con un promedio de 19,3 habitantes por km², factor que ha sido relacionado con mortalidad cardiovascular al asociarse con el incremento en la temperatura como resultado de las islas de calor urbanas (16).

Se han realizado múltiples estudios que examinan la relación entre mortalidad y altas temperaturas especialmente en lo que respecta a las olas de calor (1,4,12), los primeros reportes al respecto se basaban en climatología y posteriormente fueron acercándose a la epidemiología, la mayoría de las publicaciones son de serie de tiempo y de tipo case-crossover (el caso es el mismo control en diferente periodo de tiempo). Inicialmente los estudios de mortalidad y temperatura no tenían en cuenta los contaminantes del aire, ni se establecía si estos últimos ejercen un efecto confusor, modificador o ambos, especialmente si se tiene en cuenta que es crítico separar los efectos independientes de estos factores, ya que muy a menudo pueden influir mutuamente en las condiciones diarias. Igualmente, las características demográficas como la edad y el nivel de ingresos pueden modificar la severidad de los efectos en salud, haciendo grupos particularmente vulnerables que se deben tener en cuenta como población objeto en las intervenciones en salud pública (12).

La asociación entre temperatura y mortalidad es parcialmente el resultado de los efectos de material particulado y del ozono troposférico, sin embargo, este efecto definido por algunos autores como confusor es relativamente pequeño y en su mayoría concluyen que claramente existe un efecto independiente de la temperatura y la contaminación del aire sobre la mortalidad (12). En general se ha encontrado asociación positiva entre PM₁₀ y ozono con mortalidad, lo que sugiere la necesidad de considerar el papel de la contaminación en el momento de estimar la asociación de la mortalidad con la

temperatura (15). Existe evidencia de la exposición a contaminación del aire y mortalidad por enfermedad cardiovascular; sin embargo, es menos la evidencia encontrada en la literatura de la asociación de ozono con las cardiopatías isquémicas comparada con la encontrada con $PM_{2,5}$ (18).

Para la mortalidad en general en todas las edades en Latinoamérica y el caribe, la OPS (Organización Panamericana de la Salud) ha reportado un incremento de 0,6% (IC 95%= 0,16-1,07) por cada incremento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las concentraciones de PM_{10} (19). Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), las concentraciones anuales de PM_{10} en ciudades como Bogotá, Medellín y Cali se encuentran por encima del valor recomendado por esta entidad, lo que las ubica dentro de las 20 ciudades más contaminadas de América latina (20).

En el caso de Colombia cada año son atribuidas 2.600 muertes a la contaminación del aire (21), en el año 2010 el país ocupó el tercer lugar en cuanto a efectos por eventos climáticos asociados a variabilidad y cambio climático representado en 320 muertes y pérdidas económicas cercanas a los 8.000 millones de dólares (16). Con respecto a la exposición a material particulado en la ciudad de Bogotá, Blanco et al., a través de un estudio ecológico de serie de tiempo de 9 años evidenció una asociación en el incremento de las concentraciones de PM_{10} y la mortalidad aguda por todas las causas y por causa respiratoria, sin encontrar diferencias significativas por causas cardiovasculares (19). Así mismo, para Bogotá se ha evidenciado que la población adulta y especialmente los mayores de 60 años presentan con mayor frecuencia muertes debidas a enfermedades isquémicas del corazón, enfermedades cerebrovasculares e hipertensivas (el 17% para el grupo etario de 45-59 años, y el 30% para los mayores de 60 años) (16).

Se debe tener en cuenta que el microclima, la morfología de la ciudad y de las zonas verdes se encuentran interrelacionados, siendo a su vez influenciados por el crecimiento poblacional, el consumo de energía y la contaminación del aire de los centros urbanos (10). Es común que el desarrollo de la urbanización se haga al azar y sin mayor planificación en ciudades con alta densidad poblacional en América latina, no basado en planes de gestión del riesgo de la región, sino en intereses socioeconómicos con marcada especulación inmobiliaria, y en varios casos con modelos morfológicos transculturados de otros contextos socioculturales y espaciales (11).

1.2 Pregunta de investigación

¿Existe una relación entre los valores diarios de temperatura y los ingresos diarios en los servicios de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón en la ciudad de Bogotá durante el periodo 2009 a 2014 y este comportamiento presenta una tendencia en aumento en los últimos años?

1.3 Justificación

A través de la última década se han venido aumentando los esfuerzos frente a la prevención de enfermedades asociadas con la variabilidad climática, relacionadas principalmente con eventos o fenómenos climáticos extremos tales como sequías, inundaciones, deslizamientos y olas de calor, esto con el fin de implementar acciones de gestión en salud pública, encaminadas a prevenir dichas enfermedades y a mitigar los posibles efectos que causa el cambio climático dentro de la población disminuyendo así los riesgos asociados.

Existe evidencia que demuestra la realidad del fenómeno del calentamiento global y de cómo ha incrementado la temperatura de la superficie la tierra, de acuerdo a los informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*), las muertes asociadas al calor van a ser más frecuentes; existe información sobre la evaluación de morbilidad y mortalidad con la exposición a temperatura principalmente en Norte América, Europa y Asia, sin embargo, hacen falta estudios del efecto de la temperatura en análisis específicos de edad para la zona ecuatorial y zona árida (8).

Se ha encontrado un especial enfoque en el estudio de la relación entre las condiciones meteorológicas y las enfermedades infecciosas que han iniciado la preocupación para el desarrollo de modelos que permitan predecir algún comportamiento en el grupo de enfermedades con tendencia a generar brotes y epidemias, sin embargo, estas iniciativas son limitadas para el caso de las enfermedades no infecciosas.

Las enfermedades isquémicas de corazón son responsables del 61% de las muertes por enfermedad cardiovascular en Europa anualmente, siendo el infarto agudo de miocardio (IAM) la más importante dentro de éste grupo. Aunque se ha evidenciado ampliamente factores de riesgo para enfermedades cardiovasculares como el sexo, la edad, el fumar, realizar poca actividad física, diabetes, incremento en la circunferencia abdominal e hipertensión entre otras, cada vez se encuentra más evidencia del incremento de enfermedades cardiovasculares por factores de riesgo no tradicionales y de corto plazo como lo son la exposición ambiental a la contaminación del aire y al clima, específicamente a la temperatura (22).

En el informe publicado por *The Lancet*, sobre carga de la enfermedad evaluaron la mortalidad específica por sexo y edad de 1980-2016, en la que identificaron que las enfermedades isquémicas del corazón son la principal causa de AVAD (años de vida ajustados a discapacidad) para ambos sexos a nivel mundial, y es la segunda causa en Colombia después de la violencia (23). A nivel global las enfermedades cardiovasculares causan 17,3 millones de muertes al año, para el año 2030 se espera que esta cifra incremente a 23,6 millones (24). Para el caso específico de Colombia las enfermedades isquémicas del corazón corresponden al 17,84% del total de muertes para 2016, de acuerdo al Instituto para evaluación y métricas en salud en su evaluación de la carga mundial de la enfermedad (25).

En Colombia en el lapso de 10 años (2000-2010) en relación con mortalidad por enfermedades cardiovasculares se perdió cerca de 2'785.529 APVP (años potenciales de vida perdidos) equivalente a 7.000 millones de dólares y aproximadamente al 4% del PIB,

de los cuales el 46% corresponden a enfermedades isquémicas del corazón (cerca de 2.800 millones de dólares) (26). De acuerdo al Ministerio de la Protección social en los indicadores de 2011 se estimó una tasa de mortalidad general de 437,8/100.000 habitantes, siendo las enfermedades cardiovasculares la primera causa de muerte para ambos sexos, y donde la tasa de mortalidad de la enfermedad isquémica del corazón en adultos mayores de 45 años fue de 244,2/100.000 habitantes (27). Por lo anterior surge la pregunta frente a la influencia de la temperatura y las enfermedades isquémicas del corazón específicamente dentro del grupo de enfermedades cardiovasculares en la población de la ciudad de Bogotá.

Actualmente se han realizado estudios previos de información general en salud en su mayoría con la temperatura y otras variables climatológicas centradas principalmente en mortalidad, así mismo, la mayoría de estos estudios son realizados en países que cuentan con estaciones. Para el caso de la ciudad de Bogotá existen pocos estudios sobre mortalidad en el tema pero ninguno centrado en la morbilidad relacionada con la temperatura, ni en las particularidades de la población bogotana; así mismo, se debe tener en cuenta que Bogotá tiene características meteorológicas y de altitud que la hacen especialmente vulnerable en cuanto los efectos del clima en la región y a los efectos en salud para su población.

Teniendo en cuenta que Bogotá actualmente posee un nivel de desarrollo acelerado, en donde existen procesos de urbanización y crecimiento poblacional a causa de diferentes fenómenos del orden social, esto sumado a condiciones meteorológicas propias de los microclimas de la sabana de Bogotá, generan un entorno con elevadas concentraciones contaminantes propicio para afectar la salud de la población; razón por la cual, es necesario continuar fortaleciendo los procesos investigativos en el campo de la salud pública, con el fin de aportar en el adecuado manejo de dicha problemática.

Es por ésta razón que la presente investigación es de especial relevancia en cuanto a prevención, ya que pretende identificar el comportamiento de la exposición a la temperatura en Bogotá D.C. dentro del período comprendido entre el año 2009 al 2014, con el fin de establecer posibles afectaciones a la salud de la población de la ciudad enfocadas en las enfermedades isquémicas del corazón en momentos en que se presentan temperaturas por encima o debajo del promedio distrital.

1.4 Propósito

El propósito de este trabajo es obtener información relevante que aporte en el proceso de construcción del conocimiento acerca de la relación entre la temperatura y los casos de enfermedades isquémicas del corazón en la ciudad de Bogotá y que ésta información sea usada como insumo en la toma de decisiones y en el planteamiento de nuevos estudios que permitan establecer políticas públicas que busquen favorecer la adaptación y mitigación frente al calentamiento global.

Este estudio pretende ser un instrumento de utilidad, no solamente como aporte a la gestión del conocimiento, sino como una herramienta que pueda ser utilizada por las autoridades de salud pública y que de esta manera se permita articular con los otros procesos que se vienen desarrollando por las diferentes entidades en favor de la promoción de la salud y la prevención de enfermedades, como lo es la creación e implementación de políticas que prevengan la morbilidad relacionada con el calor y en la creación de sistemas de alertas del calor y de frío.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Evaluar la posible relación entre valores diarios de temperatura y los ingresos diarios en los servicios de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón en la ciudad de Bogotá D.C. durante el periodo 2009 a 2014.

1.5.2 Objetivos específicos

- Describir los patrones temporales de las enfermedades isquémicas del corazón admitidas por urgencias durante el periodo 2009 a 2014 en la ciudad de Bogotá.
- Describir la distribución de los casos de enfermedades isquémicas del corazón de acuerdo a las características sociodemográficas de sexo y edad, atendidas en urgencias en la ciudad de Bogotá de 2009 a 2014.
- Describir los patrones temporales de las variables meteorológicas y de contaminantes de interés durante el periodo 2009 a 2014 en la ciudad de Bogotá.
- Estimar la posible relación entre la temperatura y sus factores ambientales asociados y la ocurrencia de casos diarios de enfermedades isquémicas del corazón atendidos por los servicios de urgencias en la ciudad de Bogotá D.C. durante el periodo 2009 a 2014.

2. Marco conceptual

La ciudad de Bogotá D.C., se encuentra ubicada en la cordillera oriental de los Andes, posee una extensión total de 163,659 hectáreas (Ha), de las cuales 122,271 corresponden a suelo rural y la proporción minoritaria restante 41,388 hacen parte del suelo urbano; dentro del área urbana el 3,4% y en el área rural el 44,2% hacen parte de áreas protegidas. La mayor parte de la ciudad está localizada entre los 2550 y 2620 m.s.n.m., sin embargo es posible estimar alturas cercanas a los 3000 m.s.n.m. en la zona de los cerros orientales. La ciudad según el Acuerdo 02 de 1992 está dividida en 20 localidades (28).

Bogotá según la clasificación del clima de Köppen-Geiger (29) es **Cfb** siendo catalogada como de clima cálido y templado, debido a que presenta precipitaciones a lo largo de todo el año, su clasificación en letras significa: **C**= Clima templado lluvioso, el mes más frío tiene una temperatura promedio entre -3°C y 18°C ; **f** = Clima lluvioso durante todo el año, con ausencia de periodo seco; y **b** = La temperatura media del mes más cálido es inferior a 22°C , pero con temperaturas medias de al menos 4 meses superiores a los 10°C (ver anexo A).

La ciudad se encuentra determinada principalmente por la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), zona en la que convergen las masas de aire provenientes del hemisferio norte y del hemisferio sur a lo largo de la línea Ecuatorial. El desplazamiento latitudinal de esta zona, es la que genera la presencia de un régimen bimodal del clima, formando un patrón de precipitación con dos periodos de lluvias fuertes, presentados generalmente entre abril-mayo y octubre-noviembre, así como las dos épocas secas registradas usualmente entre enero-febrero y julio-agosto. En la ciudad el sistema de vientos dominante presenta un flujo que ingresa por el oriente y el suroriente, cuya dirección finaliza en el norte y noroccidente (30).

En el plan decenal de descontaminación del aire, se menciona que aunque el centro de la ciudad mantenga una tendencia a registrar temperaturas más bajas, esta zona refleja una tasa de enfriamiento menor comparada con zonas despejadas y periféricas, debido a que posee fuentes de calor internas en las edificaciones, las que generan una mayor retención de energía por el tipo de materiales de construcción utilizados en estas estructuras; adicional al efecto potencializador que ejercen la actividad del parque automotor, industrial, comercial y la aglomeración de humanos, lo que genera que la temperatura en el centro de la ciudad sea superior a la de la periferia de la ciudad (28).

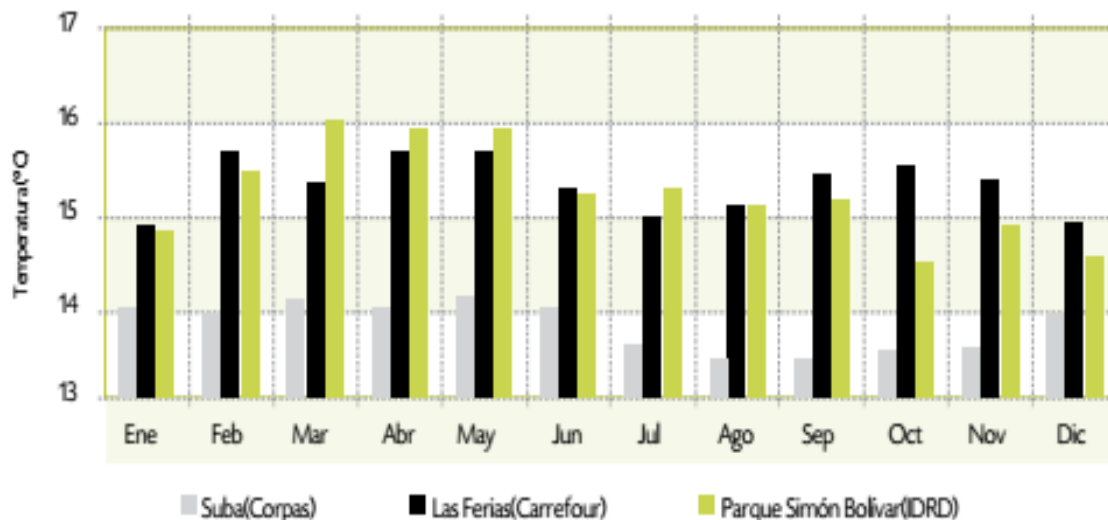
2.1 Temperatura

La temperatura se define como la energía térmica presente en el aire, que permite la circulación del viento, ejerce un efecto en la presión atmosférica y afecta en la estabilidad troposférica, siendo de gran influencia en la transformación y dispersión de los contaminantes del aire (28).

La temperatura promedio de la ciudad de Bogotá es de 13,9 °C con valores entre mínima media de 8,5 °C y máxima media de 20 °C, sin embargo, estos datos pueden variar y ser un poco más altos dependiendo de la localización geográfica dentro de la ciudad (por cantidad de edificaciones, automotores, industrias, actividad comercial y densidad poblacional), así como de la hora del día (alrededor de medio día) y la época del año (siendo los meses más cálidos marzo, abril, mayo, octubre y noviembre), haciendo que en el centro de la ciudad la temperatura promedio sea de alrededor a los 15 °C (28).

En la figura 1 se muestra dicho efecto, en donde las estaciones de Las Ferias y Simón Bolívar ubicadas en zonas céntricas de la ciudad presentan temperaturas mayores comparadas con la estación de Suba ubicada en el extremo noroccidental de la ciudad, que muestra temperaturas menores. Los meses más cálidos del año se encuentran en sincronía con la época de lluvias, ya que la precipitación actúa como una capa que retiene el calor evitando que sea disipado a la atmósfera en la noche (28).

Figura 1. Promedio mensual multianual de temperaturas de tres zonas de la ciudad de Bogotá

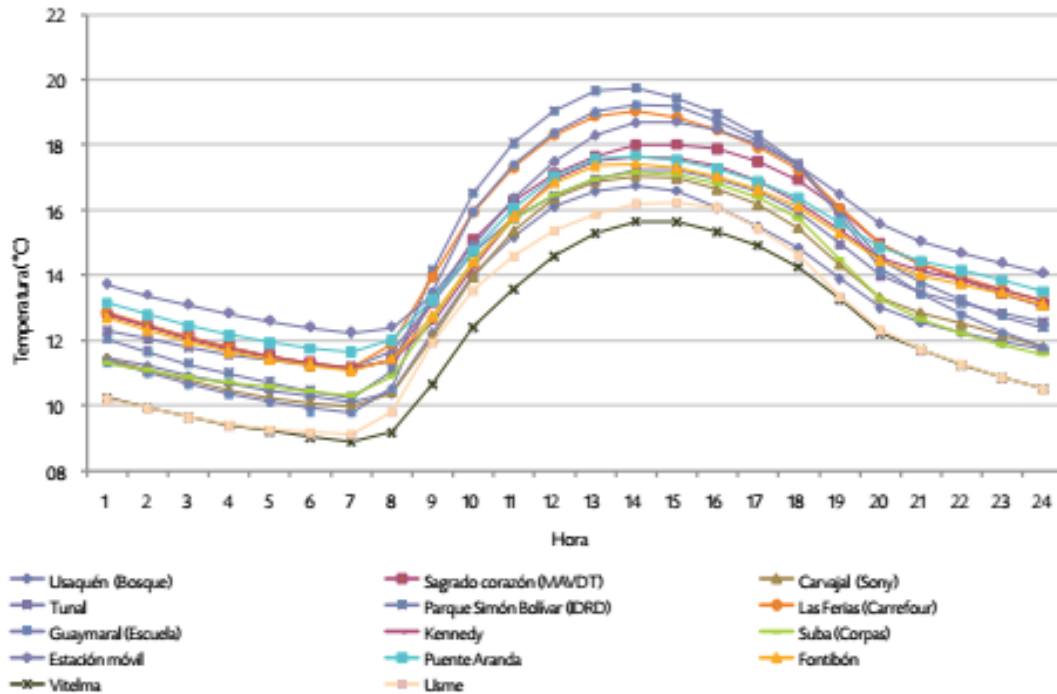


Fuente: Tomado de Plan Decenal de Descontaminación del Aire Para Bogotá 2010 (28).

En el ciclo normal, durante el día la tierra recibe energía en forma de radiación solar y aunque la tierra también emite radiación hacia el espacio, ésta es menor que la recibida

por el sol, por ende la atmósfera se calienta; en la noche la tierra sigue emitiendo radiación pero no la recibe del sol, por lo tanto en este periodo del día la tierra se enfría, tal como se observa en la figura 2 (28).

Figura 2. Promedio horario de temperaturas de la ciudad de Bogotá



Fuente: Tomado de Plan Decenal de Descontaminación del Aire Para Bogotá 2010. (28).

2.2 Inversión térmica

En condiciones normales, la temperatura disminuye a razón 0,65 °C por cada 100 metros de altitud (gradiente térmico), sin embargo existen factores atmosféricos que hacen que esta relación pueda ser mayor o menor e incluso puede ser inversa, generando lo que se conoce como “inversión térmica”, fenómeno que ocurre cuando la temperatura incrementa con la altura en lugar de disminuir, la cual obstaculiza la dispersión de los contaminantes y hace que se concentren cerca de la superficie fría (28).

Teóricamente, los contaminantes emitidos en la atmósfera ascienden disipando el calor en razón de 1°C por cada 100 metros de ascenso; sin embargo, en días soleados, gracias al sobrecalentamiento que presenta la superficie, se puede presentar un gradiente térmico mayor que el presentado con el aire seco, lo que permitiría una mejor dispersión de los contaminantes. Cuando la atmósfera se enfría en una proporción similar

a la del aire seco, lo hace de forma estable o neutra, en el cual los contaminantes no pueden ascender o dispersarse (28).

Este fenómeno es frecuente en la sabana de Bogotá especialmente en los meses en que se reduce la precipitación, es escasa la nubosidad y las noches son despejadas, haciendo que el calentamiento de la superficie sea mayor en el día y el enfriamiento sea mayor en la noche, generando que durante las horas de la madrugada se detengan las masas de aire caliente, permitiendo que se agrupen las masas de aire frío en la superficie, originando así la inversión térmica (28).

La variación diurna de la temperatura del aire se hace más notoria si el viento está en calma o es débil, así mismo, los excesos de radiación de la tierra en la noche aumentan y acarrear un sobre-enfriamiento de la superficie, y que por contacto, la masa de aire se caliente. Si las condiciones atmosféricas persisten hasta las horas de la madrugada, la inversión térmica se intensifica, lo que inhibe la dispersión de los contaminantes emitidos en superficie. Durante este fenómeno se puede observar la capa de contaminantes sobre la ciudad, capaz de dispersar la luz, reducir la visibilidad y aumentar la concentración de PM_{10} . Durante los períodos de lluvias en Bogotá, no son frecuentes las inversiones térmicas fuertes y las temperaturas diurnas son menores debido a la escasa radiación solar que ingresa a la superficie y por el proceso de enfriamiento del aire (28).

2.3 Humedad relativa

La humedad es la forma que toma el agua cuando llega a la atmósfera a través de los procesos de transpiración y evaporación, esta cantidad de vapor de agua se determina por la relación con una parcela de aire y la que tendría si se encontrara en estado de saturación, a las mismas condiciones de temperatura y presión (28).

Los valores promedio de la humedad relativa para Bogotá se encuentran entre el 75% y el 86% de acuerdo a la zona de la ciudad, siendo mayor en las zonas de baja movilidad del viento por encontrarse barreras o estar encerrado y menor en lugares despejados como los cercanos a las grandes avenidas, así mismo, depende de la densidad de cobertura vegetal que aporta a la humedad por el proceso de transpiración (28).

La humedad relativa también juega un papel relevante con los contaminantes del aire, ya que las gotas de vapor de agua se adhieren al material particulado que actúa como núcleo de condensación formando la niebla, y ésta a su vez puede absorberse con los gases contaminantes y formar aerosoles; éste fenómeno es común en Bogotá en zonas despejadas con vientos en calma, baja nubosidad y alta humedad relativa (28).

2.4 Material particulado

La contaminación atmosférica se encuentra relacionada con diversas enfermedades especialmente de tipo respiratorio, dentro de los elementos de la contaminación se ha estudiado el papel del material particulado sobre la morbilidad y mortalidad de la población en la forma de PM₁₀ (concentración másica de partículas menores a 10 micras en µg/m³) y PM_{2,5} (concentración másica de partículas menores a 2,5 micras en µg/m³), siendo estas últimas las que representan un mayor riesgo para la salud y un mayor indicador de la calidad del aire (31).

Las fuentes móviles (vehículos automotores) son la principal fuente de emisiones de material particulado a la atmósfera, encontrando niveles de hasta 75% de aporte en centros urbanos y siendo el principal generador los vehículos con motor diésel (31), sin embargo, puede ser generados por otras acciones del hombre como en el sector industrial con el uso de combustibles fósiles, o por otros procesos naturales como la erosión, las erupciones volcánicas y los incendios (32).

En estudios se ha logrado demostrar que los escapes de los motores de vehículos son la principal fuente de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), de este grupo los que causan mayor daño son los que cuentan con 5 o 6 anillos aromáticos, encontrados principalmente en el material particulado debido a su alto peso molecular y su baja volatilidad (33).

El material particulado de la atmósfera está conformado por compuestos orgánicos volátiles, metales, HAP, dinenzo-p-dioxinas, furanos, bifenilos policlorados y endotoxinas. Los HPA han sido fuertemente asociados a partículas finas, lo que incrementa la toxicidad y la carcinogenicidad de este elemento (33).

El material particulado de tamaño 10µ y 2,5µ, es capaz de ingresar en el sistema respiratorio generando efectos adversos en salud, siendo las primeras formadas por procesos mecánicos como polvo en suspensión de vías, obras de construcción y el viento y las segundas principalmente por combustión (34).

Los mecanismos de acción que se han estudiado para evaluar el impacto del material particulado en la salud, especialmente el relacionado con inflamación e irritación alveolar incluyen (31):

- Composición química: se encuentran sustancias como nitratos, sulfatos, cloro, plomo, amonio, mercurio, ácido nítrico, ácido sulfúrico, benceno, tolueno y compuestos aromáticos policíclicos (PAH, por sus siglas en inglés), aunque se ha comprobado la toxicidad de estas sustancias, el nivel de estas en la exposición a material particulado es menor a los límites tóxicos determinados.
- Tamaño de las partículas: se ha encontrado que la toxicidad de las partículas se incrementa al reducir su tamaño, probablemente esto se deba a la interacción con las membranas celulares.
- Concentración en número de partículas: el efecto tóxico de las partículas se incrementa con un mayor número de éstas.

2.5 Ozono troposférico

El ozono troposférico (O_3) es un contaminante fotoquímico del aire, considerado como perjudicial ya que en altas concentraciones actúa como un oxidante potente que causa irritación en el sistema respiratorio de humanos y animales y también genera toxicidad en las plantas, se origina a partir de reacciones químicas de precursores como oxígeno y óxidos de nitrógeno e hidrocarburos emitidos por el uso de combustibles fósiles en presencia de la luz solar (34).

El nivel de concentración de O_3 se encuentra estrechamente relacionado con los efectos e influencias del cambio climático en la salud de la población, especialmente evaluado en mortalidad, ya que actúa de forma conjunta con las altas temperaturas (4,35), como lo demuestra uno de los estudios realizados, los altos niveles de O_3 encontrados durante la ola de calor de 2003 en Francia (4) y en general en áreas urbanas, sin embargo, algunos investigadores han evaluado su papel en áreas rurales o semi-rurales, encontrando también influencia de éste contaminante en la salud y riesgo de mortalidad en este tipo de zonas (35).

Se ha evidenciado que la edad es un factor de susceptibilidad al impacto del ozono en la salud, especialmente en población mayor de 65 años quienes presentan mayor riesgo de mortalidad por sensibilidad a este contaminante (35),

Algunos estudios han concluido que en la relación entre temperatura y mortalidad, el O_3 actúa como confusor, otros han evidenciado que tiene un efecto modificador en los meses más cálidos y algunos han identificado un efecto de sinergismo en el que el efecto sobre la mortalidad es mayor (12). La asociación entre temperatura y mortalidad es parcialmente el resultado de los efectos de material particulado y del ozono troposférico, sin embargo, este efecto confusor es relativamente pequeño y claramente existe un efecto independiente de la temperatura y la contaminación del aire en la mortalidad (12,35).

2.6 Isla de calor

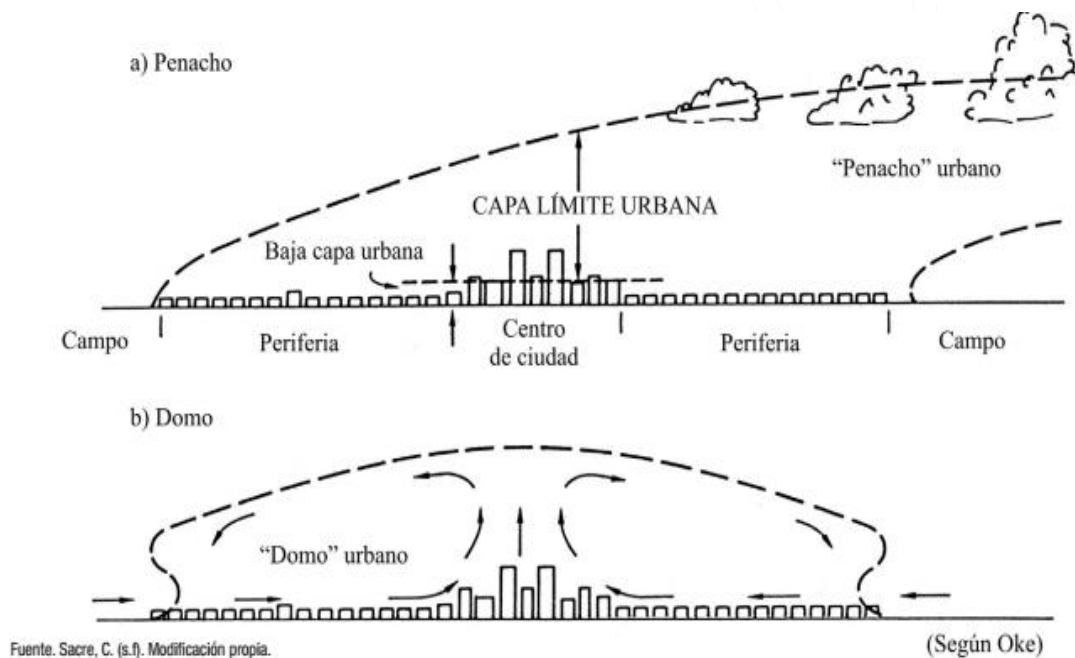
El fenómeno de islas de calor urbanas o UHI (*Urban heat island*) es el resultado de la urbanización, caracterizado por ser más caliente en el centro que en las áreas que la rodean, lo que se traduce en un ejemplo de modificación no intencionada del clima local y que es causada principalmente por la alteración del balance de energía influenciada por el cambio en el uso del suelo, las propiedades de la superficie (rugosidad, albedo¹, emisividad) y la geometría del área urbana, sumado al calor antropogénico generado por los habitantes de las ciudades (5).

¹ Albedo es el factor de reflexión solar de los materiales, indica la capacidad de reflejar las radiaciones.

Puede considerarse que las islas de calor son el resultado de la concentración de agentes contaminantes de distinta naturaleza y del calor resultante de la combustión de procesos principalmente industriales, del transporte, de la climatización doméstica, que influyen o modifican la atmósfera en zonas densas o industriales, además de las características geográficas y meteorológicas propias de cada región (4,10).

La presencia de un centro urbano modifica la atmósfera, específicamente la capa límite atmosférica, la cual comprende en general dos capas, una capa límite urbana (altura promedio de 400 m y cuyo nivel cero se ubica en la altura media de los techos de las edificaciones) y la capa inferior urbana comprendida entre la altura media de los techos de las edificaciones y el suelo). En la figura 3, se representan dos formas típicas de la capa límite urbana bajo la influencia de un viento regional (penacho) y bajo la influencia de vientos locales débiles (domo) (10).

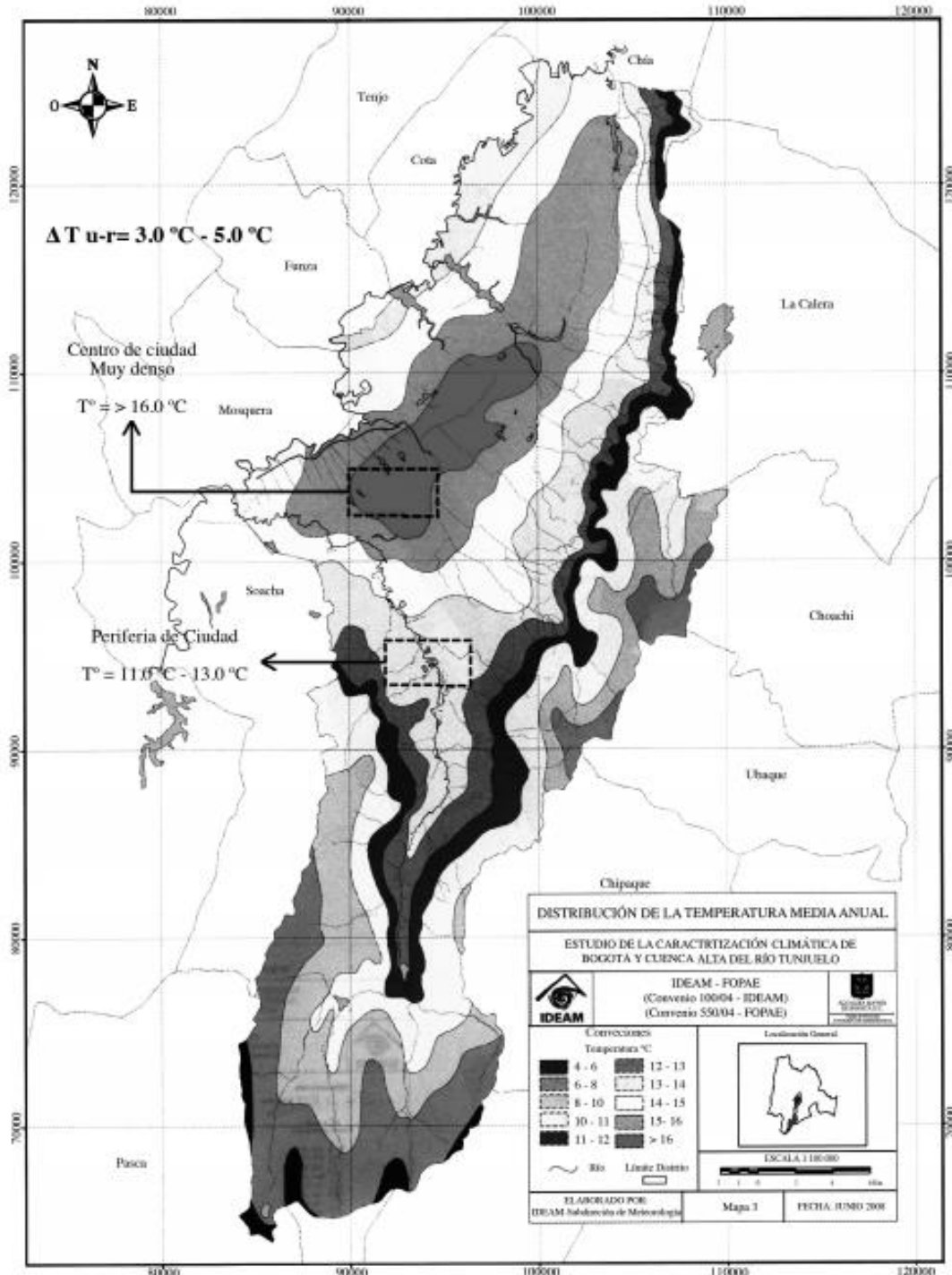
Figura 3. Formas características de la capa límite urbana.



Fuente: Tomado de Perico 2009. El espacio público de la ciudad: una aproximación desde el estudio de sus características microclimáticas (10)

En Bogotá se ha hecho una descripción preliminar de dos islas de calor urbanas, una ubicada en el centro de la ciudad y otra en el suroccidente, en la localidad de Bosa; de igual manera, la temperatura promedio en la ciudad ha aumentado 2°C por encima de la media de temperatura en la Sabana de Bogotá, a esto se añade que la temperatura es mayor en el centro de la ciudad, en comparación con los bordes urbanos (16). En la figura 4 se evidencia el fenómeno de islas de calor para la ciudad de Bogotá, en donde la diferencia para las temperaturas se encuentra entre 3°C y 5°C para el año 2007; aunque Bogotá no cuenta con el nivel de una ciudad en un país desarrollado si se ha evidenciado la presencia del fenómeno de isla de calor (10).

Figura 4. Distribución de la temperatura media anual. Isla de calor urbana en Bogotá 2007.



Fuente: Alcaldía de Bogotá y Ideam (2007). Modificación propia.

Fuente: Tomado de Perico 2009. El espacio público de la ciudad: una aproximación desde el estudio de sus características microclimáticas (10)

Es evidente que en el proceso de urbanización no se ha tenido en cuenta para la planificación de las ciudades la influencia reguladora de la capa vegetal, los vientos circulantes, los cuerpos de agua y las características de los materiales de construcción y su influencia en el mesoclima (escala de aglomeración urbana) y microclima (escala de una manzana) con el fin de encontrar el mejor desempeño térmico del espacio público y del ambiente (10).

Se ha demostrado que el incremento de la cobertura vegetal (como árboles y prados), así como el incremento en el albedo de los materiales de construcción son capaces de disminuir la temperatura de las superficies y del aire cerca al piso aproximadamente en 2°C. El efecto de la vegetación sobre la temperatura depende del paso de luz y de la radiación solar hacia la superficie del suelo y de la velocidad y dirección del viento, ya que en sí la vegetación controla y disminuye el calor urbano no enfriando el aire, sino evitando que se caliente (10).

2.7 Antecedentes climatológicos y de contaminación de aire de Bogotá.

De acuerdo a los informes anuales de la calidad de aire de Bogotá publicados por la Secretaría Distrital de Ambiente, por medio de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RCMAB), se realizan mediciones de contaminantes criterio (PM_{10} , $PM_{2,5}$ y de partículas suspendidas totales -PST), gases contaminantes (SO_2 , NO_2 , CO, y O_3) y de variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, precipitación, dirección, velocidad del viento y radiación solar y presión barométrica), éstos datos son recolectados en diversos puntos de la ciudad y enviados a una estación central en donde se validan para analizar las tendencias temporales y espaciales y comparar con la normatividad vigente (36).

Tabla 1. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio

Contaminante	Norma horaria	Norma diaria	Norma anual
PM_{10}	---	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24h)	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
$PM_{2,5}$	---	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24h)	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO_2	750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3h)	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24h)	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO_2	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1h)	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24h)	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CO	40 mg/m^3 (1h)	10 mg/m^3 (8h)	---
O_3	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1h)	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8h)	---

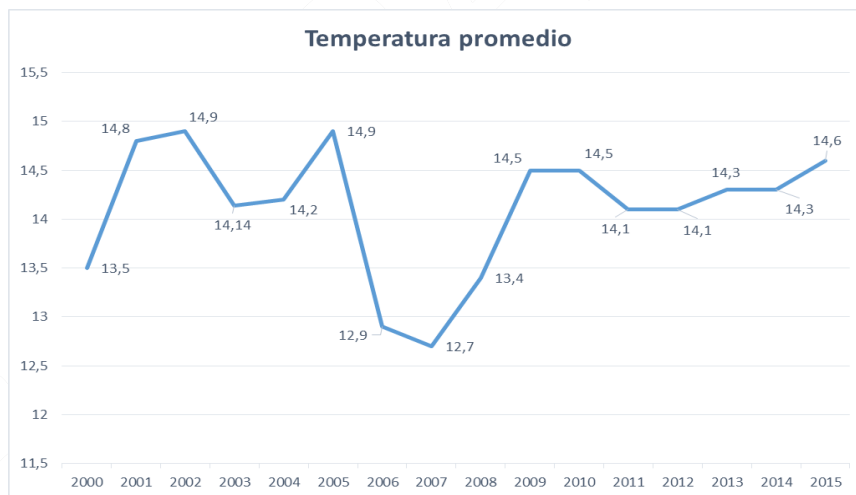
Fuente: Tomado de la Resolución 610 de 2010 (37)

Los niveles permisibles usados para medir la calidad le aire en Bogotá están definidos en la Resolución 601 del 4 de abril de 2006, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) (38), el cual fue modificado mediante la Resolución 610 de 2010 (37), tal como se presenta en resumen los valores máximos permisibles en la tabla 1.

2.7.1 Histórico Temperatura

Para el año 2015, se presentaron valores superiores de temperatura en la ciudad con respecto a los años anteriores, con incrementos de 0,9°C en diciembre y 0,8°C en abril, mayo, agosto y septiembre, el valor más alto se identificó en octubre con 20,4°C, los meses de enero y junio presentaron valores menores a los esperados; la estación de Guaymaral y la de suba son las de mayor amplitud térmica (11,2°C y 11°C respectivamente), y la de menor es Puente Aranda (6,5°C), comportamiento similar al presentado en el informe de 2013 (32,36). En la figura 5, se presenta el histórico de la temperatura media anual 2000-2013, en donde se observa que para este periodo de 16 años, el promedio máximo fue en 2002 y 2005 y el mínimo en 2007 (36).

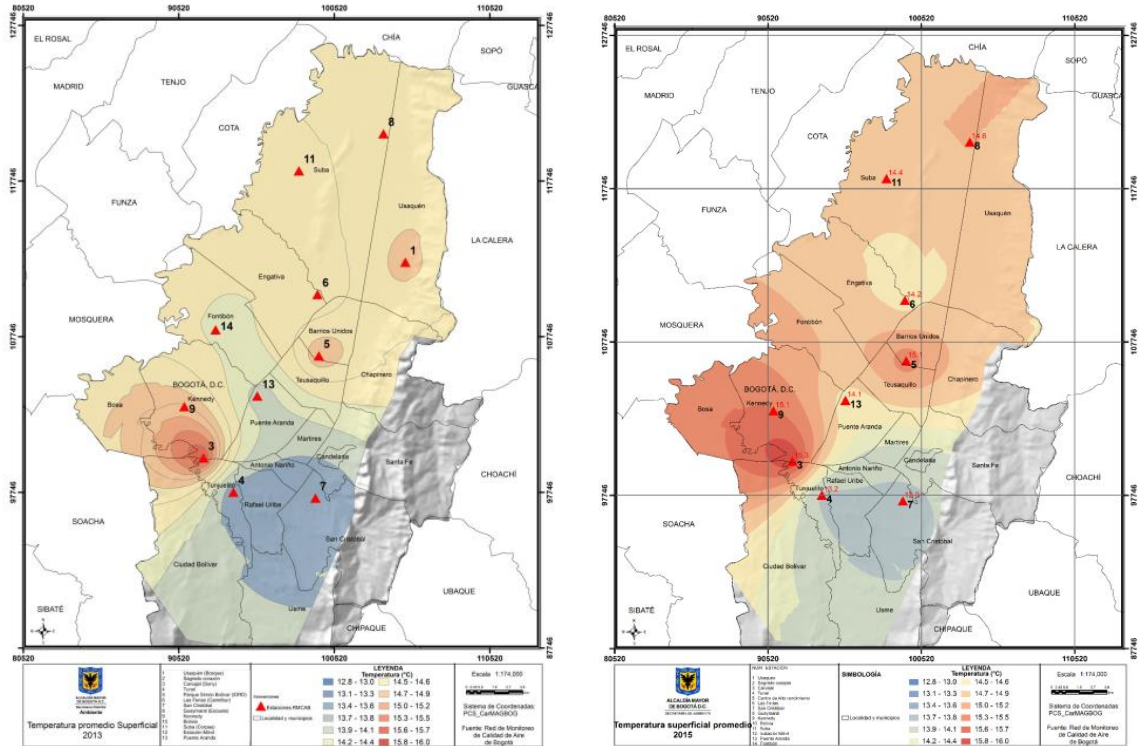
Figura 5. Temperatura anual media de las estaciones de la RMCAB 2000-2015.



Fuente: Tomado de SDA 2016. Informa anual de la calidad del aire de Bogotá 2015 (36)

La máxima temperatura diaria se encontró entre la 1:00 p.m. y las 3:00 p.m. y los valores mínimos entre las 5:00 a.m. y las 7:00 a.m., los valores más altos se encuentran en la zona suroccidental de la ciudad y los menores en el suroriente de la ciudad, siendo las más bajas hacia el sur-suroriente tal como se observa en la figura 6, en donde se comparan los mapas de temperatura de 2013 (izquierda) y 2015 (derecha) evidenciando el incremento de la temperatura promedio para la ciudad, posiblemente influenciada por el fenómeno del niño presentado en este año.

Figura 6. Mapa de temperatura superficial de las estaciones de RMCAB en 2013 y 2015.

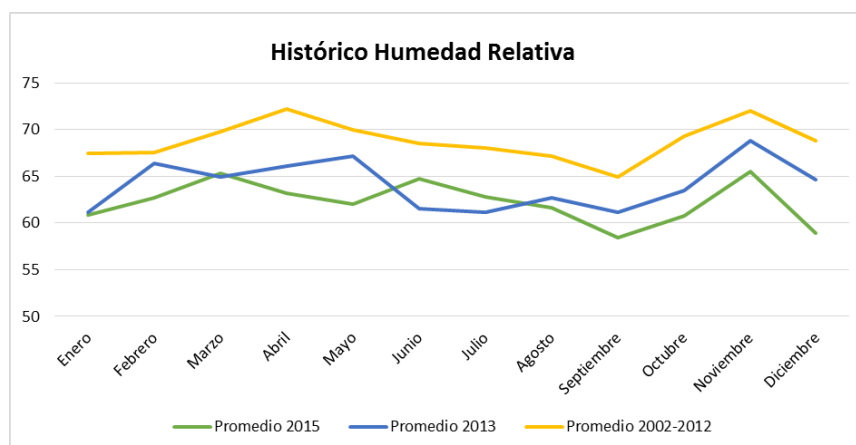


Fuente: Tomado de SDA 2016. Informa anual de la calidad del aire de Bogotá 2013 y 2015 (32,36).

2.7.2 Histórico humedad relativa

En la figura 7 se presenta el comportamiento de la humedad relativa en Bogotá comparando los registros de 2015, 2013 y el promedio de 2000 a 2012, en el que se puede observar un disminución en los niveles de humedad relativa en porcentaje para 2013 y 2015, adicionalmente se observa una tendencia al aumento en los meses de octubre y noviembre de cada uno de los años revisados (32,36).

Figura 7. Tendencia de Humedad relativa mensual de la RMCAB 2002-2015.



Fuente: Tomado de SDA 2016. Informa anual de la calidad del aire de Bogotá 2013 y 2015 (32,36).

2.7.3 Histórico PM₁₀

En el año 2015 de acuerdo al informe de calidad del aire de Bogotá, los días domingos tienen las menores concentraciones de este contaminante debido a la reducción de actividades en este día de la semana; así como en los meses de junio, julio y agosto, los que se encuentran asociados a la dinámica de los vientos y su papel en la disipación del material particulado. Los mayores niveles se presentan en los meses al inicio y final de año y los picos de los niveles se observan entre las 6:00 a.m. y 9:00 a.m., siendo similar al comportamiento presentado en 2013 (32,36,39).

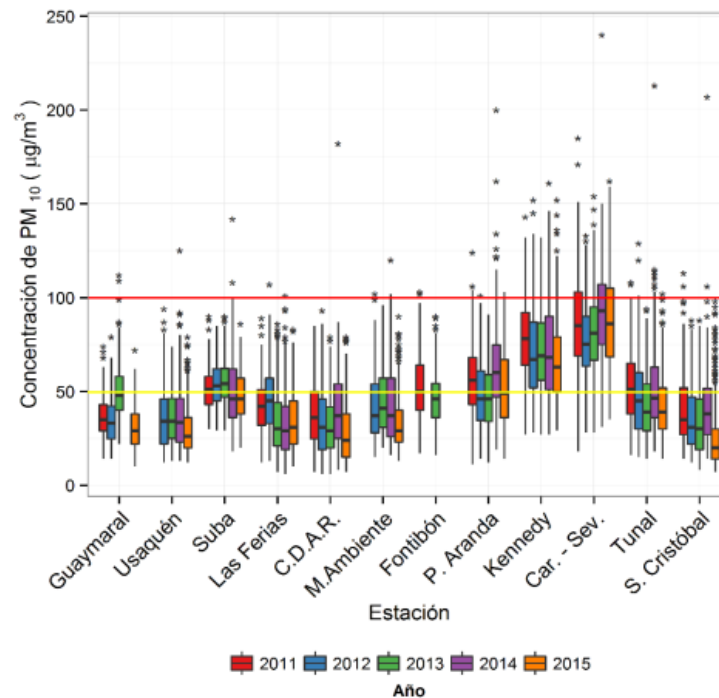
Tabla 2. Resumen de las concentraciones promedio y máxima de PM₁₀, Bogotá 2009 - 2015.

Año	Promedio ciudad $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máximo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2009	56	186		
2010	62	159		
2011	52	186	03-07-2011	Kennedy
2012	48	152	04-08-2012	Carvajal - Sevillana
2013	48	154	07-08-2013	Kennedy
2014	52	243	28-06-2014	Fontibón
2015	44	160	24-02-2015	Carvajal - Sevillana

Fuente: Tomado de SDA 2016. Informa anual de la calidad del aire de Bogotá 2015, 2013, 2012 (32,36,39).

En la tabla 2 se presenta el resumen de las concentraciones promedio y máximas históricas para PM₁₀ 24 horas con captura de datos superior a 75%, en el que se observa una tendencia a la disminución (excepto en 2014), al igual que la concentración de las excedencias se ubican en la zona suroccidente de la ciudad, zona caracterizada por tener una mayor concentración de fuentes de emisión, comportamiento que se puede observar en la figura 8.

Figura 8. Concentraciones diarias promedio de PM₁₀ por estación de monitoreo Bogotá, 2011-2015.



Fuente: Tomado de SDA 2016. Informa anual de la calidad del aire de Bogotá 2015 (36).

2.7.4 Histórico PM_{2,5}

Para el análisis del año 2015 de acuerdo al informe de calidad del aire de Bogotá, así como para 2013, los meses de mayor concentración son febrero y marzo y los de menores niveles son junio, julio y agosto; en cuanto a los días, el domingo es de menor concentración y los de mayor nivel son de martes a viernes, los picos se observan entre las 6:00 a.m. y 8:00 a.m. comportamiento similar al presentado por PM₁₀ (32,36,39).

Hasta el año 2013, sólo una estación de la red hacía medición de éste contaminante, desde 2014 se incrementó a 6 estaciones y en 2015 a 10, razón por la cual no es posible determinar un comportamiento de PM_{2,5} para los años anteriores, sin embargo se observa una disminución en el promedio de la concentración del mismo a lo largo de los años, aunque en la estación de Kennedy, se observa una disminución en la concentración con respecto a los años anteriores, ver figura 9 (36).

En la tabla 3 se presenta el resumen de las concentraciones promedio y los máximos históricos para PM_{2,5} con captura de datos superior a 75%, teniendo en cuenta que de 2011 a 2013 sólo fue válido para la estación de Kennedy, observando una disminución en los valores promedio y una localización de los concentraciones máximas en la zona suroccidente de la ciudad, caracterizada por la mayor concentración de fuentes de emisión, éste comportamiento se puede visualizar en la figura 9.

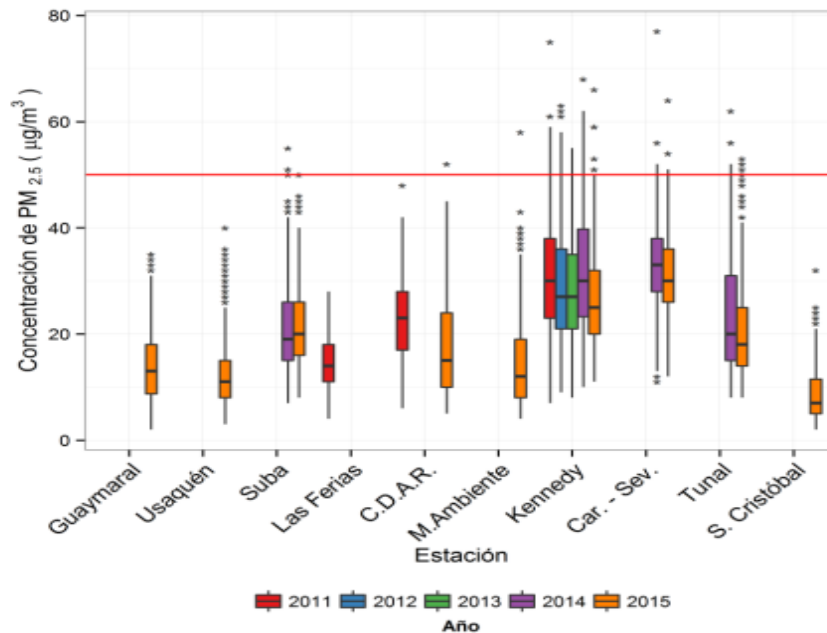
Tabla 3. Resumen de concentraciones promedio y máximos PM_{2,5}, Bogotá 2010-2015.

Año	Promedio ciudad $\mu\text{g}/\text{m}^3$ *	Máximo $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2010	39			
2011	31	75	17-03-2011	Kennedy
2012	28	63	17-02-2012	Kennedy
2013	28	55	16-01-2013	Kennedy
2014	24	77	27-06-2014	Carvajal - Sevillana
2015	19	66	17-09-2015	Kennedy

*Datos de la estación Kennedy de 2011 a 2013

Fuente: Tomado de SDA 2016. Informa anual de la calidad del aire de Bogotá 2015, 2013, 2012 (32,36,39).

Figura 9. Concentraciones diarias promedio de PM_{2,5} por estación de monitoreo Bogotá, 2011-2015.



Fuente: Tomado de SDA 2016. Informa anual de la calidad del aire de Bogotá 2015, 2013, 2012 (36)

2.7.5 Histórico O₃

Para el análisis del año 2015 de acuerdo al informe anual de la calidad del aire de Bogotá, las concentraciones más altas de ozono troposférico se observan los días domingo y lunes, los meses de mayor concentración son febrero, septiembre y octubre y los de niveles menores son mayo y junio; para 2013 los meses con mayores niveles fueron enero y abril.

En los años de seguimiento, el 2015 es el año con el promedio móvil² de 8 horas más alto (26µg/m³) y es de especial atención que las estaciones de la red que reportaron los niveles más bajos de ozono son las que presentan las concentraciones más altas de contaminantes primarios (material particulado y otros gases) (32,36,39).

En la tabla 4 se presenta el resumen de las concentraciones promedio y los máximos históricos para O₃ con captura de datos superior a 75%, en donde las concentraciones más altas se observan en horas de la tarde y la noche, siendo más evidente el efecto de la radiación solar sobre éste contaminante. Se debe tener en cuenta que son medias móviles, por lo tanto se muestra un corrimiento natural de los valores máximos comparado con lo notificado en los datos horarios (36).

Tabla 4. Resumen de las concentraciones promedio y máximos de Ozono troposférico (promedio móvil de 8 horas), Bogotá 2009-2015.

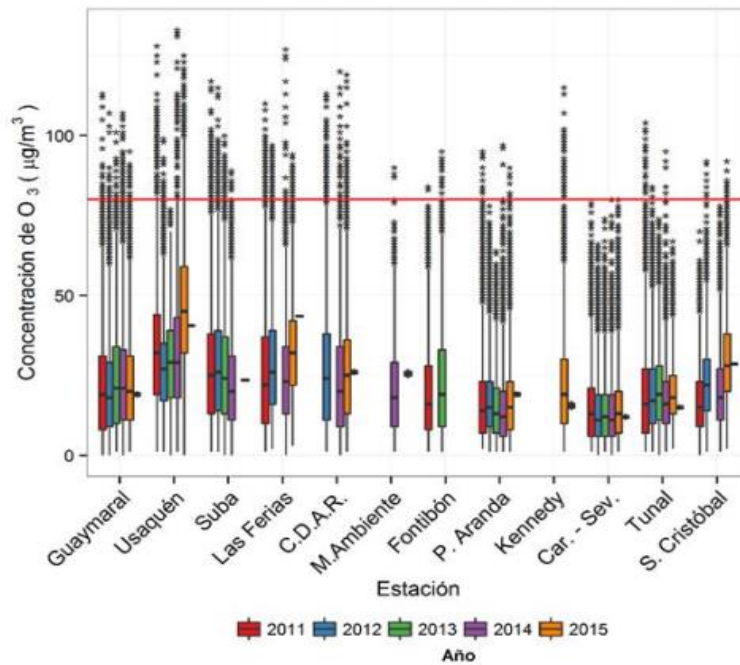
Año	Promedio ciudad µg/m ³ *	Máximo µg/m ³	Fecha de ocurrencia del máximo	Estación
2009		160		
2010		204		
2011	22	128	25-01-2011 18:00	Usaquén
2012	23	132	16-02-2012 18:00	Ministerio de Ambiente
2013	22	101	04-04-2013 18:00	Usaquén
2014	21	133	29-03-2014 19.00	Guaymaral
2015	26	125	13-09-2015 16:00	Usaquén

*Datos promedio móvil 8 horas, sólo se encuentran incluidas las estaciones representativas
Fuente: Tomado de SDA 2016. Informa anual de la calidad del aire de Bogotá 2015 (32,36,39).

En la figura 10 se observa un incremento constante en los años de seguimiento, lo que sugiere que puede haber más concentración de precursores de gases secundarios y de radiación solar, haciendo del ozono un contaminante de interés para ser tenido en cuenta en un futuro próximo; así mismo, se visualiza que la zona norte de la ciudad presenta los niveles más altos de éste contaminante, sin embargo al compararse con la norma (línea roja) ninguna mediana fue superior. Las excedencias corresponden a datos extremos de las mediciones (32,36).

² El promedio o media móvil se calcula igual que la media aritmética para un periodo de n datos, y se va recalculando a medida que se agregan nuevos datos, iniciando del último dato y manteniendo siempre el número de datos correspondiente al periodo definido (36).

Figura 10. Concentraciones diarias promedio de Ozono por estación de monitoreo Bogotá, 2011-2015.



Fuente: Tomado de SDA 2016. Informa anual de la calidad del aire de Bogotá 2015 (36)

2.7.6 Otros contaminantes

A continuación se presenta una breve descripción de los otros gases contaminantes que son medidos por la RMCAB, en donde los informes de 2013 y 2015 muestran comportamientos similares (32,36):

NO₂ - Dióxido de nitrógeno: no se observaron excedencias a la norma horaria, diaria ni anual. Los meses de mayor concentración son febrero, marzo, octubre y noviembre, y los de menor nivel son enero y junio. En cuanto al comportamiento en los días de la semana, los domingos y lunes son los de niveles menores; los picos se observan entre 6:00 a.m. y 8:00 a.m. y entre 8:00 p.m. y 10:00 p.m., al medio día se encuentra una reducción significativa (36).

SO₂ - Dióxido de azufre: ningún nivel superó lo establecido en la norma para 3 horas (promedio móvil), diaria y anual, el comportamiento es estable a lo largo de la semana, aunque los días domingos y lunes tienden a ser los de niveles más bajos y los picos se presentan entre 7:00 a.m. y 9:00 a.m., además los niveles más altos se presentan con frecuencia en el suroccidente de la ciudad (36).

CO – Monóxido de carbono: no se presentaron excedencias horarias, los días de menor concentración son los domingos y los lunes; los picos se presentan entre 6:00 a.m. y 9:00 a.m. y después de las 6.00 p.m., con respecto a los años anteriores se observa una tendencia a la disminución de éste contaminante (36).

2.8 Enfermedades isquémicas del corazón

Dentro de la categoría de enfermedades isquémicas del corazón en este estudio se incluyeron, la angina de pecho, el infarto agudo de miocardio y otras enfermedades isquémicas del corazón, códigos CIE-10: I20, I21 e I24 respectivamente.

2.8.1 Cardiopatía isquémica

La isquemia se define como la falta de oxígeno por insuficiente irrigación debida a una alteración en la entrega y recepción de oxígeno, la causa más frecuente de isquemia del miocardio es la aterosclerosis en las arterias coronarias, dichas placas de ateromas disminuyen la luz de la arterias coronarias, generando una disminución en la irrigación del tejido cardiaco en reposo o limitando el adecuado incremento del mismo cuando se demande mayor flujo sanguíneo (40).

La cardiopatía isquémica es la enfermedad más frecuente, crónica, grave y de mayor riesgo que afecta a más de 11 millones de estadounidenses, siendo la patología con el mayor impacto en mortalidad, incapacidad y gastos para el sistema de salud de países desarrollados (40). Las enfermedades cardiovasculares causan 17,3 millones de muertes al año en el mundo, para el año 2030 se espera que esta cifra incremente a 23,6 millones (24). En Colombia las enfermedades isquémicas del corazón representan al 17,84% del total de muertes en 2016, de acuerdo al Instituto para evaluación y métricas en salud en su evaluación de la carga mundial de la enfermedad (25).

▪ Fisiopatología

Algunos factores que favorecen el desarrollo de la aterosclerosis son los altos niveles de colesterol de baja densidad (LDL), la disminución de colesterol de alta densidad (HDL), hipertensión, consumo de tabaco y tener diabetes mellitus; los cuales afectan el normal desarrollo del endotelio vascular, como lo es el control normal del tono y el tener una superficie anticoagulante y de defensa hacia las células inflamatorias. Al perder éste equilibrio se genera la formación de coágulos luminales y la participación anormal de monocitos y plaquetas que afectan el tejido al acumular células y desechos anormales bajo la capa de la íntima grasa, lo que se conoce como placas ateroscleróticas, formadas irregularmente en diversas partes del árbol coronario que con el tiempo produce

estenosis de las arterias o disminución de la luz de estos vasos, lo que a su vez produce disminución considerable del flujo sanguíneo llevando a isquemia del músculo cardíaco (40,41).

La estenosis aterosclerótica coronaria, con frecuencia se genera por una placa que puede fisurarse, causar hemorragia o trombosis obstruyendo el flujo sanguíneo y generando los síntomas de una isquemia miocárdica irregular, cuyo daño depende de la localización y la cantidad de tejido implicado. La mayor demanda de flujo coronario en circunstancias como actividad física, estrés emocional o taquicardia, puede desencadenar una isquemia del músculo cardíaco (40).

Cuando los episodios isquémicos son de tipo transitorio, se asocian con casos de angina de pecho, por el contrario, si son episodios de tipo prolongado pueden generar necrosis y cicatrización del músculo cardíaco, la que puede cursar con o sin los síntomas de infarto agudo de miocardio (40).

Adicional a esta afectación mecánica, se desencadena una alteración a nivel metabólico, en la estructura y función tisular; en actividad normal el miocardio metaboliza la glucosa y ácidos grasos en agua y CO₂; al verse reducida la oxigenación considerablemente, la glucosa se transforma en lactato y los ácidos grasos no pueden ser oxidados, por lo que se genera disminución del pH intracelular y de los depósitos de fosfatos de alta energía miocárdicos, de otro lado, la membrana celular del miocito se altera generando la pérdida de potasio y la entrada de sodio. De la gravedad y la duración de la falta total de oxígeno, depende que la lesión sea reversible (de 0 a 20 minutos) o permanente con necrosis del tejido cardíaco (más de 20 minutos). Otra consecuencia de la isquemia es la alteración eléctrica que puede causar taquicardia o fibrilaciones ventriculares, siendo la arritmia ventricular maligna la mayor causa de muerte súbita inducida por isquemia (40).

En ocasiones la irrigación también puede verse afectada por trombos, espasmos, émbolos coronarios o estrechamientos de las arterias por aortitis luética; en algunos casos por anomalías congénitas se generan infarto e isquemia en la infancia, en anemias extremadamente graves o en presencia de carboxihemoglobina (40).

▪ **Presentación clínica**

La cardiopatía sistémica puede ser sintomática o asintomática, ya que se han encontrado muestras de isquemias leves en personas que no manifestaron ningún síntoma, por ejemplo, una de las formas de presentación es la muerte súbita en ocasiones no precedida por ninguna manifestación clínica, para los casos en los que si se perciben síntomas, estos se manifiestan como molestias torácicas debidas a angina o a infarto agudo de miocardio (40).

2.8.2 Angina de pecho

Se manifiesta como una sensación de opresión, pesadez o aplastamiento, en ocasiones la personas refieren sensación de quemazón, generalmente en región retroesternal con duración entre 2 y 10 minutos, el cual puede irradiarse al cuello, mandíbula, dientes,

hombros y brazos; algunos pacientes indican sentir molestias epigástricas, sin embargo, se han encontrado personas que dicen no sentir dolor pero manifiestan tener disnea (dificultad para respirar) y sensación de ansiedad (40).

Cerca del 70% de los eventos de angina de pecho son presentados en el grupo de sexo masculino, el que es incrementado después de los 50 años, para el caso de las mujeres se incrementa después de los 65 años. La angina de pecho estable se manifiesta poco a poco, posterior a eventos como el ejercicio, el estrés emocional, el frío o después de ingerir una comida pesada. Los síntomas pueden exacerbarse y remitir en días, semanas o meses y su inicio puede ser estacional, especialmente en climas templados, en los meses de invierno (40).

2.8.3 Angina inestable

Los síntomas son similares a los de una angina de pecho, pero son más intensos y de mayor duración (entre 10 y 20 minutos), suelen aparecer con esfuerzos menos intensos o incluso en reposo y en ocasiones se encuentran acompañados de disnea, sudoración, náuseas y sensación de vahído (40).

Este diagnóstico se presenta en pacientes con angina de comienzo reciente (menor a dos meses) que se aumenta en gravedad y frecuencia, con al menos 3 episodios al día; en el caso de pacientes con angina crónica estable que se desencadena con un ejercicio menos intenso que en ocasiones anteriores (angina acelerada) y en pacientes con angina en reposo (40).

2.8.4 Infarto agudo del miocardio (IAM)

Es uno de los diagnósticos más comunes de hospitalización en países desarrollados, en Estados Unidos son cerca de 1.1 millones de casos al año, la tasa de mortalidad es cercana al 30% y más de la mitad de las personas con este diagnóstico mueren antes de recibir atención hospitalaria; en personas mayores de 75 años la supervivencia disminuye considerablemente (40).

▪ Fisiopatología

El IAM suele ocurrir cuando disminuye repentinamente el flujo sanguíneo de las arterias coronarias debido al taponamiento creado por un trombo en una arteria ya disminuida en su luz por la aterosclerosis, en general, un IAM ocurre cuando se forma rápidamente un trombo por fisura, rompimiento o úlcera de una placa de ateroma en zona de lesión vascular de una arteria coronaria y cuando las condiciones generales o locales favorecen la trombogénesis, haciendo que en dicho lugar se cree un trombo mural que ocluye o cierra la arteria coronaria impidiendo el paso de sangre oxigenada (40).

Al generarse la fisura se desarrolla una capa inicial de plaquetas y junto a sustancias agonistas (adrenalina, serotonina, colágeno y ADP) se inicia la activación plaquetaria, se activa la producción de tromboxano A2 (vasoconstrictor), se induce un cambio en el receptor de la glucoproteína IIb/IIIa, la que muestra afinidad por secuencias de aminoácidos o proteínas de adherencia solubles (como integrinas), de Factor von Willebrand y fibrinógeno, éstas dos últimas favorecen la agregación plaquetaria. Al exponerse el factor tisular de las células endoteliales dañadas, se activa la cascada de coagulación, los factores VII y X, los que provocan la conversión de protrombina en trombina, que a su vez convierte el fibrinógeno en fibrina. El coágulo ya formado junto a la trombina líquida estimulan aún más la cascada autoamplificándose, por lo tanto, la arteria coronaria es obstruida por un trombo conformado por agregados plaquetarios y bandas de fibrina (40).

El IAM puede ser generado en casos pocos frecuentes por embolias coronarias, espasmo coronario, anomalías congénitas y otras enfermedades de tipo inflamatorio. El grado de daño del tejido miocárdico que puede generar un evento de IAM depende de varios factores como tamaño del tejido irrigado por el vaso afectado, duración del evento, si la obstrucción fue parcial o total, entre otras. Factores de comportamiento y hábitos como el consumo de tabaco, la hipertensión y la obesidad favorecen la presentación de eventos de IAM, así como los que padecen de angina inestable (40).

▪ **Presentación clínica**

Cerca de la mitad de los eventos se encuentra precedidos de un factor detonador como ejercicio físico intenso, estrés emocional o una enfermedad médico quirúrgica y suele ser más frecuente en las primeras horas después de despertar, debido a un pico circadiano.

El síntoma más frecuente es el dolor descrito como intenso y aplastante o de compresión aunque en ocasiones puede ser punzante, similar al de angina de pecho pero más intenso y duradero (suele ser mayor de 30 minutos), generalmente se manifiesta en la parte central del tórax, el epigastrio o ambos, suele irradiarse a los brazos y a veces hacia abdomen, espalda, cuello o mandíbula. Es frecuente que se encuentre acompañado de debilidad, sudoración, náuseas, vómito, ansiedad y sensación de muerte inminente puede acompañarse de arritmias o signos de insuficiencia cardíaca; sin embargo, en algunos casos puede no presentarse dolor (40).

2.8.5 Cardiopatía isquémica y clima

Se cuenta con evidencia para definir a la temperatura como mecanismo desencadenante que incrementa el riesgo de desarrollar eventos isquémicos, en una revisión realizada se estimó el tamaño de la variación del incremento en el riesgo asociado a IAM entre el 0-1,8% por la disminución en 1°C de temperatura, así como mayor vulnerabilidad de zonas con climas cálidos en presencia de climas más fríos, la mayoría de estudios reportaron efectos para el mismo día o 3 días después, sin efectos sustanciales a más de una semana (42).

Se ha identificado un exceso de morbilidad por cardiopatía isquémica especialmente en invierno, al igual que las bajas temperaturas favorecen el incremento en la tensión arterial y de trombosis coronaria, particularmente en población adulto mayor; se ha documentado que la mortalidad y la morbilidad (medida en ingresos hospitalarios) por enfermedad cardiovascular es mayor en temporada de invierno que en la de verano debido a grandes fluctuaciones de temperatura en un mismo día, especialmente en países donde el clima es predominantemente cálido y en población mayor de 85 años (43). También se ha identificado que el clima local influye en la vulnerabilidad de la población hacia los efectos de la temperatura como el relacionado con los patrones adaptativos a los cambios de temperatura que son más frecuentes en las zonas más frías (42).

Algunos de los mecanismos analizados para explicar el efecto de las bajas temperaturas en el incremento en la cantidad de ingresos por cardiopatía isquémica específicamente por IAM, realizados en condiciones controladas se asocian con incremento de la presión arterial, aumento de la viscosidad sanguínea, incremento en la necesidad de oxígeno y un mayor gasto cardiaco (42). También se ha observado después de la exposición a temperaturas bajas un aumento en los recuentos de neutrófilos y eritrocitos, aumento de la concentración plasmática de colesterol y fibrinógeno (factores trombogénicos), así como de subpoblaciones de plaquetas menos densas (42). Estudios experimentales sugieren que el frío induce la generación de trombos por la combinación de factores como la hemoconcentración, la respuesta inflamatoria y una tendencia hacia hipercoagulabilidad (44).

En el caso de las temperaturas altas, exposición controlada ha reportado un incremento en el recuento de eritrocitos y plaquetas, viscosidad sanguínea y del ritmo cardiaco (42). Sin embargo los autores hacen claridad que hace falta conocer más sobre estos mecanismos fisiológicos.

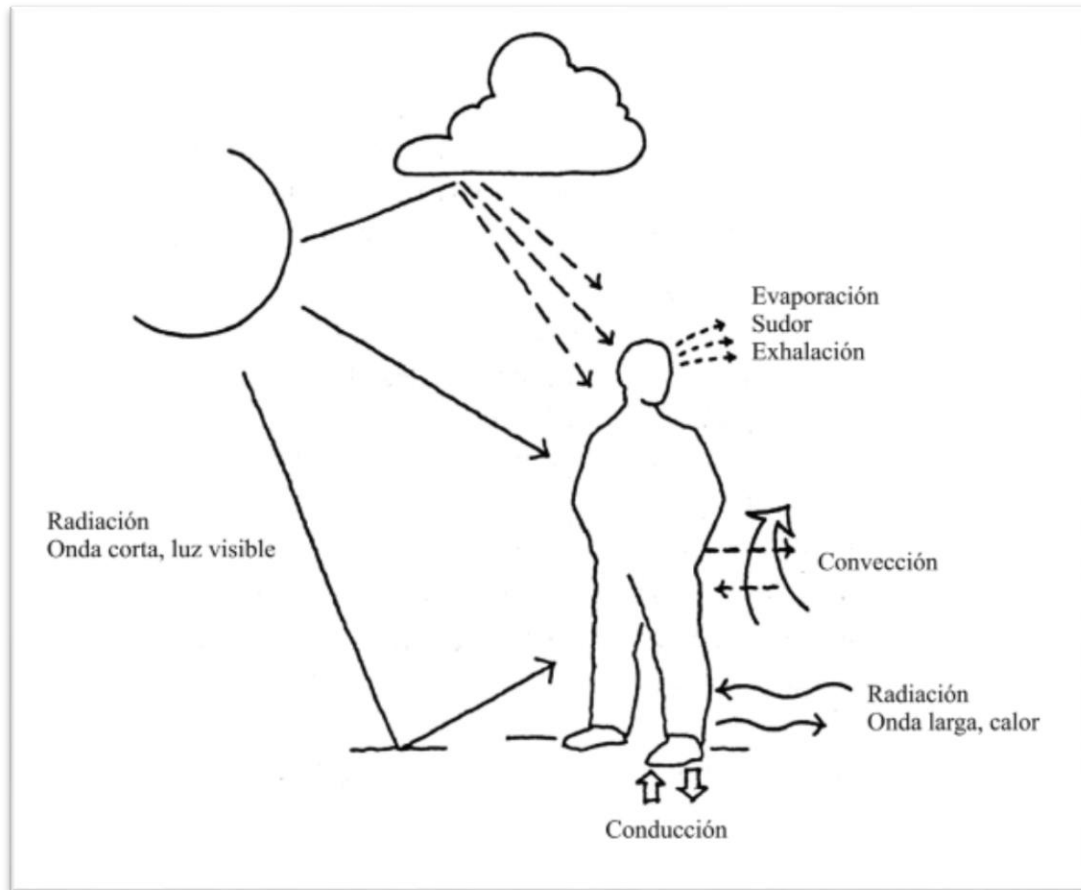
En cuanto a la relación con otras variables meteorológicas como la contaminación del aire, la Asociación Americana del Corazón concluye que el incremento de la concentración de niveles de material particulado a corto plazo se relaciona con un incremento de en la mortalidad y en la cantidad de admisiones hospitalarias por enfermedades cardiovasculares. En una revisión realizada, se reporta evidencia que sugiere que el material particulado con diámetro menor a $2,5\mu$ puede ser un predictor importante de IAM más que el material particulado de 10μ (45).

2.9 Mecanismos de intercambio térmico humano

Las altas temperaturas pueden conducir a la generación de síndromes clínicos como golpe por calor, agotamiento por calor, síncope térmico, calambres por calor entre otros. Un golpe de calor severo ocurre cuando la temperatura corporal es superior a los $39,4^{\circ}\text{C}$ lo que conlleva a una disfunción orgánica múltiple, que puede resultar en muerte en pocas horas, como las presentadas durante las olas de calor y en el caso de los sobrevivientes puede generar daño permanente en los órganos llevando a un grave deterioro funcional y a un incremento en el riesgo de mortalidad temprana (1).

Los organismos tienen la capacidad de regular el incremento de la temperatura menores a 1°C a través de mecanismos como la evaporación, la radiación, la convección y la conducción, ver figura 11 (41):

Figura 11. Modelos de intercambio térmico del ser humano con el medio ambiente.



Fuente: Tomado de Perico 2009. El espacio público de la ciudad: una aproximación desde el estudio de sus características microclimáticas (10)

- **Conducción:** mecanismo de pérdida de temperatura a través de conducción directa desde la superficie corporal hacia objetos sólidos (cerca del 3%), o por conducción aérea, transferencia si el aire es más frío que la piel (15% aproximadamente).
- **Convección:** mecanismo de pérdida de temperatura corporal por las corrientes de convección de aire, el calor se conduce hacia el aire y se aleja en las corrientes de éste.
- **Evaporación:** mecanismo de pérdida de temperatura por evaporación del agua a través de piel (sudoración) y pulmones (respiración).

- **Radiación corporal:** pérdida de temperatura en forma de rayos de calor infrarrojos, con longitud de onda de 5-20 micrometros (10-30 veces la longitud de onda de rayos luminosos) de esta forma se pierde cerca del 60% de la temperatura corporal.

2.10 Factores asociados en la relación de temperatura con morbilidad y mortalidad.

El clima, es por sí mismo un determinante importante en la sensibilidad de la población a la temperatura, asociado al papel que ejerce en la climatización de los individuos y a que el umbral de los efectos en salud, ya sea de morbilidad o mortalidad, se encuentran relacionados con la temperatura local, por ejemplo en temporada de verano (1).

Existen factores de riesgo individual caracterizados como intrínsecos, por ejemplo edad y discapacidad, y extrínsecos como alojamiento, hábitos y comportamientos, este último depende de la localización y las medidas de adaptación local al clima. Los factores de riesgo pueden ejercer acción en varios puntos de una cadena de causal entre alta temperatura y efectos en salud, ver figura 12 (1,15).

Figura 12. Esquema de factores que ejercen efectos sobre la relación temperatura alta y morbilidad y mortalidad.



Fuente: Tomado de Kovats 2008. Heat Stress and Public Health: A Critical Review (1)

2.10.1 Factores biológicos

Uno de los factores biológicos es la edad ligada al proceso de envejecimiento, esto debido al cambio en el sistema de termorregulación, en donde se ha encontrado aumentado el riesgo en personas mayores de 50 años y en el otro extremo, los niños quienes tienen un riesgo más alto de deshidratación por contar con habilidades limitadas innatas en la termorregulación (1).

En el caso del sexo, algunos estudios muestran mayor vulnerabilidad en las mujeres; además, aunque el aspecto fisiológico es importante, también lo son los factores

sociales, por ejemplo estudios muestran mayores efectos en hombres solteros y ancianos debido al aislamiento social y posiblemente a que ellos realizan más actividades al exterior (1).

2.10.2 Factores clínicos o patofisiológicos

Se ha evidenciado que personas con antecedentes de enfermedad cardiovascular, cerebrovascular, depresión y diabetes necesitan especial cuidado en climas cálidos; la temperatura ambiental puede ejercer una tensión extra en el sistema cardiovascular, y cuando el individuo se deshidrata provoca una mayor viscosidad sanguínea entre otros cambios fisiológicos que incrementan el riesgo de golpe de calor y pueden resultar en la muerte; aún si una persona sana se expone a una temperatura suficientemente alta, puede tener un golpe de calor (1).

Las enfermedades previas pueden comprometer la movilidad, la conciencia y el comportamiento, por ejemplo, algunas condiciones como la demencia y la enfermedad de Parkinson son factores de riesgo relevantes en la mortalidad por calor. De igual manera, existen algunos medicamentos comunes que interfieren en la termorregulación, como son los anticolinérgicos que afectan la sudoración y los diuréticos que pueden favorecer la deshidratación (1).

2.10.3 Factores socioeconómicos

Estudios muestran que personas en condiciones de habitante de la calle tienen un mayor riesgo de presentar golpe de calor, así mismo las personas con bajos ingresos tienen mayor probabilidad de desarrollar alguna enfermedad crónica u otros factores de riesgo médicos como obesidad o enfermedad mental, así como residir en viviendas con menos calidad y comodidades en las adecuaciones lo que puede modificar el efecto relacionado con la temperatura, cómo el acceso al aire acondicionado (1), la disponibilidad de alimentos y la calidad nutricional, el agua potable y el acceso a servicios de salud adecuados (15).

2.10.4 Instituciones de albergue

Se ha evidenciado que personas residentes de hospitales y de casa de cuidado especial como ancianatos tienen mayor riesgo de morir por calor extremo, especialmente los mayores de 75 años. El riesgo se ve incrementado en lugares que no cuentan con aire acondicionado, que presentan fallas en el mismo, o que no cuentan con por lo menos una sala fresca para los residentes. Básicamente el riesgo en este tipo de instituciones se relaciona con el nivel de discapacidad o fragilidad de los residentes, de aislamiento social, así como la disminución en su capacidad de movilización o traslado (1,4).

2.10.5 Características del lugar de alojamiento

Se cuenta con poca evidencia sobre la vulnerabilidad de las construcciones, sin embargo, se conoce que las casas de ladrillo (con una masa térmica alta), los pisos más altos de las edificaciones, lugares sin ventilación y el mantener las ventanas cerradas están asociadas con un mayor riesgo de mortalidad durante una ola de calor (1).

De igual manera, personas de bajos ingresos que residen en viviendas sin aire acondicionado debido a los altos costos en el consumo de energía por el uso de este dispositivo pueden verse afectadas, o personas cuyo equipo presenta fallas debido a la alta demanda en el uso de estos electrodomésticos durante periodos de altas temperaturas (1).

2.10.6 Fenómeno de islas de calor

Dicho fenómeno puede influir en la relación de efectos en salud y temperatura, haciendo que la población urbana presente mayor exposición, debido a que las islas de calor urbanas magnifican la temperatura en la noche (1), éste fenómeno ya fue explicado con mayor profundidad en el numeral 2.6.

2.11 Población vulnerable

Aunque no es sencillo definir el umbral de riesgo humano para la exposición a el calor o el frío y que los límites y la adaptación a este estímulo puede variar, es posible identificar algunos grupos poblacionales vulnerables como lo son (5):

- Personas mayores, generalmente con enfermedades de base y algún grado de discapacidad, condiciones que los hacen más frágiles y con menor tolerancia a los niveles extremos de temperatura, sumado a factores como la falta de movilidad haciendo que sea mayor su vulnerabilidad (5). Algunos estudios han encontrado mayor riesgo de mortalidad en periodos de olas de calor y en altas temperaturas en personas mayores de 75 años, 70 años y la mayoría lo hacen con corte en los 65 años (12). Dentro de los factores que hacen vulnerables a los adultos mayores se encuentran el vivir solos, variadas comorbilidades, consumo de múltiples medicamentos, baja respuesta comportamental al estrés térmico, adaptación fisiológica más lenta, limitado acceso a servicios de salud y condiciones de vivienda de ineficiente calefacción o refrigeración (8).
- Personas con “mala salud”, afectaciones de base o pre-existentes en su estado de salud de tipo físico o mental. Población con problemas médicos conocidos, personas con incapacidad de autocuidado o con limitaciones en la movilidad tiene un riesgo

mayor. Dentro de este grupo se encuentra la población con enfermedades de tipo respiratorio, cardiovascular y del sistema nervioso.

- Habitantes en zonas de alta densidad poblacional, zonas correlacionadas con áreas de mayores temperaturas, efectos asociados con las islas de calor.
- Personas que viven en los últimos pisos de las edificaciones más altas y más grandes, ya que en estos pisos se acumula el calor y se exponen a una mayor radiación solar entrante, lo que repercute en mayor nivel de temperatura y por lo tanto, a un mayor riesgo; por ejemplo en el Reino Unido los habitantes del costado sur del último piso de las edificaciones son considerados como de “alto riesgo” por el departamento de salud (5).
- Niños pequeños, se ha encontrado evidencia de mortalidad en altas temperaturas en grupos de menores de 15 años, menores de 5 años y menores de 1 año (5,12).
- Algunos estudios han evaluado el papel del sexo en la vulnerabilidad de esta exposición, la mayoría de ellos no encuentran alguna diferencia, sin embargo se identificaron los hombres con riesgo en enfermedades de tipo circulatorio y las mujeres con un mayor riesgo de mortalidad (12,15).
- En cuanto al grupo étnico, algunos investigadores han reportado un mayor riesgo de mortalidad en personas de raza negra y no blancos; sin embargo, no ha sido identificado este riesgo en subgrupos hispanos (12).
- Se ha encontrado evidencia de mayor riesgo en personas con bajo nivel socioeconómico, en condición de pobreza y que no cuentan con el uso de aire acondicionado, sin embargo, esta diferencia no ha sido clara en cuanto al nivel educativo (12).
- Algunos estudios han evaluado la diferencia en la ubicación geográfica de acuerdo a la latitud y han encontrado evidencia en cuanto a climatización, ya que las personas que viven en ciudades con temperaturas generalmente elevadas en verano tienen tasas de mortalidad más bajas o un menor riesgo frente al mismo nivel de temperatura en personas que viven en ciudades con climas menos extremos (12).

2.12 Estrategias de adaptación

Se ha desarrollado una amplia discusión sobre como las organizaciones de salud pública deben implementar las estrategias de adaptación y cómo obtener la evidencia requerida para hacer políticas que protejan la salud de los eventos generados por exposición al calor y por el cambio climático. De igual manera, se ha planteado que la salud pública debe desarrollar estrategias de adaptación que busquen reducir los efectos adversos en salud a corto y largo plazo o que propendan a intensificar la resiliencia en respuesta a los climas extremos y al cambio climático (7).

La resiliencia es considerada como la capacidad que tiene los sistemas de responder y recuperarse de los desastres en menor tiempo y de forma efectiva, de acuerdo con esto, las principales estrategias de adaptación se pueden organizar en dos grupos: la reducción de la exposición al calor y el manejo de los riesgos en salud asociados (7). A continuación se enuncian algunas de éstas estrategias:

- **Reducir la exposición al calor:** algunas personas tiene dificultad para mejorar su capacidad adaptativa fisiológica frente a esta exposición, se ha evidenciado que las olas de calor al principio del verano tienen un mayor impacto que las que se presentan al final del verano, posiblemente debido a una inadecuada climatización temprana.

- **Acceso a espacios frescos:** tener acceso a espacios frescos tiene un efecto protector en la morbimortalidad por calor, demostrado por el uso de aires acondicionados y su no uso por los altos costos en la electricidad. Estudios han evaluado que el funcionamiento del aire acondicionado genera calor en la parte exterior de la edificación y que con frecuencia se utilizan combustibles fósiles para su funcionamiento a través de las plantas generadoras de energía, debido a que en ocasiones la gran demanda de estos dispositivos genera fallas en el servicio de electricidad y por lo tanto induce al uso de éste tipo de generadores. Así mismo, se generan gases de efecto invernadero que favorecen el cambio climático y afectan la calidad del aire local.

- **Diseños de las edificaciones:** la temperatura al interior de las edificaciones se encuentra en función de la temperatura externa, la radiación solar, el aislamiento de la edificación, la ventilación y la capacidad del edificio de disipar el calor almacenado. La orientación de las edificaciones, el diseño y los materiales usados pueden influenciar en el impacto del calor externo en las temperaturas internas. Como medidas de salud pública se deben mejorar las condiciones de las edificaciones especialmente las construcciones antiguas y las de población con recursos limitados, con el fin de mantenerlas tibias en invierno y frescas en verano o en las olas de calor.

- **Planeación urbana:** actualmente el crecimiento de las ciudades concentradas generan el fenómeno de islas de calor urbano, en algunas áreas se ha estimulado el crecimiento de ciudades en extensiones más amplias para evitar dicho efecto, sin embargo, son zonas de alta dependencia del automóvil, encontrando en estudios que en éstas últimas se incrementaba al doble la tasa de eventos de calor extremo en comparación con ciudades más compactas. Los autores resaltan que una adecuada planeación de la ciudad juega un papel importante en la reducción de la vulnerabilidad, la resiliencia de las construcciones y la promoción de la salud. En este tema, pueden ser estudiadas medidas como el desarrollo de áreas extendidas y una buena conectividad que promueva el transporte activo por caminatas y uso de bicicletas, lo que mejoraría condiciones de salud básica; el incremento de árboles y zonas verdes que reduzcan la temperatura y mejoren la calidad del aire, así como el uso de materiales reflectivos en el pavimento y en los techos de las edificaciones.

- **Manejo de los riesgos en salud:** a través de la implementación de sistemas de vigilancia en tiempo real y con alertas tempranas. El contar con un sistema de atención en salud preparado para la atención y la ejecución de campañas de prevención en salud pública. Dentro del sistema de vigilancia en tiempo real se cuentan indicadores como muertes, ingresos a los servicios de urgencias y llamadas para solicitar ambulancias; debido al poco tiempo de exposición y los efectos como la morbimortalidad el gran

desafío de estos sistemas es determinar el punto de corte en donde el clima llega a ser suficientemente peligroso para la salud humana y así proveer garantías de intervención. Es necesario tener un excelente sistema de salud preparado para la atención, ya que de nada sirve tener un sistema de alertas tempranas y la identificación del riesgo, si no se cuenta con la efectividad necesaria en el sistema de atención, dentro de este apartado se incluye contar con personal calificado y suficiente para hacer rotación en temporadas de incremento de temperatura y establecer prioridades con grupos vulnerables como ancianos y sus lugares de cuidado. De igual manera, los planes de intervención deben ser adecuados y adaptados a las necesidades locales a través de la coordinación entre las instituciones de salud locales, los servicios sociales, las agencias voluntarias y los servicios nacionales del clima (1,7).

- **Sensibilización y educación:** enfocados en el cuidado personal, en que cada persona en su entorno puede tomar acciones para minimizar el riesgo. Se pueden enfocar en temas sencillos como mantenerse hidratado, evitar el consumo de alcohol, usar ropa ligera, tomar baños de agua fría, estar pendiente de familiares y vecinos de edad avanzada y reconocer los síntomas de estrés por calor. También se deben crear campañas educativas dirigidas al grupo poblacional de interés, como grupos vulnerables de personas mayores, o trabajadores con alto riesgo ocupacional (1,7).

2.13 Modelo de fuerzas motrices

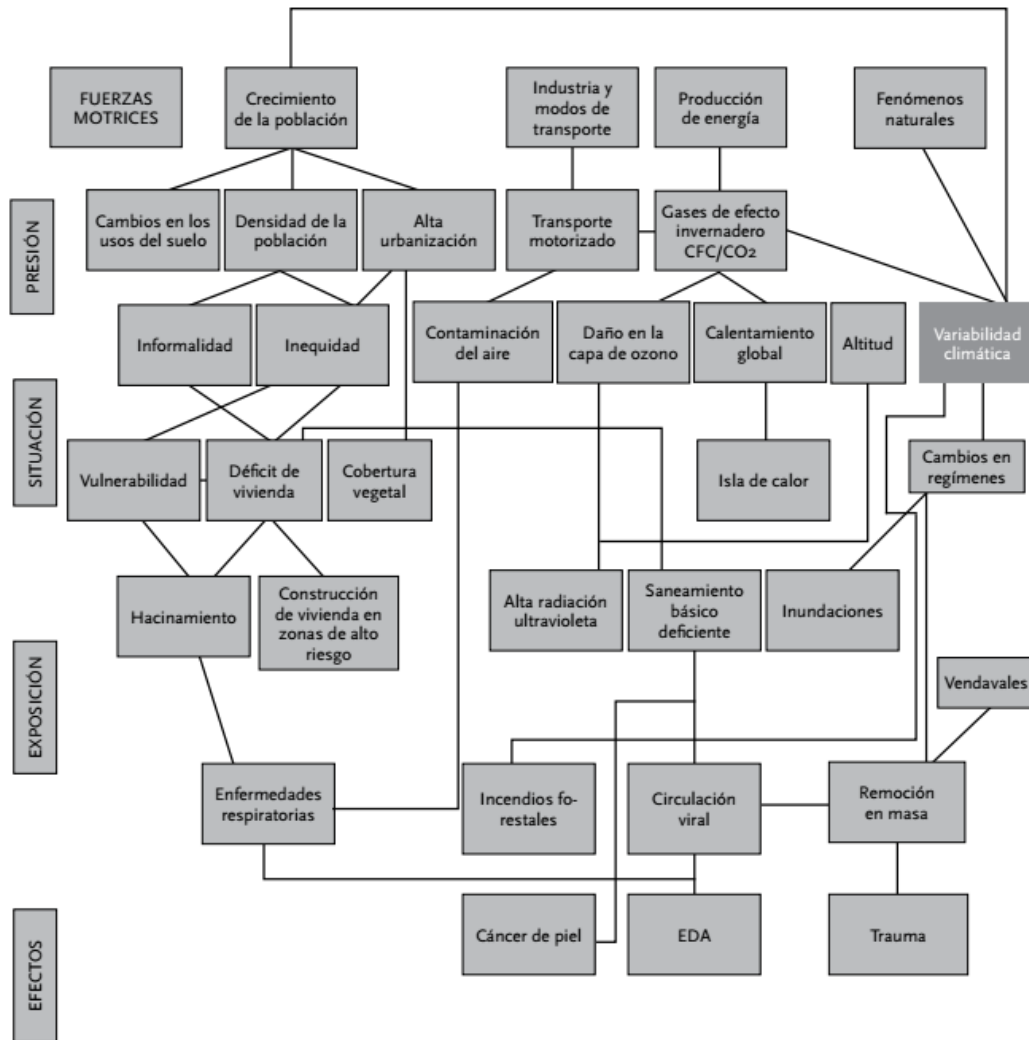
Con el fin de analizar el contexto que tiene la influencia de un ambiente o de los elementos ambientales determinados por características geológicas, climáticas y de biodiversidad, así como de las modificaciones hechas por el ser humano y de las características socioculturales de cada población, se puede hacer mediante el enfoque ecológico, cuando se define a un grupo poblacional como la unidad de análisis (46).

Existen varios enfoques para comprender la relación entre el ambiente físico y social, uno de los que sobresale especialmente en Latinoamérica, es el modelo de Fuerzas motrices: Presión, Estado, Exposición, Evento/Efecto y Acción, en donde los factores determinantes de tipo social pueden influir en los efectos que tiene la exposición a agentes ambientales en la salud de la población (46,47).

El modelo de fuerzas motrices representa la dinámica entre la exposición y los efectos en la salud, determinados por una serie de factores que ejercen una acción a través de una cadena de eventos, además permite visualizar los principales puntos de entrada para la ejecución de intervenciones que busquen modificar dichos factores. Las fuerzas motrices son factores que promueven una cadena de procesos ambientales que desencadenan presiones sobre el ambiente, manifestándose a través de la actividad humana o la explotación del mismo; estos factores se definen dentro de una situación o estado del ambiente, en donde se generan determinados grados o niveles de exposición, adicionales a la exposición misma de los eventos climáticos, o a cambios en las condiciones ambientales.

De este panorama se producen una serie de desenlaces en salud como consecuencia a la exposición a riesgos ambientales; de igual manera, en toda la cadena de relaciones se pueden implementar políticas o intervenciones, orientadas a reducir o evitar los efectos adversos en la salud. Este modelo permite desarrollar indicadores ambientales en salud enfocados en el monitoreo del cambio climático (16).

Figura 13. Modelo de fuerzas motrices cambio climático y salud en Bogotá



Fuente: Tomado de Sarmiento R. 2014. Impacto en la salud por el cambio y la variabilidad del clima en Bogotá, D. C. (16)

En la figura 13 se muestra el planteamiento del modelo de fuerzas motrices relacionada con cambio climático para la ciudad de Bogotá (16), en donde el cambio y la variabilidad climática, se relacionan con algunas fuerzas motrices como el crecimiento de la población, la producción y uso de energía, la industria y las alternativas de transporte, las

que ejercen presiones sobre el ambiente a través de la alta densidad poblacional, las emisiones de gases de efecto invernadero, el uso de aerosoles, el cambio en los usos del suelo y la urbanización. Además, el cambio climático a largo plazo afecta las variables ya enunciadas y favorece la presentación de la frecuencia e intensidad de fenómenos como las olas de calor, las heladas, inundaciones, sequías, vendavales, así como su influencia en los niveles de contaminación del aire. Dentro de las consecuencias también se relacionan el daño y pérdida de los terrenos cultivables, falta de disponibilidad y calidad de los alimentos, escasez de agua y aumento de zonas propicias a los vectores, lo que favorece la ocurrencia de enfermedades respiratorias, gastrointestinales, eventos de transmisión vectorial y alergias, traumas y mortalidad cardiovascular, entre otras. Finalmente, las acciones potenciales de relevancia en el modelo incluyen estrategias de mitigación y adaptación encaminadas a disminuir la exposición, por ejemplo, políticas que estimulen el uso de medios de transporte amigables con el ambiente con el fin de reducir la contaminación del aire (16).

3 Metodología

3.1 Tipo de Estudio

Estudio ecológico de series de tiempo con el uso de correlaciones y análisis de regresión, usado en epidemiología ambiental para cuantificar efectos a corto plazo (48–50).

3.2 Hipótesis

De acuerdo a los objetivos propuestos, se plantean las siguientes hipótesis.

Ho: No existe una relación entre la temperatura y la frecuencia de ingresos por urgencias de enfermedades isquémicas del corazón en la población de Bogotá D.C.

Ha: Existe una relación entre la temperatura y la frecuencia de ingresos por urgencias de enfermedades isquémicas del corazón en la población de Bogotá D.C.

3.3 Unidad de análisis

La unidad de análisis para los estudios de serie de tiempo es el día (50), por lo tanto se utilizaron las notificaciones de eventos agudos seleccionados, siendo los casos agregados diarios dentro del grupo de enfermedades isquémicas del corazón, admitidos en los servicios de urgencias de la ciudad de Bogotá de 2009 a 2014, los que fueron tomados de registros de RIPS (Registro Individual de Prestación de Servicios de Salud), a partir de las bases de datos del Sistema Integral de Información de la Protección Social (SISPRO) constituidas en 3 grupos según código internacional de enfermedades CIE-10: angina de pecho, infarto agudo miocardio y otras enfermedades isquémicas agudas del corazón (ver tabla 6). Al mismo tiempo, se usó mediciones de variables meteorológicas como el máximo, mínimo y media diario de la temperatura, el promedio de humedad relativa, la concentración promedio de ozono troposférico (O₃) y la concentración de

material particulado 10μ y $2,5\mu$ (PM_{10} y $PM_{2,5}$); estos datos se tomaron de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) administrada por la Secretaría Distrital de Ambiente de los años 2009 a 2014.

3.4 Zona de estudio

La zona de revisión del estudio corresponde a la ciudad de Bogotá, de donde se tomaron los datos agregados de los casos del grupo de enfermedades isquémicas del corazón y del promedio de las mediciones de contaminantes y de variables meteorológicas reportadas de las 13 estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá tal como se muestra en la figura 14. En la Tabla 5, se presentan las características de las estaciones de la red.

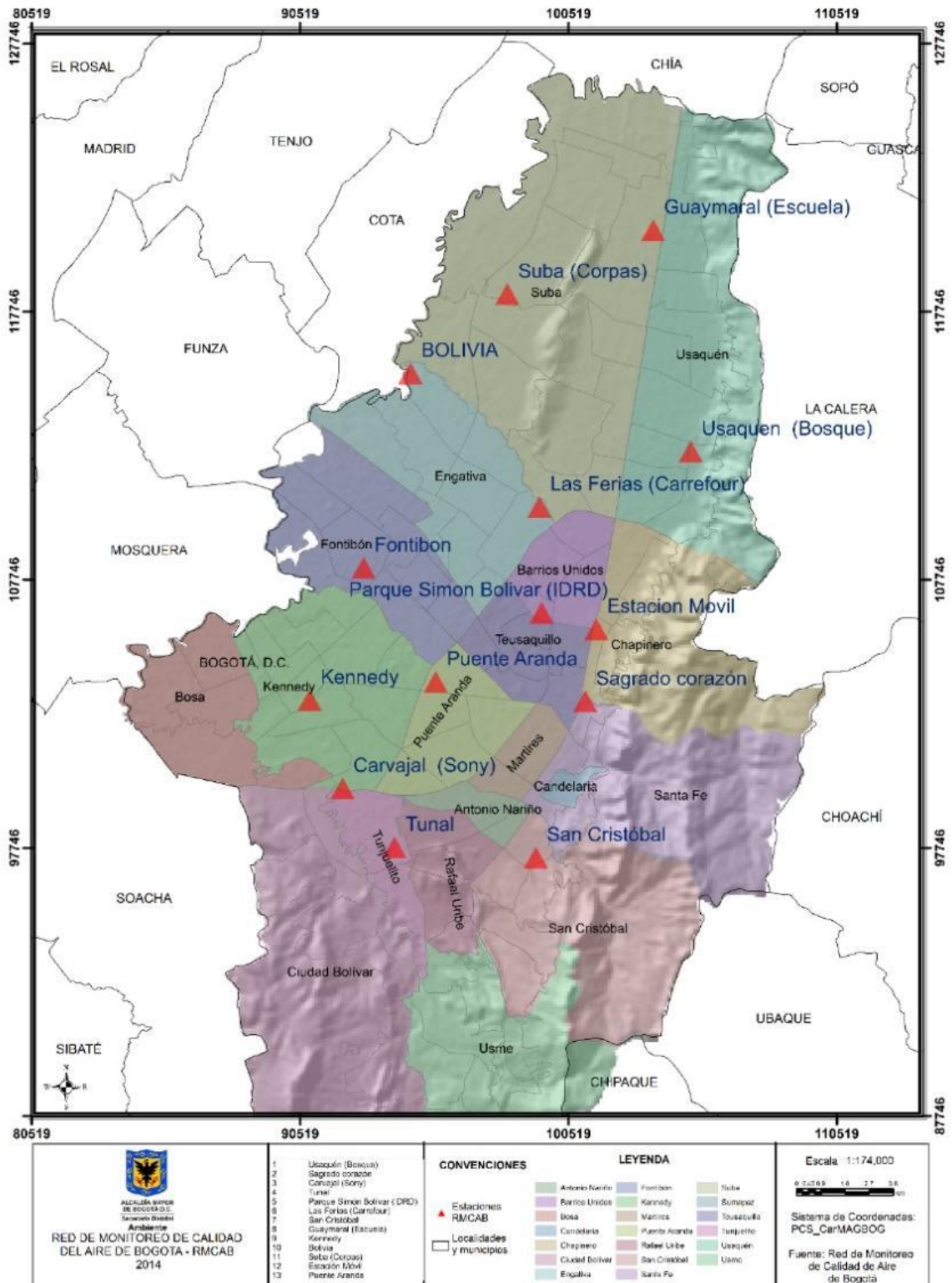
Tabla 5. Características generales de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá a 2014.

Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Localidad	dirección	Tipo de zona	Tipo de estación
Guaymaral	4°47'1.52"N	74°2'39.06"W	2580 m	Suba	Autopista Norte # 205-59	Suburbana	De fondo
Usaquén	4°42'37.26"N	74°1'49.50"W	2570 m	Usaquén	Carrera 7B Bis # 132-11	Urbana	De fondo
Suba	4°45'40.49"N	74° 5'36.46"W	2571 m	Suba	Carrera 111 # 159A-61	Suburbana	De fondo
Bolivia	4°44'9.12"N	74°7'33.18"W	2574 m	Engativá	Avenida Calle 80 # 121-98	Suburbana	De fondo
Las Ferias	4°41'26.52"N	74°4'56.94"W	2552 m	Engativá	Avenida Calle 80 # 69Q-50	Urbana	De tráfico
P. Simón Bolívar	4°39'30.48"N	74°5'2.28"W	2577 m	Barrios Unidos	Calle 63 # 59A-06	Urbana	De fondo
Sagrado Corazón	4°37'31.75"N	74°4'1.13"W	2621 m	Santa Fe	Calle 37 # 8-40	Urbana	De tráfico
Fontibón	4°40'12.36"N	74 8'29.58"W	2591 m	Fontibón	Carrera 96G # 17B-49	Urbana	Industrial
Puente Aranda	4°37'54.36"N	74°7'2.94"W	2590 m	Puente Aranda	Calle 10 # 65-28	Urbana	Industrial
Kennedy	4°37'30.18"N	74°9'40.80"W	2580 m	Kennedy	Carrera 80 # 40-55 sur	Urbana	De fondo
Carvajal	4°35'44.22"N	74°8'54.90"W	2563 m	Kennedy	Autopista Sur # 63-40	Urbana	Tráfico Industrial
Tunal	4°34'34.41"N	74°7'51.44"W	2589 m	Tunjuelito	Carrera 24 # 49-86 sur	Urbana	De fondo
San Cristóbal	4°34'21.19"N	74°5'1.73"W	2688 m	San Cristóbal	Carrera 2 Este # 12-78 sur	Urbana	De fondo

Fuente: Página web Secretaria Distrital de Ambiente.

Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/web/sda/estaciones-rmcab>

Figura 14. Distribución de las estaciones de la RMCAB al año 2014.



Fuente: Página web Secretaría Distrital de Ambiente.
 Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/web/sda/red-de-calidad-del-aire>

3.5 Muestra

Se realizó revisión de datos de fuentes secundarias en la que fue usada la totalidad de los datos diarios de enero 01 de 2009 a 31 de diciembre de 2014, consolidándose en 2191 registros de los eventos en salud consultados y las respectivas mediciones diarias meteorológicas y de contaminantes de interés.

3.6 Ventana de observación (criterios de inclusión)

- Valores diarios de eventos en salud de 2009 a 2014 que ya se encuentran validados por el Ministerio de Salud y la Protección Social, obtenidos de SISPRO. Para estos diagnósticos se define usar los ingresos al servicio de urgencias de las instituciones prestadoras de servicios de salud en la ciudad de Bogotá.
- Datos de la RMCAB de 2009 a 2014 validados por la Secretaría Distrital de Ambiente, obteniendo el promedio diario de las variables meteorológicas y de contaminantes. De igual manera, para tener representatividad del dato se tuvo en cuenta las estaciones con más del 70% de los datos para ser promediadas, esto para contar con mayor representatividad espacial de los datos (ver tabla 14).

3.7 Criterios de exclusión

- Datos de la RMCAB que por estación de medición tuviera menos del 70% de los datos para el periodo de interés.
- No se incluyeron hallazgos incidentales (códigos CIE-10: R00-09) como soplos, dolor de pecho, hemorragias, entre otros, aunque son signos y síntomas de enfermedad cardiovascular pueden ser identificados en otros eventos como enfermedades respiratorias, gastroesofágicas, digestivas y osteomusculares, por lo tanto, sólo se analizó datos de diagnóstico confirmado por CIE-10.

3.8 Fuentes de información

De acuerdo al tipo de diseño del estudio, no se usaron fuentes de información primarias, las fuentes utilizadas son de tipo secundario:

- a. Registros Individuales de Prestación de Servicios (RIPS) del Ministerio de la Protección Social 2009 a 2014 a partir de las bases de datos del Sistema Integral de Información de la Protección Social (SISPRO – www.sispro.gov.co), correspondientes a 3 grupos de enfermedades isquémicas del corazón según código internacional de enfermedades CIE-10, presentados en la Tabla 6.

Tabla 6. Códigos de enfermedades definidas según clasificación CIE-10 usadas en la consulta de Registros Individuales de Prestación de Servicios (RIPS)

Grupo I20- Angina de Pecho
I200 - Angina inestable
I201 - Angina de pecho con espasmo documentado
I208 - Otras formas especificadas de angina de pecho
I209 - Angina de pecho, no especificada
Grupo I21- Infarto Agudo de Miocardio
I210 - Infarto transmural agudo del miocardio de la pared anterior
I211 - Infarto transmural agudo del miocardio de la pared inferior
I212 - Infarto agudo transmural del miocardio de otros sitios
I213 - Infarto transmural agudo del miocardio, de sitio no especificado
I214 - Infarto subendocárdico agudo del miocardio
I219 - Infarto agudo del miocardio, sin otra especificación
Grupo I24- Otras Enfermedades Isquémicas Agudas del Corazón
I240 - Trombosis coronaria que no resulta en infarto del miocardio
I248 - Otras formas de enfermedad isquémica aguda del corazón
I249 - Enfermedad isquémica aguda del corazón, no especificada

Fuente: Lista de diagnósticos CIE-10.

Este grupo de diagnósticos fue seleccionado debido a que según estudios de carga de la enfermedad, las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de morbilidad y mortalidad, de las cuales las enfermedades isquémicas del corazón son las de mayor impacto en la población (23); adicionalmente estos diagnósticos se han relacionado con la exposición a temperatura, como en el informe final de morbilidad asociada a islas de calor urbano en Bogotá, en donde las cardiopatías isquémicas presentaron una mayor relación con temperatura y contaminación del aire, lo que pudo influenciar que un vaso sanguíneo previamente dañado expuesto a estos factores ambientales pueda desencadenar en un episodio isquémico agudo, por lo tanto estos tres grupos de diagnósticos se seleccionaron como eventos centinela de cardiopatía isquémica, sin tener en cuenta las complicaciones o procesos crónicos (51).

El sistema SISPRO se basa en una bodega de datos en el que se puede acceder a información para la construcción de indicadores y reportes, dicho sistema permite estandarizar y normalizar los registros, así como su almacenamiento, flujo, transferencia y accesibilidad a la información recolectada desde las EPS, asegurando que las bases de datos integradas cuentan con un proceso de validación previo brindando confiabilidad en la calidad de los datos integrados (52,53).

- b. Mediciones de variables meteorológicas y de contaminantes tomados de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire (RMCAB) de los años 2009 a 2014 a partir de la base de datos de la Secretaría Distrital de Ambiente, según las estaciones que realizan dichas mediciones, ver Tabla 7.

En cuanto a la calidad de los datos recolectados por las estaciones, estos son sometidos a un proceso de validación y análisis para evaluar el cumplimiento frente a la normatividad nacional vigente (54)

Tabla 7. Parámetros de interés medidos de las estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá.

Estación	Contaminantes			Variables meteorológicas	
	PM ₁₀	PM _{2,5}	O ₃	T (°C)	HR
Guaymaral	X		X	X	X
Usaquén	X	X	X	X	
Suba	X		X	X	
Bolivia					
Las Ferias	X	X	X	X	X
P. Simón Bolívar	X	X	X	X	X
Sagrado Corazón	X		X		
Fontibón	X		X	X	
Puente Aranda	X		X	X	
Kennedy	X	X		X	X
Carvajal	X	X	X	X	
Tunal	X	X	X	X	X
San Cristóbal	X		X	X	X
Móvil	X		X	X	X

Fuente: Página web Secretaría Distrital de Ambiente.
 Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/web/sda/estaciones-rmcab>

3.9 Definición de variables

Las variables que se han definido en esta investigación son presentadas en la tabla 8:

- Variables independientes: Concentración de PM₁₀, PM_{2,5}, O₃, humedad relativa y temperatura (mínima, máxima y promedio), variables sociodemográficas (sexo, grupo de edad).
- Variables dependientes: casos notificados de enfermedades isquémicas del corazón, por código CIE-10.

Tabla 8. Variables incluidas en el estudio.

Variable	Definición	Naturaleza	Tipo	Escala
Eventos en salud				
I200 - Angina inestable	Número de casos diarios notificados con el código I200 en la consulta en SISPRO	Cuantitativa	Discreta	Razón
201 - Angina de pecho con espasmo documentado	Número de casos diarios notificados con el código I201 en la consulta en SISPRO	Cuantitativa	Discreta	Razón
I208 - Otras formas especificadas de angina de pecho	Número de casos diarios notificados con el código I208 en la consulta en SISPRO	Cuantitativa	Discreta	Razón
I209 - Angina de pecho, no especificada	Número de casos diarios notificados con el código I209 en la consulta en SISPRO	Cuantitativa	Discreta	Razón
Grupo I20- Angina de Pecho	Consolidado del número diario de casos notificados con el grupo de códigos I20 en la consulta en SISPRO	Cuantitativa	Discreta	Razón
I210 - Infarto transmural agudo del miocardio de la pared anterior	Número de casos diarios notificados con el código I210 en la consulta en SISPRO	Cuantitativa	Discreta	Razón

Variable	Definición	Naturaleza	Tipo	Escala
I211 - Infarto transmural agudo del miocardio de la pared inferior	Número de casos diarios notificados con el código I211 en la consulta en SISPRO	Cuantitativa	Discreta	Razón
I212 - Infarto agudo transmural del miocardio de otros sitios	Número de casos diarios notificados con el código I212 en la consulta en SISPRO	Cuantitativa	Discreta	Razón
I213 - Infarto transmural agudo del miocardio, de sitio no especificado	Número de casos diarios notificados con el código I213 en la consulta en SISPRO	Cuantitativa	Discreta	Razón
I214 - Infarto subendocardico agudo del miocardio	Número de casos diarios notificados con el código I214 en la consulta en SISPRO	Cuantitativa	Discreta	Razón
I219 - Infarto agudo del miocardio, sin otra especificación	Número de casos diarios notificados con el código I219 en la consulta en SISPRO	Cuantitativa	Discreta	Razón
Grupo I21- Infarto Agudo de Miocardio	Consolidado del número diario de casos notificados con el grupo de códigos I21 en la consulta en SISPRO	Cuantitativa	Discreta	Razón
I240 - Trombosis coronaria que no resulta en infarto del miocardio	Número de casos diarios notificados con el código I240 en la consulta en SISPRO	Cuantitativa	Discreta	Razón
I248 - Otras formas de enfermedad isquémica aguda del corazón	Número de casos diarios notificados con el código I248 en la consulta en SISPRO	Cuantitativa	Discreta	Razón
I249 - Enfermedad isquémica aguda del corazón, no especificada	Número de casos diarios notificados con el código I249 en la consulta en SISPRO	Cuantitativa	Discreta	Razón
Grupo I24- Otras Enfermedades Isquémicas Agudas del Corazón	Consolidado del número diario de casos notificados con el grupo de códigos I24 en la consulta en SISPRO	Cuantitativa	Discreta	Razón

Variable	Definición	Naturaleza	Tipo	Escala
Mediciones ambientales				
Temperatura media	Promedio diario de las medias de la temperatura en grados centígrados (°C) reportada por la RMCAB	Cuantitativa	Continua	Intervalo
Temperatura mínima	Promedio diario de los datos mínimos de la temperatura en grados centígrados (°C) reportada por la RMCAB	Cuantitativa	Continua	Intervalo
Temperatura máxima	Promedio diario de los datos máximos de la temperatura en grados centígrados (°C) reportada por la RMCAB	Cuantitativa	Continua	Intervalo
Humedad relativa	Promedio diario de los datos de la humedad relativa en proporción (%) reportada por la RMCAB	Cuantitativa	Continua	Razón
Amplitud térmica	Cálculo de los datos de temperatura máxima menos temperatura mínima diarios en grados centígrados (°C) reportada por la RMCAB	Cuantitativa	Continua	Razón
PM₁₀	Promedio diario de los datos de material particulado 10µ (PM ₁₀) en µg/m ³ reportada por la RMCAB	Cuantitativa	Continua	Razón
PM_{2,5}	Promedio diario de los datos de material particulado 2,5µ (PM _{2,5}) en µg/m ³ reportada por la RMCAB	Cuantitativa	Continua	Razón
Ozono (O₃)	Promedio diario de los datos de Ozono troposférico (O ₃) en µg/m ³ reportado por la RMCAB	Cuantitativa	Continua	Razón
Características sociodemográficas				
Sexo	Sexo de los casos notificados SISPRO	Cualitativa	Nominal	Dicotómica
Grupo de edad	Grupo de edad según ciclo vital reportados en SISPRO	Cuantitativa	Continua	Razón

Fuente: Autor

3.10 Recolección, procesamiento y análisis de la información

Se organizó una base de datos de la información recolectada asignando cada una de las mediciones de las variables de salud, meteorológicas y de concentración de contaminantes por registro diario desde enero 01 de 2009 a diciembre 31 de 2014, consolidando un total de 2.191 registros. Los análisis estadísticos fueron realizados con el paquete SPSS v.20 y el software libre “R”.

Se realizó validación y verificación de los datos para las variables climáticas, identificando datos extremos y valores perdidos. Para la identificación de los valores extremos de cada estación con el uso de la fórmula: $Q1-1,5xIQR$; $Q3+1,5xIQR$, lo que resulta en datos extremos bajos y altos, a estos se les realizó ajuste por sustitución de a mediana del día para las variables de temperatura y para los datos perdidos se realizó remplazo por el método de imputación múltiple a través de la función de regresión lineal para las variables de intervalo, esto con el fin de buscar una serie temporal que se ajuste a los datos reales, y así no tener sesgos de selección al dar más peso a unas estaciones que a otras.

3.10.1 Análisis descriptivo

Se realizó análisis descriptivo a todas las variables, a las variables cuantitativas se le realizó pruebas de normalidad, y según el resultado se reportan los estadísticos descriptivos usando medidas de tendencia central y de dispersión como promedios y desviación estándar para las que presentan distribución normal o como medianas y percentiles para la demás. Los resultados son presentados en tablas con el resumen de los estadísticos y con gráficos de histogramas, cajas y bigotes para la representación de la distribución de los datos.

3.10.2 Análisis bivariado

Se realizó análisis de correlación entre cada una de las variables de eventos en salud y por grupo de acuerdo a la clasificación CIE-10 con cada una de las variables meteorológicas y de contaminantes usadas, éste análisis se hizo evaluando los coeficientes de Pearson y de Rho de Spearman, calculando el valor p. Así mismo, se construyeron gráficos de secuencias. Se realizaron pruebas independientes de autocorrelación y pruebas de correlación cruzada entre el número de casos de los eventos en estudio y las variables de temperatura, humedad relativa, ozono troposférico y material particulado (10μ y $2,5\mu$), con 7 días de rezagos (lag).

3.10.3 Análisis multivariado

Para analizar la relación entre variables de exposición y número de ingresos al servicio de urgencias se realizó análisis multivariado usando modelos de regresión de Poisson para la zona de estudio (ocurrencia de eventos de baja frecuencia, la inclusión de variables potencialmente confusoras y a la posibilidad de tener una variación a corto plazo) (48,50).

En el análisis de regresión de Poisson se incluyó como variables explicativas las variables meteorológicas de manera independiente para cada uno de los diagnósticos y con aquellas que presentaban significancia se probaron diferentes modelos de regresión por evento de salud con el fin de establecer parsimonia en los modelos. Se tuvo en cuenta como variables de interés la temperatura y como covariables los contaminantes que presentaban valores que exceden la norma colombiana, se hicieron pruebas de términos de colinealidad. La estimación del modelo se llevó a cabo por máxima verosimilitud.

Es probable que existan factores de riesgo no cuantificados que pudiesen estar correlacionados con la exposición llevando a lo que se denominaría confusión temporal. Dentro de estos factores de confusión temporales podrían haber tendencias a largo plazo y variación estacional en las tasas y exposiciones (55). Con el fin de reducir posibles factores confusores temporales como la estacionalidad y la tendencia a largo plazo se aplicó en los modelos de regresión dinámica (modelos no lineales de rezagos distribuidos) una función spline de suavizado en la variable tiempo, el cual es explicado a continuación (50,55).

3.10.4 Metodología de Modelos no lineales de rezagos distribuidos

Un modelo de regresión estadística permite establecer la relación entre un conjunto de predictores y un resultado y por lo tanto, estimar el efecto relacionado; en relaciones más complejas como cuando la dependencia muestra efectos retrasados, es decir, la presencia específica de un predictor o una exposición afecta el resultado en un lapso de tiempo más allá del periodo de exposición, se requieren modelos más complejos que permitan caracterizar la asociación especificando la estructura temporal de la dependencia (56).

Debido a que existen efectos que no son limitados al tiempo de exposición y que surgen como resultados futuros (rezagos o retrasos definidos - *Lag*) que describen la estructura temporal del efecto especialmente en evaluaciones a corto plazo de exposición, de amplio uso en estudios de factores ambientales (como valoración de salud con contaminación de aire o temperatura con efectos tardíos varios días después de la ocurrencia de la exposición), así como el efecto de “cosecha” en el que se ve afectada especialmente población frágil o vulnerable que se encuentra relacionada con un breve

periodo de tiempo de exposición o al disminuir el efecto de la exposición a los pocos días lo que reduce el impacto global a largo plazo, se hace necesario el uso de modelos lo suficientemente flexibles que permitan representar simultáneamente la relación de exposición-efecto y la estructura temporal (56,57).

Un modelo general para describir resultados de una serie de tiempo de resultados Y_t , con $t= 1, \dots, n$ es dado a continuación (fórmula 1) (56,57):

$$g(\mu_t) = \alpha + \sum_{j=1}^J s_j(x_{tj}; \beta_j) + \sum_{k=1}^K \gamma_k u_{tk}$$

(Formula 1)

En donde,

$\mu \equiv E(Y)$

g: función de enlace monotónico

Y: es una serie de resultados con $t= 1, \dots, n$, se asume que surge de una distribución perteneciente a la familia exponencial.

S_j: denota la relación suavizada entre las variables X_j y el predictor lineal, definido por los parámetros vectores β_j . También puede ser para métodos no paramétricos o modelos aditivos generalizados.

U_k: variables que incluyen otros predictores con efectos lineales especificados por los coeficientes relacionados γ_k .

En análisis de series de tiempo de resultados de factores ambientales Y_t son comúnmente las cuentas diarias originadas de la distribución sobredispersada de Poisson con $E(Y)=\mu$, $V(Y)=\phi\mu$ y un enlace canónico (formula 1), éste tipo de análisis en epidemiología ambiental (series de tiempo) de la exposición y el efecto, son controlados por factores confusores como la estacionalidad y la tendencia a largo plazo (56,57).

La metodología de modelos no-lineales de rezagos distribuidos (DLNM – *Distributed Lag Non-linear Models*), se basa en un espacio cruzado bidimensional de funciones que describen simultáneamente la forma de la relación de un espacio predictor y la dimensión tardía de su ocurrencia, es decir, permite describir la dependencia a través de dos dimensiones a la vez, la variación del efecto a lo largo del espacio de un predictor usual y la dimensión de rezagos de su ocurrencia; siendo el *Lag* o rezago, el que representa el periodo transcurrido entre la exposición y la respuesta, asumiendo que los efectos de retraso son no lineales (56,57).

Este modelo usa matrices de funciones de bases cruzadas que permiten visualizar en un espacio bidimensional la descripción simultánea de funciones representando la forma de la relación entre una variable y la distribución de los efectos retrasados, esto se obtiene

al construir una cuadrícula de predicciones para cada rezago y para los valores adecuados de exposición usando gráficos tridimensionales para generar una imagen de los efectos que varían a lo largo de las dos dimensiones (57). El modelo DLNM es representado en la fórmula 2, en donde \mathbf{r}_{tj} es el vector de la exposición retrasada para el tiempo t transformado a través de la función base j ; el vector \mathbf{w}_t es el resultado de aplicar las funciones de bases cruzadas $v_x \cdot v_l$ a la función x_t (57).

$$s(x_t; \mathbf{n}) = \sum_{j=1}^{v_x} \sum_{k=1}^{v_l} \mathbf{r}_{tj}^T \cdot \mathbf{c}_{jk} n_{jk} = \mathbf{w}_t^T \cdot \mathbf{n}$$

(Formula 2)

A menudo, estos modelos incluyen funciones de suavizado del tiempo para capturar el efecto lentamente cambiante de los confusores sobre ésta variable, expresados como tendencias de largo plazo o estacionalidad; así mismo, los efectos no lineales de los factores meteorológicos como temperatura y humedad (57). El modelo de DLNM es un modelo de análisis que se encuentra en continuo uso en el estudio de efectos por factores ambientales y en constante evolución con aplicaciones en diversos campos, como lo es el avance en la reducción de estimadores para metaanálisis (58).

El desarrollo de este procedimiento se siguió usando la guía de uso del paquete dlnm del software R, en el que se hace énfasis de representación gráfica que facilita su interpretación (56,59). En este caso se fijó el modelo de serie temporal asumiendo una distribución de Poisson sobredispersada (quasipoisson), incluyendo una función de suavizado del tiempo con 7 gL por año (para corregir la estacionalidad y la tendencia a largo plazo) y el día de la semana como factor confusor (50,59).

Para el análisis de modelos no lineales de rezagos distribuidos se tuvo en cuenta los diagnósticos más frecuentes (I200, I209, I219) y los grupos de diagnósticos, generando modelos individuales, obteniendo las gráficas en tres dimensiones para permitir la interpretación visual del efecto del tiempo y las relaciones dinámicas evidenciando picos, posteriormente se realizaron modelos con las variables identificadas en la regresión de Poisson ajustando el efecto de la temperatura en los ingresos al servicio de urgencias en Bogotá.

En los gráficos en 3D se obtiene una visualización global de la predicción de la variación de los efectos a lo largo de las dos dimensiones de análisis: los valores de exposición y los rezagos (lags), sin embargo, no es posible incluir la incertidumbre en la estimación de la relación (57).

3.11 Aspectos éticos

El presente estudio empleó información secundaria, por lo tanto no se realizaron intervenciones en individuos ni poblaciones. En cuanto a la valoración de riesgo es definida como investigación sin riesgo, al no realizarse intervención sobre los individuos, y por ser de naturaleza retrospectiva a través de revisión de registros (60). Por tratarse de una investigación sin riesgo y sin violación a la intimidad e identidad de los involucrados, no requiere consentimiento informado por parte de los individuos.

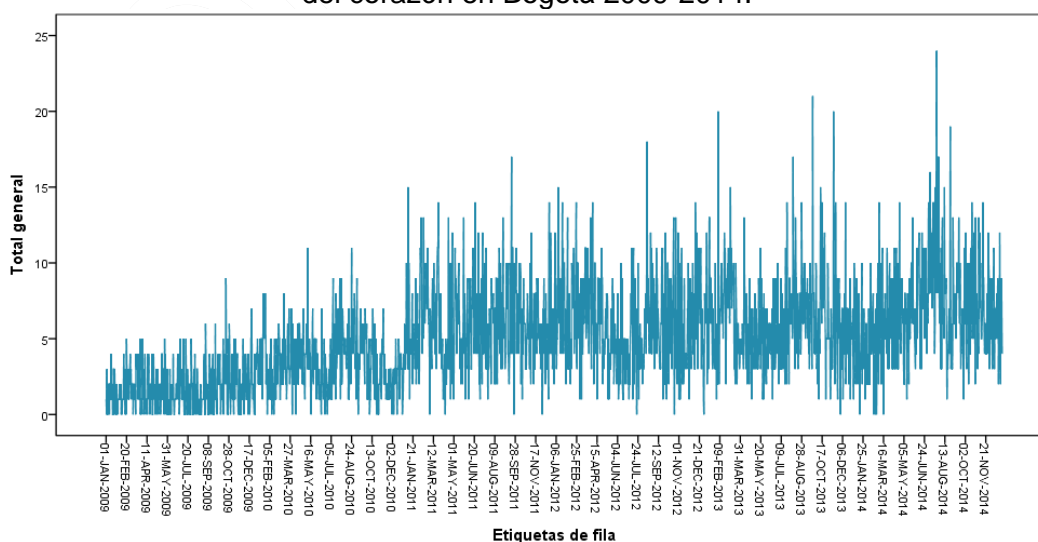
Dado que la información manejada no contempla datos personales por tratarse de bases demográficas, no se hizo uso de información con respecto a personas específicas, los resultados aquí presentados tampoco involucran información de alguna persona en particular y por tanto no afecta su confidencialidad.

4 Resultados y discusión

4.1 Descripción de los eventos en salud

Con el paso del tiempo se ha incrementado la cantidad de casos de enfermedades isquémicas del corazón atendidas por el servicio de urgencias en la ciudad de Bogotá, pasando de 655 en 2009 a 2.475 en 2014, representado el entre el 0,17% y el 0,34% del total de atenciones por urgencias para la ciudad en este periodo de tiempo, como se observa en la Tabla 9. Al realizar comparación con el total de la población bogotana según las proyecciones del DANE, se obtiene que la cantidad de atenciones por enfermedades isquémicas del corazón realizadas por los servicios de urgencias de la ciudad de Bogotá corresponden a un incremento constante desde 0,009% en 2009 hasta el 0,032% en 2014 (ver anexo B). En la figura 15 se presenta el gráfico de la serie de tiempo donde se visualiza tendencia al incremento en el número de cardiopatías isquémicas ingresadas diariamente en el periodo revisado, con un comportamiento aparentemente cíclico.

Figura 15. Secuencia de ingresos al servicio de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón en Bogotá 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de SISPRO.

El diagnóstico más frecuente del grupo revisado fue Infarto agudo de miocardio (31,7%), seguido de angina inestable (31,2%) y de angina de pecho no especificada (23,51%). Los diagnósticos de menos aporte en esta revisión son otras formas de enfermedad isquémica del corazón (0,2%), trombosis coronaria que no resulta en infarto de miocardio (0,5%) e infarto subendocárdico agudo del miocardio (0,5%).

Tabla 9. Enfermedades isquémicas del corazón atendidas en servicios de urgencias de Bogotá, 2009 - 2014.

Diagnóstico	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total
I200 - Angina inestable	297	497	790	698	566	592	3.440
I201 - Angina de pecho con espasmo documentado	6	4	6	11	26	19	72
I208 - Otras formas especificadas de angina de pecho	21	22	37	31	74	67	252
I209 - Angina de pecho, no especificada	133	240	437	543	600	636	2.589
I210 - Infarto transmural agudo del miocardio de la pared anterior	20	41	62	54	64	43	284
I211 - Infarto transmural agudo del miocardio de la pared inferior	5	35	49	43	42	15	189
I212 - Infarto agudo transmural del miocardio de otros sitios	12	23	75	78	88	74	350
I213 - Infarto transmural agudo del miocardio, de sitio no especificado	5	19	36	24	33	18	135
I214 - Infarto subendocárdico agudo del miocardio	6	11	14	7	12	10	60
I219 - Infarto agudo del miocardio, sin otra especificación	146	355	650	674	710	968	3.503
I240 - Trombosis coronaria que no resulta en infarto del miocardio	2	4	6	15	17	15	59
I248 - Otras formas de enfermedad isquémica aguda del corazón	1	0	2	6	8	4	21
I249 - Enfermedad isquémica aguda del corazón, no especificada	1	16	16	18	20	14	85
TOTAL EIC	655	1.267	2.180	2.202	2.260	2.475	11.039
Proporción del total de atenciones por Urgencias en Bogotá	0,17%	0,26%	0,34%	0,25%	0,19%	0,17%	0,22%

Fuente: Autor con datos de SISPRO.

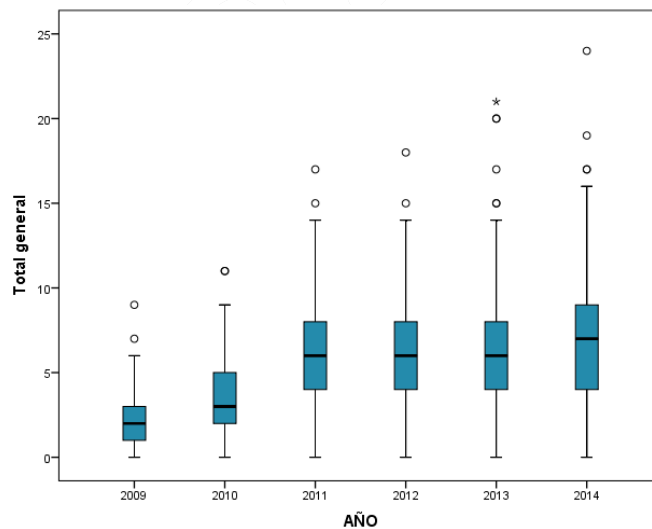
En la tabla 10 se presentan los estadísticos descriptivos de los ingresos diarios a urgencias por cardiopatía isquémica según año, en la que se observa que año a año existe un incremento en el valor de la mediana, de la varianza, en el rango, en el máximo de ingresos diarios así como en los percentiles (ver figura 16). Dicho aumento en el ingreso de los casos es marcado de 2009 a 2011, para los tres años siguientes el incremento es leve, siendo mayor en 2014.

Tabla 10. Estadísticos descriptivos de las enfermedades isquémicas del corazón atendidas en servicios de urgencias de Bogotá por año, periodo 2009-2014.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total
No. ingresos	655	1267	2180	2202	2260	2475	11039
Media	1,79	3,47	5,97	6,02	6,19	6,78	5,04
Mediana	2	3	6	6	6	7	5
Moda	1	4	5	4	4	7	4
DE	1,537	2,025	2,967	3,141	3,196	3,388	3,314
Varianza	2,362	4,102	8,801	9,868	10,216	11,479	10,984
Rango	9	11	17	18	21	24	24
Mínimo	0	0	0	0	0	0	0
Máximo	9	11	17	18	21	24	24
Percentil 25	1	2	4	4	4	4	3
Percentil 50	2	3	6	6	6	7	5
Percentil 75	3	5	8	8	8	9	7

Fuente: Autor con datos de SISPRO.

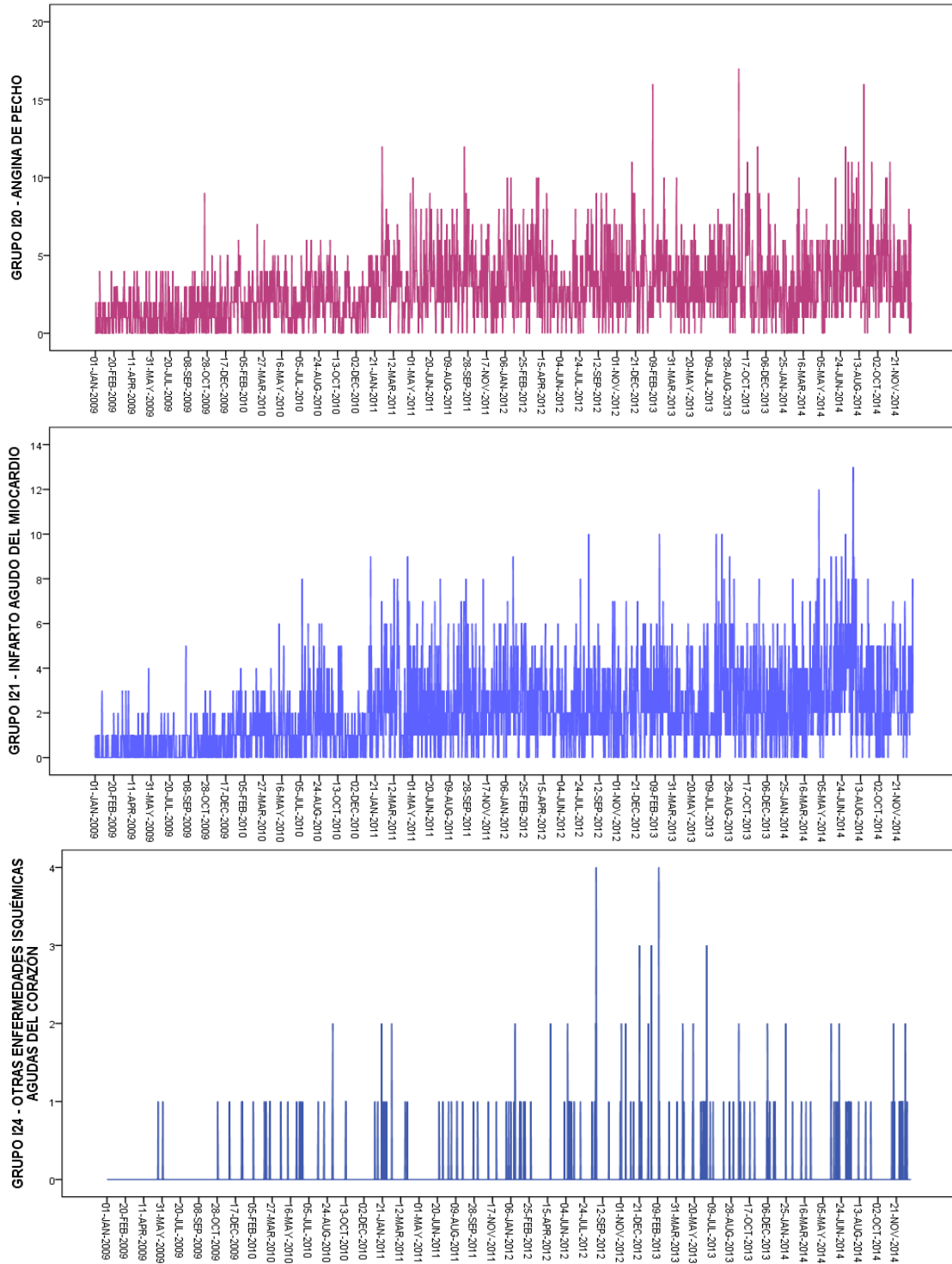
Figura 16. Gráfico de cajas y bigotes de ingresos diarios al servicio de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón por año en Bogotá, periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de SISPRO.

En cuanto al comportamiento en el tiempo, en la figura 16 se presenta el ingreso de cardiopatías isquémicas para los tres grupos de diagnósticos: I20- Angina de pecho (57,6%), I21- Infarto agudo del miocardio (41%) e I24- Otras enfermedades isquémicas agudas del corazón (1,5%), en la que se observa tendencia constante de incremento, especialmente para los dos primeros. El comportamiento de la serie de tiempo muestra un patrón cíclico.

Figura 17. Gráficos de secuencia de ingresos al servicio de urgencias para los tres grupos de diagnósticos de enfermedades isquémicas del corazón, en Bogotá 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de SISPRO.

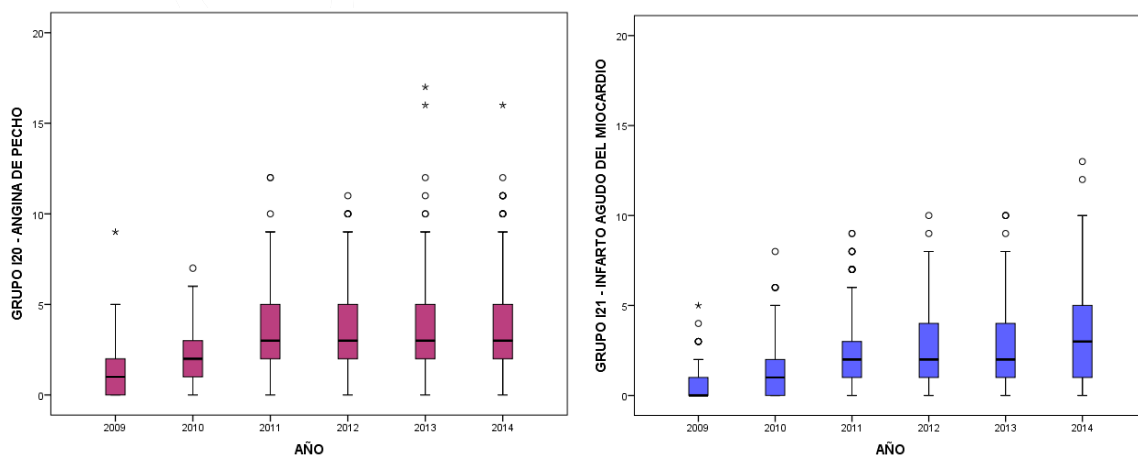
Tabla 11. Estadísticos descriptivos por grupo de enfermedades isquémicas del corazón atendidas en servicios de urgencias de Bogotá periodo 2009-2014.

	Grupo I20 - Angina de pecho	Grupo I21 – Infarto agudo del miocardio	Grupo I24 – Otras enfermedades isquémicas del corazón	Total enfermedades isquémicas del corazón
No. ingresos	6353	4521	165	11039
Media	2,90	2,06	0,08	5,04
Mediana	2,0	2,00	0,00	5,00
Moda	2	1	0	4
DE	2,251	1,935	0,326	3,314
Varianza	5,067	3,745	0,106	10,984
Rango	17	13	4	24
Mínimo	0	0	0	0
Máximo	17	13	4	24
Percentil 25	1	1	0	3
Percentil 50	2	2	0	5
Percentil 75	4	3	0	7

Fuente: Autor con datos de SISPRO.

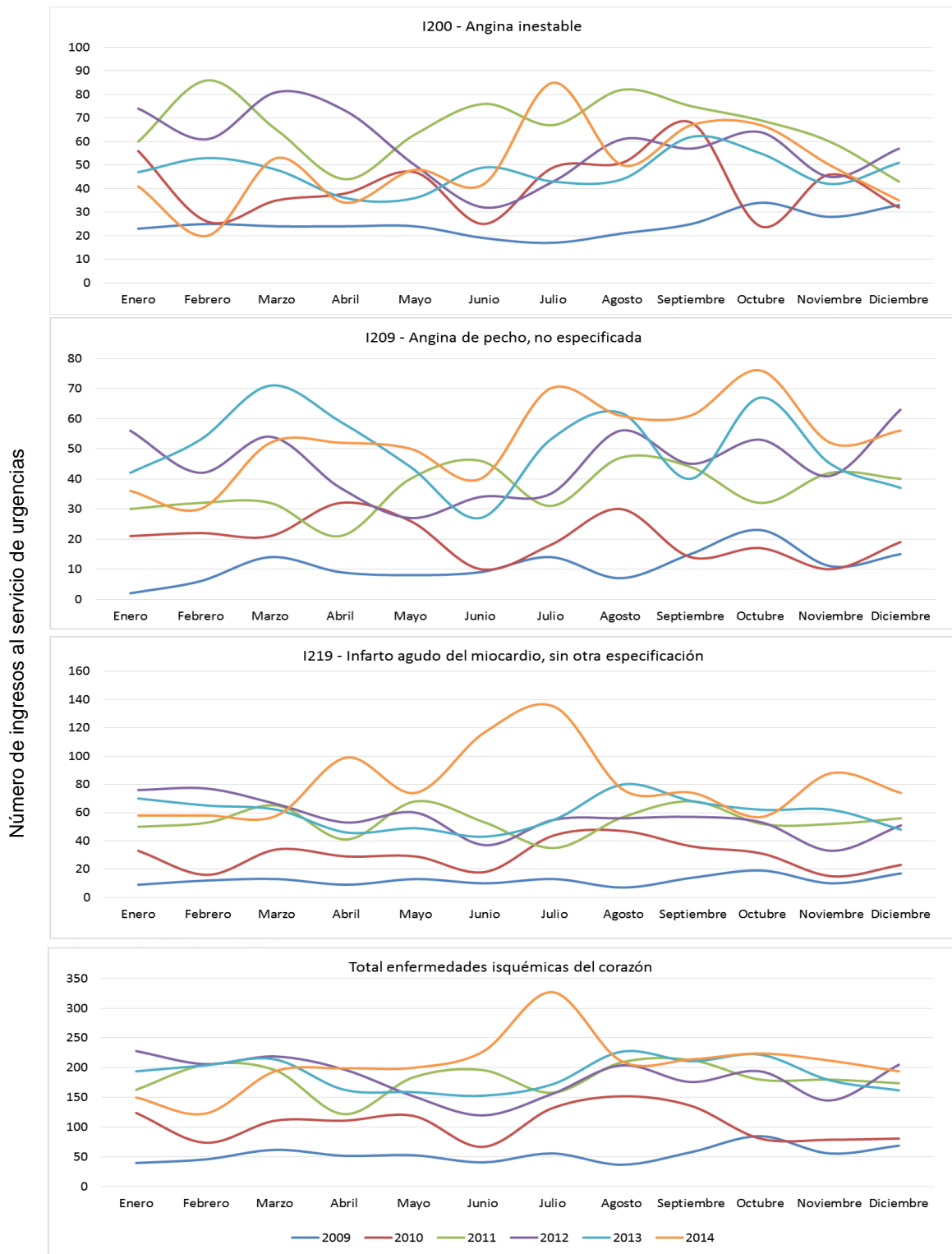
En la tabla 11 se presentan los estadísticos descriptivos por grupo diagnóstico, en la que el más frecuente es I20- Angina de pecho (n=6.353) representa el 57,6% del total de ingresos siendo el grupo con mayor dispersión de datos, rango y máximo, seguido del grupo I21- Infarto agudo del miocardio (n=4.521) con el 41% de ingresos y del grupo I24- Otras enfermedades isquémicas agudas del corazón (n=165) con el 1,5% (ver figura 18). Se visualiza incremento marcado en el ingreso de los casos de 2009 a 2011, para los tres años siguientes el incremento es leve, siendo mayor en 2014.

Figura 18. Gráfico de cajas y bigotes de ingresos diarios a urgencias por grupo angina de pecho e infarto agudo de miocardio por año en Bogotá, periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de SISPRO.

Figura 19. Distribución mensual de los ingresos al servicio de urgencias por diagnósticos más frecuentes y total de EIC, en Bogotá 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de SISPRO

En la figura 19 se observa el comportamiento mensual de los ingresos a de urgencias de los diagnósticos más frecuentes y del total de enfermedades isquémicas del corazón por año. En las gráficas se observa un incremento constante, siendo el año 2009 el que presenta la menor cantidad de ingresos y 2014 el de mayor frecuencia, excepto en angina inestable que en 2011 tuvo más casos. En general la ocurrencia de los ingresos no muestran un patrón mensual definido, sin embargo, en 2014 se observa un incremento en los casos en el mes de julio representado en picos en los cuatro gráficos.

Para los casos de angina inestable se encuentra mayor frecuencia entre septiembre y octubre de los últimos 5 años, el mes con mayor ocurrencia fue febrero de 2011 (n=86), seguido de julio en 2014 (n=85) y agosto en 2011 (n=82); julio de 2009 (n=17) fue el mes con menos casos, seguido de febrero de 2014 (n=20).

En los casos de angina de pecho no especificada se identifica picos en marzo, agosto y octubre en los últimos tres años; el mes con mayor frecuencia fue octubre de 2014 (n=76), seguido de marzo de 2013 (n=71) y julio de 2014 (n=70), y enero de 2011 (n=2) fue el mes con menos ingresos, seguido de febrero de ese mismo año (n=6).

En cuanto al infarto agudo del miocardio, de 2009 a 2013 la tendencia muestra cierta estabilidad con picos muy leves en marzo, agosto y septiembre; en 2014 se observan picos en abril (n=99), junio (n=117) y julio (n=135) siendo el año con más ingresos, y el 2009 el año con la menor frecuencia. Para el total de ingresos de enfermedades isquémicas del corazón no se observa un patrón mensual definido, siendo ligeramente mayor en marzo, agosto y octubre; se muestra un pico marcado en julio de 2014 (n=327) mes con mayor cantidad de ingresos.

4.1.1 Características sociodemográficas

En cuanto a sexo, el 61,5% (n=6.788) de los ingresos corresponden personas de sexo masculino y el 38,5% (n=4.245) son de sexo femenino, 6 ingresos no tuvieron notificación por sexo (0,1%). De acuerdo a los diagnósticos revisados, los casos de infarto agudo de miocardio son más frecuentes en los hombres (34,3%) que en las mujeres (27,6%), mientras que en angina de pecho y angina inestable es más frecuente en mujeres (27,4% y 33,2%) comparado con hombres (21% y 29,9%) respectivamente (ver figura 20).

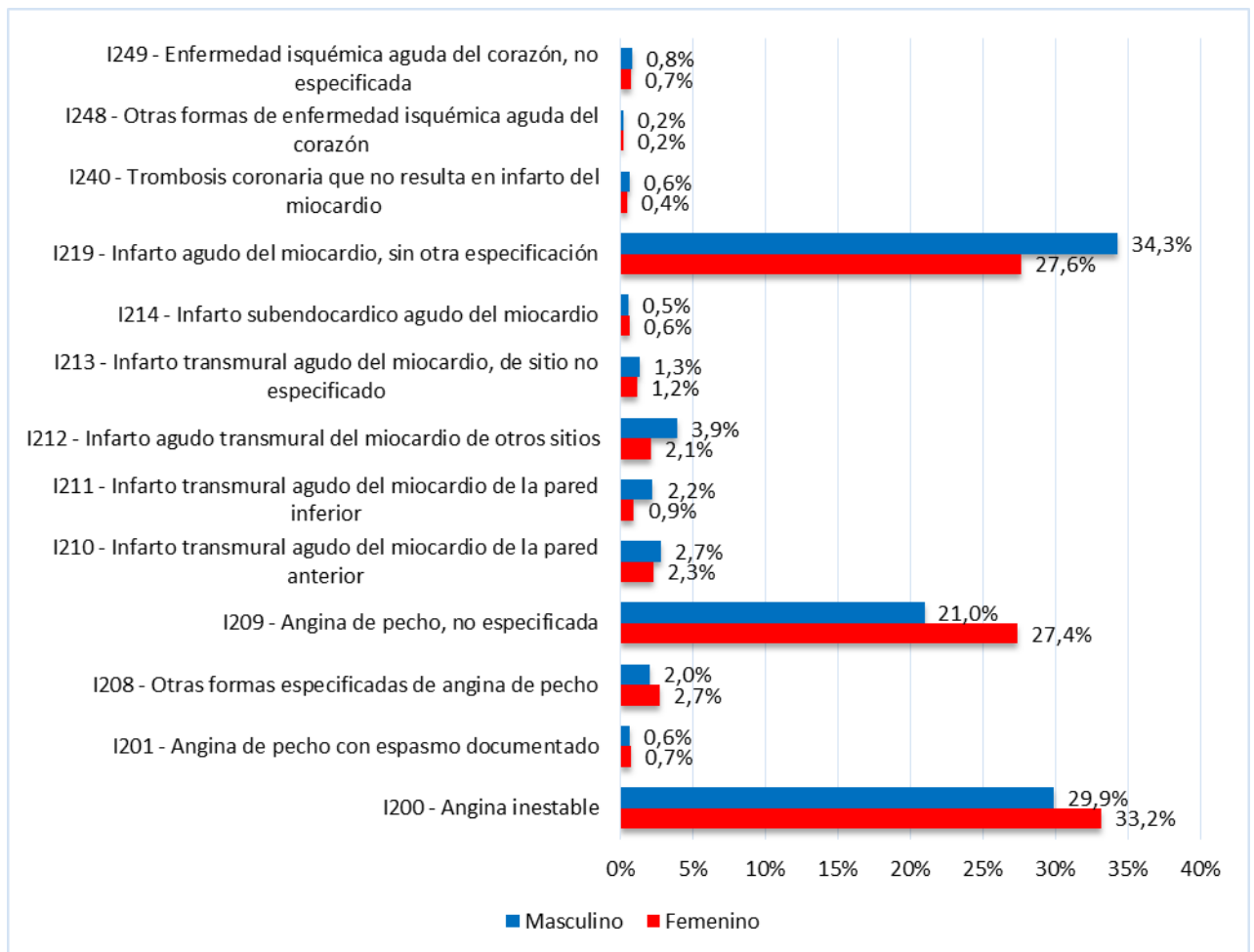
Tabla 12. Distribución de los ingresos al servicio de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón, según sexo en Bogotá 2009-2014.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total
Hombres	379	732	1320	1.371	1.431	1.555	6.788
Mujeres	276	535	859	829	827	919	4245
Total	655	1.267	2.179	2.200	2.258	2.474	11.033

Fuente: Autor con datos de SISPRO.

En la tabla 12 se presenta el comparativo por sexo de los ingresos por cardiopatía isquémica, mostrando un incremento constante en el tiempo con una desaceleración en 2012 y 2013, especialmente en el grupo de sexo femenino

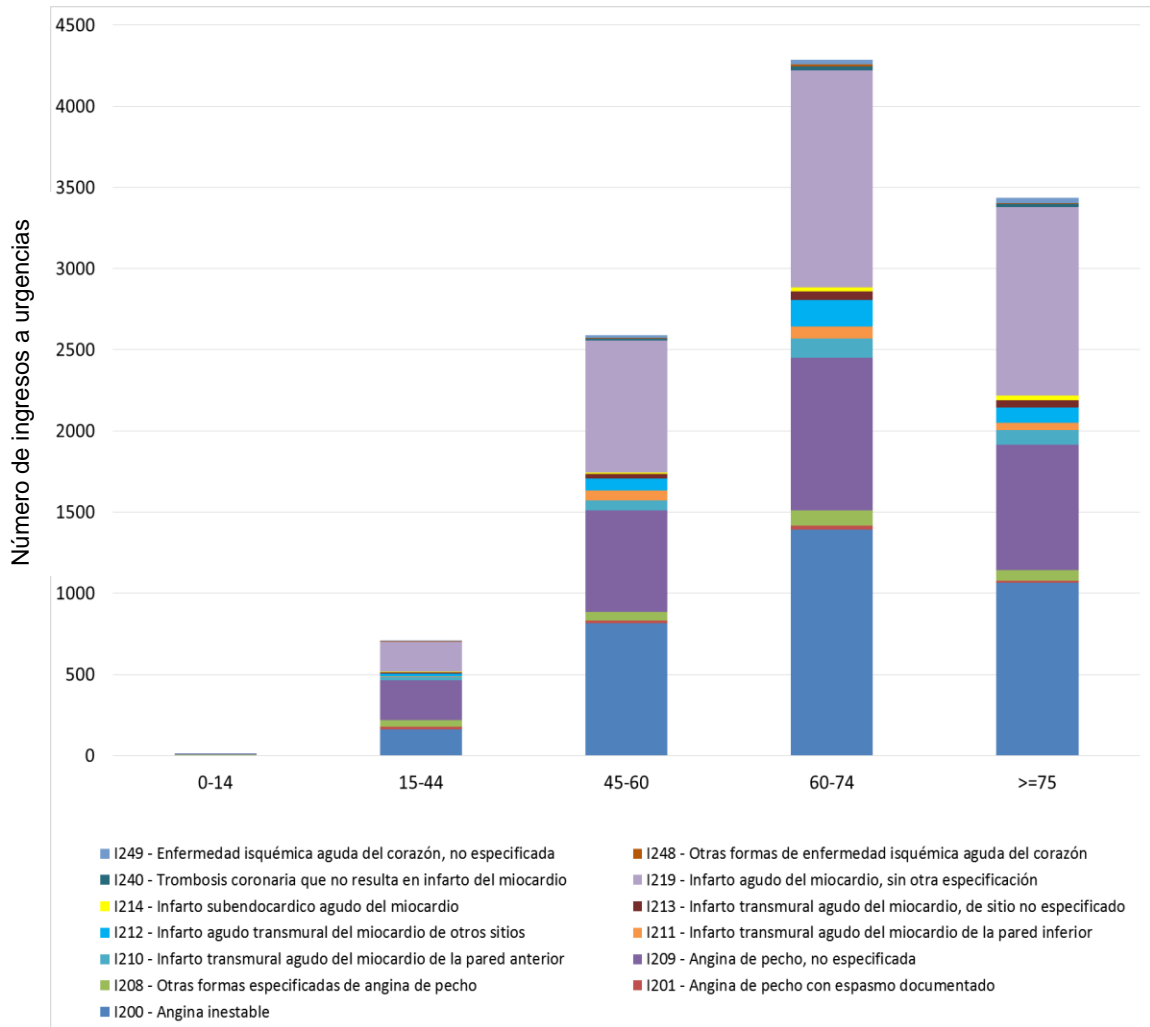
Figura 20. Ingresos al servicio de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón, según sexo en Bogotá 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de SISPRO.

En cuanto a la distribución por edad, la frecuencia más alta de ingresos al servicio de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón se presentó en el grupo de edad de 60 a 74 años con el 38,8%, seguido del grupo de edad de personas de 75 años o más con el 31,1%, siendo el grupo de adultos mayores (mayor o igual a 60 años) los de mayor frecuencia de casos (69,9%). El tercer grupo en orden de cantidad de ingresos es el de personas entre 45 y 60 años (23,5%) y el 6,5% restante es de los menores de 44 años (ver figura 21).

Figura 21. Distribución de los ingresos al servicio de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón, según grupo de edad en Bogotá 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de SISPRO.

Del grupo de edad de 0 a 44 años, se identificaron 13 casos (0,12%) correspondientes a menores de 14 años, distribuidos así: 2 ingresos en menores de 4 años (1 por angina de pecho con espasmo en 2012 y 1 por infarto agudo de miocardio en 2014) y 11 admisiones en menores de 5 a 14 años (4 por angina de pecho, 2 por angina inestable, 2 por otras formas de angina de pecho y 2 por enfermedad isquémica agua del corazón no especificada y 1 caso por otras formas de enfermedad isquémica aguda del corazón). Para esta consulta no se obtuvo el dato de edad en el 0,05% de registros, como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Distribución de las admisiones al servicio de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón, según grupo de edad en Bogotá 2009-2014.

Diagnóstico	0-14 años	15-44 años	45-60 años	60-74 años	>=75 años	Sin dato	Total
I200 - Angina inestable	2	162	817	1393	1066	0	3.440
I201 - Angina de pecho con espasmo documentado	1	17	16	24	13	1	72
I208 - Otras formas especificadas de angina de pecho	2	40	53	92	65	0	252
I209 - Angina de pecho, no especificada	4	245	624	942	773	1	2.589
I210 - Infarto transmural agudo del miocardio de la pared anterior	0	19	61	117	87	0	284
I211 - Infarto transmural agudo del miocardio de la pared inferior	0	4	62	77	46	0	189
I212 - Infarto agudo transmural del miocardio de otros sitios	0	19	74	161	96	0	350
I213 - Infarto transmural agudo del miocardio, de sitio no especificado	0	6	29	54	45	1	135
I214 - Infarto subendocardico agudo del miocardio	0	3	6	26	25	0	60
I219 - Infarto agudo del miocardio, sin otra especificación	1	186	816	1335	1163	2	3.503
I240 - Trombosis coronaria que no resulta en infarto del miocardio	0	0	11	26	22	0	59
I248 - Otras formas de enfermedad isquémica aguda del corazón	1	4	4	10	2	0	21
I249 - Enfermedad isquémica aguda del corazón, no especificada	2	5	16	28	34	0	85
Total	13	710	2.589	4.285	3.437	5	11.039

Fuente: Autor con datos de SISPRO.

En cuanto a grupo étnico, del total de los 11.039 ingresos reportados en los seis años de seguimiento, se identificaron 2 personas perteneciente a grupos indígenas (0,018%), 11 ingresos de personas negras, mulatas, afrocolombiano o afrodescendientes (0,099%) y 136 ingresos por otras etnias sin especificar (1,23%), tal como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14. Distribución de las admisiones al servicio de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón, según grupo étnico en Bogotá 2009-2014.

Diagnóstico	Indígena	Afro	No reportado	Otras	Total
I200 - Angina inestable	0	7	3383	50	3.440
I201 - Angina de pecho con espasmo documentado	0	0	72	0	72
I208 - Otras formas especificadas de angina de pecho	0	0	252	0	252
I209 - Angina de pecho, no especificada	1	3	2566	19	2.589
I210 - Infarto transmural agudo del miocardio de la pared anterior	0	0	277	7	284
I211 - Infarto transmural agudo del miocardio de la pared inferior	0	0	185	4	189
I212 - Infarto agudo transmural del miocardio de otros sitios	0	0	348	2	350
I213 - Infarto transmural agudo del miocardio, de sitio no especificado	0	0	135	0	135
I214 - Infarto subendocárdico agudo del miocardio	0	0	60	0	60
I219 - Infarto agudo del miocardio, sin otra especificación	1	1	3450	51	3.503
I240 - Trombosis coronaria que no resulta en infarto del miocardio	0	0	58	1	59
I248 - Otras formas de enfermedad isquémica aguda del corazón	0	0	21	0	21
I249 - Enfermedad isquémica aguda del corazón, no especificada	0	0	83	2	85
Total	2	11	10.890	136	11.039

Fuente: Autor con datos de SISPRO.

En la tabla 15 se presenta la distribución de ingresos a urgencias según el tipo de vinculación al sistema general de seguridad social en salud (SGSSS), el mayor grupo corresponde al grupo contributivo (78,4%), seguido del régimen subsidiado (10,8%), en tercer lugar se encuentran los ingresos realizados a través de medicina prepagada (6,3%) y por el régimen especial en el cuarto lugar (1,3%), el 3,2% restante corresponde a datos no definidos según la consulta realizada.

Tabla 15. Distribución de las admisiones al servicio de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón, según tipo de afiliación al SGSSS en Bogotá 2009-2014.

Diagnóstico	Contributivo	Subsidiado	Prepagada	Especial	No definido	Total
I200 - Angina inestable	2.621	382	238	55	144	3.440
I201 - Angina de pecho con espasmo documentado	56	7	8		1	72
I208 - Otras formas especificadas de angina de pecho	198	26	17	4	7	252
I209 - Angina de pecho, no especificada	2.142	175	188	46	38	2.589
I210 - Infarto transmural agudo del miocardio de la pared anterior	217	37	5	4	21	284
I211 - Infarto transmural agudo del miocardio de la pared inferior	162	23		2	2	189
I212 - Infarto agudo transmural del miocardio de otros sitios	312	18	8	1	11	350
I213 - Infarto transmural agudo del miocardio, de sitio no especificado	109	9	9	1	7	135
I214 - Infarto subendocardico agudo del miocardio	46	4	6		4	60
I219 - Infarto agudo del miocardio, sin otra especificación	2.668	482	205	32	116	3.503
I240 - Trombosis coronaria que no resulta en infarto del miocardio	44	8	3	1	3	59
I248 - Otras formas de enfermedad isquémica aguda del corazón	14	4	3			21
I249 - Enfermedad isquémica aguda del corazón, no especificada	63	13	3		6	85
Total	8.652	1.188	693	146	360	11.039

Fuente: Autor con datos de SISPRO.

4.2 Descripción de las variables climatológicas y de contaminantes

En cuanto a los registros de las variables climatológicas y de contaminantes medidos por la RMCAB, en la tabla 16 se expone la representatividad de los datos obtenidos por estación de la red y la cantidad de estaciones incluidas en el análisis. Para el análisis de los datos se tuvo en cuenta las estaciones con representatividad mayor del 70%; en el caso de los valores atípicos (*outliers*) para las variables climatológicas, se realizó ajuste por el método de sustitución de la mediana y para los datos faltantes se utilizó el método de interpolación, esto con el fin de tener la base de datos de Bogotá completa para el posterior análisis de correlación y regresión. Para las variables de contaminantes no se realizó ajuste ni imputación de datos perdidos por la variabilidad de las mediciones que se presentan de un día a otro.

Tabla 16. Proporción de datos válidos por estación de las variables medidas por la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.

Estación	T° Promedio	T° Mínima	T° Máxima	HR	PM ₁₀	PM _{2,5}	O ₃
Carvajal	96,4%	91,8%	96,4%	--	93,8%	--	87,6%
P. Simón Bolívar	99,05%	95,1%	99,0%	96,8%	88,0%	79,8%	81,5%
Fontibón	84,7%	77,8%	84,7%	--	74,4%	--	71,9%
Guaymaral	97,4%	92%	97,4%	89,9%	86,0%	--	85,5%
Kennedy	96,6%	92,1%	96,6%	93,6%	88,9%	84,6%	--
Las Ferias	98,5%	94,2%	98,5%	95,8%	91,8%	64,5%*	82,8%
Sagrado corazón	--	--	--	--	69,6%*	--	54,5%*
Puente Aranda	99,9%	97,4%	99,9%	--	94,2%	--	83,3%
San Cristóbal	81,7%	74,1%	81,7%	--	58,28%*	--	55,5%*
Suba	81,2%	77,8%	81,2%	--	87,6%	--	83,7%
Tunal	83,8%	79,7%	83,2%	94,2%	88,3%	70,6%	83,3%
Usaquén	94,7%	88,5%	94,7%	--	78,5%	70,3%	86,6%
Estaciones válidas	11	11	11	5	10	4	9

*Estaciones por variable eliminadas del análisis.

Fuente: Autor con datos de RMCAB.

En el caso de la variable de temperatura promedio se ajustaron todos los valores calculados como extremos, y para las variables de temperatura máxima y mínima se ajustaron los datos extremos atípicos, definidos como los que excedían 3 desviaciones estándar del promedio. A continuación se presenta un primer análisis exploratorio de cada variable con los datos de la RMCAB y un análisis descriptivo de la variable con los datos extremos y perdidos ajustados.

4.2.1 Temperatura media diaria

Análisis exploratorio crudo

En la tabla 17 se presentan los estadísticos descriptivos de la variable temperatura promedio, identificando que la estación con el promedio de temperatura más alto es Carvajal (15,08°C) y el de nivel más bajo es San Cristóbal (12,75°C), el promedio de los años de seguimiento para la ciudad se estimó en 14°C, con valores entre 9,78°C y 16,7°C. Es de anotar que los valores máximos de los promedios diarios se encuentran entre 16,5°C y 19,8°C, mientras que en el caso de los valores mínimos son cercanos a cero, no representando la realidad del promedio diario para la ciudad.

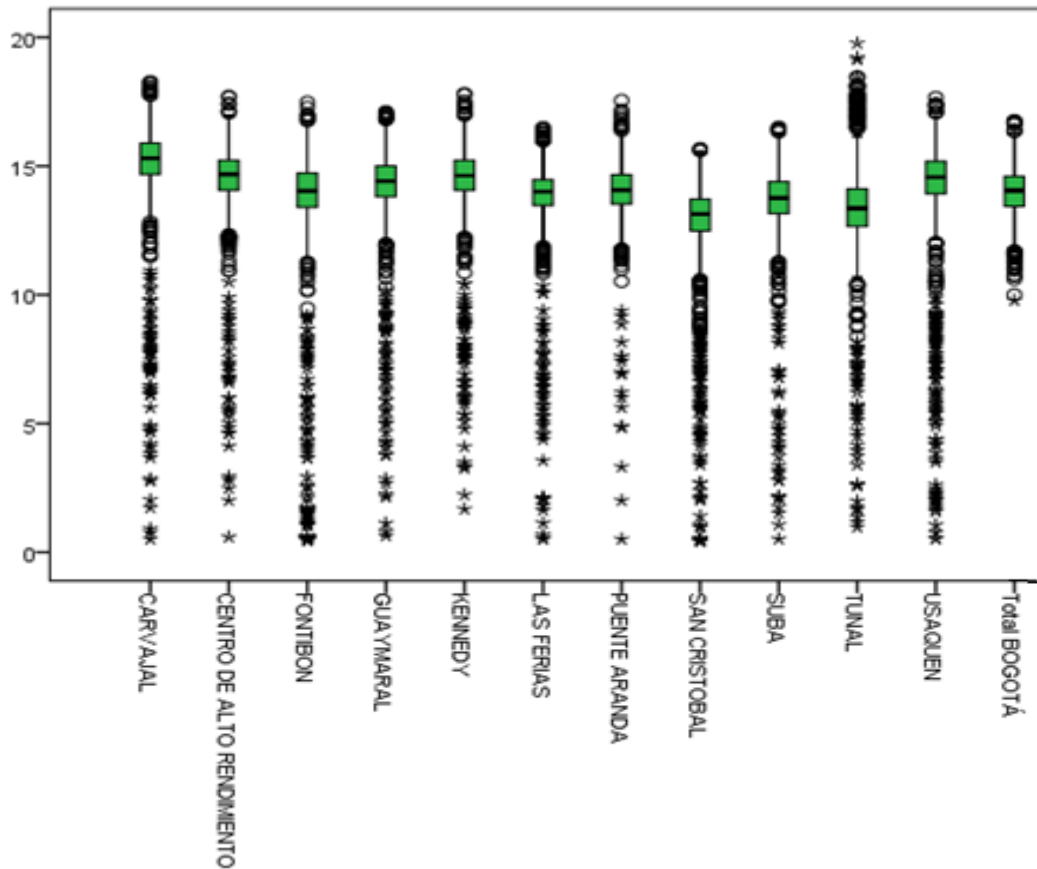
Tabla 17. Estadísticos descriptivos exploratorios de la variable Temperatura media diaria cruda de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.

Estación	No. Datos	Faltantes	Prom	Mín	Máx	DE	Var	Curt	Asim	Quartiles			Valores extremos*	
										25	50	75	Bajo	Alto
Carvajal	2112	79	15,08	0,50	18,27	1,73	2,98	22,50	-3,99	14,68	15,30	15,89	77	11
P. Simón Bolívar	2169	22	14,53	0,59	17,70	1,41	1,97	26,94	-4,05	14,07	14,68	15,23	62	7
Fontibón	1855	336	13,54	0,45	17,48	2,74	7,48	12,82	-3,49	13,40	14,03	14,73	114	9
Guaymaral	2134	57	14,23	0,64	17,11	1,58	2,51	22,10	-3,78	13,80	14,42	15,00	74	10
Kennedy	2117	74	14,49	1,68	17,82	1,50	2,24	19,48	-3,54	14,07	14,63	15,23	70	11
Las Ferias	2159	32	13,81	0,51	16,50	1,51	2,27	29,37	-4,56	13,47	14,01	14,48	71	17
Puente Aranda	2188	3	14,04	0,51	17,55	1,13	1,27	29,01	-3,32	13,53	14,07	14,67	31	13
San Cristóbal	1790	401	12,75	0,42	15,68	1,98	3,92	14,09	-3,32	12,48	13,13	13,72	119	3
Suba	1778	413	13,58	0,51	16,51	1,60	2,57	22,86	-3,92	13,16	13,76	14,40	60	5
Tunal	1837	354	13,34	0,98	19,78	1,79	3,22	12,33	-2,08	12,66	13,36	14,11	58	68
Usaquén	2074	117	14,26	0,52	17,66	2,01	4,02	16,40	-3,57	13,93	14,57	15,19	110	9
Total	2190	1	14,00	9,78	16,76	0,90	0,81	0,63	-0,29	13,44	14,05	14,60	24	9

*Conteo

Fuente: Autor con datos de RMCAB.

Figura 22. Gráficos de cajas y bigotes de la variable de temperatura media diaria por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.

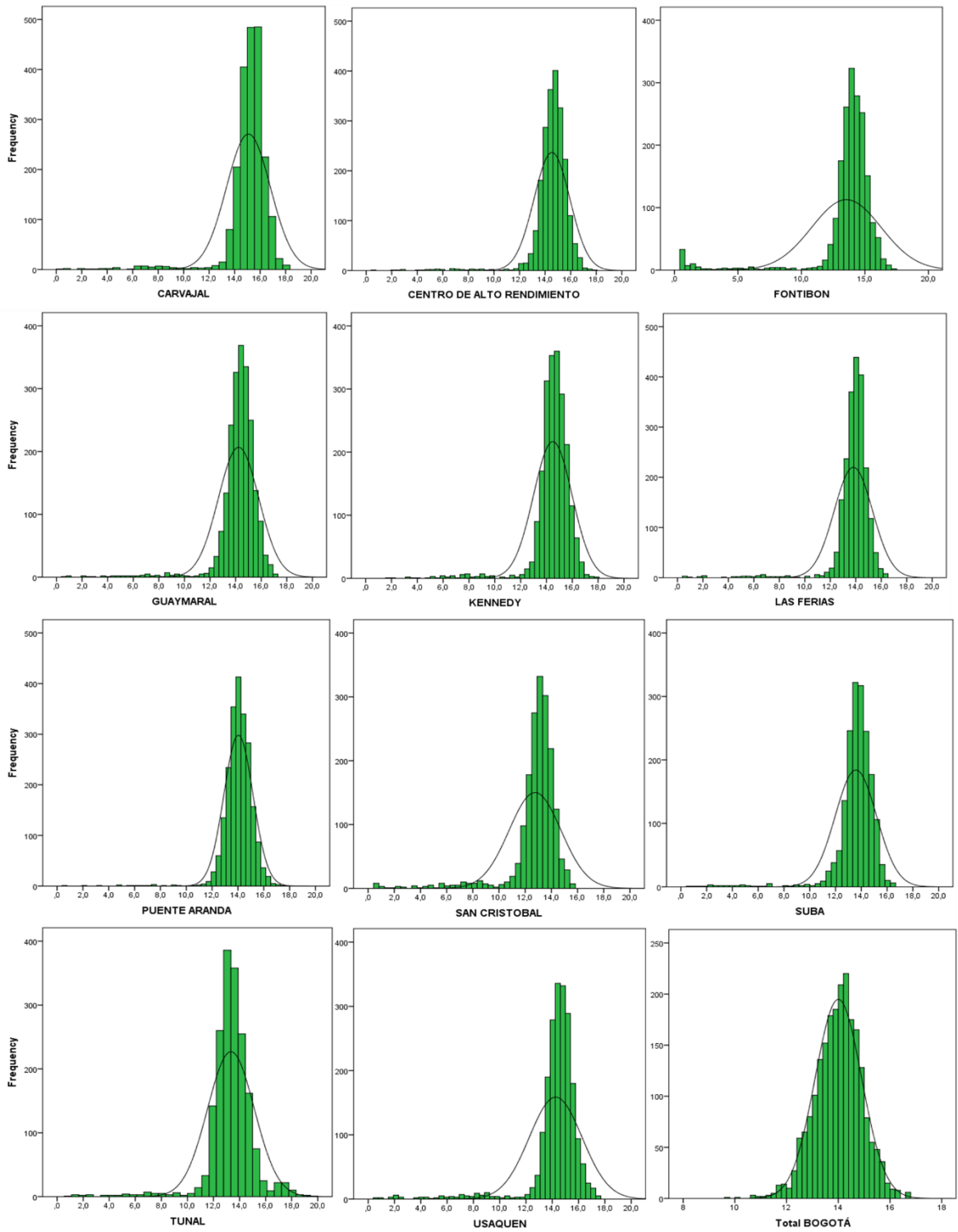


Fuente: Autor con datos de RMCAB.

En la figura 22, se representa la distribución de los datos en forma de cajas y bigotes, donde se observa la gran cantidad de datos extremos especialmente los bajos y algunos cercanos al valor cero, valores que distorsionan el promedio diario, por lo tanto, se continua a revisar los valores extremos de cada estación de acuerdo al procedimiento ya descrito en la metodología.

En la figura 23 se observan los histogramas de cada una de las estaciones y el promedio de la ciudad, todas las estaciones que reportaron la variable temperatura media muestran curvas de normalidad que tienen asimetría negativa y son leptocúrticas, sólo la última representación correspondiente al promedio de la ciudad de Bogotá es la que presenta el comportamiento más cercano a la distribución normal.

Figura 23. Histogramas de la variable de temperatura media diaria por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB.

Análisis descriptivo

En la tabla 18 se presentan los estadísticos descriptivos de la variable temperatura promedio diario por año ya ajustada, mostrando que el promedio de la temperatura diaria para la ciudad en los 6 años de seguimiento se estimó en 14,23°C, con valores entre 11,4°C y 16,4°C; el año con la temperatura promedio más alta fue 2010, seguido de 2013, y el año con el promedio de esta variable más bajo fue 2011, seguido de 2009 y 2012. El año con mayor variación de ésta variable fue 2011, seguido de 2009 y 2010 y el de menor amplitud fue 2014.

Tabla 18. Estadísticos descriptivos variable Temperatura media diaria de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.

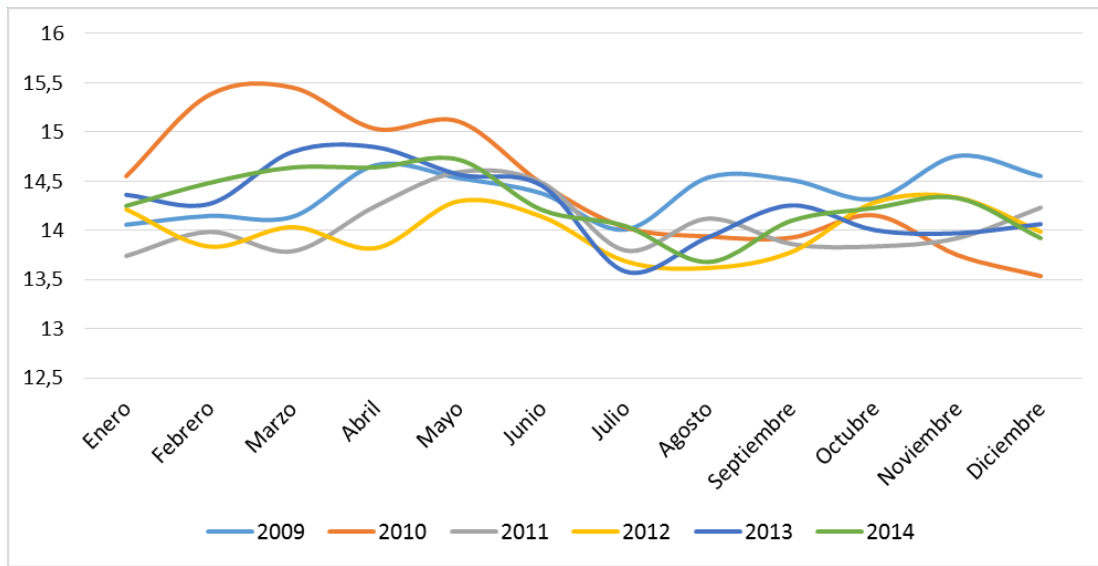
Año	Prom	Mín	Máx	Rango	DE	Var	Curt	Asim	Quartiles			Ampli- tud IQ
									25	50	75	
2009	14,38	11,66	15,95	4,28	0,59	0,35	0,76	-0,24	14,0	14,42	14,77	0,77
2010	<u>14,44</u>	12,13	<u>16,40</u>	4,27	0,91	0,82	-0,61	0,08	13,80	14,38	15,19	1,39
2011	14,05	<u>11,40</u>	15,89	<u>4,49</u>	0,70	0,49	0,08	-0,03	13,59	14,07	14,56	0,97
2012	<u>14,00</u>	11,70	15,82	4,11	0,65	0,43	0,47	-0,28	13,57	14,03	14,48	0,90
2013	14,26	12,41	16,03	3,62	0,73	0,53	-0,46	-0,11	13,77	14,25	14,80	1,03
2014	14,27	12,64	15,87	3,23	0,63	0,39	-0,28	0,01	13,85	14,24	14,61	0,86
Total	14,23	11,40	16,40	5,0	0,72	0,53	0,09	0,03	13,75	14,22	14,71	0,96

Fuente: Autor con datos de RMCAB.

En la figura 24 se presenta el comportamiento mensual de la variable temperatura promedio por año para el periodo de seguimiento en Bogotá, donde se puede observar un comportamiento similar entre años, siendo más cálido el primer semestre. El año 2010, fue el año que presentó los promedios mensuales más altos, especialmente de febrero a mayo con promedios superiores a los 15°C (15,03°C – 15,45°C) y el mes con el promedio más bajo para temperatura fue en julio de 2013 con 13,58°C.

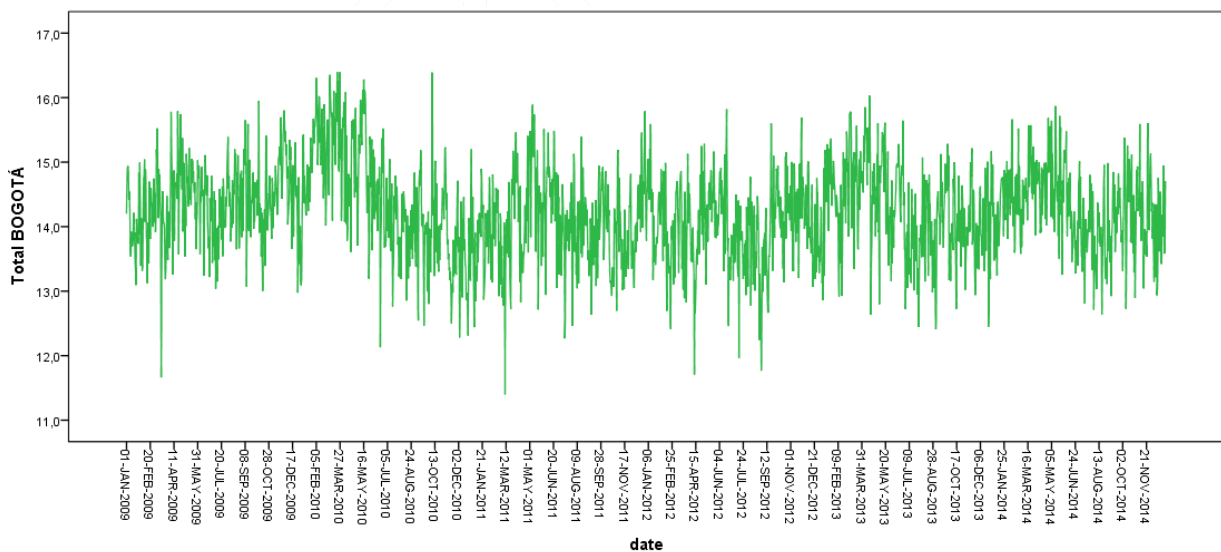
En la figura 25 se presenta un gráfico de secuencias con los 2.191 datos del promedio diario de temperatura máxima para la ciudad de Bogotá, en la que se observa un comportamiento estacionario, con una tendencia estable en el tiempo posterior al pico presentado entre febrero y marzo de 2010.

Figura 24. Distribución de promedios mensuales de la variable de temperatura media diaria por año de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB.

Figura 25. Secuencia de promedios diarios de la variable de temperatura media diaria de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB

4.2.2 Temperatura mínima

Análisis exploratorio crudo

En la tabla 19 se presentan los estadísticos descriptivos de la variable temperatura mínima diaria, identificando que el promedio de los años de seguimiento para la ciudad para esta variable se estimó en 10,6°C, con valores entre 4,9°C y 13,7°C; la estación que presentó los valores diarios más bajos fue Guaymaral con 9,44°C y la estación con los valores más altos fue Carvajal con 11,7°C.

En la figura 26, se representa la distribución de los datos en forma de cajas y bigotes, donde se observa que la estación de Tunal y Guaymaral son las que tienen mayor dispersión en los datos y Puente Aranda y Kennedy las que tienen menos variabilidad.

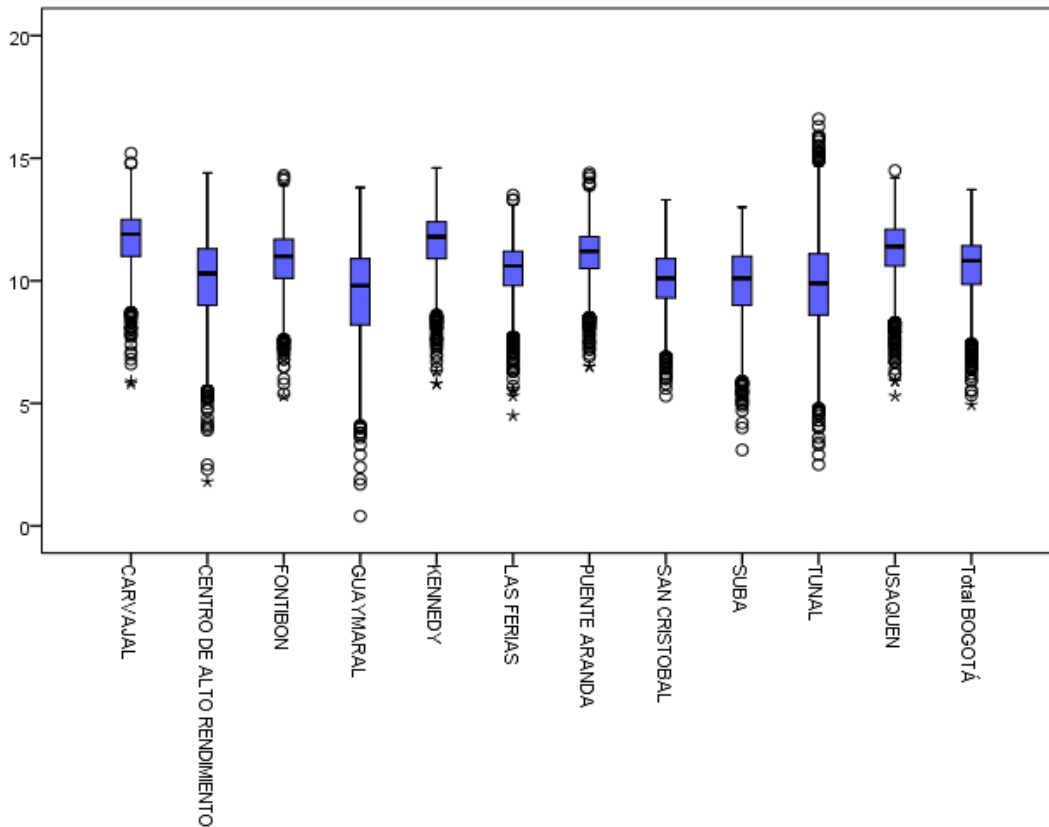
Tabla 19. Estadísticos descriptivos exploratorios de la variable Temperatura Mínima diaria cruda de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.

Estación	No. Datos	Faltantes	Prom	Mín	Máx	DE	Var	Curt	Asim	Quartiles			Valores extremos*	
										25	50	75	Bajo	Alto
Carvajal	2012	179	11,70	5,8	15,2	1,22	1,49	0,940	-0,69	11,0	11,9	12,5	34	3
P. Simón Bolívar	2084	107	10,04	1,8	14,4	1,73	3,00	0,48	-0,73	9,0	10,3	11,3	26	0
Fontibón	1705	486	10,82	5,3	14,3	1,29	1,68	0,60	-0,58	10,1	11,0	11,7	33	3
Guaymaral	2015	176	9,44	0,4	13,8	1,95	3,80	0,211	-0,71	8,2	9,8	10,9	15	0
Kennedy	2019	172	11,56	5,8	14,6	1,19	1,41	1,53	-0,93	10,9	11,8	12,4	47	0
Las Ferias	2064	127	10,39	4,5	13,5	1,17	1,38	1,07	-0,83	9,8	10,6	11,2	65	3
Puente Aranda	2133	58	11,10	6,5	14,4	1,10	1,21	0,64	-0,47	10,5	11,2	11,8	48	6
San Cristóbal	1623	568	10,04	5,3	13,3	1,24	1,53	0,29	-0,47	9,3	10,1	10,9	25	1
Suba	1704	487	9,88	3,1	13	1,52	2,30	0,52	-0,83	9,0	10,1	11,0	32	0
Tunal	1746	445	9,81	2,5	16,6	1,97	3,90	0,68	-0,18	8,6	9,9	11,1	19	23
Usaquén	1938	253	11,27	5,3	14,5	1,28	1,63	1,19	-0,82	10,6	11,4	12,1	54	1
Total	2190	1	10,58	4,9	13,7	1,28	1,63	0,83	-0,81	9,9	10,8	11,4	56	0

*Cconteo

Fuente: Autor con datos de RMCAB.

Figura 26. Gráficos de cajas y bigotes de la variable de temperatura mínima diaria por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.

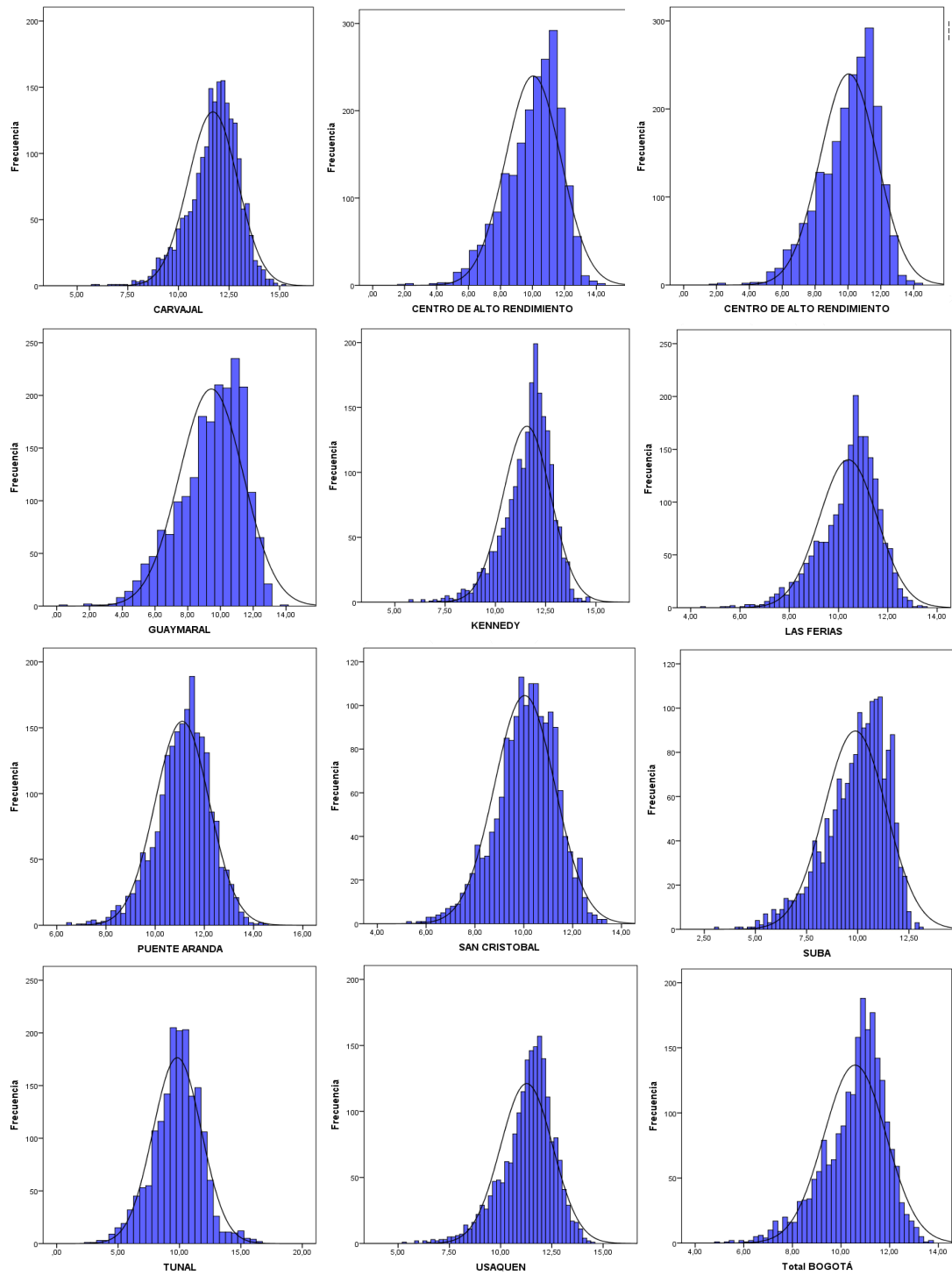


Fuente: Autor con datos de RMCAB.

En esta variable se identificaron valores extremos de acuerdo a la misma fórmula usada en la variable de temperatura promedio (ver metodología), sin embargo, el tratamiento del método de sustitución de la mediana del día respectivo para el subsiguiente análisis se aplicó sólo a los valores extremos atípicos, determinados por aquellos que se encuentran en ± 3 desviaciones estándar, resultando 147 datos extremos atípicos de los 491 que fueron identificados como extremos.

En la figura 27 se observan los histogramas de cada una de las estaciones y el promedio de la ciudad de todas estaciones que reportaron la variable temperatura mínima diaria que muestra curvas de normalidad que tienen asimetría negativa y son leptocúrticas.

Figura 27. Histogramas de la variable de temperatura mínima diaria por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB.

Análisis descriptivo

En la tabla 20 se presentan los estadísticos descriptivos de la variable temperatura mínima diaria por año ya ajustada, identificando que el promedio de los años de seguimiento para esta variable en la ciudad de Bogotá se estimó en 10,57°C, con valores entre 3,6°C y 13,6°C; el año con el promedio de temperatura mínima más alta fue en 2010, seguido de 2009, y el año con el promedio de esta variable más baja fue en 2012 y 2013. El año con mayor variación de ésta variable fue 2013, seguido de 2012 y el de menor amplitud fue 2014, seguido de 2009.

Tabla 20. Estadísticos descriptivos variable Temperatura mínima diaria de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.

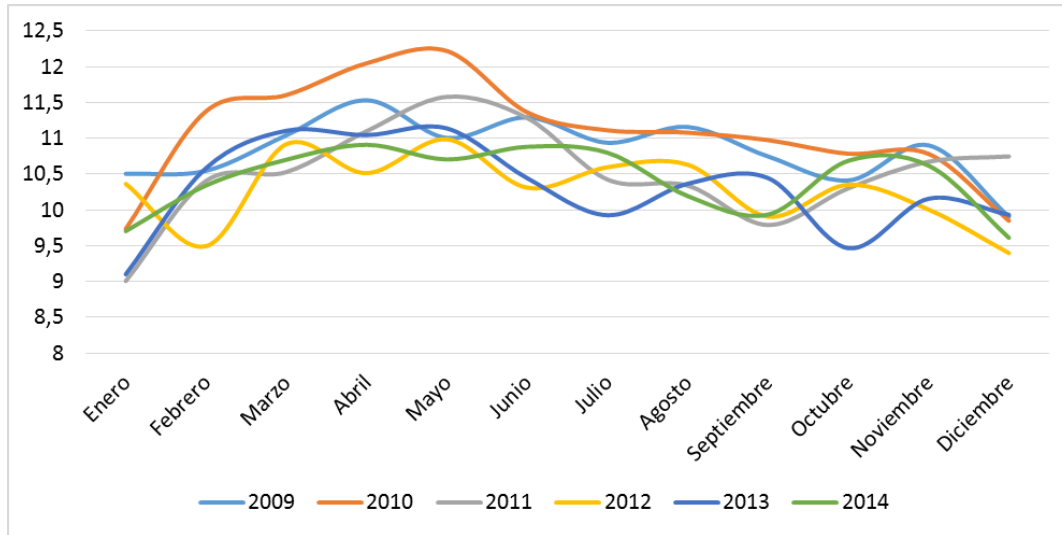
Año	Prom	Mín	Máx	Rango	DE	Var	Curt	Asim	Quartiles			Amplitud IQ
									25	50	75	
2009	10,83	7,18	13,33	6,15	1,11	1,23	0,15	-0,70	10,18	11,05	11,63	1,45
2010	<u>11,21</u>	7,29	<u>13,65</u>	6,36	1,23	1,51	0,22	-0,63	10,44	11,21	11,93	1,49
2011	10,51	5,89	12,95	7,06	1,17	1,38	0,97	-0,93	9,83	10,82	11,29	1,46
2012	<u>10,29</u>	5,05	12,68	7,63	1,21	1,46	0,76	-0,90	9,51	10,55	11,19	1,68
2013	<u>10,30</u>	<u>3,62</u>	13,05	<u>9,43</u>	1,33	1,77	1,30	-0,82	9,60	10,51	11,29	1,69
2014	10,43	6,95	12,48	5,53	1,18	1,39	0,28	-0,80	9,72	10,71	11,25	1,53
Total	10,57	3,62	13,65	10,03	1,24	1,54	0,76	-0,76	9,86	10,79	11,44	1,58

Fuente: Autor con datos de RMCAB.

En la figura 28 se observa el comportamiento mensual del promedio de la variable temperatura mínima por año para el periodo de seguimiento en Bogotá, donde se puede observar un comportamiento similar entre años, siendo ligeramente más alta en los primeros meses del año (febrero a mayo) y en el segundo semestre hasta enero del año siguiente tiene a ser un poco menor. El año 2010 presentó los meses con la temperatura mínima promedio más altos entre marzo y mayo entre 11,6°C y 12,2°C, el año en general con los promedios menores de esta variable fue 2012, seguido de 2013 y los meses con las mediciones más bajas se presentaron en enero de 2011 y 2013 con 9,0°C.

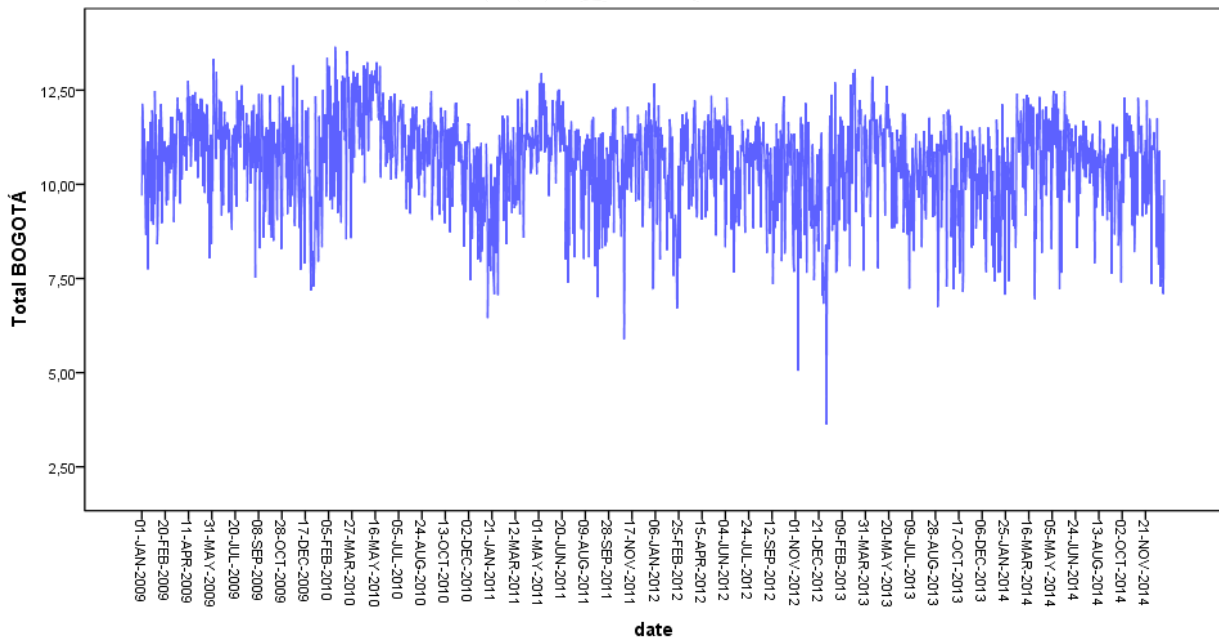
En la figura 29 se presenta un gráfico de secuencias con los 2,191 datos del promedio diario de temperatura mínima para la ciudad de Bogotá, en la que se observa un comportamiento estacionario con tendencia a la disminución.

Figura 28. Distribución de promedios mensuales de la variable de temperatura mínima diaria por año de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB.

Figura 29. Secuencia de promedios diarios de la variable de temperatura mínima diaria de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB

4.2.3 Temperatura máxima

Análisis exploratorio crudo

En la tabla 21 se presentan los estadísticos descriptivos de la variable temperatura máxima diaria, identificando que el promedio de los años de seguimiento para la ciudad se estimó en 19,2°C, con valores entre 12,6°C y 23,5°C; la estación que presentó los valores más bajos de esta variable fue San Cristóbal con 17,4°C y la estación con los valores más altos fue Guaymaral con 20,8°C. En la figura 30 se representa la distribución de los datos en forma de cajas y bigotes, donde se observa que la estación de Suba y Tunal son las que tienen mayor dispersión en los datos y Kennedy la que tiene menos variabilidad.

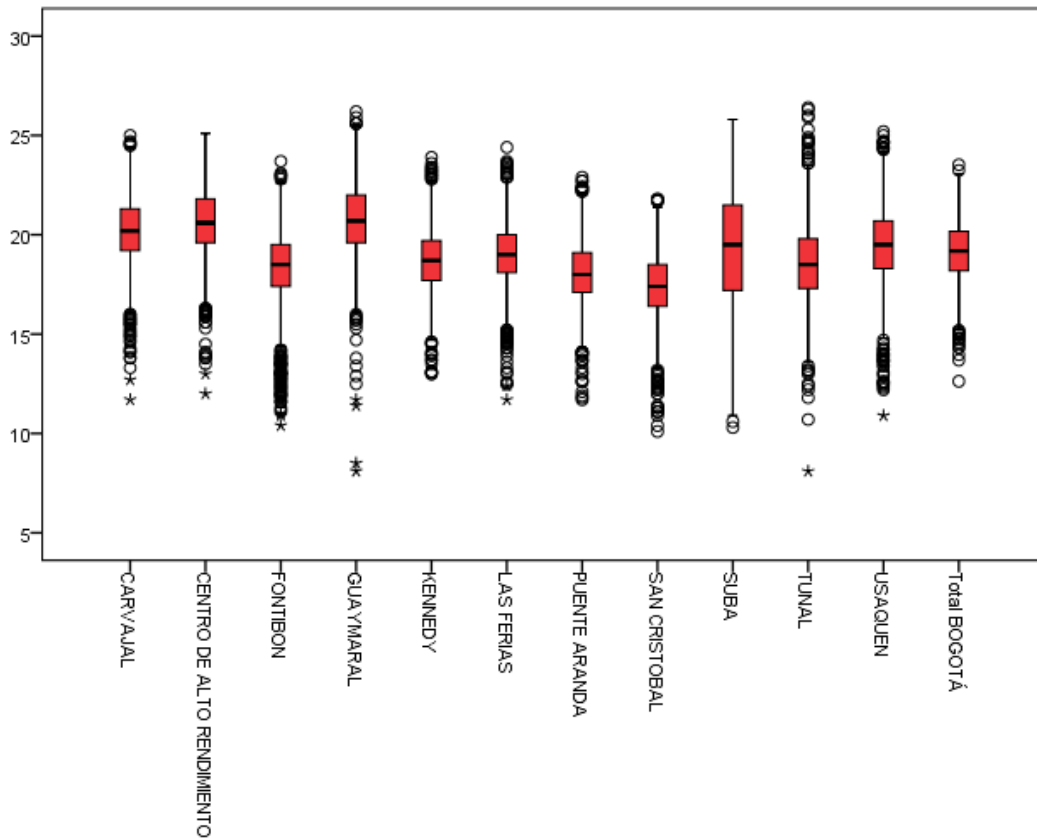
Tabla 21. Estadísticos descriptivos exploratorios de la variable Temperatura máxima diaria cruda de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.

Estación	No. Datos	Faltantes	Prom	Mín	Máx	DE	Var	Curt	Asim	Quartiles			Valores extremos*	
										25	50	75	Bajo	Alto
Carvajal	2112	79	20,20	11,7	25	1,65	2,73	0,99	-0,38	19,2	20,2	21,3	28	6
P. Simón Bolívar	2169	22	20,63	12	21,1	1,69	2,87	0,84	-0,34	19,6	20,6	21,80	26	1
Fontibón	1855	336	18,33	10,4	23,7	1,86	3,47	1,79	-0,81	17,4	18,5	19,5	69	6
Guaymaral	2134	57	20,76	8,1	26,2	1,81	3,28	2,70	-0,55	19,6	20,7	22,0	16	5
Kennedy	2117	74	18,71	13	23,9	1,55	2,40	0,38	-0,06	17,7	18,7	19,7	18	15
Las Ferias	2159	32	19,01	11,7	24,4	1,57	2,47	0,95	-0,26	18,10	19,0	20,0	33	13
Puente Aranda	2188	3	18,06	11,7	22,9	1,56	2,46	0,35	-0,08	17,1	18,0	19,1	19	13
San Cristóbal	1790	401	17,40	10,1	21,8	1,69	2,85	0,80	-0,39	16,4	17,4	18,5	27	4
Suba	1778	413	19,37	10,3	25,8	2,69	7,22	-0,69	-0,06	17,2	19,5	21,5	2	0
Tunal	1837	354	18,58	8,1	26,4	1,99	3,98	0,96	0,157	17,3	18,5	19,8	11	19
Usaquén	2074	117	19,47	10,9	25,2	1,91	3,65	0,78	-0,32	18,3	19,5	20,7	30	13
Total	2191	0	19,17	12,6	23,5	1,45	2,11	0,23	-0,15	18,2	19,2	20,2	16	2

*Conteo

Fuente: Autor con datos de RMCAB.

Figura 30. Gráficos de cajas y bigotes de la variable de temperatura máxima diaria por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.

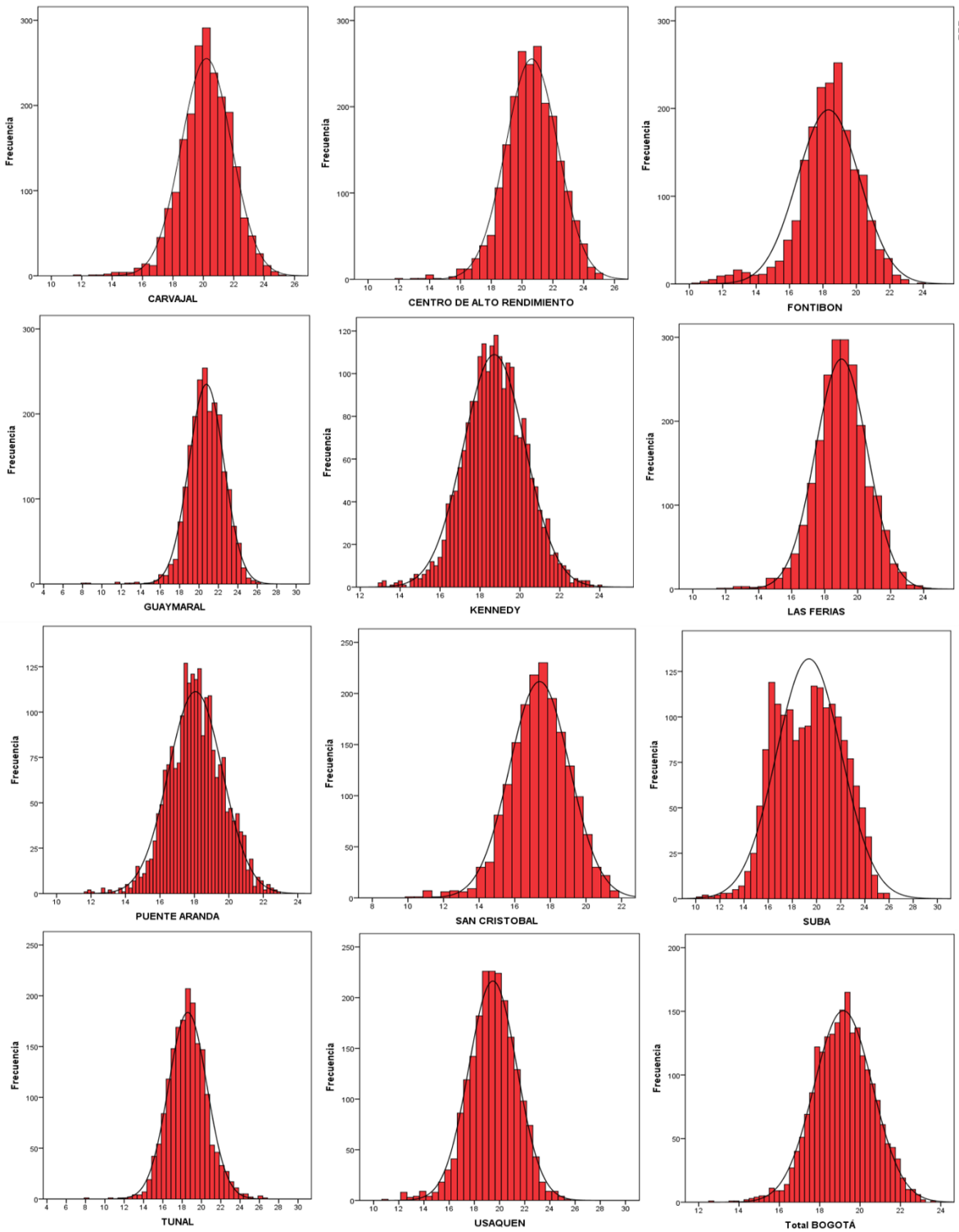


Fuente: Autor con datos de RMCAB.

En esta variable se identificaron valores extremos de acuerdo a la misma fórmula usada en la variable de temperatura promedio (ver metodología), sin embargo, el tratamiento del método de sustitución de la mediana del día respectivo para el subsiguiente análisis se aplicó sólo a los valores extremos atípicos, determinados por aquellos que se encuentran en ± 3 desviaciones estándar, resultando 172 datos extremos atípicos de los 402 que fueron identificados como extremos.

En la figura 31 se observan los histogramas de cada una de las estaciones y el promedio de la ciudad de todas estaciones que reportaron la variable temperatura máxima diaria, las que muestran curvas de normalidad con asimetría negativa, excepto la estación del Tunal y en su mayoría son leptocúrticas, excepto suba que es planicúrtica.

Figura 31. Histogramas de la variable de temperatura máxima diaria por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB.

Análisis descriptivo

En la tabla 22 se presentan los estadísticos descriptivos de la variable temperatura máxima diaria por año ya ajustada, identificando que el promedio de los años de seguimiento para la ciudad se estimó en 19,17°C, con valores entre 12,6°C y 23,4°C; el año con el promedio de temperatura máxima más alto fue 2013, seguido de 2014, el año con el promedio de esta variable más bajo fue 2009, seguido de 2011. El año con mayor variación de ésta variable fue 2010, seguido de 2014 y el de menor amplitud fue 2009.

Tabla 22. Estadísticos descriptivos variable Temperatura máxima diaria de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.

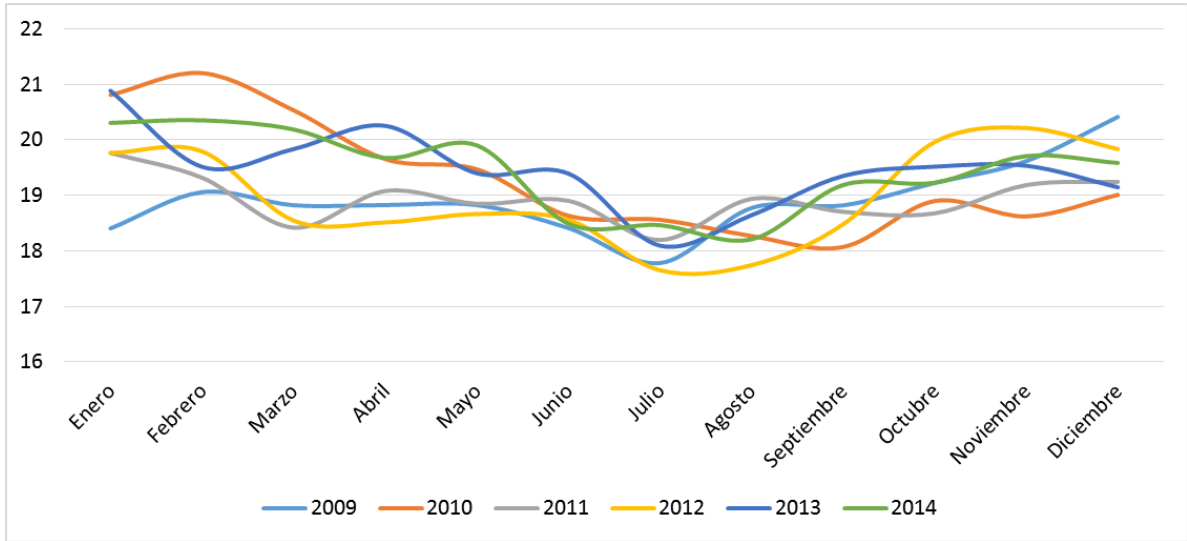
Año	Prom	Mín	Máx	Rango	DE	Var	Curt	Asim	Quartiles			Ampli- tud IQ
									25	50	75	
2009	<u>18,91</u>	15,08	22,19	7,12	1,25	1,56	-0,135	-0,002	18,00	18,90	19,85	1,84
2010	19,30	13,48	<u>23,44</u>	<u>9,96</u>	1,61	2,60	0,240	-0,027	18,23	19,11	20,55	2,31
2011	18,93	<u>12,60</u>	22,30	9,70	1,38	1,91	0,787	-0,464	17,99	19,01	19,93	1,94
2012	18,97	14,09	22,61	8,52	1,52	2,32	-0,145	-0,204	17,90	19,04	20,05	2,15
2013	<u>19,46</u>	15,10	22,80	7,70	1,33	1,78	0,121	-0,124	18,54	19,48	20,23	1,68
2014	19,43	15,38	22,83	7,44	1,38	1,90	-0,259	-0,144	18,47	19,45	20,40	1,93
Total	19,17	12,60	23,44	10,84	1,44	2,06	0,204	-0,142	18,22	19,20	20,13	1,92

Fuente: Autor con datos de RMCAB.

En la figura 32 se observa el comportamiento mensual de la variable temperatura máxima por año para el periodo de seguimiento en Bogotá, donde se puede observar una tendencia general en todos los años de incremento en los primeros meses y los últimos del año y una disminución hacia la mitad entre los meses de julio y agosto. El mes más cálido se presentó en febrero de 2010 con un promedio de 21,20°C, y el mes con el promedio más bajo para temperatura máxima fue en julio de 2012 con 17,65°C.

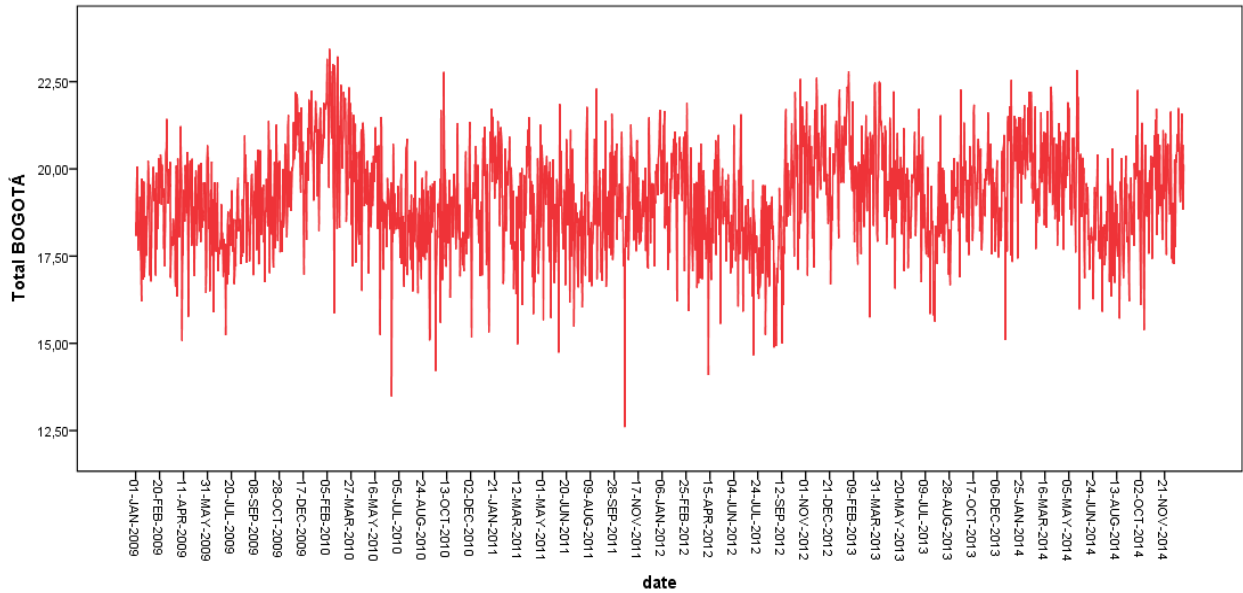
En la figura 33 se presenta un gráfico de secuencias con los 2191 datos del promedio diario de temperatura máxima para la ciudad de Bogotá, en la que se observa un comportamiento estacionario con tendencia al incremento.

Figura 32. Distribución de promedios mensuales de la variable de temperatura máxima diaria por año de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB.

Figura 33. Secuencia de promedios diarios de la variable de temperatura máxima diaria de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB

4.2.4 Humedad Relativa

Análisis exploratorio crudo

En la tabla 23 se presentan los estadísticos descriptivos de la variable humedad relativa diaria, identificando que el promedio de los años de seguimiento para la ciudad se estimó en 66,3%, con valores entre 41% y 83%; la estación que presentó el valor más bajo fue Tunal (28%) y la estación con el valor más alto fue Guaymaral (86%). En promedio la estación con mayor humedad es Parque Simón Bolívar (68%) y la de menos es Las Ferias (64,6%).

En la figura 34, se representa la distribución de los datos en forma de cajas y bigotes, donde se observa que un comportamiento similar en la amplitud de mediciones entre las estaciones que evaluaron éste componente, la estación de Centro de alto rendimiento es la que tiene la mediana mayor y la estación de Las Ferias la que tiene la mediana menor, y la estación de Kennedy es la que tiene mayor dispersión en la distribución de los datos.

Tabla 23. Estadísticos descriptivos exploratorios de la variable Humedad relativa diaria cruda de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.

Estación	No. Datos	Faltantes	Prom	Mín	Máx	DE	Var	Curt	Asim	Quartiles			Valores extremos*	
										25	50	75	Bajo	Alto
P. Simón Bolívar	2121	70	67,95	49	85	6,07	36,84	-0,54	-0,01	64	68	72	8	2
Guaymaral	1971	220	66,50	50	86	6,34	40,22	-0,34	0,33	62	66	71	0	7
Kennedy	2050	141	66,96	33	84	6,84	46,78	-0,25	-0,26	62	67	73	3	0
Las Ferias	2099	92	64,61	41	83	6,03	36,42	-0,25	0,06	60	64	69	2	1
Tunal	2063	128	65,21	28	82	6,06	36,70	1,00	-0,17	61	65	69	10	4
Total	2191	0	66,31	41	83	5,74	32,90	-0,23	0,01	62	66	70	2	1

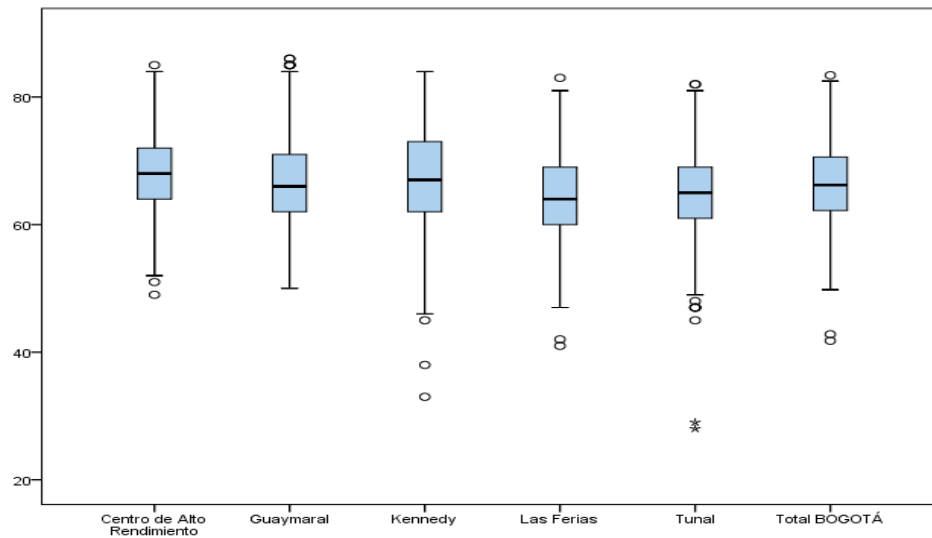
*Coteo

Fuente: Autor con datos de RMCAB.

En esta variable se identificaron valores extremos de acuerdo al procedimiento ya descrito en la metodología (ver tabla 23), que representan un mínimo del total de las mediciones realizadas (1,8%), por lo tanto, en esta variable no se realizó ajuste de datos extremos, sin embargo, si se realiza imputación por regresión lineal para los datos faltantes.

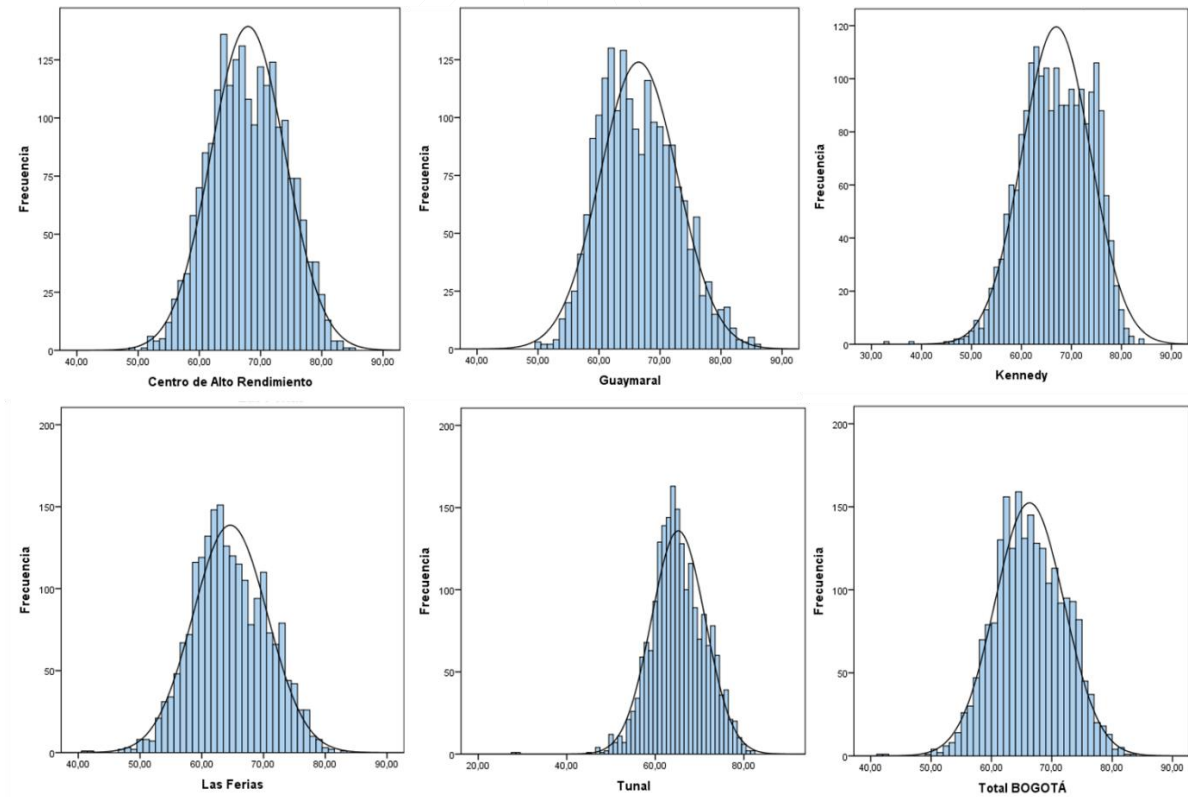
En la figura 35 se observan los histogramas de cada una de las estaciones y el promedio de la ciudad de todas estaciones que reportaron la variable humedad relativa diaria, se muestran las curvas de normalidad con asimetría positiva para 2 estaciones y la global, y en su mayoría son planicúrticas, excepto Tunal que es leptocúrtica.

Figura 34. Gráficos de cajas y bigotes de la variable de humedad relativa diaria por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB.

Figura 35. Histogramas de la variable de humedad relativa diaria por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB.

Análisis descriptivo

En la tabla 24 se presentan los estadísticos descriptivos de la variable humedad relativa diaria por año, identificando que el promedio de los años de seguimiento para la ciudad se estimó en 66,3%, con valores entre 41,8% y 83,4%; el 2010 fue el año que presentó el nivel más alto y más bajo de humedad relativa en el periodo de seguimiento, y es el año con mayor variación, el año 2011 es el año en que menos variabilidad se presentó, seguido de 2014.

Tabla 24. Estadísticos descriptivos variable Humedad relativa diaria de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.

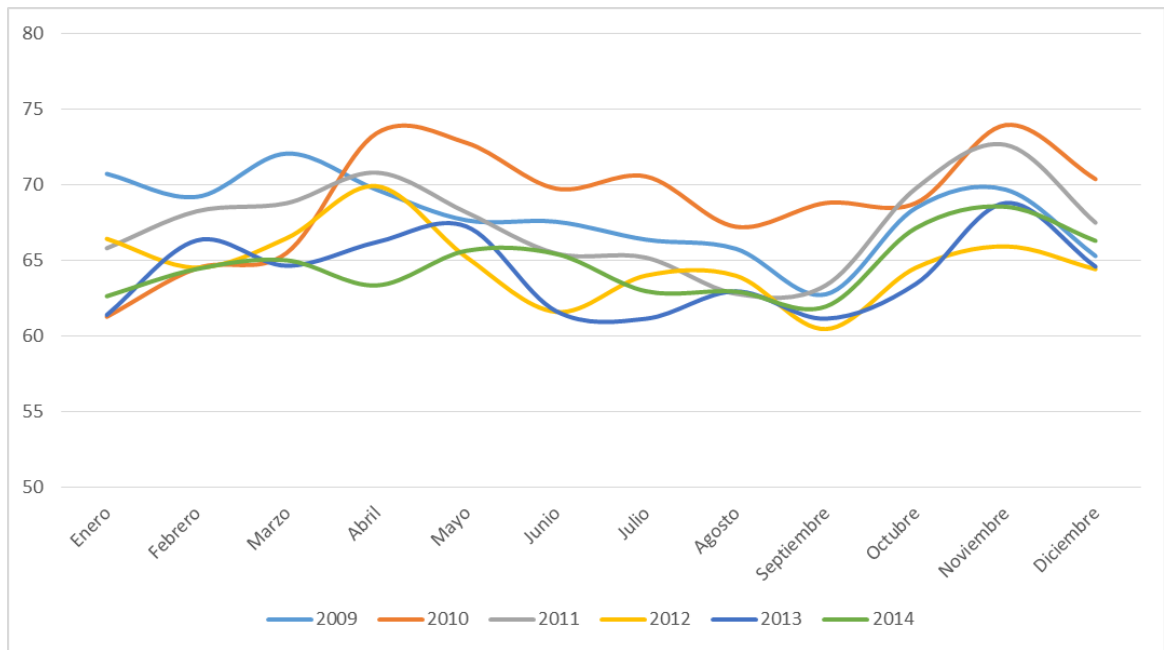
Año	Prom	Mín	Máx	Rango	DE	Var	Curt	Asim	Quartiles			Ampli- tud IQ
									25	50	75	
2009	67,94	49,8	82,50	32,70	5,35	28,66	0,422	-0,126	64,6	67,75	71,55	6,95
2010	<u>68,92</u>	<u>41,80</u>	<u>83,40</u>	<u>41,60</u>	6,20	38,48	1,11	-0,605	65,23	69,40	73,00	7,78
2011	67,37	53	79,40	26,40	5,40	29,11	-0,906	-0,060	63,10	67,00	72,00	8,90
2012	64,80	50,20	79,25	29,05	5,32	28,35	-0,394	0,197	61,20	64,60	68,25	7,05
2013	<u>64,11</u>	50,80	78,20	27,40	5,19	26,90	-0,381	0,267	60,60	63,40	67,70	7,10
2014	64,70	50,80	78	27,20	5,11	26,08	-0,286	0,049	61,40	64,20	68,40	7,00
Total	66,31	41,80	83,40	41,60	5,74	32,90	-0,226	0,009	62,20	66,20	70,60	8,40

Fuente: Autor con datos de RMCAB.

En la figura 36 se observa el comportamiento de la variable humedad relativa mensual por año para el periodo de seguimiento en Bogotá, donde se puede observar una tendencia general de incremento en los meses correspondientes al régimen bimodal de lluvias (abril, mayo, octubre y noviembre) y una disminución en los meses de agosto y septiembre. El mes con mayor humedad fue noviembre de 2010 con un promedio de 73,95% y el mes con el promedio menor de humedad fue septiembre de 2012 con 60,48%.

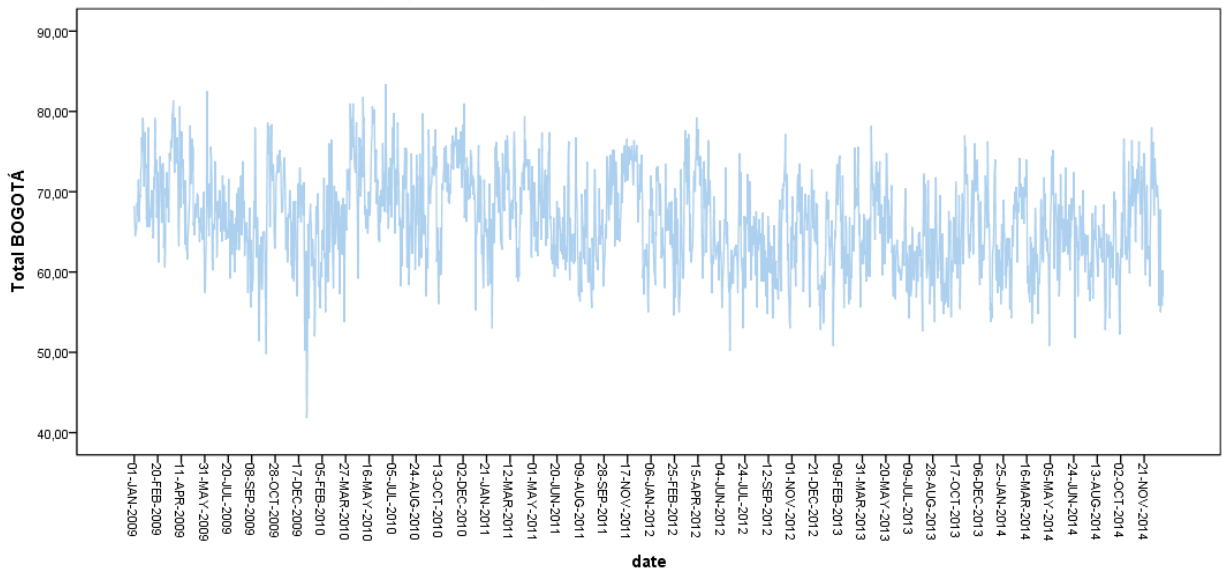
En la figura 37 se presenta un gráfico de secuencias con los 2191 datos del promedio diario de humedad relativa para la ciudad de Bogotá, en la que se observa un comportamiento cíclico con una tendencia a la disminución en el transcurso del tiempo.

Figura 36. Distribución de promedios mensuales de la variable humedad relativa diaria por año de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB.

Figura 37. Secuencia de promedios diarios de la variable de humedad relativa diaria de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB

4.2.5 Ozono

Análisis exploratorio

En la tabla 25 se presentan los estadísticos descriptivos de la variable ozono diario, identificando que el promedio de los años de seguimiento para la ciudad se estimó en 23,70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con valores entre 6,23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 79,70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la estación que presentó el valor más bajo fue Puente Aranda con 2,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y la estación con el valor más alto fue Usaquén con 163,43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En promedio, los niveles fueron mayores en Usaquén y más bajos en la estación de Carvajal

En la figura 38 se representa la distribución de los datos en forma de cajas y bigotes, donde se observa que todas las estaciones tienen datos extremos altos de las mediciones, especialmente la estación de Usaquén es la que tiene mayor amplitud en los niveles medidos y los niveles más altos, las estaciones de Carvajal y Puente Aranda son las que tienen las mediciones menores y a su vez tienen menor amplitud en la distribución de los datos.

Tabla 25. Estadísticos descriptivos exploratorios de la variable Ozono diaria cruda de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.

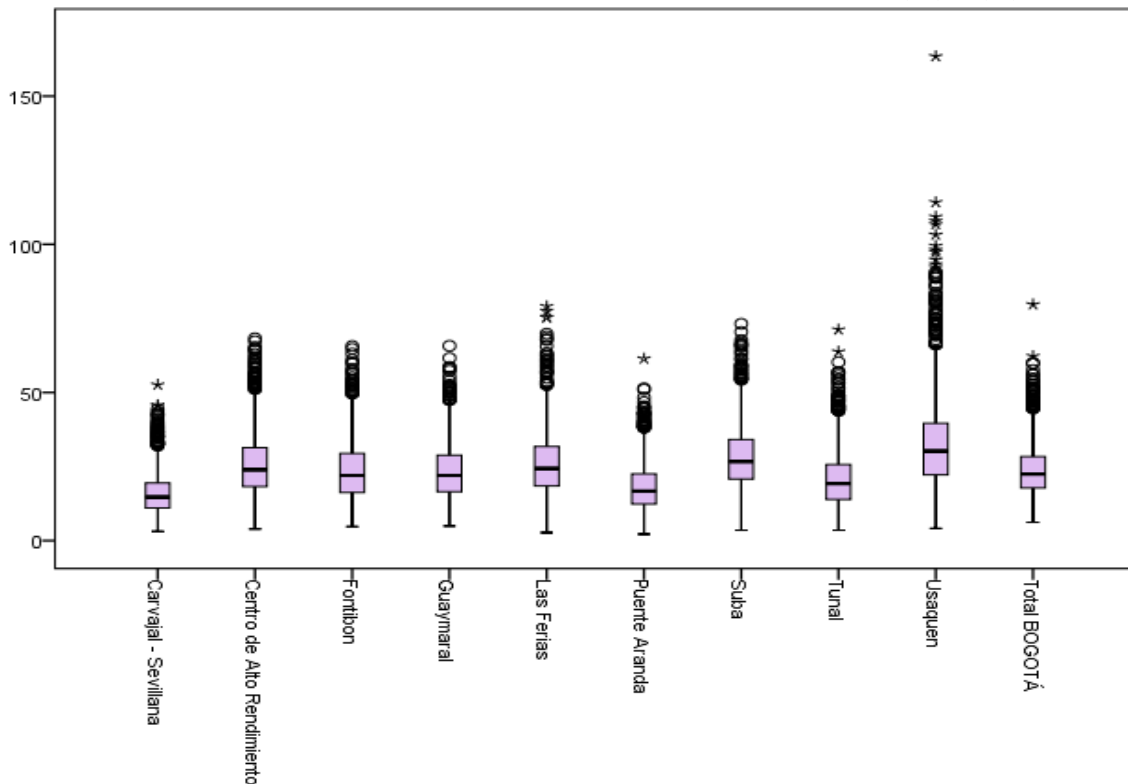
Estación	No. Datos	Faltantes	Prom	Mín	Máx	DE	Var	Curt	Asim	Quartiles			Valores extremos*	
										25	50	75	Bajo	Alto
Carvajal	1920	271	15,91	3,14	52,58	6,87	47,22	1,57	1,08	10,99	14,72	19,42	0	57
P. Simón Bolívar	1785	406	25,68	3,92	68,28	10,45	109,2	0,82	0,83	18,2	23,94	31,39	0	41
Fontibón	1575	616	23,40	4,75	65,67	9,68	93,73	0,98	0,86	16,24	22,01	29,41	0	27
Guaymaral	1874	317	23,34	4,91	65,73	9,12	83,18	0,69	0,81	16,48	21,97	28,84	0	27
Las Ferias	1814	377	25,80	2,75	79,07	10,68	114,02	1,72	0,93	18,44	24,33	31,78	0	33
Puente Aranda	1825	366	18,03	2,16	61,41	8,01	64,17	1,17	0,95	12,36	16,28	22,56	0	46
Suba	1833	358	28,18	3,53	73,18	10,24	104,80	0,86	0,78	20,80	26,68	34,14	0	35
Tunal	1824	367	20,73	3,53	71,22	9,39	88,17	1,38	1,01	13,93	19,23	25,70	0	43
Usaquén	1898	293	32,57	4,12	163,43	15,51	240,51	5,20	1,54	22,17	30,21	39,63	0	64
Total	2191	0	23,70	6,23	79,70	8,53	72,82	1,77	0,99	17,78	22,46	28,37	0	52

*Coteo

Fuente: Autor con datos de RMCAB.

En esta variable se identificaron valores extremos de acuerdo al procedimiento ya descrito en la metodología (ver tabla 23), sin embargo, se tiene en cuenta sin modificaciones ya que dichas mediciones reflejan el estado de la calidad del aire de la ciudad de Bogotá, se realiza imputación por regresión lineal para los datos faltantes.

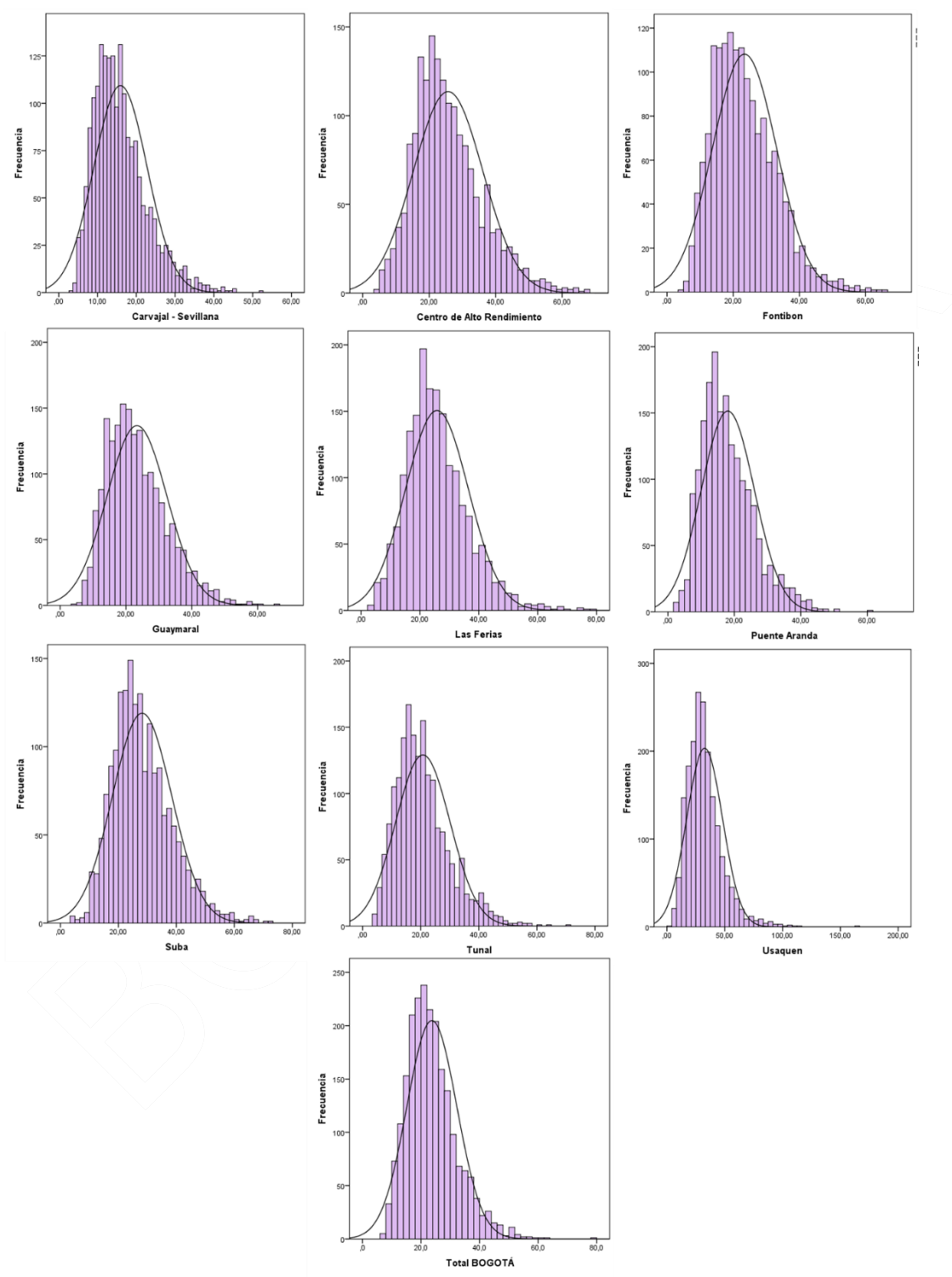
Figura 38. Gráficos de cajas y bigotes de la variable ozono diario por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB.

En la figura 39 se observan los histogramas de cada una de las estaciones y el promedio de la ciudad de todas estaciones que reportaron la variable ozono (24h), se muestran las curvas de normalidad con asimetría positiva y todas son leptocúrticas.

Figura 39. Histogramas de la variable ozono diario por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB.

Análisis descriptivo

En la tabla 26 se presentan los estadísticos descriptivos de la variable ozono (24h) por año, identificando que el promedio de los años de seguimiento para la ciudad se estimó en $23,70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con valores entre $6,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $79,70 \mu\text{g}/\text{m}^3$; el 2010 fue el año que presentó el nivel más alto y el 2013 el año con el nivel más bajo de ozono en el periodo de seguimiento, el año 2010 es el año con mayor variación de ésta variable y el año 2012 y 2013 los que menos variabilidad presentaron. En cuanto al promedio el año con el promedio mayor de las concentraciones de ozono fue 2009 y el de menor nivel fue 2014.

Tabla 26. Estadísticos descriptivos variable ozono diario de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.

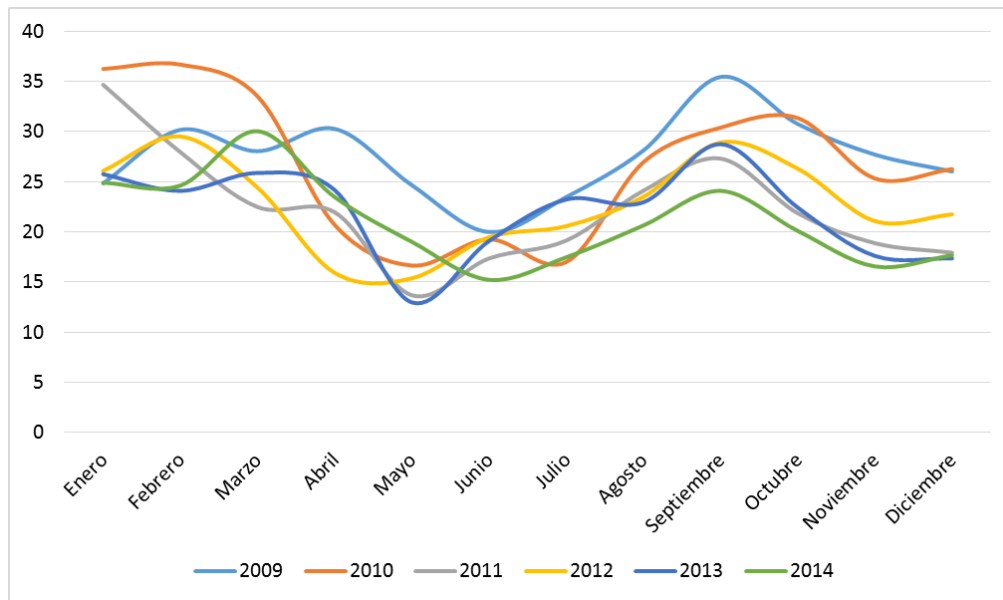
Año	Prom	Mín	Máx	Rango	DE	Var	Curt	Asim	Quartiles			Ampli- tud IQ
									25	50	75	
2009	<u>27,43</u>	11,66	55,95	44,30	7,58	57,53	0,99	0,80	22,17	26,00	31,95	9,78
2010	26,65	9,33	<u>79,70</u>	<u>70,37</u>	10,84	117,4 1	1,57	1,09	18,76	24,47	32,59	13,83
2011	22,25	7,52	50,70	43,27	8,12	66,08	0,81	0,88	16,75	20,99	26,67	9,89
2012	22,73	7,49	48,63	41,14	7,61	57,90	0,41	0,73	17,38	21,53	27,01	9,64
2013	22,01	<u>6,23</u>	47,53	41,30	7,13	50,83	0,44	0,60	17,18	21,15	26,14	8,97
2014	<u>21,14</u>	7,26	51,55	44,29	7,27	52,98	1,26	0,89	16,13	20,24	25,34	9,21
Total	23,70	6,23	79,70	73,47	8,53	72,82	1,77	0,99	17,78	22,46	28,37	10,59

Fuente: Autor con datos de RMCAB.

En la figura 40 se observa el comportamiento de la variable ozono (24h) mensual por año para el periodo de seguimiento en Bogotá, donde se puede observar una tendencia general de incremento en los primeros tres meses del año y en el segundo semestre entre agosto y septiembre y un valle en los meses de abril a junio y en los dos últimos del año. El mes con el promedio de mayor nivel de ozono troposférico fue febrero de 2010 con un promedio de $36,69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el mes con el promedio menor de éste contaminante fue mayo de 2013 con $12,98 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

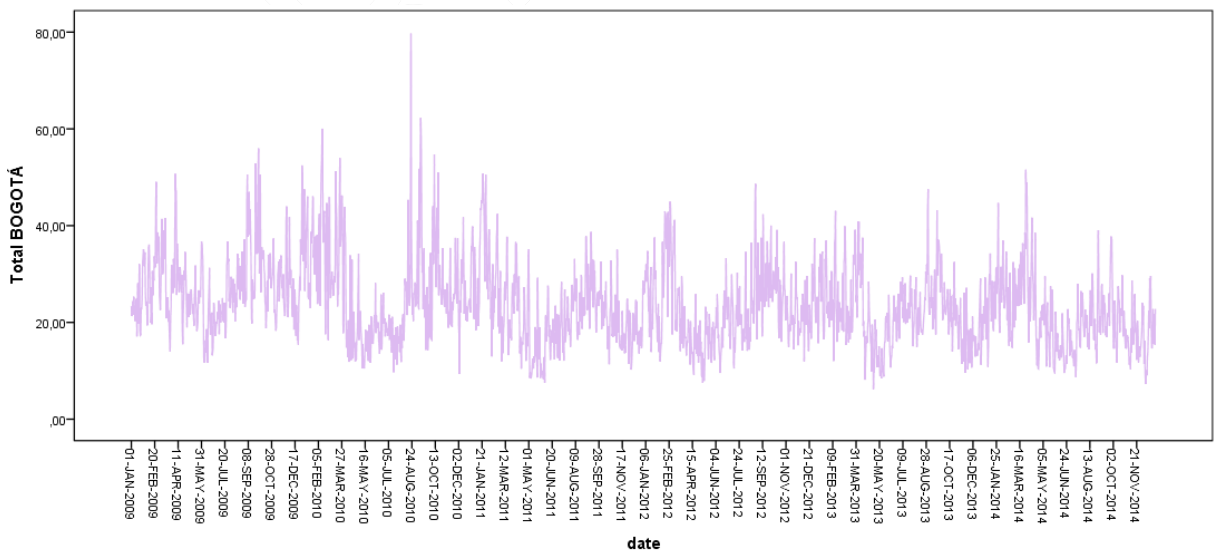
En la figura 41 se presenta un gráfico de secuencias con los 2191 datos del promedio de ozono (24h) para la ciudad de Bogotá, en el que se observa un comportamiento cíclico y una tendencia a la disminución en el transcurso del tiempo.

Figura 40. Distribución de promedios mensuales de la variable ozono diario por año de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB.

Figura 41. Secuencia de promedios diarios de la variable ozono diario de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB

4.2.6 Material particulado 10 μ (PM₁₀)

Análisis exploratorio crudo

En la tabla 27 se presentan los estadísticos descriptivos de la variable PM₁₀ diario, identificando que el promedio de los años de seguimiento para la ciudad fue estimado en 53,42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con valores entre 15,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 173,93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; la estación que presentó el valor más bajos fue Centro de alto rendimiento (P. Simón Bolívar) con 5,60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y la estación con los niveles más altos fue Fontibón 243,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido de Carvajal con 239,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La estación que presenta los niveles promedio más altos de PM₁₀ es Carvajal (86,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y la estación de promedio menor es Guaymaral (37,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabla 27. Estadísticos descriptivos exploratorios de la variable PM₁₀ diario cruda de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.

Estación	No. Datos	Faltantes	Prom	Mín	Máx	DE	Var	Curt	Asim	Quartiles			Valores extremos*	
										25	50	75	Bajo	Alto
Carvajal	2057	134	<u>86,03</u>	17,80	239,80	24,80	615,15	0,38	0,16	69,50	86,10	102,95	1	6
P. Simón Bolívar	1929	262	37,40	<u>5,60</u>	182,40	18,11	328,08	1,50	0,69	22,80	25,00	50,25	0	3
Fontibón	1630	561	55,17	12,0	<u>243,0</u>	18,11	327,99	6,59	0,97	42,0	54,0	67,0	0	10
Guaymaral	1885	306	<u>37,30</u>	7,40	132,60	14,48	209,65	1,87	0,89	26,8	35,60	45,65	0	38
Kennedy	1949	242	77,69	26,50	161,0	24,37	593,88	-0,31	0,38	59,15	75,90	94,75	0	5
Las Ferias	2012	179	40,35	6,30	107,0	17,10	292,33	-0,12	0,42	27,60	39,25	51,78	0	10
Puente Aranda	2063	128	54,80	10,80	199,50	21,02	441,83	1,18	0,65	38,8	53,30	68,00	0	15
Suba	1920	271	55,49	17,60	186,20	16,41	269,39	6,11	1,48	44,70	53,60	63,38	0	58
Tunal	1934	257	50,82	12,80	212,80	21,27	452,25	2,09	0,93	34,18	48,0	63,60	0	21
Usaquén	1719	472	38,95	10,10	124,80	17,12	293,25	-0,001	0,66	25,20	36,40	50,50	0	8
Total	2191	0	53,42	15,15	173,93	16,20	262,56	0,92	0,49	41,11	52,30	64,59	0	5

*Coteo

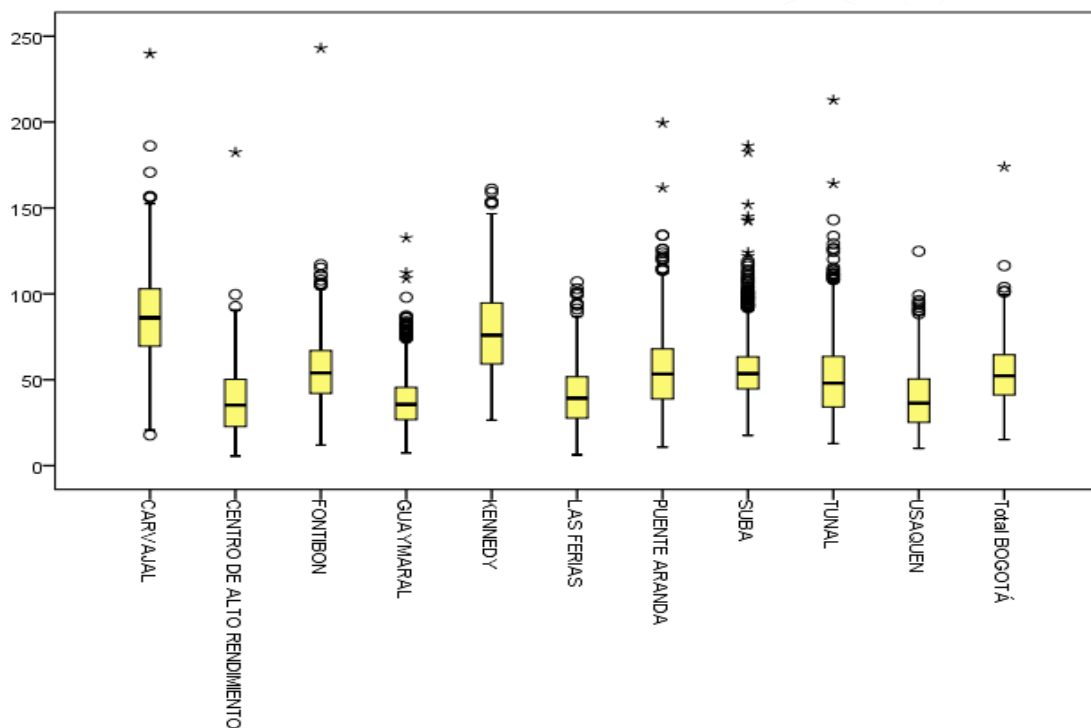
Fuente: Autor con datos de RMCAB.

En la figura 42 se representa la distribución de los datos en forma de cajas y bigotes, donde se observa que todas las estaciones cuentan con valores extremos altos, las

estaciones de Carvajal y Kennedy son las que cuentan con niveles y medianas más altas de la red, y las de los niveles más bajos son Guaymaral y Centro de alto rendimiento, así mismo, son estas las de menos dispersión de los datos.

En esta variable se identificaron valores extremos de acuerdo a la fórmula presentada en la metodología, (ver tabla 27), que representan un 7,9% del total de las mediciones realizadas, sin embargo, se tienen en cuenta ya que dichas mediciones reflejan el estado de la calidad del aire de la ciudad de Bogotá.

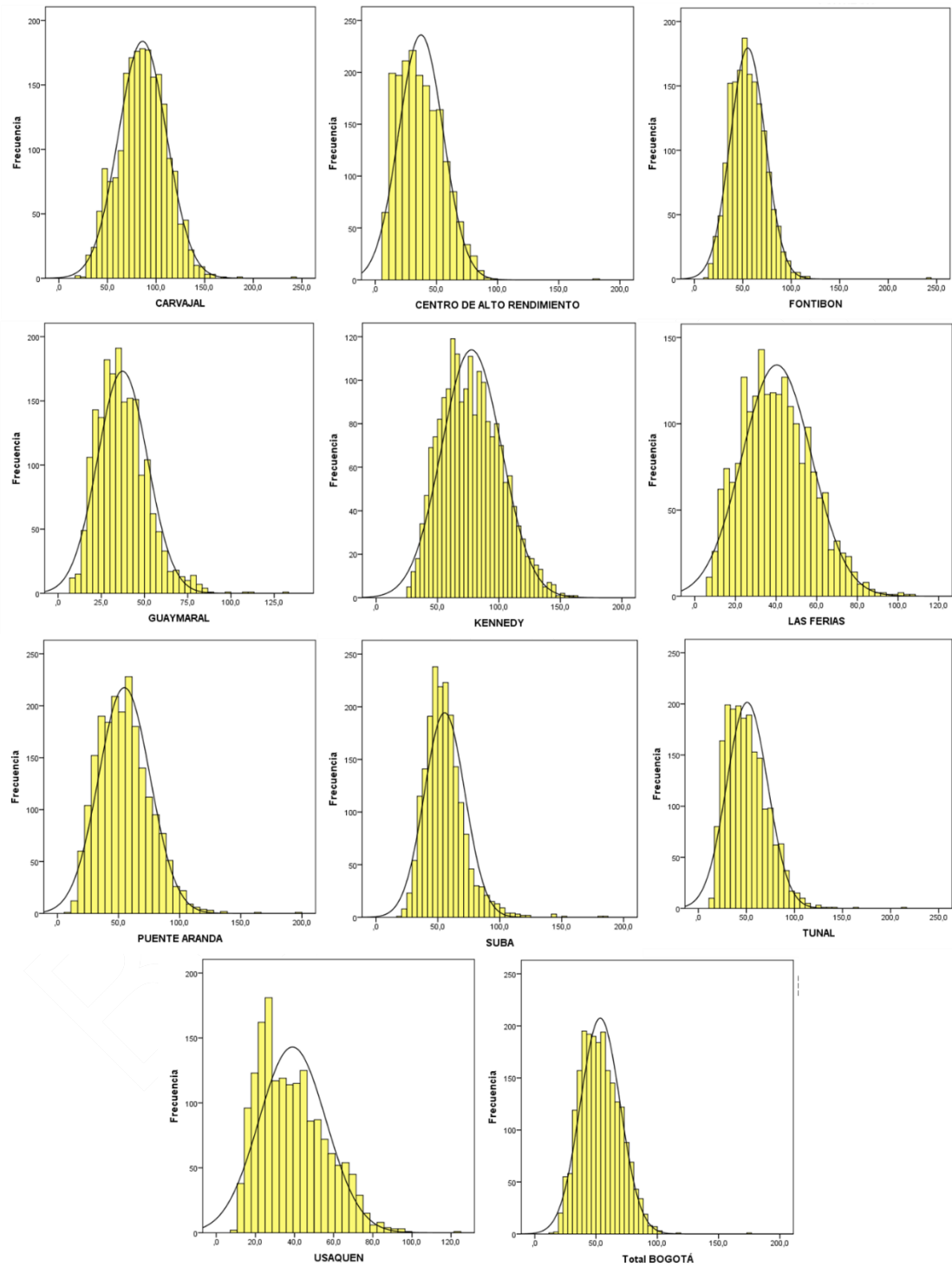
Figura 42. Gráficos de cajas y bigotes de la variable PM₁₀ diario por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB.

En la figura 43 se observan los histogramas de cada una de las estaciones y el promedio de la ciudad de todas estaciones que reportaron la variable PM₁₀ diario, se muestran las curvas de normalidad con asimetría positiva y en su mayoría son leptocúrticas, excepto Kennedy, Las ferias y Usaquén que son planicúrticas.

Figura 43. Histogramas de la variable PM₁₀ diario por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB.

Análisis descriptivo

En la tabla 28 se presentan los estadísticos descriptivos de los niveles de material particulado 10µ diario por año, identificando que el promedio de los años de seguimiento para la ciudad se estimó en 53,42 µg/m³, con valores entre 15,15 µg/m³ y 173,93 µg/m³; el 2014 fue el año que presentó el nivel más alto y el 2012 el nivel más bajo de PM₁₀, seguido de 2010 en el periodo de seguimiento, siendo el 2014 el año con mayor variación de esta variable y el 2013 el año que menos variabilidad presentó, seguido de 2009. En cuanto al promedio de la concentración de PM₁₀, el año con el nivel más alto fue 2010 y el año con el promedio menor fue 2012.

Tabla 28. Estadísticos descriptivos variable PM₁₀ diario de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.

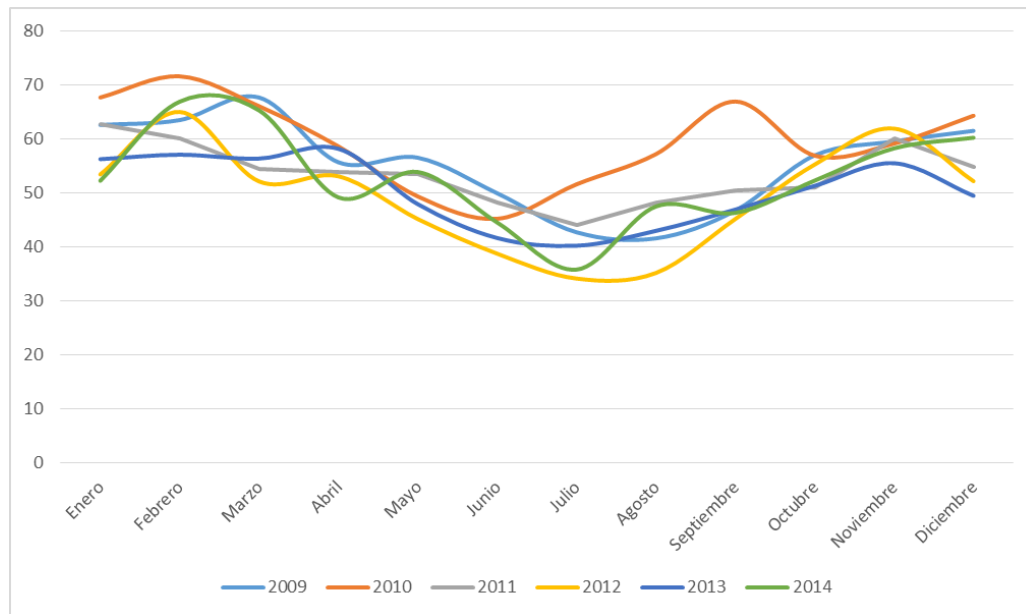
Año	Prom	Mín	Máx	Rango	DE	Var	Curt	Asim	Quartiles			Ampli-tuc IQ
									25	50	75	
2009	55,40	20,93	98,0	77,07	15,49	239,88	-0,56	0,19	42,76	54,20	66,81	24,05
2010	<u>59,51</u>	24,06	116,43	92,37	16,88	285,10	-0,32	0,36	46,60	57,72	71,54	24,95
2011	53,44	21,85	98,31	76,46	14,88	221,34	-0,36	0,23	43,20	52,42	64,37	21,18
2012	<u>49,22</u>	<u>15,15</u>	103,84	88,69	16,09	258,97	-0,28	0,41	36,29	48,36	59,74	22,95
2013	50,30	18,48	88,52	70,04	13,84	191,62	-0,41	0,37	40,03	48,37	59,57	19,54
2014	52,65	22,57	<u>173,93</u>	151,36	17,69	312,93	4,90	1,05	39,18	50,74	64,64	25,46
Total	53,42	15,15	173,93	158,78	16,20	262,56	0,92	0,49	41,11	52,30	64,59	23,48

Fuente: Autor con datos de RMCAB.

En la figura 44 se observa el comportamiento mensual de la variable PM₁₀ por año para el periodo de seguimiento en Bogotá, donde se puede observar una tendencia en todos los años de incremento en los primeros meses del año (febrero y marzo) y hacia el final (octubre y noviembre) y un valle en las mediciones hacia mitad el año (mayo a agosto). El mes con mayor nivel de PM₁₀ fue febrero de 2010 con una medición de 71,62 µg/m³ y los meses con las mediciones menores fueron julio y agosto de 2012 con 34,18 µg/m³ y 35,22 µg/m³ respectivamente.

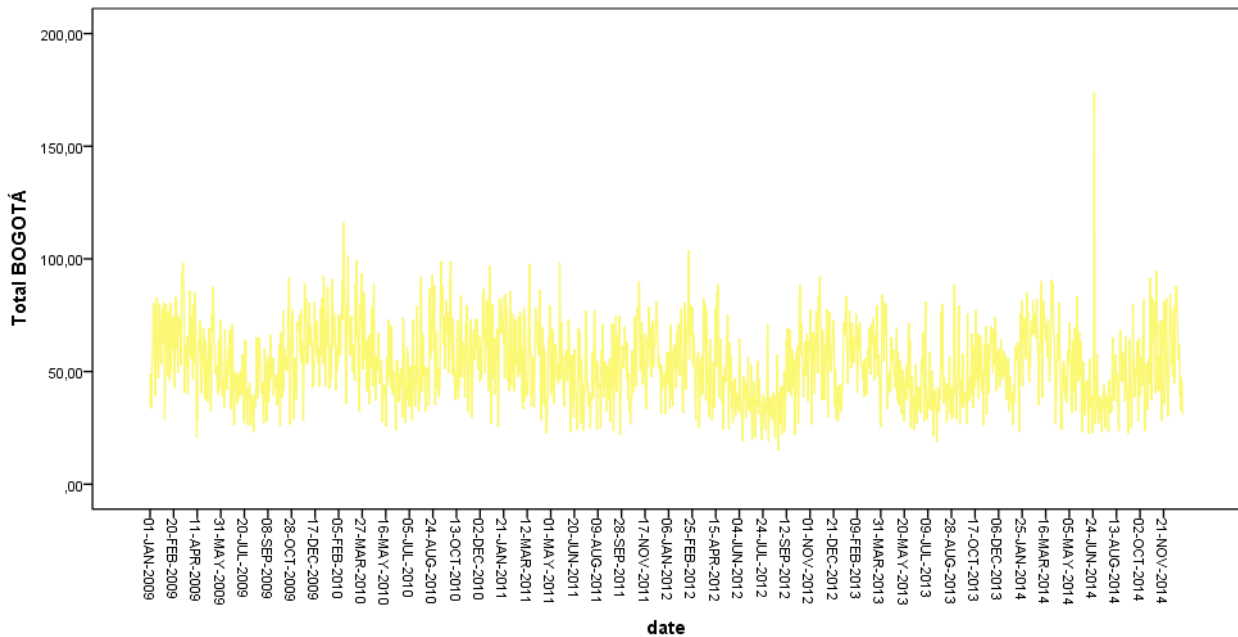
En la figura 45 se presenta un gráfico de secuencias con los 2191 datos del promedio diario de material particulado 10µ para la ciudad de Bogotá, en la que se observa un comportamiento estacionario con una tendencia estable en el transcurso del tiempo.

Figura 44. Distribución de promedios mensuales de la variable PM₁₀ diario por año de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB.

Figura 45. Secuencia de promedios diarios de la variable PM₁₀ diario de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB

4.2.7 Material particulado 2,5µ (PM_{2,5})

Análisis exploratorio crudo

En la tabla 29 se presentan los estadísticos descriptivos de la variable material particulado 2,5µ diario, en el que se identifica el promedio de los años de seguimiento para la ciudad se estimó en 20,93 µg/m³, con valores entre 2,30 µg/m³ y 58,83 µg/m³: Las estaciones de centro de alto rendimiento y Usaquéen, presentaron los valores más bajos con 2,30 µg/m³ y la estación de Kennedy el valor más alto con 83,1 µg/m³. La estación que presenta los niveles promedio más altos de PM_{2,5} es Kennedy (30,98 µg/m³) y la estación de promedio menor es Usaquéen (10,70µg/m³).

En la figura 46 se representa la distribución de los datos en forma de cajas y bigotes, donde se observa que todas las estaciones presentan datos extremos altos, la estación de Kennedy es la que cuenta los niveles más altos, es la que tiene más variación de los datos y a su vez, es la que cuenta con la mayor cantidad de mediciones de éste contaminante, y la estación de Usaquéen es la que tiene los niveles menores y la de menor amplitud en la distribución de los datos.

Tabla 29. Estadísticos descriptivos exploratorios de la variable PM_{2,5} diario cruda de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.

Estación	No. Datos	Faltantes	Prom	Mín	Máx	DE	Var	Curt	Asim	Quartiles			Valores extremos*	
										25	50	75	Bajo	Alto
P. Simón Bolívar	1748	443	20,70	<u>2,30</u>	53,0	9,09	82,66	-0,16	0,55	13,2	19,9	26,8	0	11
Kennedy	1853	338	<u>30,98</u>	7,30	<u>83,10</u>	11,40	129,90	0,38	0,64	22,3	29,8	38,6	0	13
Tunal	1546	645	20,33	5,40	61,20	9,52	90,69	0,53	0,89	12,8	18,5	26,4	0	21
Usaquéen	1541	650	<u>10,70</u>	<u>2,30</u>	46,40	6,23	38,87	1,84	1,20	5,6	9,10	14,3	0	28
Total	2181	10	20,93	2,30	58,83	8,84	78,19	0,19	0,66	14,2	19,7	26,7	0	24

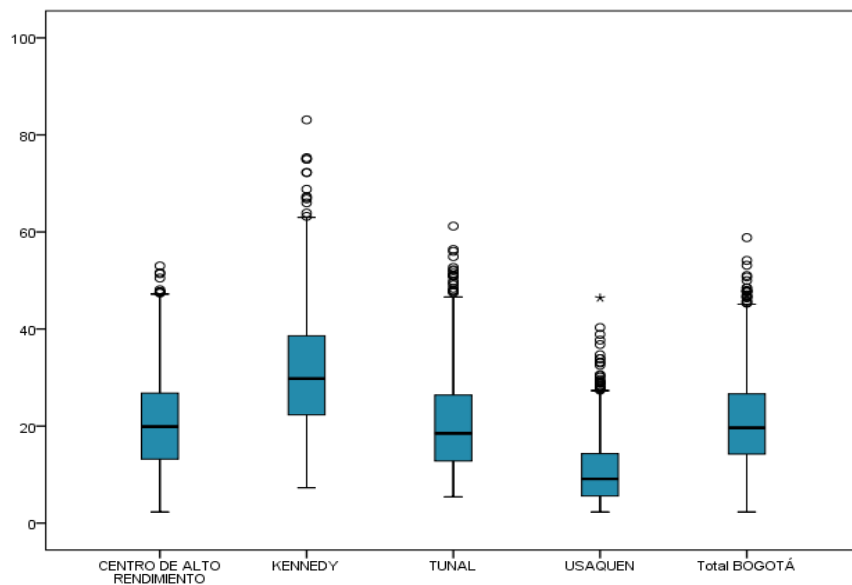
*Conteo

Fuente: Autor con datos de RMCAB.

En esta variable se identificaron valores extremos de acuerdo a la fórmula presentada en la metodología (ver tabla 29), que representan un 4,43% del total de las mediciones realizadas, sin embargo, se tienen en cuenta ya que dichas mediciones reflejan el estado de la calidad del aire de la ciudad de Bogotá.

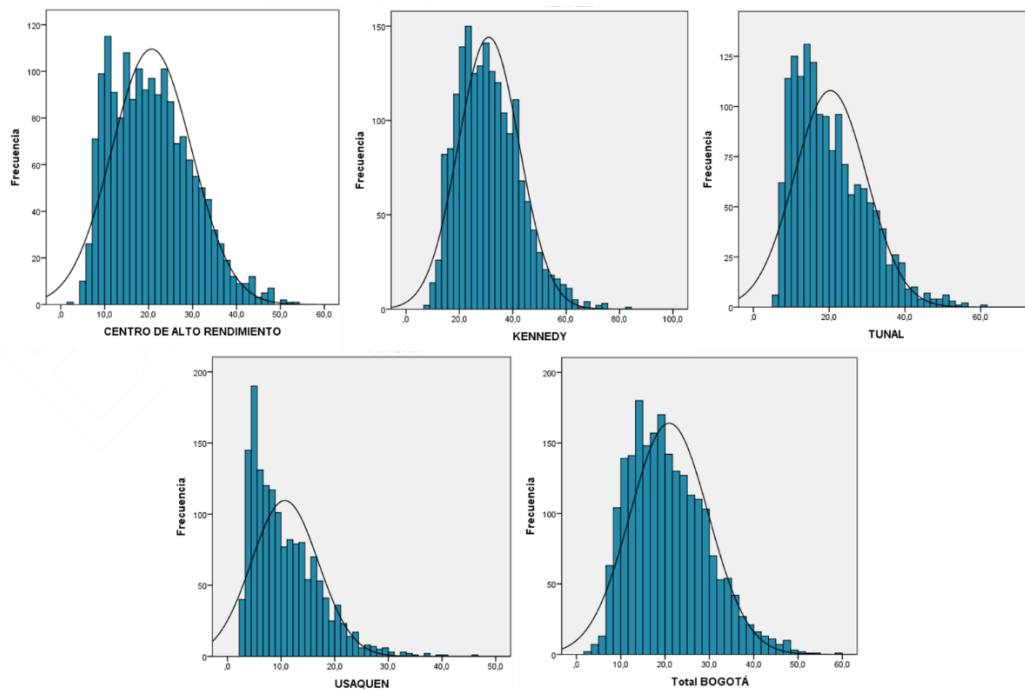
En la figura 47 se observan los histogramas de cada una de las estaciones y el promedio de la ciudad de todas estaciones que reportaron la variable material particulado 2,5µ, se muestran las curvas de normalidad, todas con asimetría positiva y en su mayoría son leptocúrticas, excepto Centro de alto rendimiento (P. Simón Bolívar) que es planicúrtica.

Figura 46. Gráficos de cajas y bigotes de la variable $PM_{2.5}$ diario por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB.

Figura 47. Histogramas de la variable $PM_{2.5}$ diario por estación de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB.

Análisis descriptivo

En la tabla 30 se presentan los estadísticos descriptivos de la variable material particulado 2,5µ diario por año, identificando que el promedio de los años de seguimiento para la ciudad se estimó en 20,93 µg/m³, con valores entre 2,30 µg/m³ y 58,83 µg/m³; el 2010 fue el año que presentó el nivel más alto de este contaminante y el 2009 el año con la medición más baja en el periodo de seguimiento, siendo el 2010 el año con mayor dispersión en los datos seguido de 2011 y 2009 el año que menos variabilidad presentó, seguido de 2013. En cuanto al promedio de la concentración de PM_{2,5}, el año con el nivel más alto fue 2010 y el año con el promedio menor fue 2009.

Tabla 30. Estadísticos descriptivos variable PM_{2,5} diario de la RMCAB, en Bogotá 2009-2014.

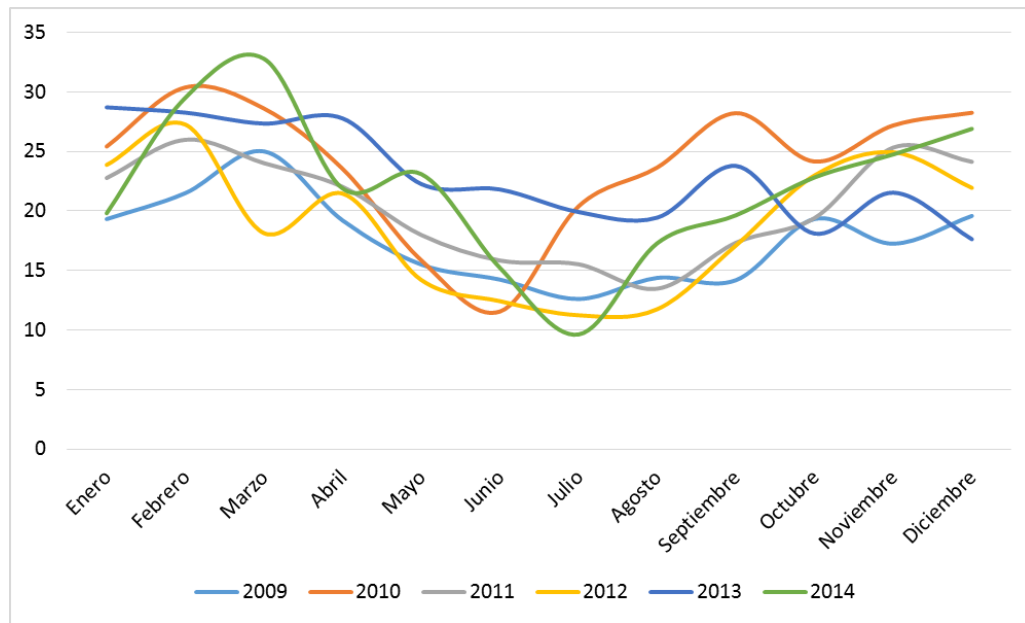
Año	Prom	Mín	Máx	Rango	DE	Var	Curt	Asim	Quartiles			Ampli- tud IQ
									25	50	75	
2009	17,64	2,30	37,95	35,65	7,08	50,14	-0,42	0,47	11,65	16,90	22,43	10,78
2010	23,89	4,85	58,83	53,98	9,64	92,89	0,08	0,44	16,43	23,60	29,96	13,53
2011	20,26	5,30	53,13	47,83	7,99	63,92	0,31	0,63	14,36	18,98	25,43	11,08
2012	18,94	4,10	45,80	41,70	8,39	70,43	-0,09	0,69	11,97	17,60	24,30	12,33
2013	22,98	7,50	48,45	40,95	8,29	68,75	0,24	0,76	16,90	21,85	27,39	10,49
2014	21,89	6,85	51,03	44,18	9,73	94,76	-0,21	0,62	13,73	20,35	28,55	14,82
Total	20,93	2,30	58,83	56,53	8,84	78,19	0,19	0,66	14,23	19,65	26,66	12,43

Fuente: Autor con datos de RMCAB.

En la figura 48 se observa el comportamiento mensual del material particulado 2,5µ por año para el periodo de seguimiento en Bogotá, donde se puede observar una tendencia en todos los años de incremento en los primeros meses del año (febrero y marzo) y hacia el final (septiembre a noviembre) y un valle en las mediciones hacia mitad el año (mayo a julio), similar al observado en material particulado 10µ. El mes con mayor nivel de PM_{2,5} fue marzo de 2014 con una medición de 32,78 µg/m³ y el mes con la medición menor fue julio del mismo año con 9,62 µg/m³.

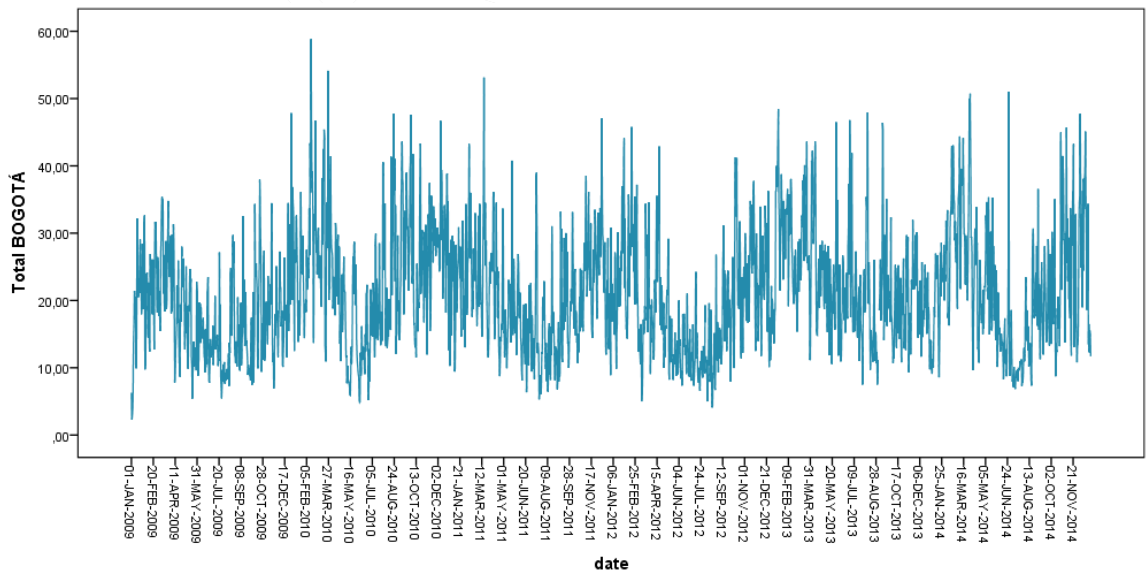
En la figura 49 se presenta un gráfico de secuencias con los 2.191 datos del promedio diario de PM_{2,5} para la ciudad de Bogotá, en la que se observa un comportamiento cíclico y una tendencia constante en el transcurso del tiempo.

Figura 48. Distribución de promedios mensuales de la variable PM_{2.5} diario por año de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de RMCAB.

Figura 49. Secuencia de promedios diarios de la variable PM_{2.5} diario de la RMCAB en Bogotá periodo 2009-2014.

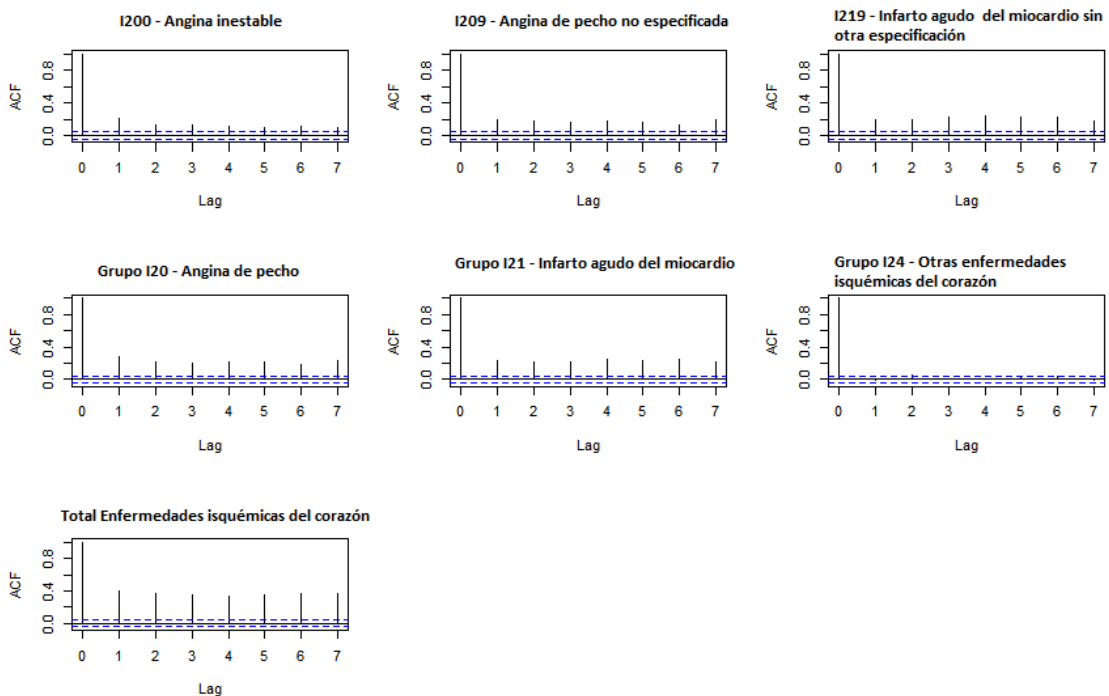


Fuente: Autor con datos de RMCAB

4.3 Análisis bivariado - correlaciones

Se realizaron pruebas de autocorrelación para comprobar el comportamiento de los eventos, los cuales son mostrados en forma gráfica para facilitar su interpretación, en la figura 50 se representan las más frecuentes, indicando la no autocorrelación de los eventos en salud, a diferencia de las variables meteorológicas (figura 51) en las que si se presenta autocorrelación, es decir que la temperatura, la humedad o el nivel de algún contaminante se encuentra relacionado por la temperatura, la humedad o las mediciones de ese contaminante de días anteriores respectivamente.

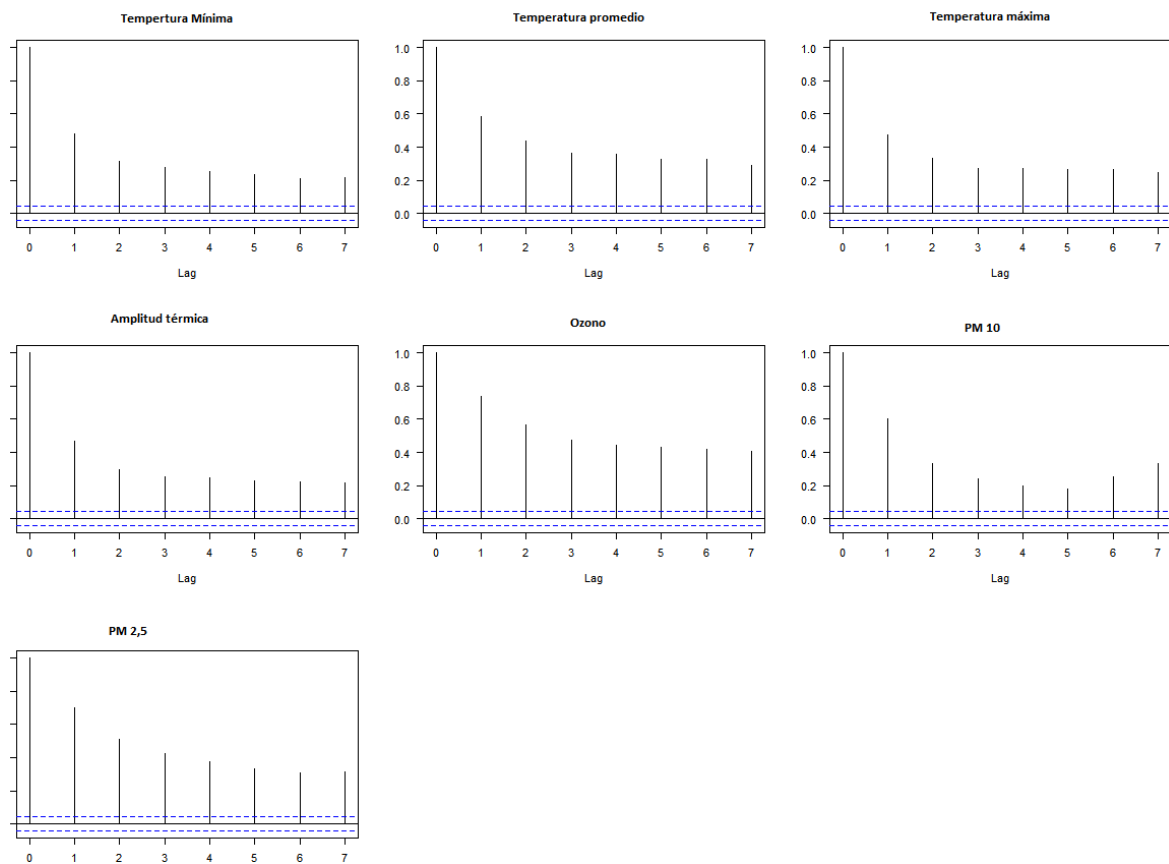
Figura 50. Autocorrelaciones de los grupos y diagnósticos más frecuentes de enfermedades isquémicas del corazón en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de SISPRO

En el anexo C se presentan las tablas con las correlaciones cruzadas de los diagnósticos y las variables meteorológicas observadas en éste estudio, en donde los principales hallazgos son comportamientos estacionarios en la gran mayoría de casos y variables de tipo negativo, en el caso de las anginas el mayor efecto se evidencio en el día 4 para temperatura mínima, para el día 7 en temperatura media, con ozono en el día 0, con humedad relativa se encontró relación todos los días de forma significativa, y en cuanto a material particulado con PM_{10} entre 3 y 4 días después y de $PM_{2,5}$ en el día 7.

Figura 51. Autocorrelaciones de variables meteorológicas en Bogotá periodo 2009-2014.



Fuente: Autor con datos de SISPRO

Para el grupo de infartos agudos de miocardio con temperatura mínima hasta 1 día después, con temperatura promedio con días 3 a 5 después, y temperatura máxima 4 días, humedad relativa todos los días, con ozono entre día 0 y 2, con día 1 en PM₁₀ y sin correlación significativa con material particulado 2,5 μ . Para el total de las enfermedades isquémicas del corazón el mayor efecto se vio 4 días después con temperatura mínima, 1 día después con temperatura media, sin significancia en temperatura máxima, al día 4 con amplitud térmica, al día 5 y 7 con humedad relativa, con ozono y PM_{2,5} en el día de la exposición (0), y con PM₁₀ en el día 4.

En cuanto a las variables climatológicas cruzadas se puede identificar correlación no estacionaria positiva significativa entre temperatura mínima y humedad relativa, temperatura máxima con ozono, PM₁₀ y PM_{2,5}, de humedad relativa con PM₁₀ y PM_{2,5}, y de ozono con PM₁₀ y PM_{2,5}; correlación no estacionaria negativa entre temperatura promedio con humedad negativa y PM_{2,5}, temperatura máxima con humedad relativa y humedad relativa con ozono y se evidenció correlación estacionaria entre temperatura mínima con PM₁₀ y temperatura promedio con humedad relativa, ozono, PM₁₀ y PM_{2,5}.

Tabla 31. Coeficientes de correlación de Spearman entre variables climatológicas y contaminantes y enfermedades isquémicas del corazón en Bogotá, 2009-2014.

Diagnóstico	T° Mínima	T° Promedio	T° Máxima	Amplitud térmica	Humed Relati	Ozono	PM10	PM2,5
I200 - Angina inestable	0,045*	-0,076**	-0,039	-0,004	-0,028	-0,109**	0,027	0,025
I201 - Angina de pecho con espasmo documentado	0,005	-0,009	0,019	0,013	-0,034	-0,016	-0,013	0,003
I208 - Otras formas especificadas de angina de pecho	-0,052*	-0,047*	-0,015	0,018	-0,021	-0,053*	0,004	0,019
I209 - Angina de pecho, no especificada	-0,059*	-0,031	0,081**	0,086**	-0,118**	-0,131**	-0,006	0,063*
Grupo I20 – Angina de pecho	-0,084**	-0,090**	0,018	0,055*	-0,094**	-0,166**	0,019	0,063*
I210 - Infarto transmural agudo del miocardio de la pared anterior	0,003	-0,019	-0,009	-0,007	0,032	-0,038	-0,003	0,029
I211 - Infarto transmural agudo del miocardio de la pared inferior	-0,011	-0,011	-0,003	0,005	-0,009	0,004	0,007	0,020
I212 - Infarto agudo transmural del miocardio de otros sitios	0,030	-0,042*	-0,005	0,013	-0,014	-0,059*	-0,005	0,023
I213 - Infarto transmural agudo del miocardio, de sitio no especificado	-0,008	-0,003	0,008	0,011	0,011	-0,022	0,011	0,033
I214 - Infarto subendocárdico agudo del miocardio	0,001	-0,006	0,002	-0,001	0,026	-0,039	0,025	0,038
I219 - Infarto agudo del miocardio, sin otra especificación	-0,068**	-0,077**	-0,008*	0,024	-0,123**	-0,156**	-0,062*	0,019
Grupo I20 – Infarto agudo de miocardio	-0,078**	-0,089**	-0,010	0,028	-0,110**	-0,168**	-0,053*	0,041
I240 - Trombosis coronaria que no resulta en infarto del miocardio	-0,006	-0,015	0,011	0,008	0,011	-0,056*	0,016	0,031
I248 - Otras formas de enfermedad isquémica aguda del corazón	-0,048*	-0,031	0,018	0,040	-0,007	-0,019	0,012	0,005
I249 - Enfermedad isquémica aguda del corazón, no especificada	0,032	0,04	0,021	-0,005	-0,055*	-0,004	-0,047*	-0,035
Grupo I24 – Otras enfermedades isquémicas del corazón	0,006	0,012	0,026	0,014	-0,039	-0,044*	-0,027	-0,013
Total Enfermedades isquémicas del corazón	-0,096**	-0,112**	0,002	0,047*	-0,133**	-0,216**	-0,021	0,065*

*Coeficiente con significancia estadística (valor p menor o igual a 0,05).

**Coeficiente con significancia estadística (valor p menor a 0,001).

Fuente: Autor con datos de SISPRO y RMCAB

Posteriormente, se calculó coeficiente de correlación de Spearman para cada diagnóstico y variable meteorológica, las estimaciones son reportadas en la tabla 31, encontrando correlación estadísticamente significativa negativa para las anginas con temperatura mínima, promedio, ozono y humedad negativa y positiva para amplitud térmica y $PM_{2,5}$; para angina de pecho no especificada con una correlación positiva con temperatura máxima y $PM_{2,5}$. En el caso de los infartos agudos de miocardio la correlación fue negativa con temperatura mínima, temperatura media, humedad relativa, ozono y PM_{10} . Para las otras enfermedades isquémicas del corazón solo se evidenció correlación negativa con ozono; y para el grupo total de cardiopatías isquémicas la correlación fue negativa con temperatura mínima, temperatura media, humedad relativa y ozono, y correlación positiva con amplitud térmica y exposición a $PM_{2,5}$.

4.4 Análisis multivariado - regresión de Poisson

Se tuvo en cuenta como variables de interés la temperatura y como covariables los contaminantes que presentaban valores que exceden la norma colombiana, en el caso de ozono no se presentan dichas excedencias; además, este contaminante fue significativo con estimadores negativos en todos los modelos y con todos los diagnósticos, por lo tanto, no fue incluido en los modelos finales ya que en todos actuaba como ruido. Se hicieron pruebas de términos de colinealidad, sin ser significativas entre las variables climatológicas y de contaminantes.

Para los casos de angina inespecífica (tabla 32), se encontró influencia en la disminución de los ingresos en un 11,2% por cada grado de incremento de temperatura promedio y también una disminución de 1% por cada unidad de incremento de humedad relativa.

El diagnóstico de mayor peso en este grupo es angina de pecho no especificada ($n=2.589$), cuyos ingresos al servicio de urgencias se encontraron influenciados en el aumento de las admisiones en un 4,1% por cada grado de temperatura incrementado en los valores máximos, en un 3,6% por cada grado de variación en el rango de la temperatura diaria, y en un 0,5% por cada $\mu g/m^3$ que incrementa el material particulado $2,5\mu$.

No se encontró asociación entre angina de pecho con espasmo documentado con las variables climáticas ni de contaminantes. Los resultados frente al total del grupo de las anginas de pecho se vieron influenciados por la temperatura mínima y media y de forma inversa, es decir, a menor temperatura mínima y media se presentaron más casos de angina de pecho en 3,4% y 7,3% respectivamente, en cuanto a material particulado fue similar con el presentado en angina de pecho no especificada.

Tabla 32. Estimación de correlación modelos de regresión de Poisson para diagnósticos de angina de pecho en Bogotá, 2009-2014.

Variable	β	e (β)	IC 95%	Valor p
I200 – Angina inestable				
Temperatura media	-0,118	0,888	0,846 – 0,933	$\leq 0,001$
Humedad relativa	-0,010	0,990	0,984 – 0,996	0,002
I208 – Otras formas específicas de angina de pecho				
Temperatura media	-0,226	0,798	0,672 – 0,948	0,010
I209 – Angina de pecho no especificada				
Temperatura máxima	0,040	1,041	1,012 – 1,070	0,005
Amplitud térmica	0,035	1,036	1,016 – 1,056	$\leq 0,001$
PM _{2,5}	0,005	1,005	1,001 – 1,010	0,018
Grupo I20 – Angina de pecho				
Temperatura mínima	-0,035	0,966	0,947 – 0,985	0,001
Temperatura media	-0,075	0,927	0,896 – 0,960	$\leq 0,001$
PM _{2,5}	0,004	1,004	1,001 – 1,006	0,010

Fuente: Autor con datos de SISPRO y RMCAB

Tabla 33. Estimación de correlación modelos de regresión de Poisson para diagnósticos de infarto agudo de miocardio en Bogotá, 2009-2014.

Variable	β	e (β)	IC 95%	Valor p
I210 – Infarto transmural agudo del miocardio de la pared anterior				
PM _{2,5}	0,014	1,014	1,001 – 1,027	0,033
I212 - Infarto transmural agudo del miocardio de otros sitios				
Humedad relativa	-0,022	0,978	0,959 – 0,997	0,021
PM _{2,5}	0,013	1,013	1,000 – 1,025	0,040
I219 – Infarto agudo del miocardio sin otra especificación				
Temperatura media	-0,180	0,835	0,796 – 0,876	$\leq 0,001$
Humedad relativa	-0,029	0,971	0,965 – 0,977	$\leq 0,001$
PM _{2,5}	0,005	1,005	1,001 – 1,009	0,011
Grupo I21 – Infarto agudo del miocardio				
Temperatura media	-0,171	0,843	0,808 – 0,880	$\leq 0,001$
Humedad relativa	-0,026	0,975	0,969 – 0,980	$\leq 0,001$
PM _{2,5}	0,007	1,007	1,003 – 1,010	$\leq 0,001$

Fuente: Autor con datos de SISPRO y RMCAB

Para el caso del grupo de los infartos agudos del miocardio (tabla 33), se encontró influencia en un incremento en 1,4% de los ingresos por infarto transmural agudo del miocardio de la pared anterior por cada $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que incrementa los niveles de $\text{PM}_{2,5}$ y para el caso de infarto transmural agudo del miocardio de otros sitios se incrementaron los ingresos en un 1,3% por cada $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que aumentan los niveles de $\text{PM}_{2,5}$ y una disminución de estos casos en un 2,2% por cada unidad que aumenta la humedad relativa. No se encontró relación entre infarto transmural agudo del miocardio de la pared inferior (I211), infarto transmural agudo del miocardio de sitio no especificado (I213) y de Infarto subendocárdico agudo del miocardio (I214) con las variables climáticas ni de contaminantes, posiblemente debido a la baja frecuencia de ingresos por estos diagnósticos (n= 189, 135 y 60 respectivamente).

En cuanto a los ingresos a urgencias por infarto agudo del miocardio sin otra especificación, diagnóstico más frecuente de este grupo (n=3.503), se encontraron influenciados por de forma inversa por temperatura media y humedad relativa, viendo disminuidos los ingresos en un 16,5% y un 2,9% por cada grado y unidad que se incrementan estas variables respectivamente, así como un incremento en un 0,5% por cada $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que aumentan los niveles de $\text{PM}_{2,5}$.

Para el total del grupo de infarto agudo del miocardio, los ingresos a urgencias se vieron influenciados de forma inversa por temperatura media y humedad relativa, es decir, que se encontraron menos casos de IAM en un 15,7% y un 2,5% por cada grado y unidad de incremento respectivamente, y se relacionó con un incremento en los ingresos de 0,7% por cada $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que aumentan los niveles de $\text{PM}_{2,5}$.

No se encontró relación entre los diagnósticos individuales, ni del consolidado del grupo I24-Otras enfermedades isquémicas del corazón: trombosis coronaria que no resulta en infarto del miocardio (I240), en otras enfermedades isquémicas del corazón (I248) y en enfermedades isquémicas agudas del corazón no especificadas (I249) con las variables climáticas ni de contaminantes, posiblemente debido a la baja frecuencia de ingresos por estos diagnósticos (n= 59, 21 y 85 respectivamente).

Tabla 34. Estimación de correlación modelos de regresión de Poisson para el total de enfermedades isquémicas del corazón (n=11.039) en Bogotá, 2009-2014.

Variable	β	e (β)	IC 95%	Valor p
Temperatura media	-0,142	0,868	0,844 – 0,892	$\leq 0,001$
Humedad relativa	-0,023	0,977	0,974 – 0,980	$\leq 0,001$
$\text{PM}_{2,5}$	0,007	1,007	1,005 – 1,009	$\leq 0,001$

Fuente: Autor con datos de SISPRO y RMCAB

Para el total de enfermedades isquémicas del corazón (tabla 34), los ingresos a urgencias se vieron influenciados de forma inversa por la temperatura media y la humedad relativa, es decir, que se encontraron menos ingresos por enfermedades

isquémicas del corazón en un 13,2% y un 2,3% por cada grado y unidad de incremento de estas variables respectivamente, y se relacionó con un incremento en los ingresos de 0,7% por cada $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que aumentan los niveles de $\text{PM}_{2,5}$.

En los modelos construidos para infarto agudo del miocardio y para el total de las enfermedades isquémicas del corazón también fue significativa la influencia de la temperatura máxima ($p \leq 0,001$), sin embargo la fuerza de asociación en ambos casos fue mayor con la temperatura media.

4.5 Modelo no lineal de rezagos distribuido

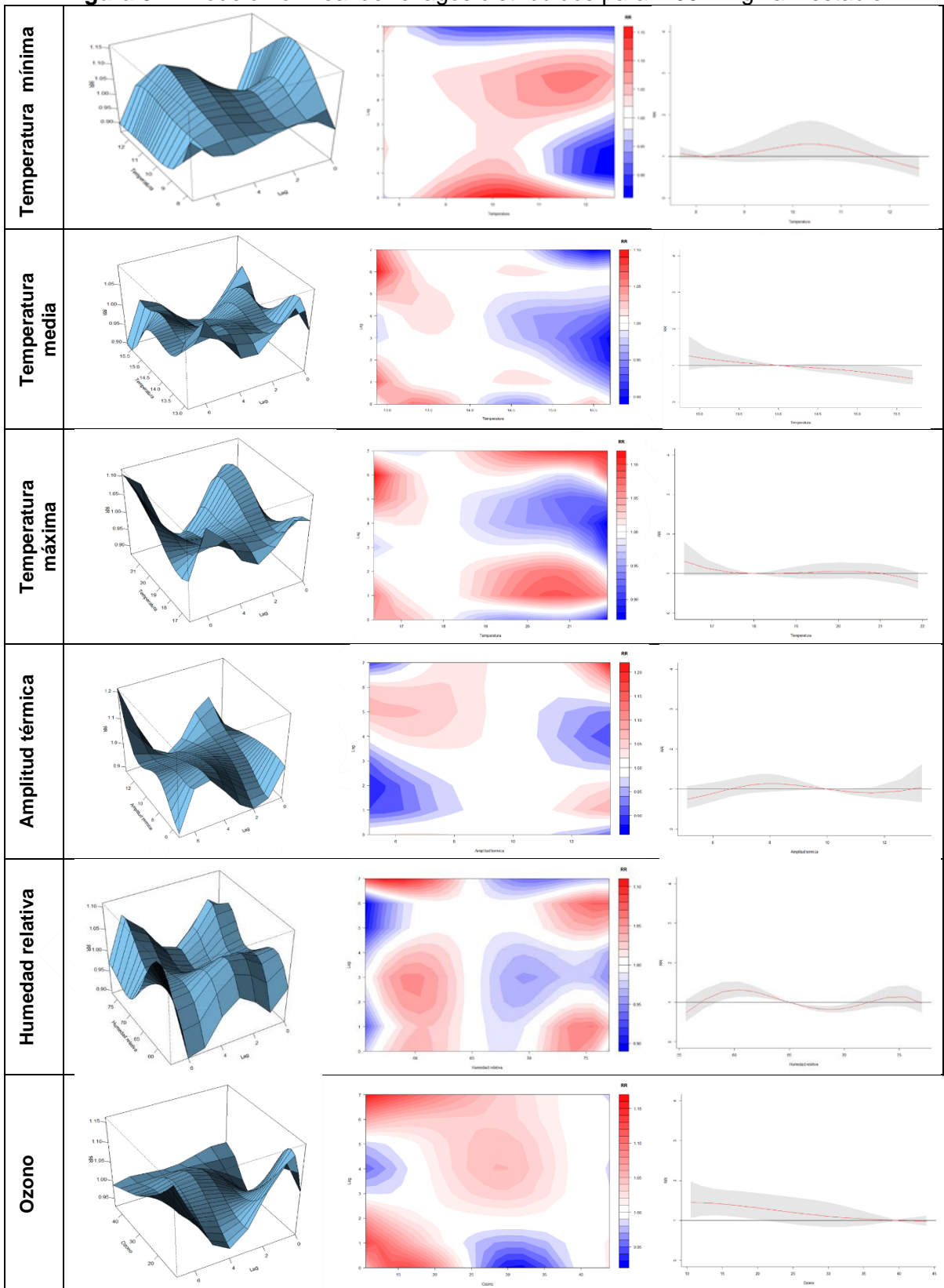
Para el análisis de modelos no lineales de rezagos distribuidos se tuvo en cuenta los diagnósticos más frecuentes (I200, I209, I219) y los grupos de diagnósticos, de acuerdo a la descripción hecha en la metodología, los principales hallazgos son presentados a continuación.

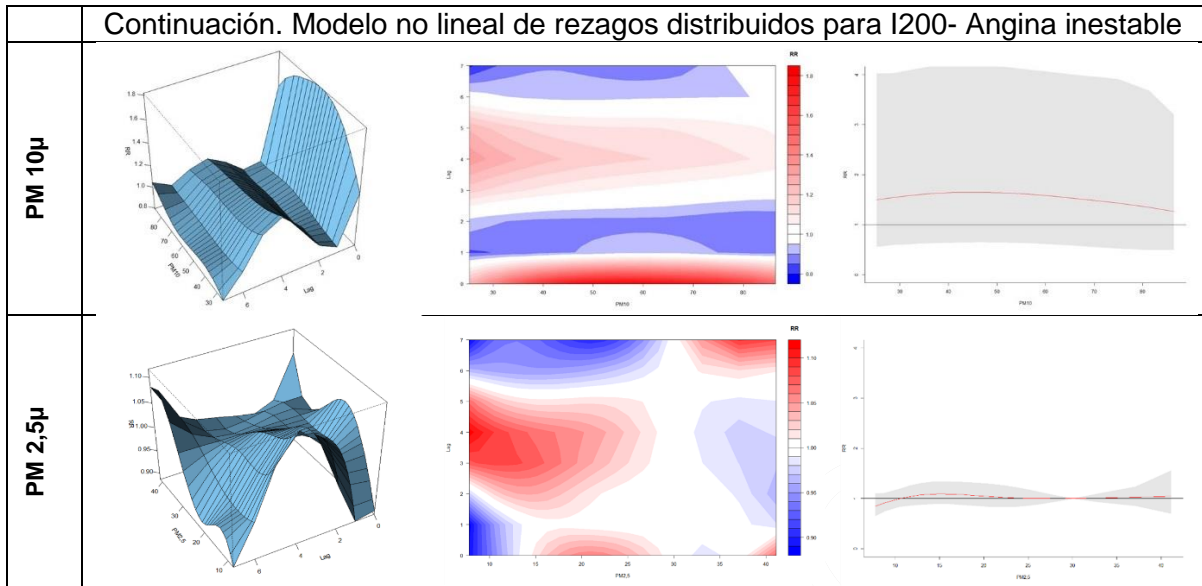
El primer modelo no lineal de rezagos distribuidos que se presenta es el de angina inestable -I200 (ver figura 52), en el que los gráficos en 3D y de contornos permiten visualizar la dinámica de la temperatura mínima presentando un efecto fuerte e inmediato (0 retrasos) entre 9 y 12°C y un efecto de rezago en temperaturas no tan frías ($11-12^\circ\text{C}$) en el 5 rezago, coincidente con la temperatura media, en donde el efecto se visualiza a 13°C a 1 día de rezago y es más fuerte a los 6 rezagos, se observa una relación inversa con temperaturas más altas de esta variable ($>14,5^\circ\text{C}$). En cuanto a temperatura máxima, el efecto se encontró en las más altas ($>20^\circ\text{C}$) entre 1 y 2 rezagos, siendo más fuerte en retrasos tardíos (6 y 7 rezagos).

Se visualiza un efecto fuerte en variaciones diarias mayores de 12°C con rezagos tardíos (7 rezagos) para amplitud térmica; en cuanto a humedad relativa, a menores niveles tiende a haber una asociación directa con el efecto, mientras que es inversa con niveles de mayor humedad (hasta 75 unidades), que presenta efecto inmediato y es más fuerte a los 6 rezagos.

En el caso de ozono, se observa un efecto inmediato y uno tardío (6 rezagos) a bajos niveles, no se observa efecto en niveles altos de éste contaminante. Para material particulado, el efecto es inmediato y directo para el tamaño de 10μ , especialmente a concentraciones mayores de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para el tamaño de $2,5\mu$ se encuentra un efecto leve inmediato ($20-25$ y $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), siendo más fuerte la relación en rezagos tardíos a concentraciones mayores y en niveles bajos entre 3 y 4 rezagos.

Figura 52. Modelo no lineal de rezagos distribuidos para I200- Angina inestable





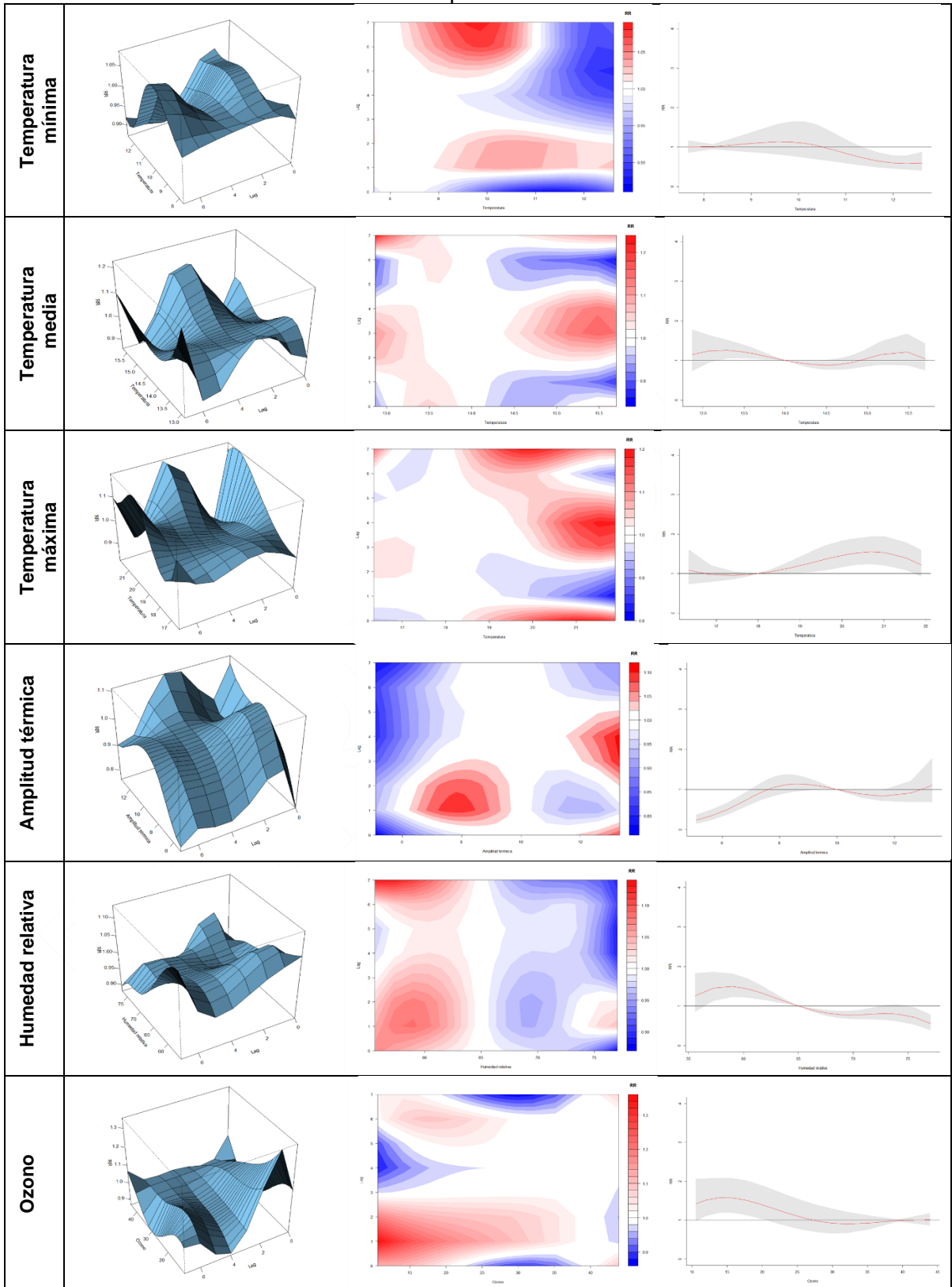
Fuente: Autor con datos de SISPRO y RMCAB

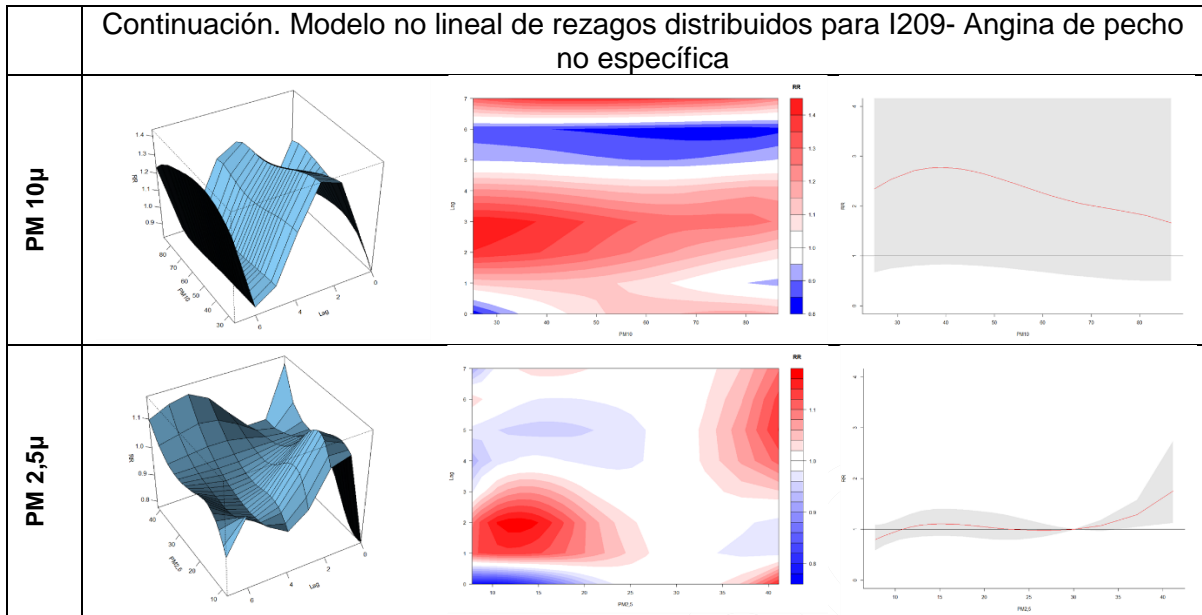
El modelo no lineal de rezagos distribuidos de angina de pecho no especificada -I209 (ver figura 53), sugiere que la dinámica de la temperatura mínima presenta un efecto fuerte tardío (6 y 7 rezagos) entre 8 y 10°C y una relación inversa con temperaturas no tan bajas (11-12°C); no es muy fuerte la relación con temperatura media, siendo leve a más frío en rezagos tardíos (3 y 7 rezagos) y un poco más definida hacia los 15°C y 3 días de rezago. En cuanto a temperatura máxima, el efecto directo inmediato se presenta en mediciones altas (>19°C) y también como efecto tardío (3-4 y 6-7 rezagos) para este nivel de temperatura.

Se visualiza un efecto en variaciones diarias mayores de 12°C con rezagos tardíos (3-4 rezagos) y de variaciones de 8°C diarios entre 1 y 2 rezagos, y un efecto inverso a menor variación en amplitud térmica. En cuanto a humedad relativa, a menores niveles tiende a haber una asociación directa con el efecto, el cual es consistente en los 7 rezagos, mientras que es inversa con niveles de mayor humedad (> 65 unidades), también con efecto inmediato y tardío.

En el caso de Ozono, se observa un efecto inmediato pronunciado a bajas concentraciones (<25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) que va hasta 2 rezagos, y uno leve tardío (6 rezagos), no se observa efecto en niveles altos de ozono. Para material particulado de 10 μ , el efecto es directo, para todos los niveles de medición entre rezagos 1 a 4 y uno tardío en el rezago 7. Para el material particulado de 2,5 μ , se encuentra un efecto entre 1 y 3 días de rezago en concentraciones bajas (10 a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y otro pico de relación fuerte en rezagos tardíos (4 a 7 rezagos) a concentraciones mayores, tal como se observa en el gráfico de efecto global, encontrando relación directa desde $\geq 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 53. Modelo no lineal de rezagos distribuidos para I209- Angina de pecho no específica





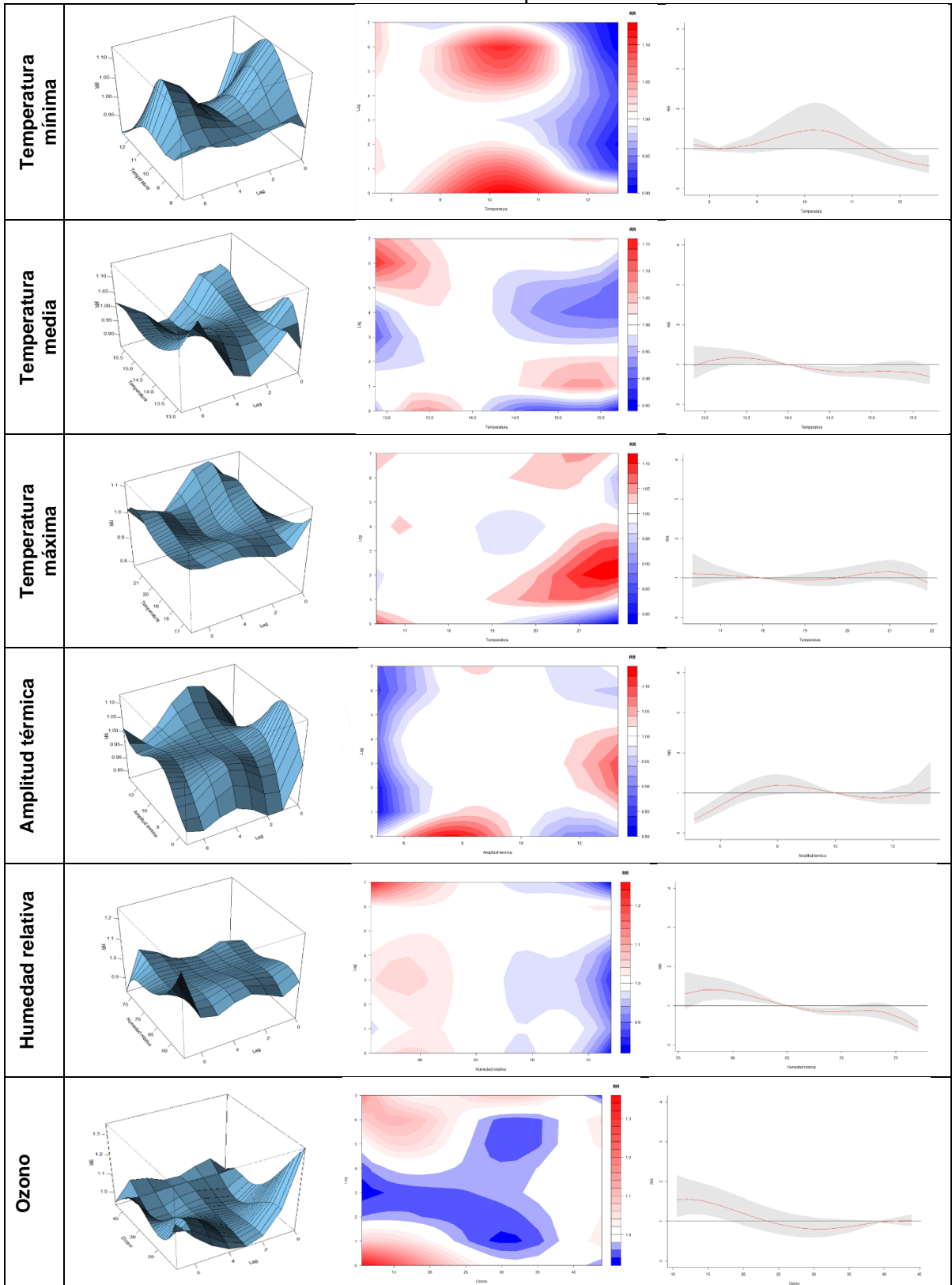
Fuente: Autor con datos de SISPRO y RMCAB

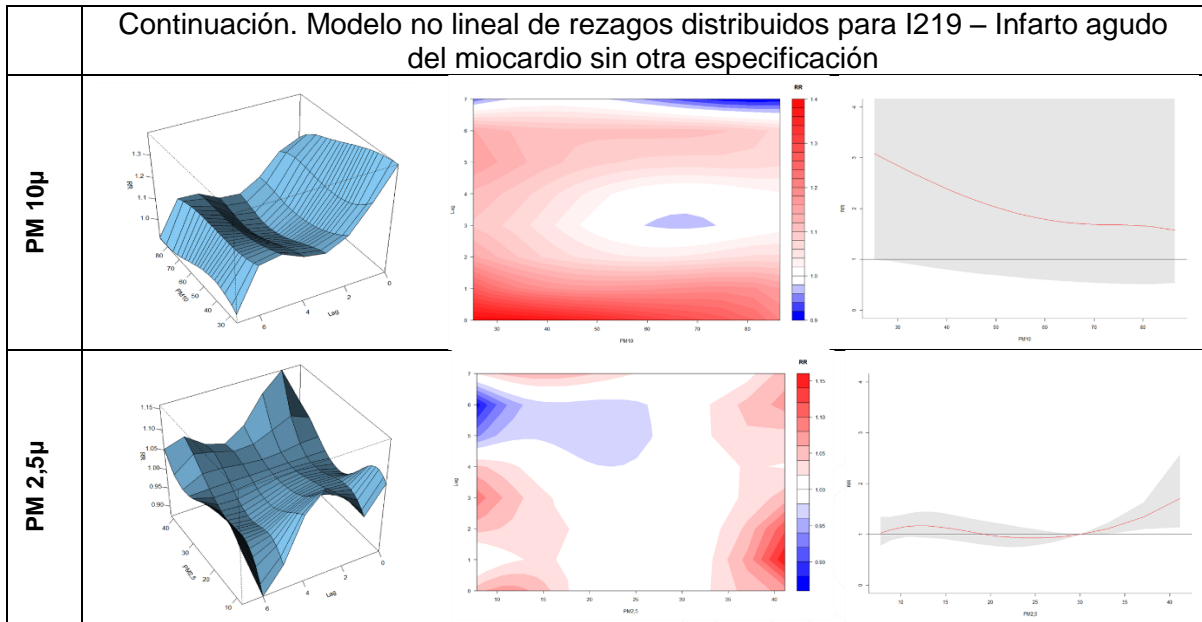
El modelo no lineal de rezagos distribuidos de infarto agudo del miocardio sin otra especificación -I219 (ver figura 54), sugiere que la dinámica de la temperatura mínima presenta un efecto fuerte inmediato entre 9 y 11°C que va hasta 1 rezago, y a esta misma temperatura un efecto tardío hacia los 5 y 6 rezagos, así mismo se encuentra una relación inversa hacia las temperaturas mayores de esta variable, alrededor de los 12°C; no es muy fuerte la relación con temperatura media, siendo leve hacia 13,5°C en 0 y 6 rezagos y se observa una relación inversa en temperaturas mayores a los 14°C en 0 rezagos y en rezagos tardíos (4 y 5 rezagos). En cuanto a temperatura máxima, el efecto es directo y fuerte en mediciones altas (>20°C) entre 1 y 3 rezagos, también se observa un pico leve a esta misma temperatura hacia 7 rezagos.

Se visualiza un efecto inmediato en variaciones diarias bajas entre 6 y 8 °C con rezagos tardíos (3-4 rezagos) y de variaciones de 8°C diarios entre 1 y 2 rezagos, un pico con variaciones mayores a los 12°C en efectos tardío entre 2 y 3 rezagos y un efecto inverso a menor variación en amplitud térmica durante los 7 días de rezago (significativo en $\leq 6^\circ\text{C}$). En cuanto a humedad relativa, el efecto es mínimo en bajos niveles de humedad, entre 1 y 4 rezagos y se observa un pequeño pico tardío (rezago 7), hacia mayores niveles tiende a haber una asociación inversa con el efecto (>75 unidades), también con efecto inmediato y tardío.

En el caso de Ozono, se observa un efecto inmediato pronunciado a bajas concentraciones ($\leq 17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ significativo) que va hasta 1 rezagos y uno leve tardío (rezago 6), no se observa efecto en niveles altos de ozono, se identifica un amplio efecto inverso a lo largo de los niveles de este contaminante. Para PM₁₀, el efecto es directo, para todos los niveles de medición en todos los rezagos siendo más fuerte e inmediato en menores concentraciones. Para el PM_{2,5}, se encuentra un efecto en concentraciones altas ($\geq 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) más fuerte entre 1 y 3 rezagos y otro pico en rezagos tardíos (4 a 7 rezagos).

Figura 54. Modelo no lineal de rezagos distribuidos para I219 – Infarto agudo del miocardio sin otra especificación





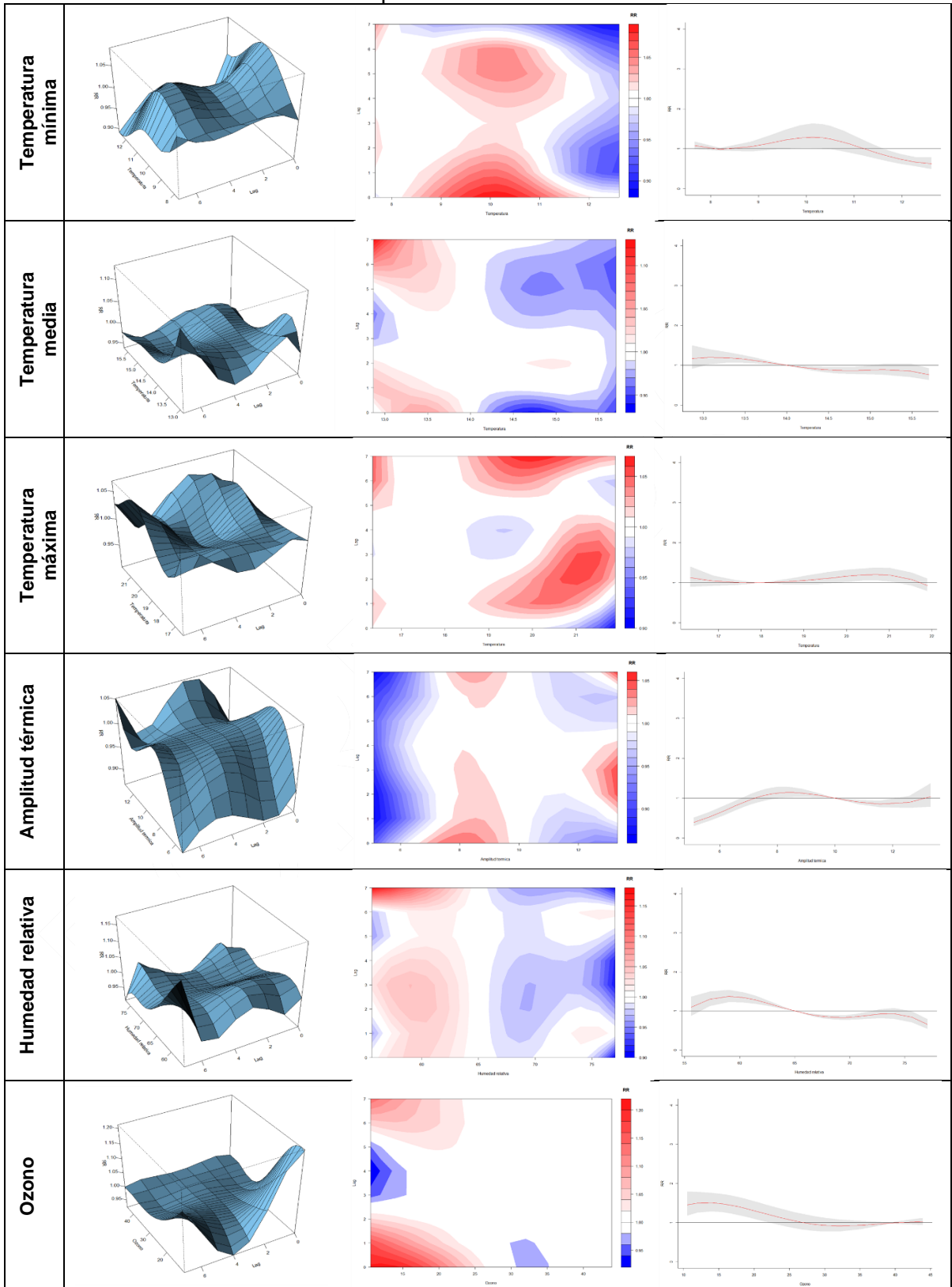
Fuente: Autor con datos de SISPRO y RMCAB

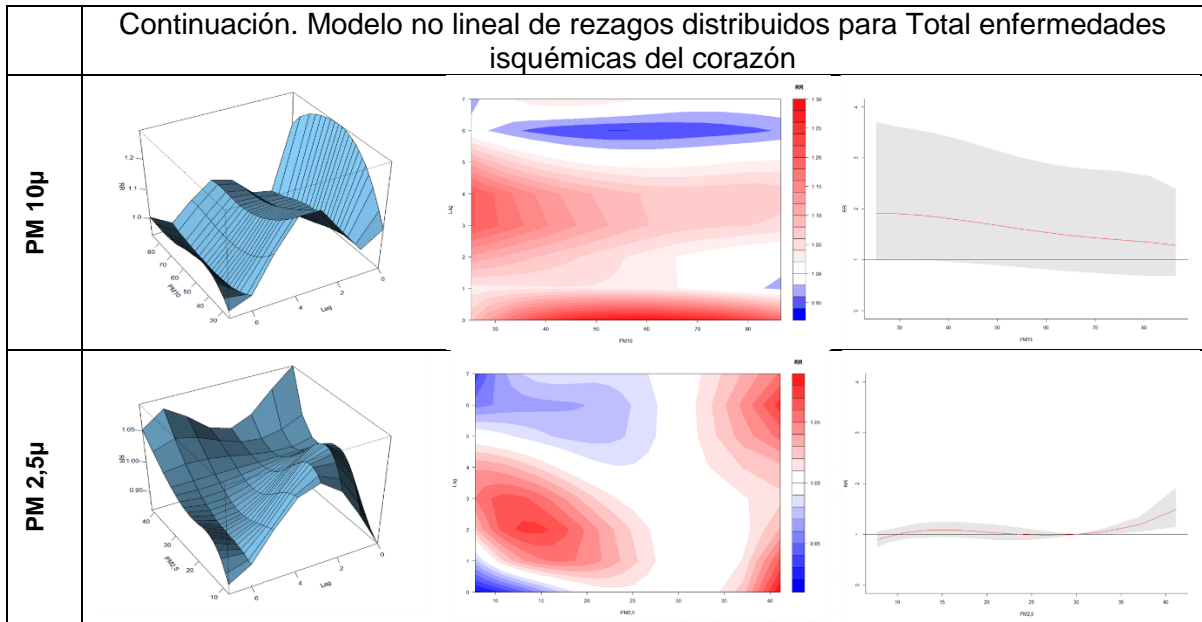
El modelo no lineal de rezagos distribuidos del total de las enfermedades isquémica del corazón (ver figura 55), sugiere que la dinámica de la temperatura mínima presenta un efecto fuerte inmediato entre 9 y 11°C que va hasta 2 rezagos y a esta misma temperatura un efecto tardío hacia los 5 y 6 rezagos, así mismo se encuentra una relación inversa hacia las temperaturas mayores de esta variable, alrededor de los 12°C, en cuanto a temperatura media, hay un efecto fuerte y tardío a valores bajos de esta variable (13°C y rezago 7) y un efecto leve en 0 y 1 rezagos y se observa una relación inversa en temperaturas mayores a los 14,5°C en 0 rezagos y en rezagos tardíos (4 a 6 rezagos) de forma significativa. En cuanto a temperatura máxima, el efecto es directo y fuerte en mediciones altas ($\geq 21^\circ\text{C}$) en rezagos entre 2 y 3 rezagos, también se observa un pico fuerte a hacia 7 rezagos y los 19°C.

Se visualiza un efecto inmediato y directo en variaciones diarias de 8 °C con rezagos tardíos (3-4 rezagos y 7 rezagos), el efecto más fuerte es con variaciones mayores a los 12°C en efectos tardío entre 2 y 3 rezagos y un efecto inverso a menor variación en amplitud térmica durante los 7 días de rezago (significativo en $\leq 6^\circ\text{C}$). En cuanto a humedad relativa, el efecto es mínimo significativo en niveles de 60 unidades en los 7 días de rezago, observándose un pequeño pico tardío (rezago 7), hacia mayores niveles tiende a haber una asociación inversa con el efecto (>70 unidades), en los 7 rezagos.

En el caso de Ozono, se observa un efecto inmediato pronunciado a bajas concentraciones ($\leq 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ significativo) que va hasta 2 rezagos y un pico leve tardío (rezago 7), no se observa efecto en niveles mayores de ozono, se identifica un pico de efecto inverso a bajos niveles este contaminante hacia el 4 rezago. Para PM₁₀, el efecto es directo e inmediato para todos los niveles de medición (especialmente $\geq 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) con un pico en concentraciones menores entre el rezago 3 y 4. Para el PM_{2,5}, se encuentra un efecto directo significativo en concentraciones altas ($\geq 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en todos los rezagos y un pico entre 1 y 4 rezagos en niveles bajos (10 – 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Figura 55. Modelo no lineal de rezagos distribuidos para Total enfermedades isquémicas del corazón





Fuente: Autor con datos de SISPRO y RMCAB

Posterior a la revisión individual de cada variable meteorológica con los diagnósticos priorizados, se procedió a realizar la metodología DLNM con la agrupación de variables con el fin de observar la dinámica del efecto de la temperatura ajustada por la humedad relativa y por los contaminantes ambientales de interés.

En este análisis (ver figuras 56 y 57) se puede observar que en el total de las enfermedades isquémicas del corazón (n=11.039 ingresos), presenta un efecto fuerte y directo con temperaturas bajas (9-11°C) con un máximo de 2 días de rezago, así como el efecto sobre la temperatura máxima (superior a los 19°C), especialmente la ajustada con PM₁₀ en donde se encuentra efecto tardío con dos picos hacia los 2 y los 7 rezagos. En el caso de la temperatura promedio, el efecto es leve y se observa principalmente hacia los bajos valores de esta variable en el rezago 0 y 7. Para la amplitud térmica el efecto mayor es ajustado con los niveles de PM_{2,5} mostrando 3 picos a lo largo de los 7 rezagos, adicional a un efecto de rezago tardío (2-3 rezagos) a mayor variabilidad térmica (superior a los 12°C diarios) constante en todos los modelos, así como el efecto inverso hacia la menor variación temperatura.

En general en los modelos planteados el ozono troposférico pareciera tener un efecto inverso respecto a los ingresos al servicio de urgencias por las enfermedades isquémicas del corazón, excepto cuando se ajusta en temperatura máxima y humedad relativa, sin embargo, cuando se realizan modelos de las temperaturas ajustadas por material particulado y ozono, el efecto encontrado se afecta ligeramente hacia la nulidad, en las gráficas de efecto global se presentan riesgos significativos para temperatura máxima y PM₁₀, temperatura máxima y ozono, y temperatura mínima y PM_{2,5}.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este análisis de DNLM, para la población de la ciudad de Bogotá se encuentra una relación entre la exposición a la temperatura y el

ingreso a los servicios de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón como motivo de consulta. Esta relación fue más fuerte y evidente en temperaturas bajas entre (8 y 11°C) y en temperaturas altas ($\geq 19^\circ\text{C}$) con efectos inmediatos (Temperatura mínima), aunque algunos permanecen por varios días de rezagos (temperatura máxima con un pico entre el 2 y 3 rezagos), especialmente cuando se analiza de forma ajustada con PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$; dicho efecto no fue claro en la comparación con la temperatura media.

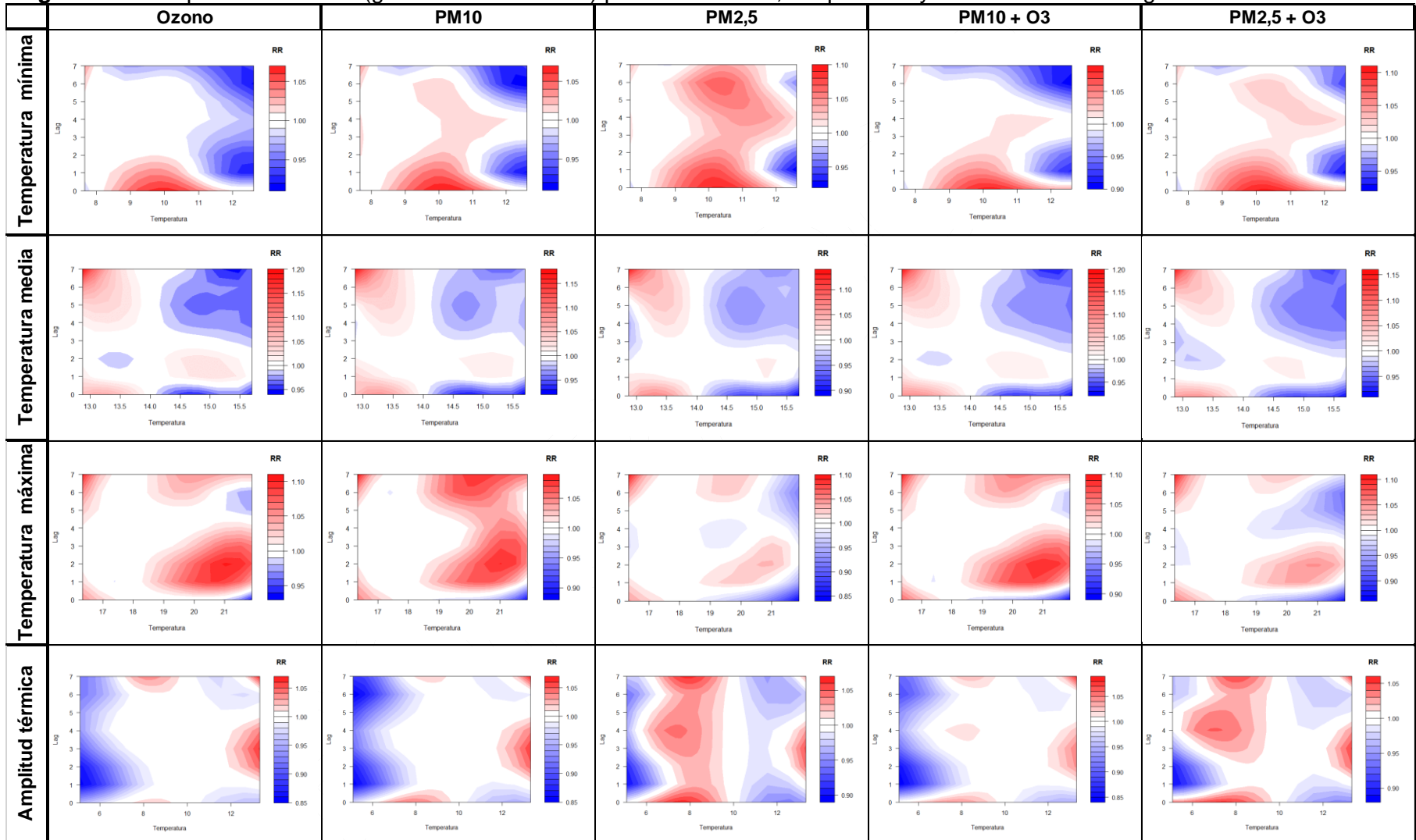
De igual manera, se encontró relación entre el riesgo en la frecuencia de estos eventos con una variación térmica amplia ($\geq 12^\circ\text{C}$) en el mismo día, es decir que se asoció una menor cantidad de ingresos por enfermedades isquémicas del corazón los días en que la variación de temperatura era baja.

En cuanto a la humedad relativa, se encontró una relación consistente e inversa con la presentación de los eventos de cardiopatías isquémicas, es decir menores niveles de humedad relativa se asocian con mayor riesgo de ingresos al servicio de urgencias, como si ejerciera un efecto amortiguador en la presentación de este tipo de afectaciones en salud.

Para el caso de los contaminantes del aire de interés en este trabajo se encontró un efecto directo y fuerte entre el material particulado y las temperaturas, evidenciado especialmente en los modelos dinámicos por un efecto sinérgico entre temperatura máxima con PM_{10} y en la temperatura mínima con $\text{PM}_{2,5}$.

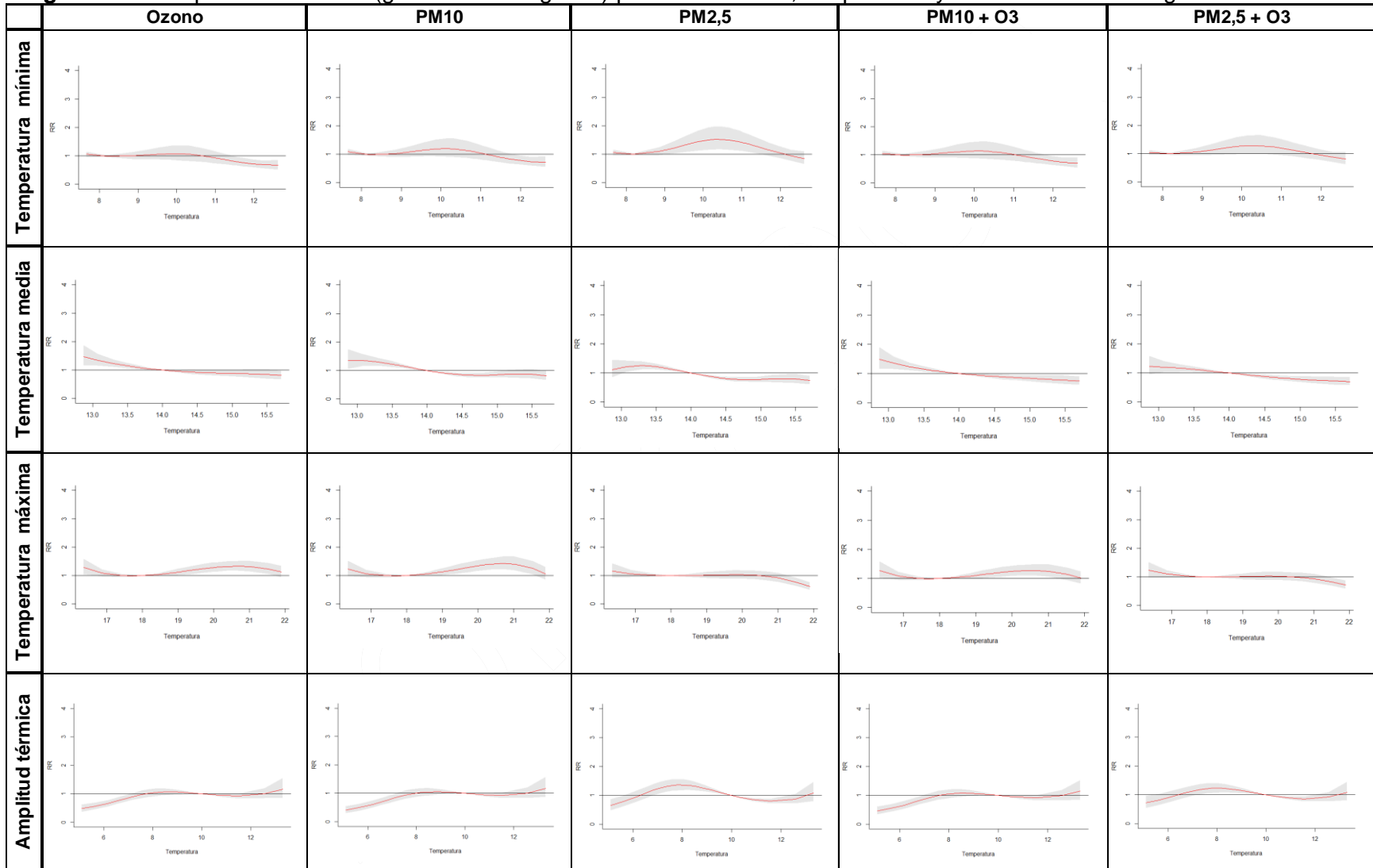
En cuanto al ozono troposférico, éste actuó consistentemente en una efecto inverso con los eventos de salud, mostrando riesgos en bajos niveles de éste contaminante y al ser ajustado con el material particulado (10μ y $2,5\mu$), el efecto de estos últimos se veía afectado siendo disminuida la fuerza de la relación.

Figura 56. Comparativos DLNM (gráficas de contornos) para total de EIC, temperatura y humedad relativa según contaminantes.



Fuente: Autor con datos de SISPRO y RMCAB.

Figura 57. Comparativos DLNM (gráficas efecto global) para total de EIC, temperatura y humedad relativa según contaminantes.



Fuente: Autor con datos de SISPRO y RMCAB.

Como resumen de los resultados obtenidos de esta investigación se pueden resaltar los siguientes puntos:

- Se ha observado un incremento en la cantidad de atenciones por enfermedades isquémicas del corazón atendidas en los servicios de urgencias de la ciudad, aunque sólo represente el 0,22% del total de los ingresos a este servicio. De este grupo de diagnósticos los más frecuentes son Infarto agudo de miocardio, angina inestable y angina de pecho no especificada, siendo estas tres el 86,4% del total de las cardiopatías isquémicas atendidas por urgencias en Bogotá.
- La mayoría de los ingresos corresponden a personas de sexo masculino (61,5%), sin embargo, las anginas fueron más frecuentes en mujeres y los infartos en hombres. En cuanto a la edad, la mayoría de ingresos se observó en el grupo de mayores de 60 años (69,9%), especialmente en el grupo de 60 a 74 años. Los casos de personas pertenecientes a algún grupo étnico es mínimo (1,3%) y la mayoría de ingresos corresponden a personas vinculadas al régimen contributivo en el SGSSS.
- En cuanto a las variables meteorológicas, se estimó el promedio de temperatura media de la ciudad en los 6 años de revisión en 14,23°C (mín: 11,4°C; máx: 16,4°C), el año con el promedio más cálido fue 2010 (promedios febrero a mayo superiores a los 15°C), donde generalmente el primer semestre es más cálido que el segundo. La temperatura mínima promedio se estimó en 10,6°C (mín: 3,6°C, máx: 13,7°C), el 2013 fue el año con los niveles más bajos (enero: 3,6°C) y la temperatura máxima se estimó en 19,2°C (mín: 12,6°C; máx: 23,4°C), pero el promedio mayor fue en 2010 (23,4°C). Usualmente la estación que registró mayores temperaturas fue Carvajal y la de menos fue San Cristóbal, ubicados en la zona industrial y en los cerros orientales de la ciudad respectivamente.
- Para la humedad relativa, el promedio fue 66,3% (mín: 41,8%; máx: 83,4%), siendo mayor en la estación Parque Simón Bolívar (zona con mayor densidad de cobertura vegetal) y la de menor en Las ferias (zona residencial con vías de tráfico pesado y alto flujo vehicular). Los meses con mayor nivel de humedad relativa corresponden al régimen bimodal de lluvias (abril–mayo y octubre - noviembre).
- Para los contaminantes de interés, el promedio de ozono fue en 23,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mín: 6,23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; máx: 79,70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). En general, los niveles fueron mayores en la estación Suba y más bajos en la de Carvajal), este contaminante presenta una tendencia general de incremento en los tres primeros meses del año y entre agosto y septiembre.
- Para PM_{10} el promedio fue en 53,42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mín: 15,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; máx: 173,93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La estación que presenta los niveles promedio más altos es Carvajal (zona industrial) y la estación de promedio menor es Guaymaral (extremo norte, periferia de la ciudad). El año con el promedio más alto fue 2010 y el menor fue 2012, se observa una tendencia en todos los años de incremento en los primeros meses del año (febrero y marzo) y hacia el final (octubre y noviembre) y un valle en las mediciones hacia mitad el año (mayo a agosto). Para $\text{PM}_{2,5}$ el promedio fue 20,93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mín: 2,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; máx: 58,83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), el año con el promedio más alto fue 2010 y el menor fue 2009, la tendencia es similar al observado en material particulado 10 μ .

- En las correlaciones de Spearman, se obtuvo que para el grupo angina de pecho se correlacionó con la disminución de la temperatura mínima (Rho= -0,084; $p < 0,001$) y media (Rho= -0,090; $p < 0,001$), la disminución de la humedad relativa (Rho= -0,094; $p < 0,001$), amplitud térmica (Rho= 0,055; $p < 0,05$) y con la presencia de $PM_{2,5}$ (Rho= 0,063; $p < 0,05$). El grupo de Infarto agudo de miocardio se correlacionó con disminución de la temperatura mínima (Rho= -0,078; $p < 0,001$) y de humedad relativa (Rho= -0,110; $p < 0,001$). El grupo total de cardiopatías isquémicas se correlacionó con una disminución de temperatura media (Rho= -0,112; $p < 0,001$), disminución de temperatura mínima (Rho= -0,096; $p < 0,001$), disminución de humedad relativa (Rho= -0,133; $p < 0,001$) y con la presencia de $PM_{2,5}$ (Rho= 0,065; $p < 0,05$).
- Cuando se realizó el análisis multivariado, para angina inespecífica se encontró influencia en la disminución de los ingresos en un 11,2% por cada grado de incremento de temperatura promedio y también una disminución de 1% por cada unidad de incremento de humedad relativa. En cuanto a la angina de pecho no especificada, los ingresos al servicio de urgencias se encontraron influenciados en el aumento de las admisiones en un 4,1% por cada grado de temperatura incrementado en los valores máximos, en un 3,6% por cada grado de variación en el rango de la temperatura diaria, y en un 0,5% por cada $\mu g/m^3$ que incrementa el material particulado $2,5\mu$. El grupo anginas de pecho se vio influenciado por la temperatura mínima y media y de forma inversa, es decir, a menor temperatura mínima y media se presentaron más casos de angina de pecho en 3,4% y 7,3% respectivamente, y en un 4% por cada $10 \mu g/m^3$ que incrementa el material particulado $2,5\mu$.
- Para los casos de infarto agudo del miocardio sin otra especificación, fueron influenciados de forma inversa por temperatura media y humedad relativa, viendo disminuidos los ingresos en un 16,5% y un 2,9% por cada grado y unidad que se incrementan estas variables respectivamente, así como por un incremento en un 0,5% por cada $\mu g/m^3$ que aumentan los niveles de $PM_{2,5}$. Para el total del grupo de infarto agudo del miocardio, los ingresos a urgencias se vieron influenciados de forma inversa por temperatura media y humedad relativa, es decir, que se encontraron menos casos de IAM en un 15,7% y un 2,5% por cada grado y unidad de incremento respectivamente, y se relacionó con un incremento en los ingresos de 7% por cada $10\mu g/m^3$ que aumentan los niveles de $PM_{2,5}$.
- En general, para el total de enfermedades isquémicas del corazón, los ingresos a urgencias se vieron influenciados de forma inversa por la temperatura media y la humedad relativa, es decir, que se encontraron menos ingresos por enfermedades isquémicas del corazón en un 13,2% y un 2,3% por cada grado y unidad de incremento de estas variables respectivamente, y se relacionó con un incremento en los ingresos de 7% por cada $10\mu g/m^3$ que aumentan los niveles de $PM_{2,5}$.
- En cuanto a los modelos DNLM, la relación por enfermedades isquémicas del corazón y temperatura fue más fuerte y evidente en temperaturas bajas entre (8 y $11^\circ C$) y en temperaturas altas ($\geq 19^\circ C$) con efectos inmediatos (temperatura mínima), aunque algunos efectos permanecen por varios días de retraso (temperatura máxima con un pico entre los rezagos 2 y 3), especialmente cuando se analiza de forma ajustada con PM_{10} y $PM_{2,5}$; dicho efecto no fue claro en la comparación con la temperatura media; se encontró relación entre el riesgo en la frecuencia de estos eventos con una variación térmica amplia ($\geq 12^\circ C$) en el mismo día.

- Con los resultados obtenidos se puede decir que la temperatura es un factor asociado a los efectos evaluados, la tendencia es no lineal con pequeños cambios que se asocian a grandes efectos, los cuales son detectados mejor por modelos dinámicos ya que el efecto puede ser inmediato o con algunos días de retraso de acuerdo a la naturaleza de los factores de exposición, como lo son las variables meteorológicas, en las que los niveles de un día se encuentran ligados a los niveles de días anteriores.

4.6 Discusión

En la literatura se puede encontrar un amplio número de investigaciones que evalúan la influencia de la temperatura en la mortalidad y enfermedades cardiovasculares, en diferentes zonas del mundo (12,15,61–63), algunas de ellas estiman que el aumento del 1°C de temperatura aparente varían entre 2 y 3,12% de muertes diarias, sin embargo, hacen claridad que la estimación del efecto se modifica de acuerdo a los contaminantes incluidos en los modelos (12). Adicionalmente, en zonas donde no se cuenta con estaciones, se han enfocado en la evaluación del efecto de las islas de calor en la salud de la población, aunque se ha encontrado efectos en el área rural, indicando que el impacto de la temperatura no se limita a la isla de calor urbana (35).

En este trabajo se evidenció mayor frecuencia de EIC en personas mayores de 60 años y especialmente en el género masculino y mayor frecuencia en angina para mujeres y de infarto para hombres, resultado similar al presentado en un estudio realizado en Inglaterra en 15 ciudades identificando que el 64,5% de los ingresos por IAM corresponden a hombres y la media de la edad es de 70 años (RIQ 58-79 años) (44). De acuerdo con la bibliografía, las tasas de incidencia y de mortalidad por IAM en mujeres pueden ser entre 2-7 veces menos que en hombres dependiendo de la región geográfica, así mismo, las mujeres presentan IAM entre 7-10 años más tarde que los hombres acompañadas de mayores comorbilidades (64), lo que podría explicar el comportamiento observado en los datos analizados.

En cuanto a los ingresos por personas menores de 45 años, en un estudio retrospectivo de 3 años en Chile, el 6,5% de los casos de IAM corresponde a menores de 40 años (65), en la literatura se tiene información que indican una prevalencia entre el 4 y el 10% para este grupo de la población (66), en este trabajo los ingresos por EIC de menores de 45 años corresponden al 7,5% y de este grupo se registraron 13 ingresos de menores de 14 años. Algunos reportes publicados sugieren que este evento en personas jóvenes puede estar relacionado con tabaquismo y consumo de cocaína (65), hiperlipidemia (66) y en menor medida por fenómenos de hipercoagulabilidad, vasculitis y vasoespasmo (endógeno o inducido por sustancias tóxicas) (66), para el grupo de infantes las principales causas de IAM son el defecto de una arteria coronaria, la enfermedad de Kawasaki o la agenesia del tronco coronario izquierdo (67). En este estudio no se incluyeron variables de antecedentes en salud para establecer las causas de la presentación de los eventos de interés en este grupo poblacional.

En los datos analizados desde SISPRO se observa un cambio en la cantidad de ingresos al servicio de urgencias en el año 2011, que podría ser explicados por que en éste año se dio inicio a la tercera etapa de la implementación de este sistema de información, en la que se corrigieron algunos vacíos e inconvenientes identificados, lo que permitió generar información oficial con estandarización y consistencia suficientes frente a las condiciones de salud, reflejado en un fortalecimiento del SISPRO como sistema único de toda la información en el sistema de salud (53).

En esta investigación en la estimación del coeficiente de Spearman, se observó correlación negativa con humedad relativa y temperaturas en los grupos de diagnóstico y diagnósticos más frecuentes, así como en 10 de 12 ciudades de Estados Unidos en donde se revisó el número de ingresos por enfermedad cardiaca se evidenció una correlación negativa con temperatura y humedad (correlación de Pearson), el efecto de la temperatura alta controlada por estacionalidad es inmediato en los análisis de rezagos y con descenso en el número de ingresos en días siguientes, relacionado con el fenómeno de harvesting o cosecha, pero esto no fue visto en temperaturas menos extremas (73).

Se encontró sinergia entre la temperatura y el material particulado especialmente entre temperatura máxima con PM_{10} y en la temperatura mínima con $PM_{2,5}$, de acuerdo al efecto de la temperatura y su papel modificador en el material particulado, ya que temperaturas altas lo dilatan y las temperaturas bajas lo condensan. En una revisión sistemática consultada se reporta que no hay evidencia de la relación con PM_{10} con el incremento de riesgo de IAM, de otro lado, si reporta que la exposición a $PM_{2,5}$ incrementa significativamente el riesgo de IAM con un incremento en el efecto entre el 5-7% por cada $10\mu m^3$, estos efectos fueron observados entre el día 0 y 2 después de un cambio en los niveles de $PM_{2,5}$ (45), en este trabajo se estimó dicho incremento en 7% por cada $10\mu m^3$ para el grupo de cardiopatías isquémicas.

De acuerdo a una revisión sistemática y metaanálisis, todos los principales contaminantes del aire con excepción del ozono presentaron asociación significativa con el incremento en el riesgo de infarto de miocardio, incluyendo PM_{10} = 1,006 (IC95%: 1,002-1,009), $PM_{2,5}$ = 1,025 (IC95%: 1,015-1,036), mientras que Ozono fue de 1,003 (IC95%: 0,997-1,010; $p=0,36$) (68), resultados similares a los estimados en este estudio. Adicionalmente, se han reportado evidencia sobre la relación de la contaminación del aire y el incremento de marcadores inflamatorios como la proteína C- reactiva, aumento del ritmo cardiaco, aumento de viscosidad y de fibrinógenos plasmáticos, activación de plaquetas, liberación de plasminógeno (enzima relacionada en la descomposición de los coágulos sanguíneos) y gasto cardiaco (45,69).

La humedad relativa en este estudio muestra una relación inversa con las enfermedades isquémicas del corazón y con la temperatura, especialmente para el grupo de infarto del miocardio, resultado similar al encontrado por Chan en la zona subtropical de China en donde evaluaron la cantidad de ingresos hospitalarios y la temperatura y del que sugieren que un promedio de humedad relativa superior al 85% puede tener un efecto benéfico cuando la temperatura es baja, aunque también exacerba el efecto en las altas temperaturas (14).

El ozono troposférico en este análisis ejerció un efecto indirecto con todos los eventos en salud revisados y al acompañarse en los modelos con el material particulado modificaba el efecto dirigiéndolo hacia la nulidad, resultado similar al obtenido por Bell en tres

ciudades latinoamericanas, en donde el efecto de la temperatura y la mortalidad fue reducida cuando se incluían PM_{10} y ozono (15). Adicionalmente, los niveles de ozono no presentaron excedencias con la norma colombiana ni con las recomendaciones de la guía de calidad el aire de la OMS (70), generando que se asuma que el ozono actúa en este análisis como un factor colisionador, al observarse una distorsión de una asociación entre dos variables de distribución independiente (ozono y temperatura) por el condicionamiento de un efecto en común (cardiopatía isquémica) (71); se considera el ozono factor de colisión al ser un factor dependiente de la temperatura que ingresa en la ruta causal entre temperatura y angina y entre temperatura e infarto, lo que genera ruido, al no cumplir con dos de los criterios de causalidad: el primero, de acuerdo con la plausibilidad biológica, el ozono no se relaciona con enfermedad coronaria y el segundo dosis respuesta, ya que en todos los casos el ozono presenta niveles inferiores al del umbral crítico.

A diferencia de un estudio realizado en Australia, en el que el ozono se considera confusor, y en otros en los que se encontró un efecto positivo entre temperatura y humedad (12) y aquellos en los que el ozono se relaciona con la mortalidad al ser más sensible al ajuste por temperatura máxima (35); también se ha asociado con la temperatura aparente, mostrando un efecto fuerte e inmediato (15), sin embargo, también hay estudios que no encuentran efectos del ozono en el riesgo de mortalidad sin tener en cuenta la influencia de la temperatura (72), o que muestran un factor protector como la mayoría de los estudios analizados en una revisión (45), tal como se observó en esta investigación en la que también la mayoría de las asociaciones fueron de tipo inverso. Sin embargo, los niveles de ozono pueden ser reducido en cercanías de fuentes de óxido nítrico (NO) como el presentado por el tráfico vehicular, en donde los dos gases reaccionan para generar NO_2 , lo que podría explicar esta asociación paradójica o negativa entre el riesgo de los eventos en salud y el ozono (45).

La pequeña magnitud de los efectos como los presentados en este estudio en el análisis de regresión de Poisson son relativamente comunes en epidemiología ambiental, sin embargo, estos efectos pequeños a menudo siguen siendo de importancia para la salud pública si poblaciones enteras se encuentran expuestas (50). Debido a que el IAM es un diagnóstico usual y a que toda la población se encuentra expuesta a la temperatura, aun un leve incremento en el riesgo (como el observado) se traduce como un excedente en el número absoluto de la cantidad de ingresos por este evento, tal como lo concluido en el estudio realizado en Reino Unido y gales en 15 ciudades en donde indican que por $1^{\circ}C$ de disminución de la temperatura en un día normal se pueden asociar con la admisión de 200 casos extras de IAM en Inglaterra (44).

Adicional a las variables analizadas, también se debe tener en cuenta el efecto que tiene el cambio climático en la ciudad de Bogotá, la que usualmente tiene temperaturas y humedad relativa que parecieran estables, sin embargo, estas variables meteorológicas se ven afectadas por fenómenos como “El niño” y “La niña”, los que ejercen efectos directos en el clima de una amplia zona de la región continental y que alcanza a afectar la sabana de Bogotá y por lo tanto puede afectar a población vulnerable frente a estos cambios en el clima. Dichos fenómenos han sido identificados en el segundo semestre de 2011 y el primero de 2012, en el que se presentó el fenómeno ENOS (El Niño - Oscilación del Sur) en su fase de La Niña, en el que las lluvias se asociaron al enfriamiento de las aguas del océano Pacífico (73,74).

Se ha identificado exceso de morbilidad por cardiopatía isquémica especialmente en invierno, así mismo, han identificado que las bajas temperaturas favorecen el incremento en la tensión arterial y de trombosis coronaria, particularmente en población adulto mayor; se ha documentado que la mortalidad y la morbilidad (medida en ingresos hospitalarios) por enfermedad cardiovascular es mayor en temporada de invierno que en la de verano debido a grandes fluctuaciones de temperatura en un mismo día, especialmente en países donde el clima es predominantemente cálido y en población mayor de 85 años (43); aunque en nuestro país no se cuenta con estaciones ni temperaturas extremas, si fue posible observar esta relación con bajas temperaturas y en los días de amplia variación térmica.

En otras revisiones se ha encontrado que un moderado incremento de temperatura se asocia con una disminución en la frecuencia de hospitalización de infartos agudos de miocardio en mediciones de años completos o en temporadas cálidas en donde no se presentan olas de calor (22). Sin embargo, otras experiencias muestran que en zonas de clima templado con estaciones, se han presentado días cálidos inusuales en estaciones frescas como primavera, en las cuales se evidencia un incremento en el número de ingresos hospitalarios por infarto agudo de miocardio, especialmente en hombres mayores de 65 años (76).

Un estudio realizado en Sao Paulo, Brasil se estimó el riesgo de mortalidad de IAM en 1,31 (IC95%= 1,19-1,44) para temperaturas en el decil más bajo (11-15°C), y en el decil de la temperatura más alta fue de RR 1,1 (IC95%= 1,06-1,16) con temperaturas entre 24-27°C (69), en este estudio se observó morbilidad asistida evidenciando el mayor riesgo en las temperaturas diarias bajas (8-11°C) y en las se fueron superior a los 19°C; aunque Bogotá y Sao Paulo no presentan condiciones similares de altura y temperatura, si se puede encontrar un comportamiento similar en la presentación de los eventos en cuanto a la temperatura.

En el estudio ecológico retrospectivo (1998 a 2009) realizado por Chan en Hong Kong, ciudad con clima subtropical, se evaluaron la cantidad de admisiones hospitalarias asociadas con temperaturas extremas, encontraron que las enfermedades cardiovasculares se encuentran incrementadas en la estación de frío, estimando que por cada disminución en 1°C se veía incrementado el riesgo de admisión en un 2,1% (IC 95%= 1,6-2,5; $p < 0,001$) (14), aunque en Bogotá el clima no sea comparable al invierno de otras zonas del mundo, si encontró un efecto directo e inmediato entre las temperaturas bajas y los ingresos de angina inespecífica.

El análisis de la relación entre temperatura, morbilidad y mortalidad se ha visto limitado al no contar con información suficiente para incluir otras variables o características de interés como son la ubicación espacial, estado socioeconómico, hábitos o comportamientos y características de vulnerabilidad de la población y de la infraestructura que permitan realizar un abordaje más amplio de la dinámica entre la salud y las variables ambientales (5,63).

En un estudio que evaluó la mortalidad en 3 ciudades europeas encontraron una modificación de los efectos del calor en personas que viven en apartamentos y la proporción de personas mayores de 65 años que viven solas en Budapest y Londres , así como mayor mortalidad en personas mayores y dentro de este grupo en mujeres (63), también se ha evaluado la influencia del nivel educativo (15), el estado socioeconómicos

y las diferencias entre la infraestructura de los vecindarios enfocadas en el efecto que tiene la temperatura y la mortalidad, explicado la diferencia por la falta de recursos económicos para mantener fresco el interior de las edificaciones (35), en este estudio no se contó con este tipo de variables que permitiera tener información sobre determinantes sociales, nivel de acompañamiento social o calidad de vida de los casos.

El uso de modelos no lineales distribuidos (DNLM) permitió observar la dinámica anteriormente expuesta, aportando un análisis más refinado y acorde a la naturaleza de las variables de interés por ser de tipo no lineales y no paramétricos que además permite visualizar el efecto de los rezagos o retrasos en este tipo de exposiciones ambientales, es decir, que permite analizar la ocurrencia de casos en un día con respecto a las variables de exposición de ese día y de días anteriores. Una de las ventajas que tiene el método de análisis usado de DLNM, es que permite contener en el mismo modelo una representación detallada del tiempo en la relación exposición-efecto y a su vez permite obtener un estimador del efecto global aún con la aparición de efectos rezagados o del fenómeno de cosecha (57).

Se presenta una clara diferencia de los resultados presentados en los modelos de regresión de Poisson, en donde la mayor asociación se encontró entre la temperatura media, la humedad relativa y las concentraciones de material particulado de $2,5\mu$; con esta regresión no se encontró significancia con el PM_{10} posiblemente debido a la amplia dispersión en la distribución de los datos de este contaminante, pero si fue posible evidenciar su relación y fuerza de asociación con los modelos DLNM, especialmente en los efectos retrasados, limitación que se tiene con el modelo de Poisson, debido a que éste último solo analiza el evento de salud con la exposición de ese mismo día.

De los estudios que han buscado estimar la relación de la temperatura con la salud de la población, varios han concluido en el papel que tiene la dinámica social de las ciudades y la planeación urbana (18), enfocándose en las características de las viviendas, la ubicación del vecindario o barrio, el diseño urbano, la cercanía las vías de tráfico vehicular, variables que pueden influir en la exposición de la población por su impacto en la contaminación del aire, así como en zonas que faciliten la actividad física, condiciones que se ven reflejadas en el estado de salud de la población y que se constituyen en factores predisponentes en el momento de desarrollar un efecto adverso al ser expuestos a altas temperaturas. Dichos trabajos recomiendan que en el diseño de las ciudades se deben tener en cuenta varios factores que incluyen la contaminación del aire y la inactividad física para la construcción de un complejo intra-urbano que compense los riesgos en salud (18).

Implicaciones sobre la salud pública

Desde el marco de las funciones de la salud pública, este trabajo aporta a los siguientes temas:

- Se sugiere sensibilizar a la población general y en especial a las poblaciones vulnerables como infantes, adultos mayores, personas con movilidad reducida y con antecedentes en salud entre otros tomar medidas frente a los cambios de temperatura, tanto mantenerse abrigado en momentos de bajas temperaturas,

resguardados en lugares cálidos y con aislamiento del frío, como mantenerse fresco, hidratado en momentos de altas temperaturas.

- En cuanto a las normas urbanísticas y diseños de espacios públicos, se recomienda tener mayor cantidad de zonas verdes con arborización para mantener el promedio de la temperatura en la ciudad, así como acciones que aporten en la mitigación del cambio climático en la ciudad.
- Se recomienda la creación un sistema de alertas tempranas basado en el pronóstico del clima y del nivel de contaminación, con el fin de dar aviso a la comunidad y al grupo de personas vulnerables a desarrollar episodios de enfermedades isquémicas del corazón para que tomen medidas de protección, ya que el incremento en el número de eventos debidos a la exposición ambiental generar una carga adicional en la atención y en los costos que generan estos episodios para el sistema de salud. Un ejemplo de éste, es el sistema de alertas tempranas implementado en Reino Unido para personas con EPOC, en donde las personas reciben una llamada a su teléfono móvil con recomendaciones y alertas frente a signos que puedan empeorar su condición, reduciendo la cantidad de ingresos hospitalarios (20-48%) (44).
- Para Bogotá se recomienda la creación de un sistema de vigilancia en las islas de calor urbanas identificadas en la ciudad, identificación de la población vulnerable próxima a dichas islas como jardines infantiles, colegios, centros geriátricos y población en general afectada por la influencia de las islas de calor y la articulación con establecimientos de salud para prestación del servicio en caso de algún evento. Este proceso se puede hacer fortaleciendo la articulación intersectorial entre Secretaría Distrital de Salud, Secretaría Distrital de Ambiente e IDEAM para la realización de monitoreo de efectos en salud relacionados con la temperatura y las islas de calor urbano.
- Mejorar la calidad de los datos fortaleciendo los sistemas de información en todas las fases del proceso de recolección, verificación, análisis, disponibilidad y publicación de información en salud y en variables ambientales.
- Capacitar y sensibilizar a los profesionales de la salud en formación y ya en ejercicio de su profesión, en la inclusión de factores no tradicionales de riesgo de cardiopatías isquémicas, como el caso de factores ambientales adicional a los antecedentes clínicos.
- Trabajar en la articulación intersectorial a través de representantes de sectores de la industria, el transporte, el comercio, la educación, la salud, y en sí a toda la población en general en la búsqueda de estrategias que favorezcan la adaptación y mitigación de los efectos frente al calentamiento global, como el cambio de combustibles, mejoramiento de tecnologías limpias y amigables con el ambiente y otras prácticas que favorezcan la disminución de contaminantes y de gases de efecto invernadero que busquen que no siga aumentando el nivel de temperatura, acordes al Plan Decenal de Descontaminación y de la Política de Salud Ambiental.

Limitaciones y fortalezas

Debido a la naturaleza propia del tipo y diseño del estudio, no se descarta la falacia ecológica o el sesgo de agregación³, sin embargo en la práctica se ha reconocido el aporte que realiza el diseño ecológico frente a la decisión de prevención y control de enfermedades desde la visión de la salud pública (48). En este estudio no se presenta un análisis individual, pero si uno en conglomerado de un área geográfica específica que permitió observar la relación a nivel poblacional entre la temperatura y las cardiopatías isquémicas.

Es posible que se presenten sesgos de información a partir de las fuentes que para esta investigación fueron de tipo secundario y por lo tanto podría verse implicada la calidad el dato tanto para la parte ambiental como de salud, sin embargo, son las fuentes de información más confiables y completas con la que se cuenta para los datos de interés de esta investigación, ya que proceden de sistemas de información de la autoridad sanitaria y ambiental a nivel nacional y local respectivamente. Se debe aclarar que en cuanto a la información obtenida desde SISPRO a través de los RIPS (aunque no son un sistema de vigilancia), como ventaja se puede decir que usan el código internacional de enfermedades CIE-10, criterio estandarizado usado para estudios de carga de la enfermedad mundial el cual permite hacer comparación entre países.

Por parte de los datos ambientales, varias de las estaciones (equipo automáticos) en el periodo de interés presentaban datos faltantes y atípicos que pueden influir en el modelo de la serie de datos creada, por eso se realizó proceso de imputación y ajuste de los datos en el caso de la temperatura. Adicionalmente, en el caso de las mediciones de PM_{2.5} se incluyeron registros de 4 estaciones que contaban con más del 70% de los datos, aun cuando en los informes anuales de calidad del aire de Bogotá (32,34,39) solo tiene en cuenta una de las estaciones (Kennedy) por tener más del 75% de los datos, es de aclarar que en esta zona de la ciudad (suroccidente) tiene a tener niveles elevados de material particulado; en este estudio se decidió tener mayor representatividad espacial del contaminante y que los datos reflejaran el comportamiento de éste en varias zonas de la ciudad.

Se debe tener en cuenta que en este estudio sólo se incluyeron los casos que ingresan al servicio de urgencias de centros de atención en el sistema de salud de la ciudad de Bogotá, sin embargo, se debe hacer claridad que al igual de otros estudios no se tienen en cuenta casos más leves o que no requieran atención médica, así como casos de mayor severidad que serían las muertes presentadas antes de ingresar a una institución de salud (43). Adicionalmente, no se contó con datos de condiciones médicas de base que desencadenaran una regulación deficiente de la temperatura, o de otros posibles factores desencadenantes como realizar trabajos y/o actividades de esparcimiento al aire libre, el alcoholismo, el hábito de fumar, condiciones de la vivienda y vivir en pisos altos de edificaciones (14).

Adicionalmente, los datos disponibles sobre este temática son de utilidad limitada, debido a la dificultad de cuantificar la morbilidad relacionados con el calor con algún grado de certeza (5). Es de aclarar que esta investigación buscaba encontrar una asociación

³ “Sesgo que puede ocurrir debido a que una asociación observada entre variables a nivel agregado no representa necesariamente la asociación que existe a nivel individual” (49).

permitiendo observar el efecto modificador de la temperatura en la ocurrencia de los ingresos de los eventos de salud de interés para este trabajo, mas no se pretendía establecer causalidad entre los mismos.

En esta evaluación se observa la ventaja de incluir en los estudios de series de tiempo en vigilancia ambiental modelos dinámicos como el DLNM, los que poseen una mayor sensibilidad para la identificación de cambios en el clima y de eventos en salud que presenten comportamientos de tipo estacional como cambios en el régimen de lluvias y de temporada seca, la influencia de fenómenos de variabilidad climática como El niño y La niña (75).

Esta investigación es la primera aproximación en el comportamiento de la morbilidad atendida en los servicios de urgencias por cardiopatías isquémicas en relación con la temperatura de la Bogotá, ciudad de la zona tropical ubicada en la cordillera de los Andes, de especial característica por su altitud (2650 msnm), en la que a pesar de no presentar estaciones ni climas extremos, si se observan temperaturas inusuales y de amplia variación térmica en un solo día, condiciones que pueden afectar en el estado de salud de la población, por lo tanto, esta investigación se constituye en un aporte al conocimiento de la dinámica ambiental y de salud de la ciudad.

5 Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Con los resultados generales obtenidos del análisis realizado, se puede concluir que:

- La ciudad de Bogotá como capital de Colombia y centro industrial, administrativo y financiero, es la ciudad que tiene mayor densidad poblacional, siendo también receptora de personas que migran de otras partes del país y del mundo. De acuerdo a los datos obtenidos, se ha observado un incremento en la cantidad de atenciones por enfermedades isquémicas del corazón atendidas en los servicios de urgencias de la ciudad, aunque sólo represente el 0,22% del total de los ingresos a este servicio. De este grupo de diagnósticos los más frecuentes son Infarto agudo de miocardio, angina inestable y angina de pecho no especificada, siendo estas tres el 86,4% del total de las cardiopatías isquémicas atendidas por urgencias en Bogotá.
- La mayoría de los ingresos corresponden a personas de sexo masculino (61,5%), sin embargo la mayoría de las anginas fueron en mujeres y los infartos en hombres. En cuanto a edad, la mayor frecuencia se observó en el grupo de mayores de 60 años (69,9%), especialmente en el grupo de 60 a 74 años. Los casos de personas pertenecientes a algún grupo étnico es mínimo (1,3%) y la mayoría de ingresos corresponden a personas vinculadas al régimen contributivo en el SGSSS.
- Para la población de la ciudad de Bogotá se encuentra una relación entre la exposición a la temperatura y el ingreso a los servicios de urgencias por enfermedades isquémicas del corazón como motivo de consulta. Esta relación fue más fuerte y evidente en temperaturas bajas entre (8 y 11°C) y en temperaturas altas ($\geq 19^{\circ}\text{C}$) con efectos inmediatos (Temperatura mínima), aunque algunos permanecen por varios días de rezagos (temperatura máxima con un pico entre el 2 y 3 rezagos), especialmente cuando se analiza de forma ajustada con PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$; dicho efecto no fue claro en la comparación con la temperatura media. De igual manera, se encontró relación entre el riesgo en la frecuencia de estos eventos con una variación térmica amplia ($\geq 12^{\circ}\text{C}$) en el mismo día, es decir que se asoció una menor cantidad de ingresos por enfermedades isquémicas del corazón los días en que la variación de temperatura era baja.

- En cuanto a la humedad relativa, se encontró una relación consistente e inversa con la presentación de los eventos de cardiopatías isquémicas, es decir menores niveles de humedad relativa se asocian con mayor riesgo de ingresos al servicio de urgencias, como si ejerciera un efecto amortiguador en la presentación de este tipo de afectaciones en salud. Para el caso de los contaminantes del aire de interés en este trabajo se encontró un efecto directo y fuerte entre el material particulado y las temperaturas, evidenciado especialmente en los modelos dinámicos por un efecto sinérgico entre temperatura máxima con PM₁₀ y en la temperatura mínima con PM_{2,5}. En cuanto al ozono troposférico, éste actuó consistentemente en una efecto inverso con los eventos de salud, mostrando riesgos en bajos niveles de éste contaminante y al ser ajustado con el material particulado (10 μ y 2,5 μ), el efecto de estos últimos se veía afectado siendo disminuida la fuerza de la relación.
- Para el total de enfermedades isquémicas del corazón, los ingresos a urgencias se vieron influenciados de forma inversa por la temperatura media y la humedad relativa, es decir, que se encontraron menos ingresos por enfermedades isquémicas del corazón en un 13,2% y un 2,3% por cada grado y unidad de incremento de estas variables respectivamente, y se relacionó con un incremento en los ingresos de 0,7% por cada $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que aumentan los niveles de PM_{2,5}.
- En cuanto a los modelos DNLM, la relación por enfermedades isquémicas del corazón y temperatura fue más fuerte y evidente en temperaturas bajas entre (8 y 11°C) y en temperaturas altas ($\geq 19^\circ\text{C}$) con efectos inmediatos (temperatura mínima), aunque algunos efectos permanecen por varios días de retraso (temperatura máxima con un pico entre los rezagos 2 y 3), especialmente cuando se analiza de forma ajustada con PM₁₀ y PM_{2,5}; dicho efecto no fue claro en la comparación con la temperatura media; se encontró relación entre el riesgo en la frecuencia de estos eventos con una variación térmica amplia ($\geq 12^\circ\text{C}$) en el mismo día.
- Con los resultados obtenidos se puede decir que la temperatura es un factor asociado a los efectos evaluados, la tendencia es no lineal con pequeños cambios que se asocian a grandes efectos, los cuales son detectados mejor por modelos dinámicos ya que el efecto puede ser inmediato o con algunos días de retraso de acuerdo a la naturaleza de los factores de exposición, como lo son las variables meteorológicas, en las que los niveles de un día se encuentran ligados a los niveles de días anteriores. Este estudio muestra un incremento a corto plazo del riesgo de ingresar a servicios de urgencia por enfermedades isquémicas del corazón, asociado a la temperatura, especialmente a las bajas y a la mayor amplitud en la variación térmica
- Esta investigación es la primera aproximación en el comportamiento de la morbilidad atendida en los servicios de urgencias por cardiopatías isquémicas en relación con la temperatura de la Bogotá, ciudad de la zona tropical ubicada en los Andes (2650 msnm), en la que a pesar de no presentar estaciones ni climas extremos como otras zonas del planeta, si se observan temperaturas inusuales y de amplia variación térmica en un solo día, condiciones que pueden afectar en el estado de salud de la población.

5.2 Recomendaciones

Para próximas investigaciones se debe tener en cuenta más variables ambientales como dirección y velocidad del viento que afectan en la dinámica de la temperatura de la ciudad, también se sugiere incluir información referente a determinantes sociales y comportamentales para evaluar la relación de temperatura y sus posibles efectos en salud, incluidas las características de las viviendas o edificaciones en la que residen y permanecen los habitantes de la ciudad y las zonas verdes e información referente a cobertura vegetal que influya en la regulación de la temperatura de zonas de interés.

Las diferencias en la población susceptible cobran especial atención en salud pública, debido a que se ha planteado que con el cambio climático se incrementará la intensidad, frecuencia y duración de las olas de calor, lo que conllevará a la afectación de población más susceptible, que generalmente se encuentra en desventaja, y por lo tanto conllevaría a hacer más amplias las diferencias en salud, indicando la necesidad de caracterizar población vulnerable en nuestro medio.

Aunque con el cambio climático y la evolución es probable que las poblaciones lleguen a ser menos sensibles a las temperaturas extremas, la población actual se encuentra en un proceso de envejecimiento, lo que la hace más susceptible al incremento de las temperaturas extremas, de igual manera se debe trabajar en la construcción de edificaciones más frescas artificialmente, así como en el uso sustentable y eficiente de la energía para éste fin (1).

Adicionalmente se debe trabajar en la distribución espacial relacionando los casos de enfermedades isquémicas del corazón con los puntos calientes de las islas de calor identificadas en la ciudad de Bogotá. En éste y en la mayoría de estudios en el tema, no se cuenta con información confiable para establecer patrones espaciales que se puedan relacionar los efectos en salud con el fenómeno de islas de calor. En la información obtenida desde SISPRO, solo cuenta con datos de la institución en la que recibió la atención, que de acuerdo al Sistema General de Seguridad Social en Salud (SGSSS) en el que la población colombiana se encuentra vinculada, el punto de atención no es necesariamente el más cercano al lugar de residencia, sin embargo, al ser atenciones en el servicio de urgencias, se puede inferir características climáticas cercanas al domicilio, por lo que se recomienda realizar próximas investigaciones con el aporte del análisis geoespacial de los eventos en salud con el fin de ser más específicos en los niveles de exposición de los casos, debido a la variabilidad de climas y microclimas que se pueden encontrar en la ciudad.

Desde la salud pública se deben direccionar esfuerzos en desarrollar estrategias de adaptación que busquen reducir los efectos adversos en salud a corto y largo plazo o a intensificar la resiliencia en respuesta a los climas extremos y al cambio climático, como fortalecer la conciencia pública educando sobre la autoprotección y articulando los esfuerzos multidisciplinarios e intersectoriales.

En próximas investigaciones se puede considerar el uso de series de tiempo de más de 30 años con el fin de evidenciar más claramente los efectos de la temperatura relacionados al cambio climático (8). Y se puede considerar enfocar la investigación a grupos poblacionales de interés como adultos mayores, personas con enfermedades

crónicas y niños, así como hacer estudios de corte individual, debido a que se desconoce como factores a nivel individual (demográficos, clínicos y comportamentales - medidas de adaptación) pueden afectar la vulnerabilidad frente a los efectos de la temperatura (42).

BORRADOR

Bibliografía

1. Kovats RS, Hajat S. Heat Stress and Public Health: A Critical Review. *Annu Rev Public Health*. 2008;29(October):41–55.
2. Organización Mundial de la Salud OMS. Cambio Climático y Salud Humana - Riesgos y Respuestas. 2003;37.
3. IPCC. Summary for Policymakers. *Clim Chang 2013 Phys Sci Basis Contrib Work Gr I to Fifth Assess Rep Intergov Panel Clim Chang*. 2013;33.
4. Filleul L, Cassadou S, Médina S, Fabres P, Lefranc A, Eilstein D, et al. The relation between temperature, ozone, and mortality in nine French cities during the heat wave of 2003. *Environ Health Perspect*. 2006;114(9):1344–7.
5. Tomlinson CJ, Chapman L, Thornes JE, Baker CJ. Including the urban heat island in spatial heat health risk assessment strategies: a case study for Birmingham, UK. *Int J Health Geogr* [Internet]. 2011;10(1):42. Available from: <http://ij-healthgeographics.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-072X-10-42>
6. Ángel L. Temperatura y urbanización en Bogotá, una mirada a las tendencias espacio-temporales de la temperatura del aire en relación a los procesos de urbanización. Pontif Univ Javeriana. 2007;84p.
7. Huang C, Barnett AG, Xu Z, Chu C, Wang X, Turner LR, et al. Commentary Managing the Health Effects of Temperature in Response to Climate Change: Challenges Ahead. *Environ Health Perspect*. 2013;121(4):415–20.
8. Bunker A, Wildenhain J, Vandenberg A, Henschke N, Rocklöv J, Hajat S, et al. Effects of Air Temperature on Climate-Sensitive Mortality and Morbidity Outcomes in the Elderly; a Systematic Review and Meta-analysis of Epidemiological Evidence. *EBioMedicine* [Internet]. 2016;6:258–68. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ebiom.2016.02.034>
9. Watts N, Adger WN, Agnolucci P. Health and climate change: policy responses to protect public health. *Lancet*. 2015;386(7):1861–914.
10. Perico-agudelo D. El espacio público de la ciudad: Una aproximación desde el estudio de sus características microclimáticas. *Cuad vivienda y Urban*. 2009;2:278–301.
11. Papparelli A, Kúrban A, Cúnsulo M. Isla de calor y ocupación espacial urbana Island heat effect and spatial urban occupancy in San Juan , Argentina : evolution analysis Ilha de calor e ocupação do espaço urbano em San Juan , Argentina : análise evolutiva. *Cuad Vivienda y Urban*. 2011;4(7):110–20.
12. Basu R. High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies

- from 2001 to 2008. *Environ Heal* [Internet]. 2009;8(1):40. Available from: <http://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-8-40>
13. Benmarhnia T, Sottile MF, Plante C, Brand A, Casati B, Fournier M, et al. Variability in temperature-related mortality projections under climate change. *Environ Health Perspect*. 2015;122(12):1293–8.
 14. Chan EY, Goggins WB, Yue JS, Lee P. Hospital admissions as a function of temperature, other weather phenomena and pollution levels in an urban setting in China. *Bull World Health Organ* [Internet]. 2013;91(8):576–84. Available from: <http://www.who.int/entity/bulletin/volumes/91/8/12-113035.pdf>
 15. Bell ML, O'Neill MS, Ranjit N, Borja-Aburto VH, Cifuentes LA, Gouveia NC. Vulnerability to heat-related mortality in Latin America: A case-crossover study in São Paulo, Brazil, Santiago, Chile and Mexico City, Mexico. *Int J Epidemiol*. 2008;37(4):796–804.
 16. Sarmiento R. Impacto en la salud por el cambio y la variabilidad del clima en Bogotá, D. C. *Investig en Segur Soc y Salud*. 2014;16(1):21–37.
 17. Li M, Gu S, Bi P, Yang J, Liu Q. Heat waves and morbidity: Current knowledge and further direction-a comprehensive literature review. *Int J Environ Res Public Health*. 2015;12(5):5256–83.
 18. Hankey S, Marshall JD, Brauer M. Health impacts of the built environment: Within-urban variability in physical inactivity, air pollution, and ischemic heart disease mortality. *Environ Health Perspect*. 2012;120(2):247–53.
 19. Camilo Blanco-Becerra L, Miranda-Soberanis V, Hernandez-Cadena L, Barraza-Villarreal A, Junger W, Hurtado-Diaz M, et al. Effect of particulate matter less than 10 μ m (PM10) on mortality in Bogota, Colombia: a time-series analysis, 1998-2006. *Salud Publica Mex*. 2014;56(4):363–70.
 20. Hernandez LA. Caracterización de la Contaminación por Material Particulado en Bogotá mediante Fotometría Solar Caracterización de la Contaminación por Material Particulado en Bogotá mediante Fotometría Solar. 2016;
 21. (WHO) WHO. Country profiles of environmental burden of diseases. 2009;(2008). Available from: http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/national/%0Acountryprofile/colombia.pdf
 22. Wichmann J, Rosengren A, Sjöberg K, Barregard L, Sallsten G. Association between Ambient Temperature and Acute Myocardial Infarction Hospitalisations in Gothenburg, Sweden: 1985-2010. *PLoS One*. 2013;8(4).
 23. Abajobir AA, Abbafati C, Abbas KM, Abd-Allah F, Abera SF, Aboyans V, et al. Global, regional, and national age-sex specific mortality for 264 causes of death, 1980–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Lancet*. 2017;390(10100):1151–210.
 24. Moreno PR, del Portillo JH. Isquemia miocárdica: conceptos básicos, diagnóstico e implicaciones clínicas. Primera parte. *Rev Colomb Cardiol* [Internet]. 2016;23(5):403–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rccar.2016.06.009>
 25. Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). GBD Compare Data Visualization [Internet]. Seattle, WA: IHME, University of Washington. 2017.

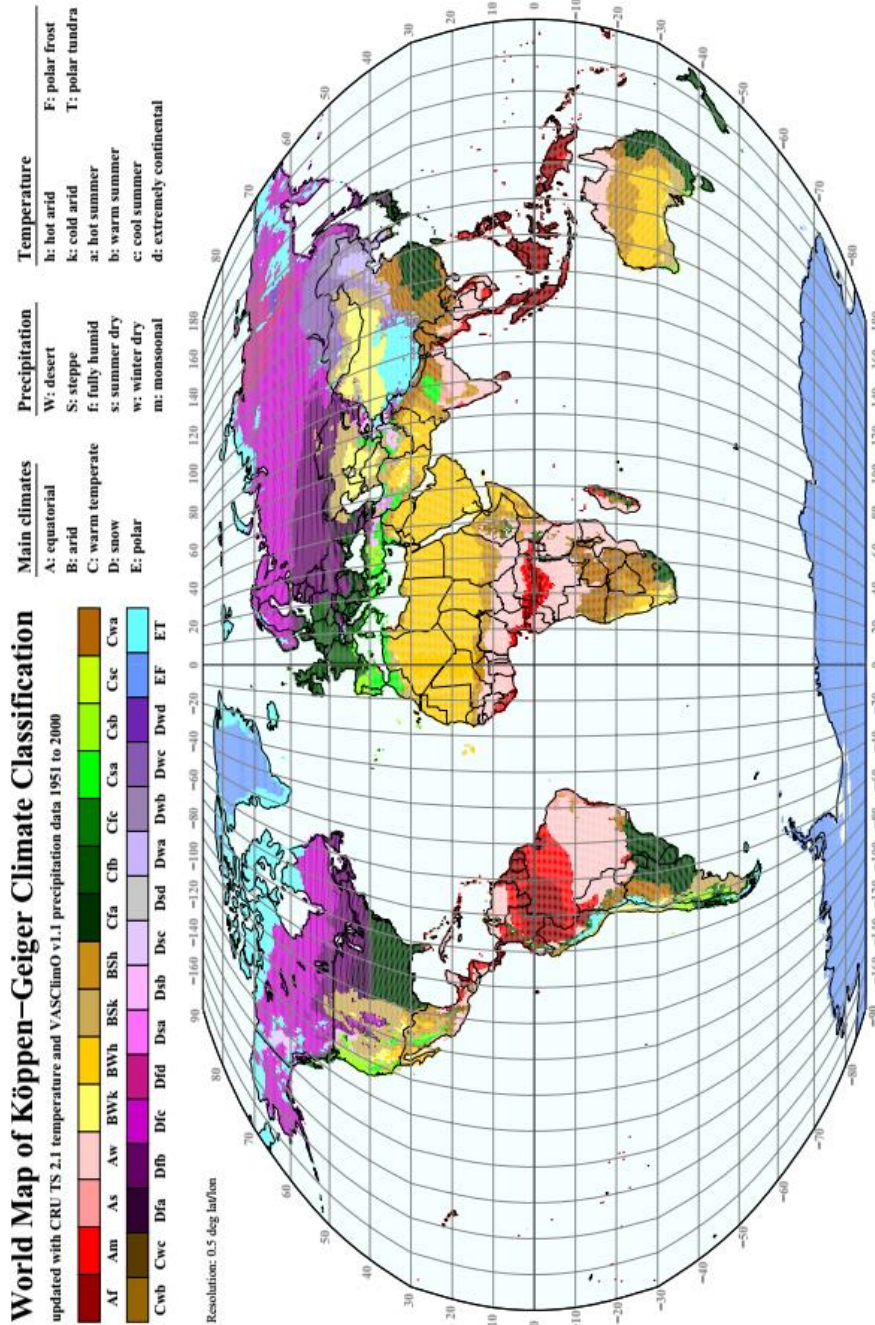
- Available from: <http://www.healthdata.org/data-visualization/gbd-compare>
26. Cortes Fuentes L, Alvis Estrada LR, Alvis Guzmán N. Mortalidad por enfermedades cardiovasculares y su impacto económico en Colombia, 2000-2010. *Rev Científica Salud Uninorte*. 2016;32(2):208–17.
 27. Ministerio de Salud y Protección Social. Indicadores Básicos 2011 Situación de Salud en Colombia. 2011;1–30.
 28. Secretaría Distrital de Ambiente (SDA); Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional Universidad de los Andes; Universidad de La Salle. Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá [Internet]. 2010. 324 p. Available from: http://ambientebogota.gov.co/en/c/document_library/get_file?uuid=b5f3e23f-9c5f-40ef-912a-51a5822da320&groupId=55886
 29. Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol Zeitschrift*. 2006;15(3):259–63.
 30. Angel L, Ramirez A, Dominguez E. Isla de calor y cambios espacio-temporales de la temperatura en la ciudad de Bogotá. *Rev Acad Colomb Cienc* [Internet]. 2010;34(131):173–83. Available from: http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_34/131/173-183.pdf
 31. Rojas NY. Revisión de las emisiones de material particulado por la combustión de diesel y biodiesel. *Rev Ing Univ los Andes*. 2004;20:58–68.
 32. Secretaria Distrital de Ambiente. Informa anual de calidad de aire de Bogotá, año 2013. 2014;1–172. Available from: <https://www.google.com/search?q=ESTACIONES+DE+MONITOREO+DE+CONTAMINACIÓN+ATMOSFERICAS+EN+BOGOTA&ie=utf-8&oe=utf-8>
 33. Quijano A, Quijano MJ, Quijano LA, Manzano ST. AIR TOXICITY OF THE CITY OF VILLA DEL ROSARIO IN SAMPLES OF. 2015.
 34. Secretaria Distrital de Ambiente. Informe anual de calidad del aire de Bogotá año 2015. [Internet]. 2016. Available from: <https://www.google.com/search?q=ESTACIONES+DE+MONITOREO+DE+CONTAMINACIÓN+ATMOSFERICAS+EN+BOGOTA&ie=utf-8&oe=utf-8>
 35. Madrigano J, Jack D, Anderson G, Bell ML, Kinney PL. Temperature, ozone, and mortality in urban and non-urban counties in the northeastern United States. *Environ Heal* [Internet]. 2015;14(1):3. Available from: <http://www.ehjournal.net/content/14/1/3>
 36. Secretaria Distrital de Ambiente. Informe anual de calidad del aire de Bogotá año 2015. 2016.
 37. República de Colombia. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución número 610 (24 de marzo de 2010) Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006. 2010 p. 1–8.
 38. República de Colombia. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución número 601 (04 de abril de 2006). Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia. 2006. p. 1–13.

39. Secretaría Distrital de Ambiente (SDA); Secretaría Distrital de Ambiente (SDA). Informe anual Calidad del Aire de Bogotá RMCAB 2012. 2013.
40. Braunwald E, Fauci A, Kasper D, Hauser S, Longo D, Jameson J. Harrison. Principios de medicina interna. 15a ed. McGraw Hill, editor. México D.F.; 2002. 76, 1629-1655 p.
41. Guyton AC, Hall JE. Tratado de Fisiología Médica. Décima. McGraw-Hill Interamericana, editor. México D.F.; 2001. 1280 p.
42. Bhaskaran K, Hajat S, Haines A, Herrett E, Wilkinson P, Smeeth L. Effects of ambient temperature on the incidence of myocardial infarction. :2–5.
43. Chau PH, Wong M, Woo J. Ischemic heart disease hospitalization among older people in a Subtropical city - Hong Kong: Does winter have a greater impact than summer? *Int J Environ Res Public Health*. 2014;11(4):3845–58.
44. Bhaskaran K, Hajat S, Haines A, Herrett E, Wilkinson P, Smeeth L. Short term effects of temperature on risk of myocardial infarction in England and Wales: Time series regression analysis of the Myocardial Ischaemia National Audit Project (MINAP) registry. *BMJ*. 2010;341(7768):338.
45. Bhaskaran K, Hajat S, Haines A, Herrett E, Wilkinson P, Smeeth L. Effects of air pollution on the incidence of myocardial infarction. *Heart*. 2009;95(21):1746–59.
46. Blanco-Becerra LC, Pinzón-Flórez CE, Idrovo ÁJ. Estudios ecológicos en salud ambiental : más allá de la epidemiología. *Biomédica*. 2015;35(2):191–206.
47. Ministerio de Salud y Protección Social. Dimensión Salud Ambiental. 2017;14. Available from: <https://www.minsalud.gov.co/plandecenal/Documents/dimensiones/dimension-saludambiental.pdf>
48. Borja-Aburto VH. Estudios ecológicos. *Rev Salud Pública México*. 2000;42(6):533–8.
49. Szklo M, Nieto J. Epidemiología intermedia. Conceptos y aplicaciones. Díaz de Santos, editor. España; 2003. 435 p.
50. Bhaskaran K, Gasparrini A, Hajat S, Smeeth L, Armstrong B. Time series regression studies in environmental epidemiology. *Int J Epidemiol*. 2013;42(4).
51. Sarmiento R, Díaz J, Corredor JC, Corredor JA. Informe final de morbilidad asociada a islas de calor urbano en Bogotá. Bogotá; 2017.
52. Ministerio de Salud y la Protección Social. Sistema Integral de Información SISPRO.
53. Ivo J, Caicedo M, Lucía M, Martínez O. Sistema Integrado de Información de la Protección Social en Colombia, tercera generación. SISPRO 3G. Available from: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/ED/GCFI/sispro-3G.pdf>
54. Ambiente SD de. Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB.
55. Duncan C T. Statistical methods in environmental epidemiology. Oxford Uni. USA; 2009.

56. Gasparrini A. Distributed Lag Linear and Non-Linear Models in R: The Package dlnm. *J Stat Softw.* 2011;43(8):1–20.
57. Gasparrini A, Armstrong B, Kenward MG. Distributed lag non-linear models. *Stat Med.* 2010;29(21):2224–34.
58. Gasparrini A, Armstrong B. Reducing and meta-analysing estimates from distributed lag non-linear models. *BMC Med Res Methodol [Internet].* 2013;13(1):1. Available from: <http://www.biomedcentral.com/1471-2288/13/1>
59. Gasparrini A. Distributed lag linear and non-linear models for time series data. 14310721250 [Internet]. 2017;1–12. Available from: <http://143.107.212.50/web/packages/dlnm/vignettes/dlnmTS.pdf>
60. República de Colombia. Ministerio de Salud. Resolución número 8430 de 1993. Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud [Internet]. Colombia; 1993. Available from: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad/RESOLUCION_8430_DE_1993.pdf
61. Tanaka H, Shinjo M, Tsukuma H, Kawazuma Y, Shimoji S, Kinoshita N, et al. Seasonal variation in mortality from ischemic heart disease and cerebrovascular disease in Okinawa and Osaka: the possible role of air temperature. *J Epidemiol.* 2000;10(6):392–8.
62. Shi L, Kloog I, Zanobetti A, Liu P, Schwartz JD. Impacts of temperature and its variability on mortality in New England. *Nat Clim Chang [Internet].* 2015;5(11):988–91. Available from: <http://www.nature.com/doi/10.1038/nclimate2704>
63. Ishigami A, Hajat S, Kovats RS, Bisanti L, Rognoni M, Russo A, et al. An ecological time-series study of heat-related mortality in three European cities. *Environ Heal [Internet].* 2008;7(1):5. Available from: <http://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-7-5>
64. Cardiovascular SC de C y C. Guías colombianas de cardiología. Síndrome Coronario Agudo sin elevación del ST (angina inestable e infarto agudo del miocardio sin elevación del ST). *Rev Colomb Cardiol.* 2008;15(3):99.
65. Méndez M, Martínez G, Veas N, Pérez O, Lindefjeld D, Winter JL, et al. Infarto Agudo al miocardio en pacientes menores de 40 años. Características clínicas , angiográficas y alternativas terapéuticas. *Rev Chil Cardiol.* 2013;32:21–7.
66. Marín F, Ospina LF. Infarto agudo del miocardio en adultos jóvenes menores de 45 años. *Rev Col Cardiol.* 2004;11(4):193–204.
67. Gredilla E, Rodríguez E, Pérez A, De Vicente JC, García M. Infarto agudo de miocardio en la infancia. A propósito de dos casos. *Rev Esp Anestesiol Reanim.* 2002;49:373–6.
68. Mustafic H, Jabre P, Caussin C, Murad MH, Escolano S, Tafflet M, et al. Main Air Pollutants and Myocardial Infarction. *JAMA.* 2012;307(7):713–21.
69. Sharovsky R, César L a M, Ramirez J a F. Temperature, air pollution, and mortality from myocardial infarction in São Paulo, Brazil. *Braz J Med Biol Res [Internet].* 2004;37(11):1651–7. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15517080>

70. Organización Mundial de la Salud. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. 2006.
71. Cole SR, Platt RW, Schisterman EF, Chu H, Westreich D, Richardson D, et al. Illustrating bias due to conditioning on a collider. *Int J Epidemiol.* 2010;39(2):417–20.
72. Jerret M, Burnett R, Pope A, Ito K, Thurston G, Krewski D, et al. Long-Term Ozone Exposure and Mortality. *N Eng J Med.* 2009;360(11):1085–95.
73. National Oceanic and Atmospheric Administration [Internet]. Available from: <http://www.noaa.gov>
74. Correal ME, Marthá JE, Sarmiento R. Influencia de la variabilidad climática en las enfermedades respiratorias agudas en Bogotá. *Rev Biomed.* 2015;35(2):130–8.
75. Schwartz J, Samet JM, Patz JA. Hospital admissions for heart disease: The effects of temperature and humidity. *Epidemiology.* 2004;15(6):755–61.
76. Loughnan M, Tapper N, Loughnan T. The impact of “unseasonably” warm spring temperatures on acute myocardial infarction hospital admissions in Melbourne, Australia: A city with a temperate climate. *J Environ Public Health.* 2014;2014.

A. Anexo A: Mapa de la clasificación climática de Köppen-Geiger actualizada con datos de la media mensual de temperatura y precipitación 1951-2000 sobre una cuadrícula regular de 0,5 grados latitud/longitud.



Tomado de: Kottek, et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift, Vol. 15, No. 3, 259-263 (June 2006)

B. Anexo B: Porcentaje de urgencias atendidas en población general por enfermedades isquémicas del corazón en Bogotá por año 2009-2014

Bogotá	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Proyección Población DANE total*	7.259.597	7.363.782	7.467.804	7.571.345	7.674.366	7.776.845
No. Atenciones por urgencias de por enfermedades isquémicas del corazón - SISPRO	655	1.267	2.180	2.202	2.260	2.475
% URGENCIAS	0,009%	0,017%	0,029%	0,029%	0,029%	0,032%
% Diferencia del incremento con el año anterior		90,7%	69,7%	-0,4%	1,3%	8,1%

*Total población estimada para la ciudad de Bogotá.

Fuente: Proyecciones de población 2005-2015 del DANE

C. Anexo C: Correlaciones cruzadas de los diagnósticos y los grupos de diagnósticos con parámetros meteorológicos en Bogotá periodo 2009-2014

C-1. Angina inestable (I200) con parámetros meteorológicos

Variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura mínima	-0,028	-0,033	-0,028	-0,069*	-0,048*	-0,039	-0,013	-0,054*
Temperatura media	-0,070*	-0,075*	-0,074*	-0,083*	-0,079*	-0,047*	-0,054*	-0,079*
Temperatura máxima	-0,043*	-0,034	-0,014	-0,027	-0,031	0,005	-0,011	-0,003
Amplitud térmica	-0,013	-0,004	0,007	0,022	0,007	0,026	0,000	0,030
Humedad relativa	-0,030	-0,020	-0,026	-0,034	-0,031	-0,033	-0,027	-0,026
Ozono	-0,092*	-0,057*	-0,034	-0,033	-0,050*	-0,037	-0,077*	-0,081*
PM ₁₀	0,027	0,009	-0,013	-0,041	-0,078*	-0,041	-0,021	0,028
PM _{2,5}	0,014	0,023	0,024	0,007	-0,028	-0,004	-0,005	0,024

*Correlaciones estadísticamente significativas Fuente: Autor con datos de SISPRO y de RMCAB

C-2. Angina de pecho con espasmo documentado (I201) con parámetros meteorológicos

Variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura mínima	-0,013	-0,059*	-0,047*	-0,041	-0,076*	-0,050*	-0,046*	-0,021
Temperatura media	-0,011	-0,039	-0,035	-0,036	-0,033	-0,017	-0,035	0,011
Temperatura máxima	0,016	0,017	0,005	0,014	0,031	0,037	0,009	0,036
Amplitud térmica	0,018	0,046*	0,031	0,034	0,066*	0,055*	0,033	0,037
Humedad relativa	-0,023	-0,004	-0,005	-0,008	-0,015	-0,009	0,005	-0,027
Ozono	-0,034	-0,051*	-0,033	-0,014	-0,017	-0,023	-0,011	0,012
PM ₁₀	-0,014	0,007	-0,003	0,000	0,017	0,017	0,059*	0,039
PM _{2,5}	0,012	0,029	0,038	0,025	0,039	0,054*	0,078*	0,054*

*Correlaciones estadísticamente significativas Fuente: Autor con datos de SISPRO y de RMCAB

C-3. Otras formas específicas de angina de pecho (I208) con parámetros meteorológicos

Variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura mínima	-0,036	-0,010	-0,032	-0,012	-0,015	-0,051*	-0,026	-0,038
Temperatura media	0,049*	-0,023	-0,018	-0,027	-0,026	-0,030	-0,035	-0,065*
Temperatura máxima	-0,022	-0,003	0,009	-0,014	-0,017	0,012	-0,013	-0,025
Amplitud térmica	0,006	0,004	0,025	-0,002	-0,003	0,038	0,006	0,006
Humedad relativa	-0,023	-0,043*	-0,052*	-0,039	-0,060*	-0,049*	-0,029	-0,019
Ozono	0,049*	-0,020	-0,020	-0,008	-0,014	0,002	-0,014	-0,016
PM ₁₀	-0,008	-0,025	0,005	-0,044*	-0,040	-0,011	-0,008	-0,010
PM _{2,5}	0,013	0,013	0,034	0,003	0,003	0,016	0,031	0,024

*Correlaciones estadísticamente significativas Fuente: Autor con datos de SISPRO y de RMCAB

C-4. Angina de pecho no especificada (I209) con parámetros meteorológicos

Variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura mínima	-0,064*	-0,053*	-0,040	-0,036	-0,094*	-0,037	-0,054*	-0,055*
Temperatura media	-0,028	-0,015	-0,014	-0,033	-0,036	-0,039	-0,042*	-0,019
Temperatura máxima	0,064*	0,052*	0,029	0,024	0,064*	0,021	0,035	0,035
Amplitud térmica	0,081*	0,066*	0,043*	0,037	0,098*	0,036	0,055*	0,056*
Humedad relativa	-0,117*	-0,116*	-0,112*	-0,103*	-0,102*	-0,102*	-0,093*	-0,114*
Ozono	-0,113*	-0,099*	-0,091*	-0,093*	-0,093*	-0,098*	-0,128*	-0,121*
PM ₁₀	0,002	-0,024	-0,068*	-0,094*	-0,068*	-0,091*	-0,045*	-0,017
PM _{2,5}	0,057*	0,041	0,019	0,002	0,019	0,004	0,036	0,051*

*Correlaciones estadísticamente significativas Fuente: Autor con datos de SISPRO y de RMCAB

C-5. Grupo I20 - Angina de pecho con parámetros meteorológicos

Variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura mínima	-0,064*	-0,061*	-0,053*	-0,074*	-0,098*	-0,062*	-0,050*	-0,078*
Temperatura media	-0,074*	-0,067*	-0,065*	-0,084*	-0,082*	-0,062*	-0,071*	-0,075*
Temperatura máxima	0,007	0,009	0,010	-0,005	0,017	0,022	0,012	0,018
Amplitud térmica	0,042*	0,042*	0,038	0,040	0,069*	0,051*	0,037	0,058*
Humedad relativa	-0,096*	-0,091*	-0,094*	-0,092*	-0,093*	-0,092*	-0,078*	-0,092*
Ozono	0,141*	-0,106*	-0,084*	-0,080*	-0,093*	-0,085*	-0,131*	-0,128*
PM ₁₀	0,017	-0,012	-0,048*	-0,091*	-0,099*	-0,082*	-0,036	0,011
PM _{2,5}	0,047*	0,045*	0,037	0,009	-0,004	0,007	0,031	0,056*

*Correlaciones estadísticamente significativas Fuente: Autor con datos de SISPRO y de RMCAB

C-6. Infarto transmural agudo del miocardio de la pared anterior (I210) con parámetros meteorológicos

Variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura mínima	-0,024	0,010	0,025	0,021	-0,003	0,015	-0,020	-0,007
Temperatura media	-0,033	-0,025	-0,011	0,009	-0,025	0,005	-0,004	0,016
Temperatura máxima	-0,009	-0,029	-0,023	0,005	-0,012	-0,012	0,007	0,022
Amplitud térmica	0,008	-0,025	-0,031	-0,009	-0,066	-0,017	0,017	0,019
Humedad relativa	0,019	0,013	0,017	0,002	0,006	-0,028	-0,023	-0,036
Ozono	-0,027	-0,023	-0,055*	-0,070*	-0,078*	-0,040	-0,042*	-0,049*
PM ₁₀	0,007	-0,021	-0,026	-0,016	-0,013	-0,022	-0,037	-0,028
PM _{2,5}	0,040	0,005	0,010	-0,001	0,008	-0,016	-0,021	-0,021

*Correlaciones estadísticamente significativas Fuente: Autor con datos de SISPRO y de RMCAB

C-7. Infarto transmural agudo del miocardio de la pared inferior (I211) con parámetros meteorológicos

Variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura mínima	0,004	0,004	-0,030	-0,008	-0,018	-0,014	-0,015	-0,010
Temperatura media	-0,029	-0,043*	-0,040	-0,016	-0,022	-0,066*	-0,031	-0,022
Temperatura máxima	-0,022	-0,026	-0,008	0,016	0,004	-0,046*	-0,002	-0,034
Amplitud térmica	-0,017	-0,020	0,012	0,016	0,013	-0,024	0,007	-0,017
Humedad relativa	-0,010	-0,015	-0,014	-0,008	0,003	0,021	-0,016	-0,033
Ozono	0,004	-0,003	-0,014	-0,005	0,007	-0,038	-0,029	-0,025
PM ₁₀	-0,006	-0,019	0,011	0,031	0,014	0,000	-0,024	-0,034
PM _{2,5}	0,015	0,011	0,019	0,031	0,039	0,038	-0,006	-0,024

*Correlaciones estadísticamente significativas Fuente: Autor con datos de SISPRO y de RMCAB

C-8. Infarto agudo transmural del miocardio de otros sitios (I212) con parámetros meteorológicos

Variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura mínima	-0,020	-0,048*	-0,039	-0,016	-0,021	-0,003	-0,034	0,003
Temperatura media	-0,027	-0,059*	-0,033	-0,030	-0,021	-0,006	0,013	0,026
Temperatura máxima	0,013	-0,014	0,011	0,016	0,001	0,008	0,031	0,031
Amplitud térmica	0,020	0,019	0,030	0,020	0,013	0,007	0,041	0,020
Humedad relativa	-0,030	-0,026	-0,040	-0,046*	-0,034	-0,032	-0,053*	-0,037
Ozono	-0,049*	-0,065*	-0,040	-0,031	-0,023	-0,036	-0,041	-0,042*
PM ₁₀	-0,004	-0,012	-0,035	-0,039	-0,020	-0,011	0,001	-0,002
PM _{2,5}	0,025	0,014	-0,005	0,011	0,036	0,023	0,036	0,033

*Correlaciones estadísticamente significativas Fuente: Autor con datos de SISPRO y de RMCAB

C-9. Infarto transmural agudo del miocardio de sitio no especificado (I213) con parámetros meteorológicos

Variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura mínima	-0,024	-0,015	0,019	0,021	0,012	-0,021	-0,029	-0,031
Temperatura media	-0,010	0,012	0,008	0,020	0,046*	0,006	0,003	-0,002
Temperatura máxima	0,010	0,011	0,017	0,017	0,039	0,025	0,004	0,025
Amplitud térmica	0,021	0,016	0,001	-0,001	0,020	0,029	0,019	0,035
Humedad relativa	0,000	-0,015	-0,018	-0,030	-0,051*	-0,048*	-0,037	-0,019
Ozono	-0,034	-0,016	-0,010	-0,024	0,001	-0,001	-0,024	-0,026
PM ₁₀	0,011	-0,004	-0,029	-0,005	0,029	0,024	-0,010	-0,010
PM _{2,5}	0,025	0,003	-0,012	0,022	0,006	0,004	0,017	0,007

*Correlaciones estadísticamente significativas Fuente: Autor con datos de SISPRO y de RMCAB

C-10. Correlación cruzada Infarto subendocárdico agudo del miocardio (I214) con parámetros meteorológicos

Variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura mínima	0,016	0,011	0,002	0,010	0,025	-0,008	0,025	0,009
Temperatura media	-0,019	-0,015	-0,030	-0,026	-0,022	-0,008	-0,012	-0,021
Temperatura máxima	-0,002	-0,007	-0,009	-0,036	-0,006	0,008	-0,030	-0,028
Amplitud térmica	-0,010	-0,011	-0,007	-0,030	-0,019	0,010	-0,035	-0,024
Humedad relativa	0,023	0,040	0,040	0,043*	0,042*	0,014	0,012	0,010
Ozono	-0,015	-0,028	-0,028	-0,026	-0,021	-0,011	-0,025	-0,010
PM ₁₀	0,019	0,023	0,011	0,014	0,009	-0,012	-0,023	-0,017
PM _{2,5}	0,026	0,040	0,028	0,029	0,022	-0,003	-0,018	-0,022

*Correlaciones estadísticamente significativas Fuente: Autor con datos de SISPRO y de RMCAB

C-11. Correlación cruzada Infarto agudo del miocardio sin otra especificación (I219) con parámetros meteorológicos

Variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura mínima	-0,047*	-0,078*	-0,055*	-0,073*	-0,058*	-0,080*	-0,062*	-0,049*
Temperatura media	-0,080*	-0,103*	-0,090*	-0,077*	-0,057*	-0,064*	-0,068*	-0,049*
Temperatura máxima	-0,043*	-0,020	-0,023	0,000	-0,005	0,013	0,008	0,008
Amplitud térmica	-0,002	0,033	0,016	0,043*	0,030	0,056*	0,042*	0,034
Humedad relativa	-0,112*	-0,097*	-0,084*	-0,103*	-0,130*	-0,127*	-0,115*	-0,114*
Ozono	-0,150*	-0,148*	-0,158*	-0,141*	-0,128*	-0,111*	-0,125*	-0,120*
PM ₁₀	-0,072*	-0,101*	-0,103*	-0,082*	-0,099*	-0,096*	-0,062*	-0,046*
PM _{2,5}	0,002	-0,004	-0,004	0,008	-0,017	-0,019	0,004	0,010

*Correlaciones estadísticamente significativas. Fuente: Autor con datos de SISPRO y de RMCAB

C-12. Grupo I20 – Infarto agudo de miocardio con parámetros meteorológicos

Variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura mínima	-0,052*	-0,079*	-0,055*	-0,061*	-0,055*	-0,074*	-0,071*	-0,049*
Temperatura media	-0,092*	-0,117*	-0,098*	-0,075*	-0,060*	-0,068*	-0,063*	-0,039
Temperatura máxima	-0,039	-0,031	-0,022	0,007	-0,001	0,007	0,014	0,014
Amplitud térmica	0,004	0,026	0,017	0,040	0,032	0,048*	0,051*	0,038
Humedad relativa	-0,101*	-0,089*	-0,081*	-0,103*	-0,124*	-0,127*	-0,125*	-0,124*
Ozono	-0,155*	-0,156*	-0,166*	-0,152*	-0,135*	-0,122*	-0,140*	-0,135*
PM ₁₀	-0,060*	-0,097*	-0,105*	-0,079*	-0,095*	-0,096*	-0,070*	-0,056*
PM _{2,5}	0,025	0,007	0,002	0,021	0,005	-0,006	0,007	0,007

*Correlaciones estadísticamente significativas. Fuente: Autor con datos de SISPRO y de RMCAB

C-13. Trombosis coronaria que no resulta en infarto de miocardio (I240) con parámetros meteorológicos

Variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura mínima	-0,014	0,010	-0,002	-0,022	-0,044*	-0,003	-0,037	-0,049*
Temperatura media	-0,021	-0,004	-0,004	-0,014	0,038	-0,015	-0,008	-0,008
Temperatura máxima	0,009	-0,008	0,018	0,006	-0,017	0,002	0,031	0,029
Amplitud térmica	0,014	-0,011	0,014	0,017	0,014	0,003	0,043*	0,049*
Humedad relativa	0,002	-0,040	-0,036	-0,032	-0,027	-0,044*	-0,054*	-0,056*
Ozono	-0,042*	0,003	0,023	-0,008	-0,014	-0,030	-0,014	-0,005
PM ₁₀	0,006	0,014	-0,006	-0,038	-0,048	-0,046	-0,013	-0,014
PM _{2,5}	0,027	0,021	0,026	-0,005	-0,020	-0,018	0,003	-0,004

*Correlaciones estadísticamente significativas. Fuente: Autor con datos de SISPRO y de RMCAB

C-14. Otras formas de enfermedad isquémica aguda del corazón (I248) con parámetros meteorológicos

Variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura mínima	-0,038	-0,048*	-0,041	-0,012	-0,052*	-0,028	-0,002	-0,029
Temperatura media	-0,022	-0,027	-0,008	-0,026	-0,013	-0,035	0,005	0,002
Temperatura máxima	0,027	0,007	0,035	-0,015	0,023	-0,003	0,012	0,029
Amplitud térmica	0,041	0,033	0,048*	-0,003	0,046*	0,014	0,010	0,037
Humedad relativa	-0,001	-0,010	-0,025	-0,008	-0,008	0,022	-0,017	-0,031
Ozono	-0,022	-0,016	-0,010	-0,018	-0,038	-0,043*	-0,026	-0,016
PM ₁₀	0,014	0,001	-0,001	-0,006	0,023	0,001	-0,014	-0,005
PM _{2,5}	0,012	0,011	0,001	0,015	0,036	0,022	-0,005	-0,012

*Correlaciones estadísticamente significativas Fuente: Autor con datos de SISPRO y de RMCAB

C-15. Enfermedad isquémica aguda del corazón no especificada (I249) con parámetros meteorológicos

Variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura mínima	0,033	-0,011	0,001	-0,015	-0,056*	-0,012	-0,005	-0,008
Temperatura media	0,031	0,010	-0,009	0,028	0,009	0,015	-0,006	-0,025
Temperatura máxima	0,008	0,013	-0,009	0,019	0,032	0,024	0,001	-0,025
Amplitud térmica	-0,014	0,016	-0,007	0,022	0,055*	0,024	0,001	-0,013
Humedad relativa	-0,040	-0,022	-0,012	-0,051*	-0,043*	-0,052*	-0,053*	-0,035
Ozono	-0,012	0,009	-0,002	0,053*	0,044*	0,042*	0,039	0,027
PM ₁₀	-0,034	-0,029	-0,017	0,000	-0,001	-0,016	0,003	-0,001
PM _{2,5}	-0,020	-0,007	0,000	0,015	0,033	0,002	0,022	0,016

*Correlaciones estadísticamente significativas. Fuente: Autor con datos de SISPRO y de RMCAB

C-16. Grupo I24 – Otras enfermedades isquémicas del corazón con parámetros meteorológicos

Variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura mínima	0,001	-0,019	-0,015	0,028	-0,083*	-0,020	-0,027	-0,045*
Temperatura media	0,000	-0,005	-0,012	0,001	-0,022	-0,011	-0,007	-0,021
Temperatura máxima	0,020	0,007	0,017	0,011	0,020	0,017	0,024	0,011
Amplitud térmica	0,013	0,016	0,021	0,024	0,062*	0,023	0,032	0,034
Humedad relativa	-0,026	-0,042*	-0,039	-0,057*	-0,049*	-0,054*	-0,075*	-0,069*
Ozono	-0,041	0,003	0,009	0,025	0,009	-0,004	0,009	0,010
PM ₁₀	-0,015	-0,011	-0,016	-0,025	-0,022	-0,038	-0,011	-0,011
PM _{2,5}	0,007	0,012	0,016	0,013	0,023	-0,002	0,015	0,004

*Correlaciones estadísticamente significativas. Fuente: Autor con datos de SISPRO y de RMCAB

C-17. Total enfermedades isquémicas del corazón con parámetros meteorológicos

Variable	0	1	2	3	4	5	6	7
Temperatura mínima	-0,074*	-0,090*	-0,069*	-0,089*	-0,107*	-0,087*	-0,078*	-0,086*
Temperatura media	-0,104*	-0,115*	-0,102*	-0,101*	-0,093*	-0,083*	-0,086*	-0,076*
Temperatura máxima	-0,016	-0,011	-0,004	0,002	0,013	0,020	0,018	0,021
Amplitud térmica	0,032	0,045*	0,038	0,053*	0,071*	0,065*	0,058*	0,065*
Humedad relativa	-0,127*	-0,118*	-0,115*	-0,128*	-0,140*	-0,142*	-0,133*	-0,142*
Ozono	-0,190*	-0,162*	-0,153*	-0,141*	-0,141*	-0,130*	-0,170*	-0,165*
PM ₁₀	-0,025	-0,066*	-0,096*	-0,111*	-0,125*	-0,116*	-0,067*	-0,026*
PM _{2,5}	0,047*	0,036	0,028	0,019	0,003	0,001	0,027	0,043*

*Correlaciones estadísticamente significativas. Fuente: Autor con datos de SISPRO y de RMCAB

