ANÁLISIS DE LA VARIACION DE LA CONCENTRACION DE DIOXIDO DE NITROGENO Y OZONO, CON RESPECTO AL USO Y MASIFICACION DEL GAS NATURAL EN LA CIUDAD DE BOGOTA DURANTE LOS ULTIMOS 10 AÑOS

JOHAN CAMILO RAMIREZ FRANCO

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS

FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

INGENIERIA SANITARIA

BOGOTA D. C.

2017

ANÁLISIS DE LA VARIACION DE LA CONCENTRACION DE DIOXIDO DE NITROGENO Y OZONO, CON RESPECTO AL USO Y MASIFICACION DEL GAS NATURAL EN LA CIUDAD DE BOGOTA DURANTE LOS ULTIMOS 10 AÑOS

JOHAN CAMILO RAMIREZ FRANCO

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Sanitario

Modalidad: Monografía

DIRECTOR: JOSE ALEJANDRO MURAD PEDRAZA

INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS

FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

INGENIERIA SANITARIA

BOGOTA D. C.

2017

TABLA DE CONTENIDO

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION 9
2. PROBLEMA O PREGUNTA DE INVESTIGACION 10
3. OBJETIVOS 11
   3.1. Objetivo General 11
   3.2. Objetivos Específicos 11
4. MARCO TEORICO CONSEPTUAL 12
   4.1. Óxidos de Nitrógeno NO_X 12
   4.2. Dióxido de Nitrógeno NO_2 12
      4.2.1. Ciclo fotolitico del NO_2 13
   4.3. Ozono. 13
   4.4. Gas Natural 15
   4.5 Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá 15
5. METODOLOGIA 17
   5.1. Consulta de Información 17
   5.2. Ajuste de Información 18
   5.3. Evaluación de Información 18
   5.4. Análisis de resultados 19
6. ANALISIS DE RESULTADOS 20
   6.1. Análisis de la variación del NO_2 20
      6.1.1. Estación Carvajal. 21
      6.1.2. Estación Puente Aranda. 22
      6.1.3. Estación Kennedy 24
      6.1.4. Estación Centro de Alto Rendimiento 25
      6.1.5. Estación Ferias. 27
      6.1.6. Estación Guaymaral. 28
   6.2. Análisis de O_3 29
      6.2.1. Estación Carvajal. 30
      6.2.2. Estación Puente Aranda. 31
      6.2.3. Estación San Cristóbal. 32

6.2.4. Estación Centro de Alto Rendimiento. 32
6.2.5. Estación Ferias 33
6.2.6. Estación Usaquén. 34
6.2.7. Estación Suba. 35
6.2.8. Estación Guaymaral 36
6.3. Variación Temperatura en Bogotá 37
6.4. Radiación Solar 40
6.5. Masificación y consumo de Gas Natural en Bogotá 42
6.6. Análisis de la Variación de la Concentración de NO_2 y O_3 con Respecto al Consumo de Gas Natural En Bogotá 44
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 47
8. BIBLIOGRAFIA 48

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1: Comportamiento del ozono en la atmosfera vs temperatura 14
Figura 2: Ubicaciones estación RMCAB..... 16
Figura 3: Etapas para la metodología de proyecto. 17
Figura 4: Variación de la concentración media anual horaria de NO_2 en Bogotá. 20
Figura 5: Promedio Anual horario de NO_2 Estación Carvajal. 21
Figura 6: Promedio móvil anual 24 horas NO_2 Estación Carvajal. 21
Figura 7: Variación de la concentración de NO_2 - Estación Carvajal. 22
Figura 8: Promedio Anual horario de NO_2 Estación Puente Aranda. 23
Figura 9: Promedio móvil anual 24 horas NO_2 Estación Puente Aranda. 23
Figura 10: Variación de la concentración de NO_2 - Estación Puente Aranda 23
Figura 11: Promedio Anual horario de NO_2 Estación Kennedy 24
Figura 12:Promedio móvil anual 24 horas NO_2 Estación Puente Aranda 24
Figura 13: Variación de la concentración de NO_2 - Estación Kennedy. 25
Figura 14: Promedio Anual horario de NO_2 Estación Centro Alto Rendimiento. 26
Figura 15: Promedio móvil anual 24 horas NO_2 Estación Centro Alto Rendimiento. 26
Figura 16: Variación de la concentración de NO_2 - Estación Centro de Alto Rendimiento. 26
Figura 17: Promedio Anual horario de NO_2 Estación Ferias. 27
Figura 18: Promedio móvil anual 24 horas NO_2 Estación Centro Alto Rendimiento. 27
Figura 19: Variación de la concentración de NO_2 Ferias. 28
Figura 20: Promedio Anual horario de NO_2 Estación Guaymaral. 28
Figura 21: Promedio móvil anual 24 horas NO_2 Estación Guaymaral. 28
Figura 22: Variación de la concentración de NO_2 Guaymaral. 29
Figura 23: Concentración media anual 1 hora de O_3 30
Figura 24: Promedio Anual horario de O_3 Estación Carvajal. 31
Figura 25: Promedio móvil anual 8 horas O_3 Estación Carvajal. 31
Figura 26: Promedio Anual horario de O_3 Estación Puente Aranda. 31
Figura 27: Promedio móvil anual 8 horas O_3 Estación Puente Aranda. 31
Figura 28: Promedio Anual horario de O_3 Estación San Cristóbal. 32

Figura 29: Promedio móvil anual 8 horas O_3 Estación San Cristóbal. 32
Figura 30: Promedio Anual horario de O_3 Estación Centro Alto Rendimiento..... 33
Figura 31: Promedio móvil anual 8 horas O_3 Estación Centro Alto Rendimiento 33
Figura 32: Promedio Anual horario de O_3 Estación Ferias..... 34
Figura 33: Promedio móvil anual 8 horas O_3 Estación Ferias. 34
Figura 34: Promedio Anual horario de O_3 Estación Usaquén. 35
Figura 35: Promedio móvil anual 8 horas O_3 Estación Usaquén. 35
Figura 36: Promedio Anual horario de O_3 Estación Suba. 35
Figura 37: Promedio móvil anual 8 horas O_3 Estación Suba. 35
Figura 38: Promedio Anual horario de O_3 Estación Guaymaral..... 36
Figura 39: Promedio móvil anual 8 horas O_3 Estación Guaymaral. 36
Figura 40: Concentración de O_3 en Bogotá 2010. 37
Figura 41: Concentración de O_3 en Bogotá 2015 37
Figura 42: Variación de Temperatura – Estación Carvajal..... 38
Figura 43: Variación de la Temperatura – Estación Kennedy..... 38
Figura 44: Variación Temperatura – Estación San Cristóbal 39
Figura 45: Variación Temperatura – Estación Puente Aranda 39
Figura 46: Variación de la Temperatura - Estación Centro de Alto Rendimiento..... 39
Figura 47: Variación de la Temperatura – Estación Ferias..... 39
Figura 48: Variación de Temperatura – Estación Suba. 39
Figura 49: Variación Temperatura – Estación Guaymaral. 39
Figura 50: Mapa Temperatura ambiente 2010..... 40
Figura 51: Mapa Temperatura ambiente 2015..... 40
Figura 52: Radiación solar – Estación San Cristóbal..... 41
Figura 53: Radiación Solar Estación Kennedy. 41
Figura 54: Radiación solar – Estación Centro Alto Rendimiento..... 42
Figura 55: Radiación solar – Estación Guaymaral 42
Figura 56: Consumo de Gas Natural en Bogotá 2006 a 2016..... 43
Figura 57: No. Vehículos Convertidos a Gas Natural. 44
Figura 58 Variación de NO_2 y O_3 con respecto al consumo de gas natural.**¡Error! Marcador no definido.**

Figura 59: Diagrama de dispersión consumo de gas natural en relación con la variación de NO_2. 46
Figura 60: Diagrama de dispersión consumo de gas natural en relación con la variación de O_3. 46

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Composición química del gas natural en Colombia 15
Tabla 2: Caracterización de Estaciones RMCAB 16
Tabla 3: Factores de Conversión. 18
Tabla 4: Niveles máximos permisibles de NO_2 y O_3 19
Tabla 5: Consumo de gas natural en Bogotá por sectores. 43
Tabla 7: Consumo de gas natural y Concentración promedio horaria. 46

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION

El cambio climático es una consecuencia de una externalidad negativa global originada por las emisiones de los Gases Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera (Galindo , Samaniego, Carbonell, Alatorre, Reyes, & Sanchez, 2015), mayoritariamente provenientes del consumo de combustibles fósiles (Alvarez C., 2016). Las emisiones de GEI tienen secuelas significativas, manifestándose en el aumento de la temperatura global, modificaciones en los patrones de precipitación, alza del nivel del mar, reducción de criosfera y modificaciones de los patrones de eventos climáticos extremos (IPCC, Panel Intergubernamental del Cambio Climatico, 2013), de esta manera se han generado impactos sobre las condiciones naturales de la atmosfera; conformada por elementos y/o compuestos gaseosos con una función específica en el sistema climático de la tierra, gases son encargados de absorber en gran parte la radiación solar emitida hacia el planeta tierra; actuando como un filtro que rige y determina el clima global en gran porcentaje. Los principales GEI son; el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el dióxido de nitrógeno (NO_2), el metano (CH_4) y el ozono (O_3) (IDEAM, 2007), los cuales encuentran en la atmosfera de forma natural y producto de las actividades antropogénicas en donde se emiten agentes contaminantes desde la superficie terrestre generando un desequilibrio en la concentración de gases propios de la atmosfera y suprimiendo la resiliencia de la misma.

Producto del interés generado por el cambio climático y el efecto invernadero, en el mundo encabezado por organizaciones internacionales y gobiernos nacionales; han venido implementando políticas públicas para la mitigación del cambio climático, generando instrumentos en busca de una mayor eficiencia en el uso de la energía más limpia y sustentable (Heres del Valle, 2015). Para el caso de Colombia; a raíz de los compromisos adquiridos a nivel mundial en los años 90´s en relación al protocolo de Kioto y Montreal respectivamente, se han implementado políticas con estrategias encaminadas al control y adaptación al cambio climático, al igual ha impulsado el programa masificación del gas natural a través de la Ley 142 de 1994[1] y el Documento CONPES 2571/1993[2]; presentado como una energía alternativa viable económicamente y ambientalmente, destacando las bajas emisiones de material particulado.

[1] La Ley 142 de 1994; define el marco legal e institucional común a los servicios públicos domiciliarios.
[2] Documento CONPES 2571/1993; Programa de masificación del consumo de gas natural.

2. PROBLEMA O PREGUNTA DE INVESTIGACION

El consumo de gas natural en la ciudad de Bogotá ha venido evolucionando a través de los últimos años, donde se ha posicionado como una de las principales fuentes de energía para sector industrial, comercial y vehicular, por lo cual este combustible ha sido promovido por el gobierno nacional y avalado por las diferentes autoridades ambientales tanto locales como nacionales debido a sus ventajas sobre otros combustibles, en cuanto al precio, transporte, almacenamiento y otras de tipo ambiental como las bajas emisiones de material particulado; agente atmosférico que genera el mayor interés para autoridades ambientales del Distrito debido a sus altas concentraciones registradas por la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá (RMCAB). Sin embargo, al gas natural no se le exime de emitir otros contaminantes atmosféricos como los óxidos de nitrógeno (NO_x); generador de contaminantes segundarios como los NO_2 y el O_3 troposférico, contaminantes que hacen parte de los gases efecto invernadero y contribuyentes del fenómeno de cambio climático, fenómenos que se pueden percibir fácilmente en Bogotá, a través del aumento de la temperatura y la variación de patrones climáticos.

De acuerdo a lo anterior se establecen una serie de interrogantes como ¿Cuál es la incidencia de la masificación y consumo del gas natural con respecto la variación de la concentración de NO_2 y O_3 en Bogotá?, ¿Qué características ha tenido el consumo de gas natural y cuales sectores son los de mayor consumo?, ¿Qué tendencia ha presentado la temperatura ambiente y la radiación solar en Bogotá y su incidencia sobre la generación de NO_2 y O_3 troposférico? Para resolver dichos cuestionamientos se pretende analizar la tendencia de los contaminantes NO_2 y O_3 medidos por la RMCAB durante los últimos 10 años estableciendo la influencia de la masificación y consumo de gas natural.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Analizar la variación de la concentración del dióxido de nitrógeno y el ozono con respecto al uso y masificación del gas natural en la ciudad de Bogotá durante los últimos 10 años.

3.2. Objetivos Específicos

- Analizar la variación de la concentración del dióxido de nitrógeno y el ozono de acuerdo al registro de la red de calidad de aire de Bogotá durante los últimos 10 años.
- Analizar la variación de factores climáticos que incidan sobre el comportamiento de la concentración del dióxido de nitrógeno y el ozono en la ciudad de Bogotá.
- Determinar la incidencia del consumo del gas natural durante los últimos 10 años con la variación de la concentración del dióxido de nitrógeno y el ozono en la ciudad de Bogotá y sus posibles impactos sobre la atmosfera.

4. MARCO TEORICO CONSEPTUAL

4.1. Óxidos de Nitrógeno NO_X

Se conocen ocho óxidos de nitrógeno distintos, pero normalmente solo tienen interés como contaminantes dos de ellos; el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2). El resto se encuentra en equilibrio con estos dos, pero en concentraciones tan extraordinariamente bajas que carecen de importancia. Se utiliza normalmente la notación NO_X para representar al NO y el NO_2 implicado en la contaminación del aire (Carnicer, 2007).

La mayor parte de los óxidos de nitrógeno se forman por la oxidación del nitrógeno atmosférico durante procesos de combustión a temperaturas elevadas. Una de las características de estos dos compuestos es que participan en la formación de los contaminantes segundarios que producen la contaminación fotoquímica. La reacción de NO con el oxígeno para dar NO_2 no se produce en la zona de combustión, debido a la inestabilidad de este a elevadas temperaturas, solo cuando la temperatura desciende por debajo de los 600 °C se empieza a formar el NO_2, aunque en cantidades muy reducidas, pues la velocidad de reacción es muy baja. Así pues, la mayor parte de los NO_X emitidos a la atmosfera lo son en la forma de NO, siendo el NO_2 fundamentalmente un contaminante de tipo secundario (Carnicer, 2007).

4.2. Dióxido de Nitrógeno NO_2

El NO_2 es un gas pardo rojizo, fuertemente toxico, cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a la oxidación del nitrógeno atmosférico en los procesos de combustión de los vehículos y fábricas, el NO_2 participa en las reacciones atmosféricas que dan lugar a la formación del ozono, contaminante secundario gaseoso que afecta pulmones y vías respiratorias (Secretaria Distrital de Ambiente, 2005).

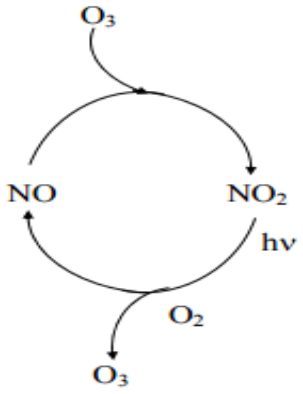
La contribución del NO_2 al aire contaminado en las ciudades es significativo, pues concentraciones relativamente bajas pueden causar efectos nocivos sobre la salud humana, suprimen el crecimiento de la vegetación y aceleran la corrosión de los metales. Las fuentes antropogénicas de los óxidos de nitrógeno están asociadas a los procesos de combustión a altas temperaturas (termoeléctricas,

refinerías de petróleo, el transporte automotor, así como al consumo doméstico de combustible) (Cuesta Santos, Toledo Villa, & Vidaillet Rodriguez, 1995).

4.2.1. Ciclo fotolitico del NO_2.

El ciclo fotolitico del NO_2 se puede resumirse en las siguientes reacciones:

$$NO_2 + h\nu \longrightarrow NO + O$$
$$O + O_2 \longrightarrow O_3 + M$$
$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2$$



La fotolisis del NO_2, mediante radiación solar (*hv*) de longitudes de onda menores de 420 nm, determina la formación de oxigeno atómico (O) y NO. El O reacciona inmediatamente con el oxígeno molecular (O_2) del aire para formar una molécula de ozono en presencia de una molécula atmosférica (M) tal como N_2 y O_2 actúan como estabilizador del proceso. El O_3 recién formado puede reaccionar rápidamente para volver a formar NO_2 y así volver a la situación de partida. La ultima reacción es clave la eliminación del O_3, Especialmente durante la noche, cuando la ausencia del fotolisis del NO_2 y el deposito seco sobre la superficie eliminan rápidamente el O_3 cuando no hay luz. En el caso de una atmosfera limpia, las concentraciones contaminadas se modifica esta relación debido a la presencia de compuestos orgánicos volátiles y la emisión de grandes cantidades de NO_X (GALLEGO PICÓ Alejandrina, 2012).

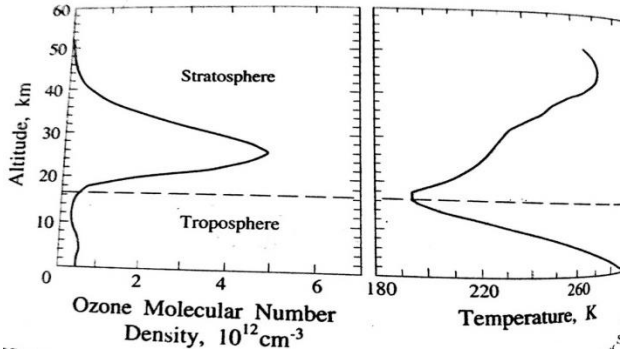
4.3. Ozono.

El ozono (O_3) es un constituyente natural de la atmósfera, pero cuando su concentración es superior a la normal se considera como un gas contaminante (Revista Ambientun, 2004). Es una sustancia que cumple dos papeles totalmente distintos según se encuentre en la estratosfera o en la troposfera;

- **Ozono estratosférico:** El que está en la estratosfera (de 10 a 50 km.) es imprescindible para que la vida se mantenga en la superficie del planeta porque absorbe las letales radiaciones ultravioletas que nos llegan del sol. (Echarri, 2007).
- **Ozono Troposférico:** El ozono que se encuentra en la tropósfera, junto a la superficie de la Tierra, es un importante contaminante secundario. El que se encuentra en la zona más cercana a la superficie se forma por reacciones inducidas por la luz solar en las que participan, principalmente, los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos presentes en el aire. Es el componente más dañino del smog fotoquímico y causa daños importantes a la salud, cuando está en concentraciones altas frena el crecimiento de las plantas y los árboles. En la parte alta de la troposfera suele entrar ozono procedente de la estratosfera, aunque su cantidad y su importancia son menores que el de la parte media y baja de la troposfera (Echarri, 2007).

  La mayor parte del ozono atmosférico de la Tierra y del ozono troposférico (alrededor del 90%) se encuentra en la estratosfera donde desempeña un papel fundamental en la absorción de la radiación ultravioleta emitida por el sol (Seinfeld, 2006).

Figura 1: Comportamiento del ozono en la atmosfera vs temperatura



Fuente: (Seinfeld, 2006) Natal Brasil 1985

Hidrocarburos + NO_2 + calor + luz solar = Ozono

Finalmente, el ozono troposférico contribuye a generar un calentamiento en la superficie de la tierra. El incremento del ozono en la baja atmósfera, al igual que del dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y los gases que contienen compuestos halogenados, considerados como gases de efecto invernadero (GEI), están generando un cambio en el balance radiactivo de la atmósfera de la Tierra entre la radiación solar entrante y la radiación infrarroja saliente. Los GEI cambian generalmente el balance absorbiendo la radiación saliente, generando un calentamiento de la superficie terrestre (IDEAM, 2005).

4.4. Gas Natural

Se conoce como gas natural la mezcla de hidrocarburos gaseoso que acompaña normalmente al petróleo líquido. El gas natural, de extensa utilización como combustible doméstico e industrial, está constituido esencialmente por metano, con menores proporciones de otros alcanos de bajo peso molecular. Su composición varía según el lugar de donde se obtenga. Algunos casos se presentan altas proporciones de dióxido de carbono (hasta un 30%), nitrógeno, sulfuro de hidrogeno y helio. Dichos gases son removidos casi en su totalidad antes de vender el gas natural para su uso como combustibles (Restrepo & Restrepo , 1998).

Tabla 1: Composición química del gas natural en Colombia

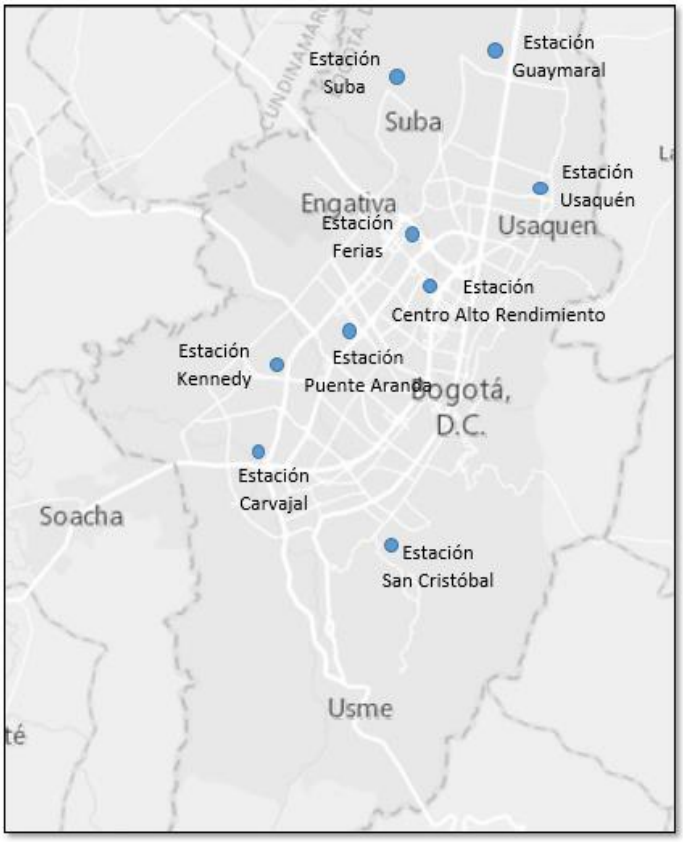
Componente	Gas asociado (Apiay)	Gas libre (Chuchupa) % Volumen
Metano	78.65	97.69
Etano	10.34	0.42
Propano	4.59	0.12
Butanos	1.96	0.07
Pentanos y más pesados	4.26	0.00
Nitrógeno	0.11	1.40
Dióxido de carbono	0.09	0.30
Total	**100.00**	**100.00**
Gravedad específica	0.7634	0.57
Poder calorífico bruto (BTU/Pie^3)	1.335.20	1.003.40

Fuente: UPME (Unidad de Planeación Minero Energética), Ministerio de Minas y Energía (MME).

4.5 Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá

La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá es la dependencia de la Secretaria Distrital de Ambiente encargada de obtener, procesar y divulgar la información para evaluar el estado de la calidad del aire en el Distrito Capital. Cuenta con 13 estaciones de medición fijas automáticas y una estación móvil las cuales reportan datos de contaminación del aire y variables meteorológicas.

Figura 2: Ubicaciones estación RMCAB



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se relacionan las estaciones de la RMCAB con respecto a los contaminantes de medición de interés para este trabajo de grado.

Tabla 2: Caracterización de Estaciones RMCAB

Estación	Tipo Zona	Tipo Estación
San Cristóbal	Urbana	Fondo
Carvajal	Urbana	Trafico - Industrial
Kennedy	Urbana	Fondo
Puente Aranda	Urbana	Industrial
Centro Alto Rendimiento	Urbana	Fondo
Ferias	Urbana	Trafico
Suba	Suburbana	Fondo
Usaquén	Urbana	Fondo
Guaymaral	Suburbana	Fondo

Fuente: Elaboración propia, con información de RMCAB

5. METODOLOGIA

La metodología asumida para el desarrollo del proyecto se realizó con base a los objetivos específicos planteados, y se estableció a través de cuatro etapas las cuales se presentan a continuación.

Figura 3: Etapas para la metodología de proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

5.1. Consulta de Información

El proyecto se inició con el proceso de consulta de información sobre los registros de NO_2, O_3, temperatura ambiente y radiación solar a través del sitio web que dispone la Secretaria Distrital de Ambiente para consulta de información de la RMCAB[3], en donde se obtuvieron datos horarios para todas las variables de análisis. Para la información sobre los consumos y demanda de gas natural en la ciudad de Bogotá, se realizó a través de diferentes entidades del sector de energía y servicios públicos del país, para lo cual se gestionó la información en cuanto los consumos regulados a través de la superintendencia de servicios públicos y el SUI[4] en donde se obtuvo los consumos de gas natural para los sectores industrial y comercial, para el consumo de GNV[5] se consultó informes especiales y periódicos de Concentra[6]

[3] RMCAB - Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá.
[4] SUI - Sistema Único de Información de Servicios Públicos.
[5]GNV – Gas Natural Vehicular.
[6] CONCENTRA, Inteligencia en Energía, es una iniciativa de las empresas del sector de Gas Natural que recopila, procesa, almacena y publica información relevante que responda a las necesidades del sector de Gas Natural en Colombia.

5.2. Ajuste de Información

Una vez obtenida la información de NO_2 y O_3, se procedió a realizar ajuste en cuanto las unidades de medida de concentración y ajustar los datos en $\mu g/m^3$ con el fin de establecer un criterio estándar en el manejo de la información (ver Tabla 3). De igual forma se realizó una validación de los datos en donde solo se contó con la información anual a aquellos años que tenían como mínimo el 75% de la información a lo largo del año lo cual se realizó con base al protocolo para el seguimiento y monitoreo de calidad de aire en donde establece el porcentaje de información perdida iguala o supera al 25% no podrán realizarse los cálculos de los valores promedio para el período de tiempo a evaluar. Datos no válidos no podrán ser ingresados en las hojas de cálculo para el tratamiento de la información (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008).

Tabla 3: Factores de Conversión.

Contaminantes	Factor de Conversión	
	PPB	$\mu g/m^3$
NO_2	1	1,879
O_3	1	1.961

Fuente: (IDEAM, 2005)

En cuanto a la información sobre el consumo demanda de gas natural se ajustó a la unidad de metros cúbicos (m^3). El consumo de GNV se obtuvo en GBTU para lo cual se realizó una conversión a una unidad de volumen con base a las características propias del gas natural[7] Colombiano.

1 GBTU ⟶ 26389,40 m^3

5.3. Evaluación de Información

Una vez ajustados los datos, se realizó un breve análisis estadístico de las variables atmosféricas de acuerdo a las necesidades del proyecto, para esto se calculó las siguientes variables; Numero

[7] El gas natural se mide en metros cúbicos normales (correspondientes a 0°C a 101.325 kPa) o en pies cúbicos estándar (correspondiente a 60°F/16°C y 14,73 psia).

de datos, Porcentaje de datos, promedio aritmético, desviación estándar, valor máximo y valor mínimo con el fin de conocer el comportamiento y la calidad de la información. Para realizar la evaluación de los contaminantes atmosféricos se tuvo en cuenta la resolución 610 de 2010 y directrices de la OMS en cuanto guías y normas de calidad de aire exterior, donde establece los niveles máximos permisible lo cuales se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4: Niveles máximos permisibles de NO_2 y O_3

Contaminante	Tiempo de Exposición	Nivel Máximo Permisible en µg/m^3	
		Resolución 610 de 2010	OMS
NO_2	Anual	100	40
	24 Horas	150	NA
	1 Hora	200	200
O_3	8 Horas	80	120
	1 Hora	120	NA

Fuente: Resolución 610 de 2010 y OMS 2016.

Para la comparación con las normas se establecieron medias móviles de acuerdo a los tiempos de exposición establecidos por la resolución 610 y la OMS, con el fin de suavizar y obtener datos estables en cuento las tendencias presentadas.

5.4. Análisis de resultados

Para el desarrollo de los análisis de resultados en primer lugar se evaluó la concentración de NO_2 y O_3 con respecto a la resolución 610/2010 y la guía de la OMS en donde se analizó las excedencias que se presentó las concentraciones de estos contaminantes, para el análisis de los factores climáticos como la temperatura y la radiación solar se tuvo en cuenta regresiones para establecer el comportamiento de cada una de las rectas. En relación del consumo de gas natural y la tendencia de NO_2 y O_3 se calculó el coeficiente de correlación y el respectivo coeficiente de determinación con el fin de establecer que tipo relación se tiene entre el consumo de gas natural y el comportamiento de los agentes atmosféricos analizados.

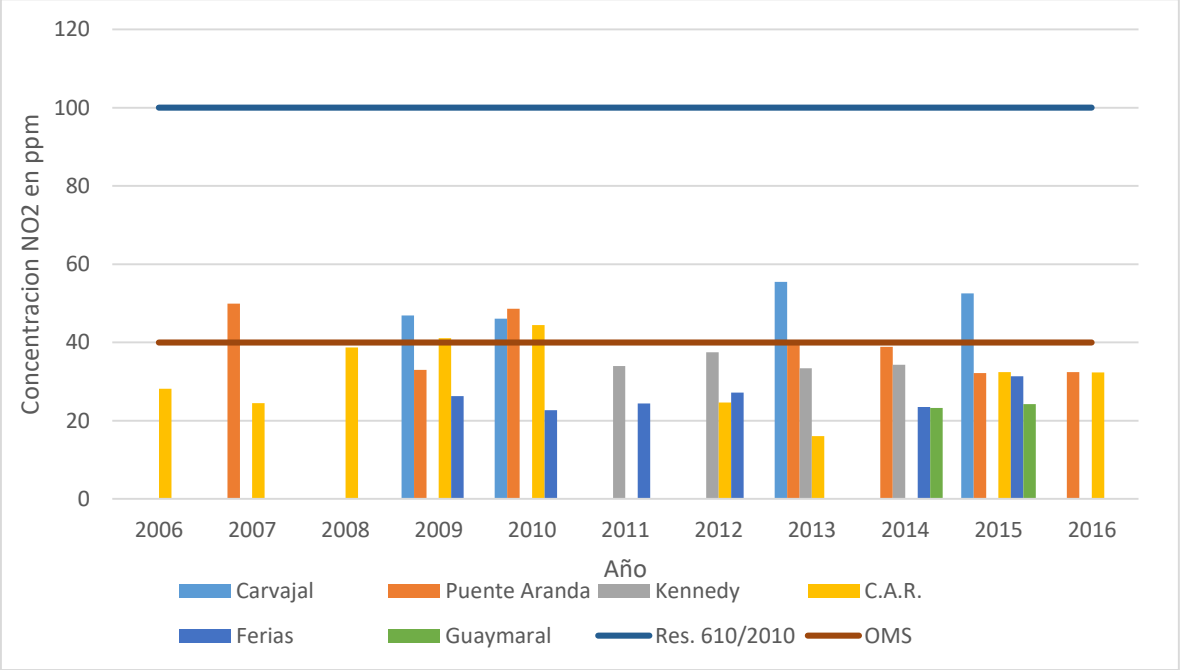
6. ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presenta los análisis de los contaminantes atmosféricos de interés, junto con las variables meteorológicas con el fin de establecer una relación con la tendencia que presenta el consumo de gas natural en la ciudad de Bogotá.

6.1. Análisis de la variación del NO_2

La ciudad de Bogotá cuenta con seis (6) estaciones para monitoreo de NO_2, en donde se puede observar en la figura 4; lo cual permite establecer un comportamiento variable del contaminante entre estaciones, de igual forma se compara con el nivel máximo permisible anual de acuerdo a la Resolución 610 de 2010 y el nivel máximo permisible establecido por la OMS; donde se puede observar que con la norma nacional no se registra ninguna excedencia, mientas con el nivel permitido de la OMS en varias ocasiones las estaciones de Puente Aranda y Centro de Alto Rendimiento superan este límite.

Figura 4: Variación de la concentración media anual horaria de NO_2 en Bogotá.



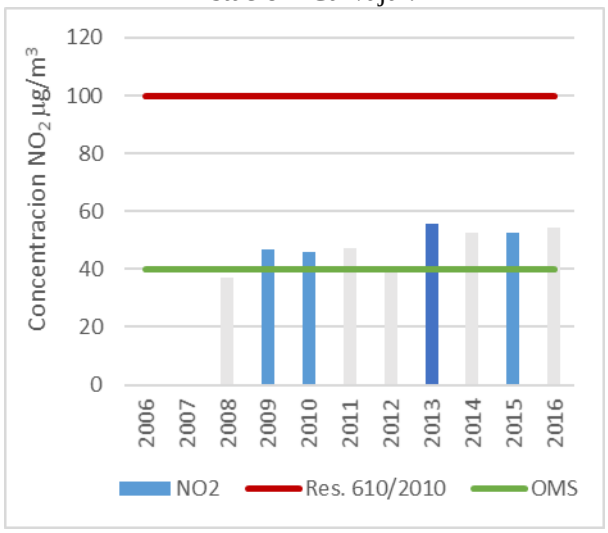
Fuente: Elaboración propia, información de la RMCAB.

6.1.1. Estación Carvajal.

De acuerdo a la información validada en la estación Carvajal; se puede observar una tendencia de aumento de la concentración de NO_2 con base a los promedios anuales; horarios y 24 horas. Este comportamiento se puede deber a la ubicación de la estación, la cual se encuentra en la localidad de Kennedy, sur occidente de Bogotá, sector en donde se presenta la mayor concentración de contaminantes, siendo la zona receptora de mayor importancia dentro del Distrito Capital.

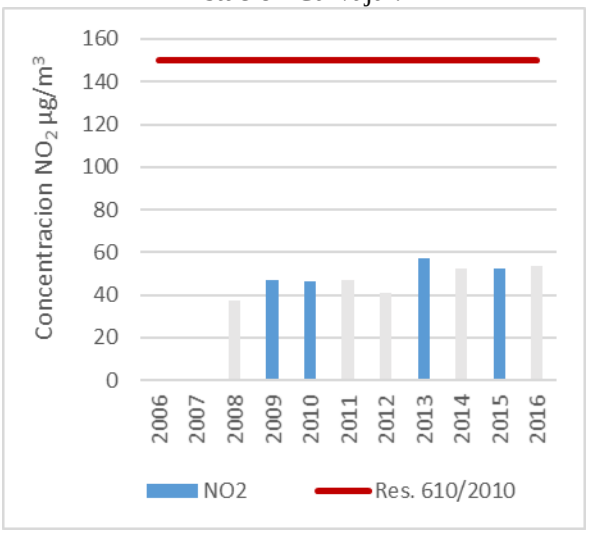
En cuanto al tema de cumplimiento de la norma nacional en el promedio anual horario (Figura 5) no presentan excedencias por encima de los 100 µg/m^3 al igual que el promedio móvil en 24 horas (Figura 6) que presenta un nivel máximo permisible de 150 µg/m^3. En relación con los estándares de la OMS si se registran excedencias por encima de los 40 µg/m^3 para el promedio anual horario.

Figura 5: Promedio Anual horario de NO_2 Estación Carvajal.



Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Figura 6: Promedio móvil anual 24 horas NO_2 Estación Carvajal.



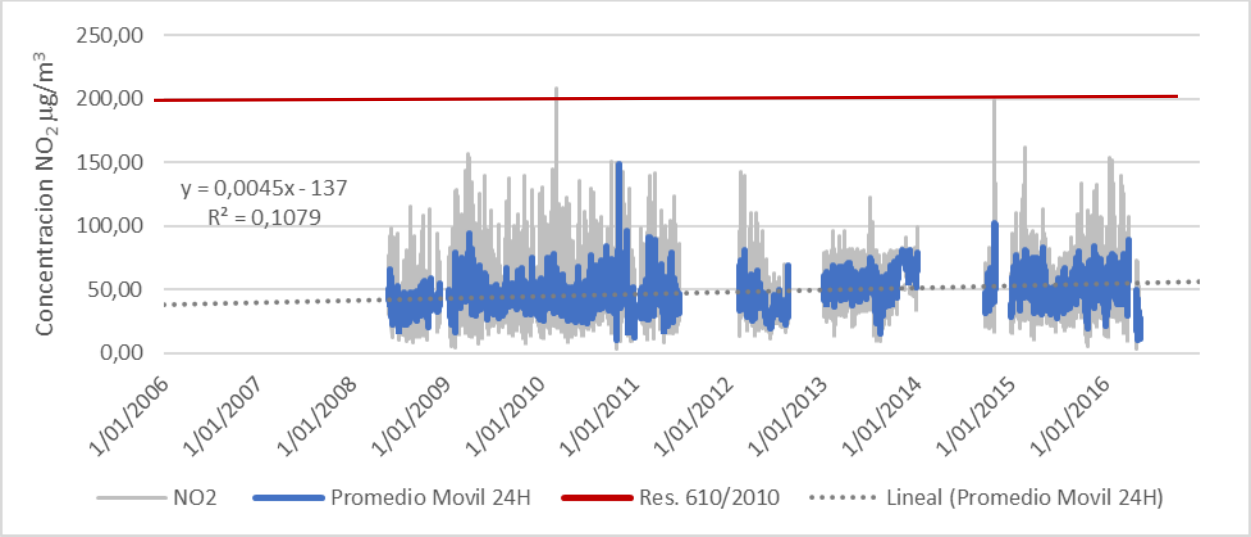
Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Nota: Las barras color azul corresponden a los años validados, porcentaje de datos en cada periodo anual es superior al 75%.

En la Figura 7, se estableció la variación de la concentración de NO_2 con respecto a los datos horarios de la estación de Carvajal, en donde se puede observar la tendencia a aumentar de acuerdo a la ecuación de la regresión presentan con respecto a la totalidad de los datos que presenta el contaminante desde el año 2008 hasta el 2016, de acuerdo a los reportes horarios de la estación. La comparación con la normatividad, tanto la resolución 610 de 2010 y la guía de la OMS

establecen un nivel permisible de 200 µg/m^3 con un tiempo de exposición de una hora, el cual solo se presentas dos eventos en donde supera este límite horario ubicados en el año 2010 y 2015.

Figura 7: Variación de la concentración de NO_2 - Estación Carvajal.

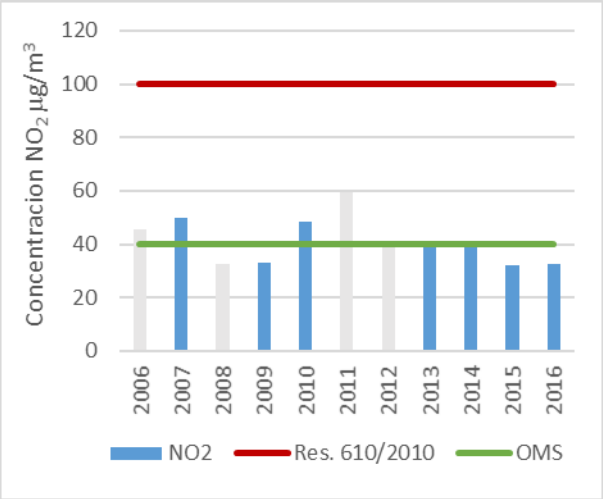


Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

6.1.2. Estación Puente Aranda.

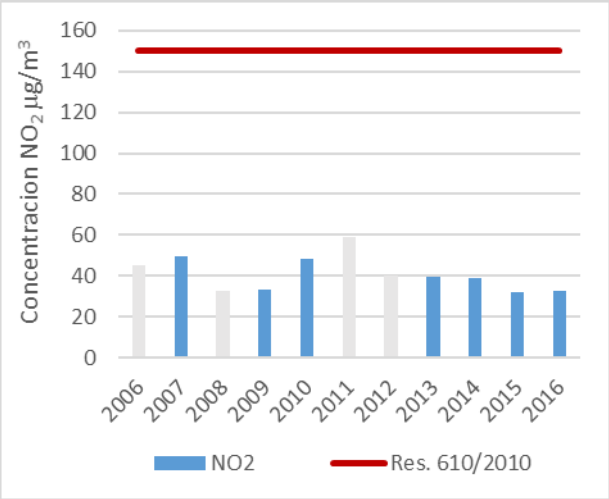
De acuerdo a los promedios anuales horarios y 24 horas, se presenta un comportamiento del NO_2 variable en donde se tiene que los años de 2007 y 2010 se registraron los promedios más altos durante los últimos 10 años, y en los años 2013 y 2016 el contaminante presenta una tendencia a bajar la concentración promedio. En cuanto la comparación con la norma nacional, no se presenta ninguna excedencia de nivel permisible, para la guía de la OMS; los años 2007 y 2010 superan los 40 µg/m^3 y los años 2013 y 2014 se encuentra sobre este límite.

Figura 8: Promedio Anual horario de NO_2 Estación Puente Aranda.



Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Figura 9: Promedio móvil anual 24 horas NO_2 Estación Puente Aranda.

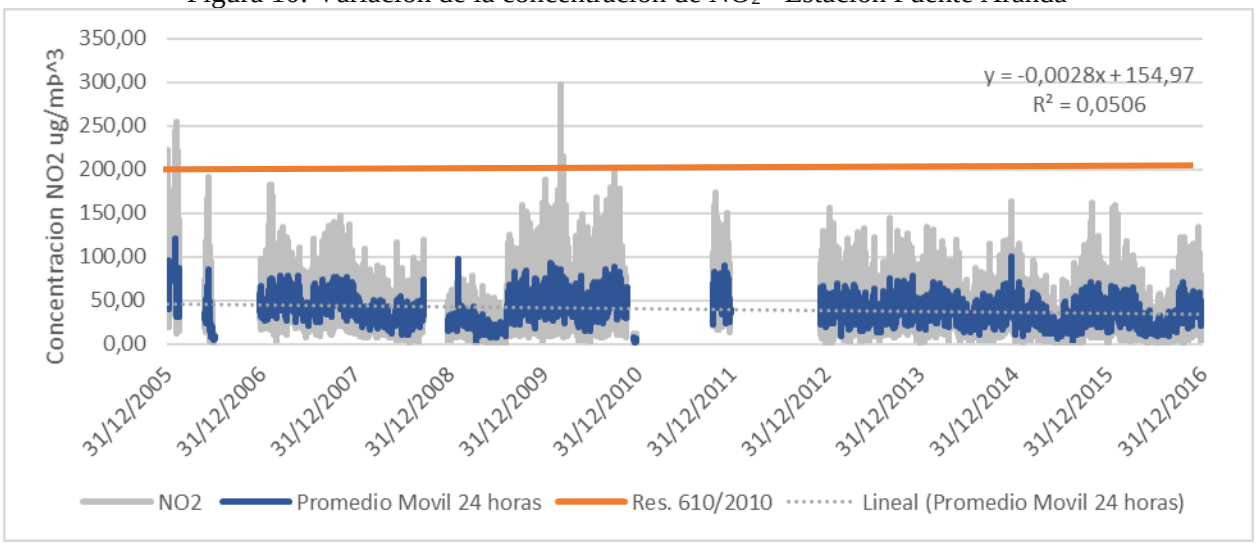


Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Nota: Las barras color azul, corresponden a los años validados, porcentaje de datos superior al 75%.

En la Figura 10 es posible observar la variabilidad del NO_2 durante los últimos diez (10) años de acuerdo a la totalidad de datos horarios registrados por la estación de Puente Aranda, en donde se puede analizar niveles altos entre los años 2009 y 2010. De igual forma se puede establecer una leve tendencia de la concentración del NO_2 a disminuir en el periodo de 10 años analizados demostrado a través de ecuación de regresión la cual presenta un coeficiente determinación débil debido a la variabilidad de los datos presentados.

Figura 10: Variación de la concentración de NO_2 - Estación Puente Aranda

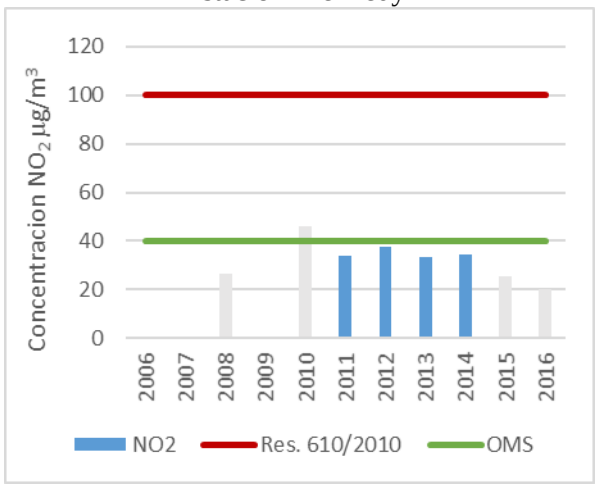


Fuente: Elaboración propia, información RMCAB

6.1.3. Estación Kennedy

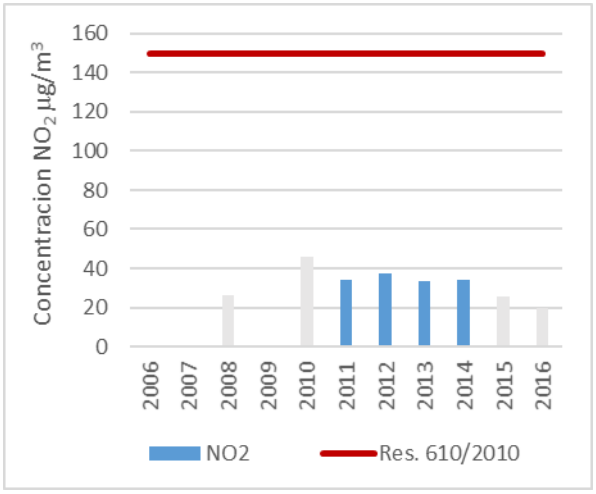
El NO_2 en la estación Kennedy se presenta estable en cuanto la concentración promedio anual horario y 24 horas, los años validados para el análisis estuvieron entre el 2011 y el 2014. Durante estos periodos las concentraciones se encuentran relativamente baja con respecto a los niveles máximos permisible de la OMS y la resolución 610 de 2010 para los dos análisis de promedio anual horario y promedio móvil anual 24 horas.

Figura 11: Promedio Anual horario de NO_2 Estación Kennedy



Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Figura 12:Promedio móvil anual 24 horas NO_2 Estación Puente Aranda

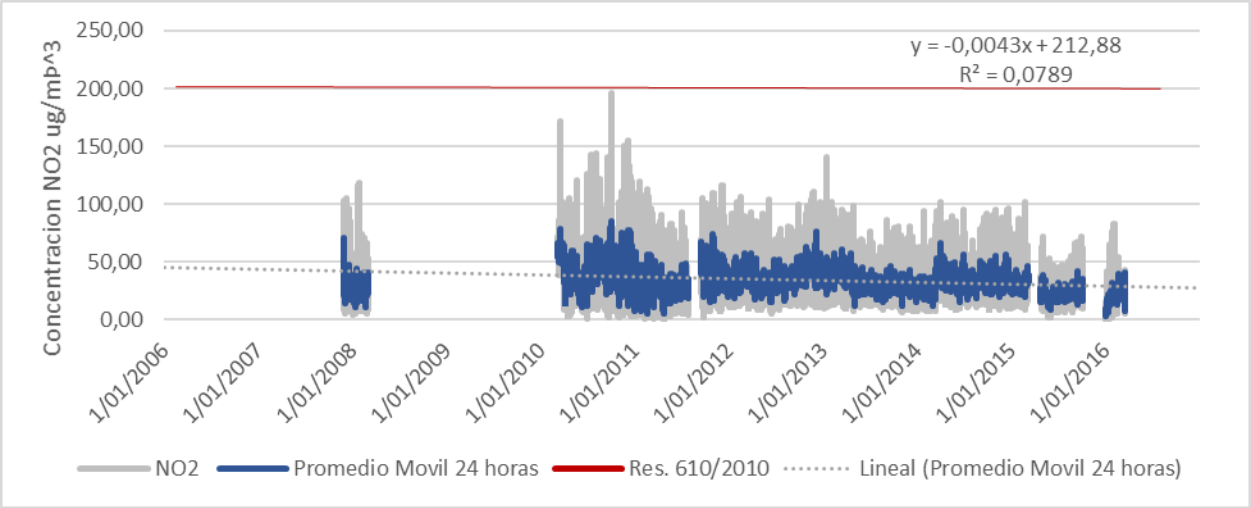


Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Nota: Las barras de color azul corresponden a los años validados, porcentaje de datos superior al 75%.

Con respecto a la totalidad de los datos registrados por la estación de Kennedy con la concentración de NO_2 se presenta una variación de este contamínate con la tendencia a disminuir la concentración, para el año 2010 se registra el nivel máximo el cual alcanza a aproximarse al nivel máximo permisible establecido por la resolución 610/2010.

Figura 13: Variación de la concentración de NO_2 - Estación Kennedy.



Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

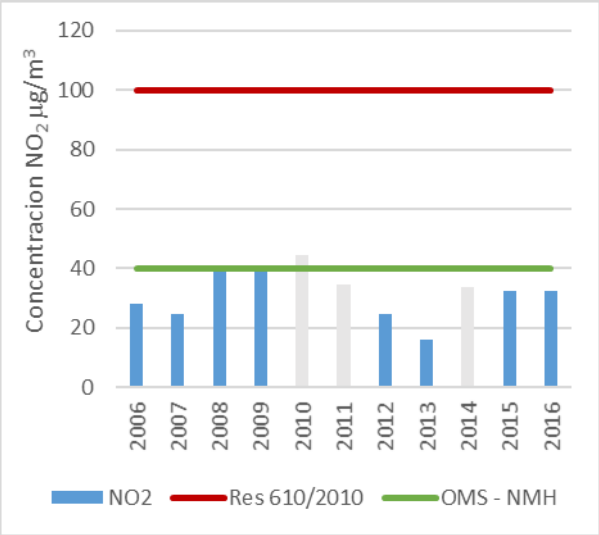
6.1.4. Estación Centro de Alto Rendimiento

En la estación de Centro de Alto Rendimiento se observa un aumento en el promedio horario y promedio móvil de la concentración NO_2 durante los años de 2006 hasta el 2010, en los años 2012 y 2013 se da una disminución, el cual vuelve a elevarse durante los dos últimos años, de acuerdo a lo anterior se tiene una variación entre el 2010 y el 2013. Con la revisión de los informes anuales expedidos por la SDA[8] en los años 2012 y 2013 la estación Centro de Alto Rendimiento o llamada en ese periodo Simón Bolívar se registraron el promedio anual más bajos.

En relación con el cumplimiento de la norma nacional y guía de la OMS se presenta un cumplimiento en la primera, pero a nivel internacional entre los años 2008 y 2010 supera dicho límite de la concentración anual de NO_2.

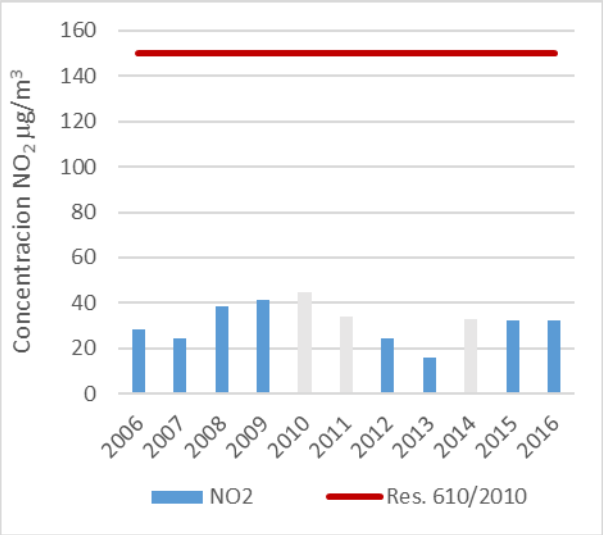
[8] Secretaria Distrital de Ambiente

Figura 14: Promedio Anual horario de NO_2 Estación Centro Alto Rendimiento.



Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Figura 15: Promedio móvil anual 24 horas NO_2 Estación Centro Alto Rendimiento.

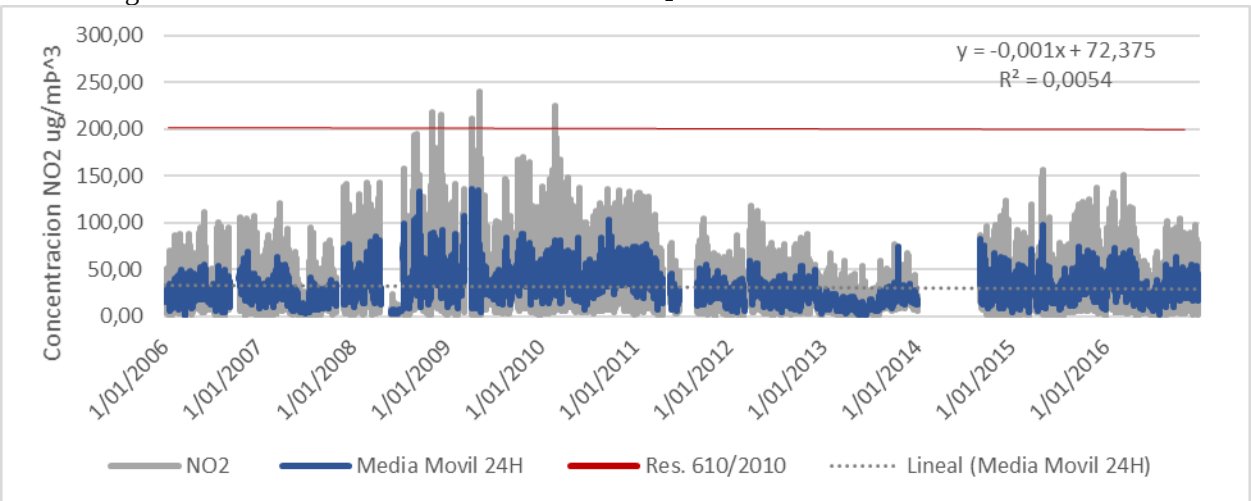


Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Nota: Las barras color azul corresponden a los años validados, porcentaje de datos superior al 75%.

En la Figura 16 se presenta la variación de la concentración de NO_2 de la información en horas durante los últimos 10 años. Se observa un comportamiento variable en cada uno de los periodos anuales, para el periodo de 2008 y 2010 se supera los 200 $\mu g/m^3$ que se tiene establecido como nivel máximo de permisible por la resolución 610 de 2010. Entre los años 2014 y 2015 se evidencia un aumento en la concentración de este contaminante, finalizando con una disminución durante el 2016.

Figura 16: Variación de la concentración de NO_2 - Estación Centro de Alto Rendimiento.

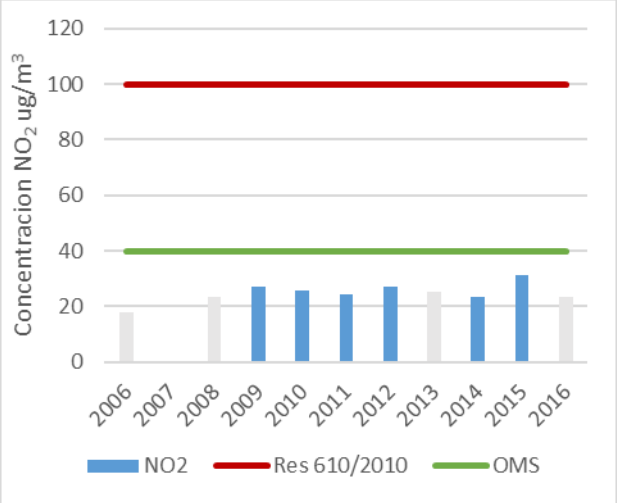


Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

6.1.5. Estación Ferias.

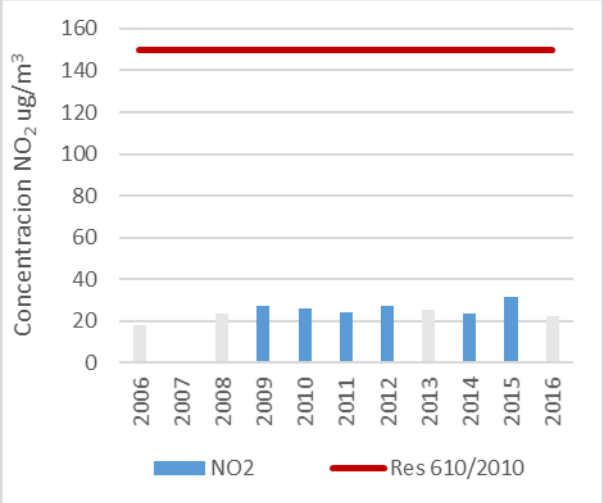
El NO_2 presenta un comportamiento con una leve variación con tendencia a aumentar la concentración en la estación de las ferias, se observa que el promedio más alto se encuentra sobre el año 2015. A diferencia de otras estaciones, en ninguno de los periodos analizados no supera los niveles permisibles tanto en tiempo de exposición de promedio anual horario como de 24 horas.

Figura 17: Promedio Anual horario de NO_2 Estación Ferias.



Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Figura 18: Promedio móvil anual 24 horas NO_2 Estación Centro Alto Rendimiento.

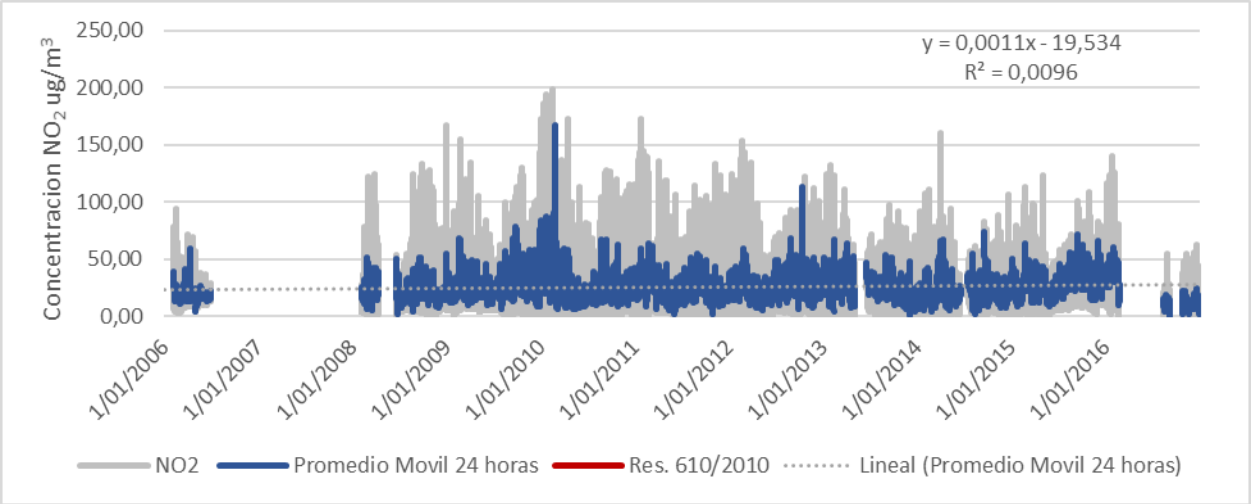


Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Nota: Las barras corresponden a los años validados, porcentaje de datos superior al 75%.

Con base a la totalidad de los datos horarios se observa en la Figura 19 el comportamiento que ha tenido el NO_2 el cual se ha mantenido variable, en donde las máximas concentraciones no superan los 200 $\mu g/m^3$ cuyo valor es el nivel máximo horario establecido por la norma nacional. Se puede observar en la ecuación de regresión

Figura 19: Variación de la concentración de NO_2 Ferias.

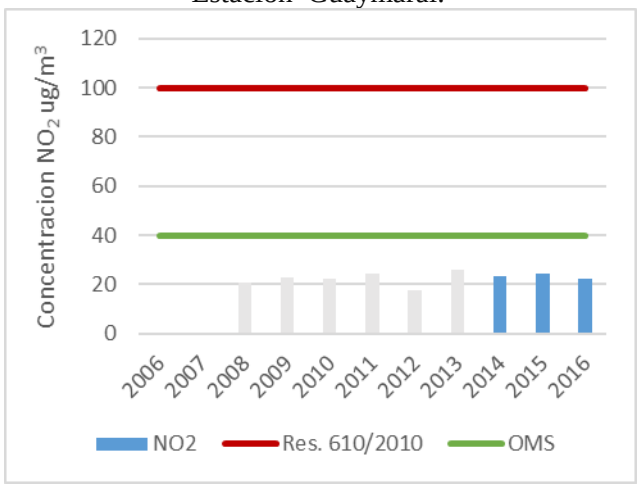


Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

6.1.6. Estación Guaymaral.

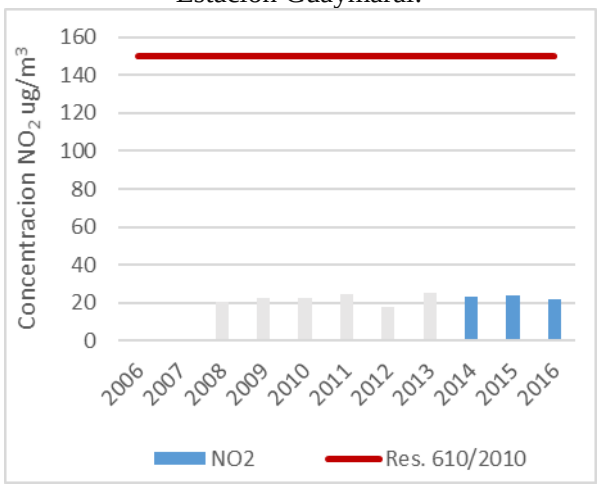
Para esta estación solo fueron validos los años 2014, 2015 y 2016 debido al porcentaje de datos de los otros años que no superaban el 75% de cobertura de cada periodo anual, de igual forma se tiene en cuenta esta información para conocer el comportamiento del NO_2 en la zona norte de la ciudad. La concentración de este contaminante se comportó de manera similar en la que cada promedio anual horario y de 24 horas.

Figura 20: Promedio Anual horario de NO_2 Estación Guaymaral.



Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Figura 21: Promedio móvil anual 24 horas NO_2 Estación Guaymaral.

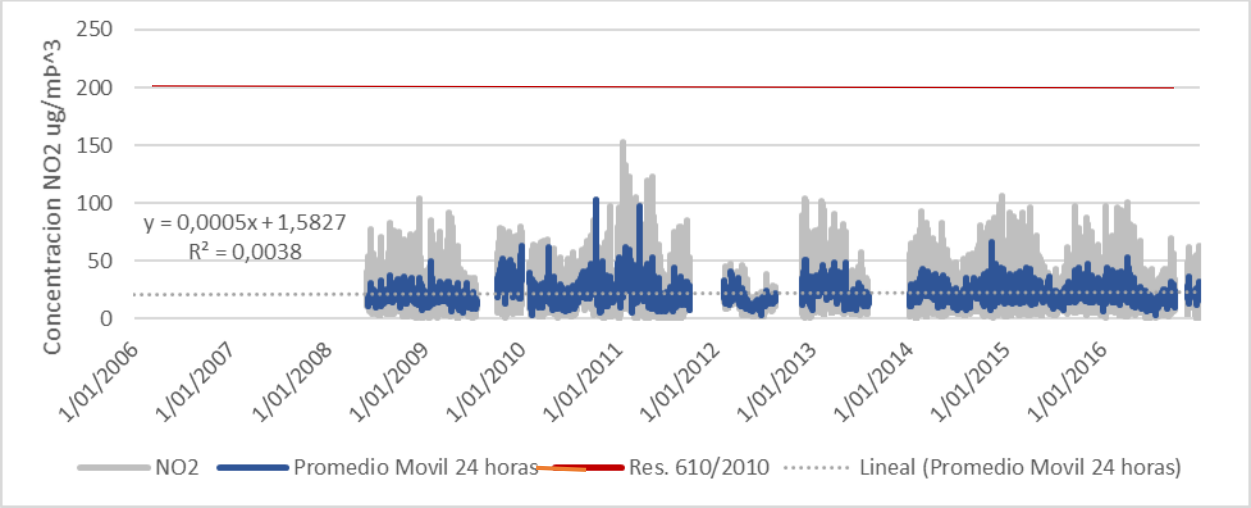


Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Nota: Las barras de color azul corresponden a los años validados, porcentaje de datos superior al 75%.

En la figura 22 se establece la variación del NO_2 en las concentraciones horarias registradas por la estación Guaymaral. Al igual que lo promedio anuales horario y 24 horas, las concentraciones reportadas por la estación no superar el nivel permisible de la resolución 610 de 2010, en donde la concentración más alta se da en el año 2010 con 150 µg/m^3 aproximadamente.

Figura 22: Variación de la concentración de NO_2 Guaymaral.

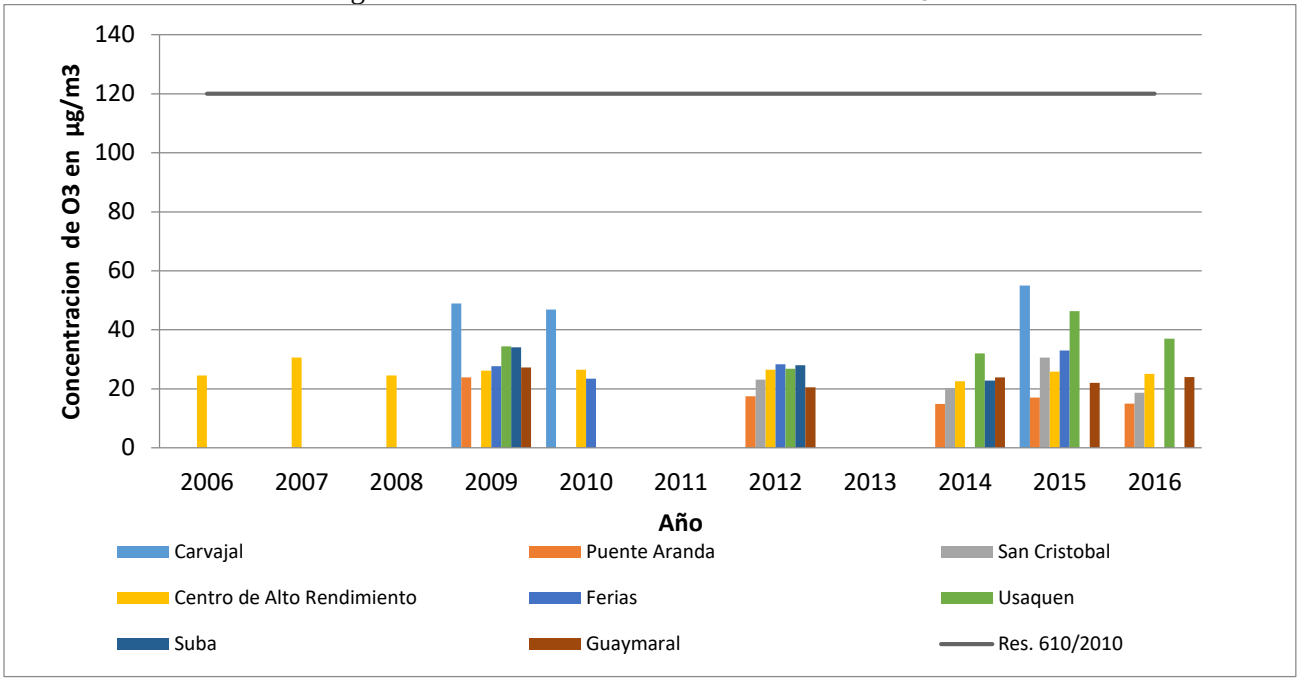


Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

6.2. Análisis de O_3

El ozono en todas las estaciones analizadas presento en bajas concentraciones y en ninguna superó los niveles máximos permisibles tanto de la norma nacional como Los niveles establecidos por la OMS. Este contaminante presentó una tendencia estable en cuento el análisis del promedio horario y los promedios móviles de 8 horas. Las estaciones con niveles mayores en cuanto la concentración media de 1 hora y concentración media móvil de 8 horas fueron Feria y Usaquén, estaciones ubicadas hacia nor-occidente de Bogotá.

Figura 23: Concentración media anual 1 hora de O_3

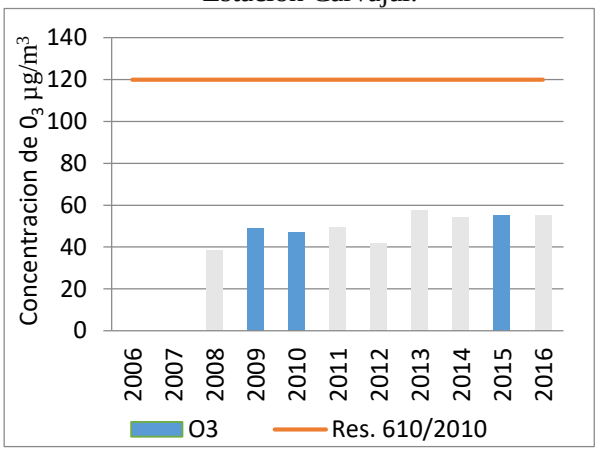


Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

6.2.1. Estación Carvajal.

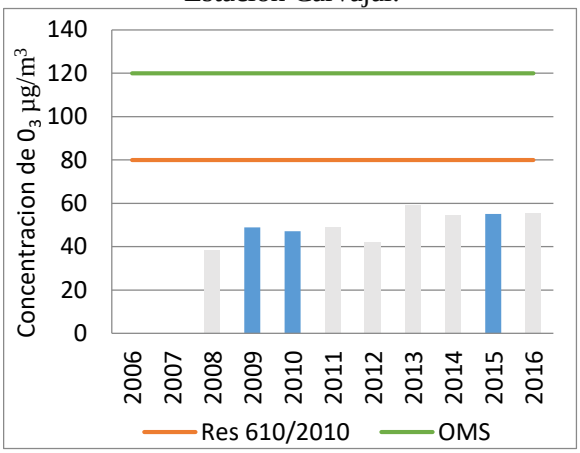
La estación Carvajal presentó las concentraciones medias en 1 hora y 8 horas más altos en los años 2007 y 2008 los cuales apenas superaron los 20 µg/m^3, el resto de años se mantuvieron por entre 15 y 20 µg/m^3 aproximadamente. En cuanto la comparación con las normas nacionales e internacionales, los niveles cumplen de acuerdo a las bajas concentraciones que presento durante los 10 años analizados.

Figura 24: Promedio Anual horario de O_3 Estación Carvajal.



Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Figura 25: Promedio móvil anual 8 horas O_3 Estación Carvajal.



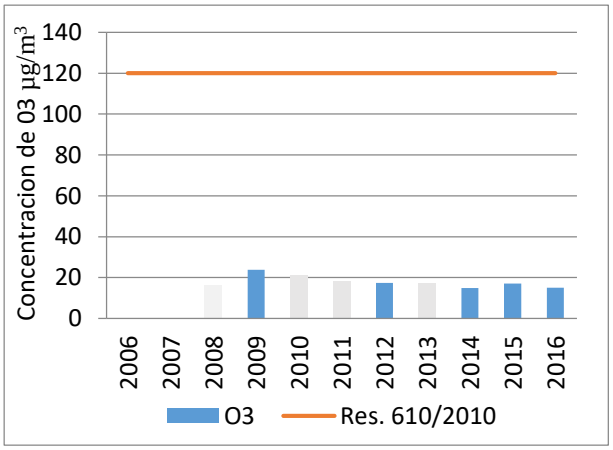
Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Nota: Las barras de color azul corresponden a los años validados, porcentaje de datos superior al 75%.

6.2.2. Estación Puente Aranda.

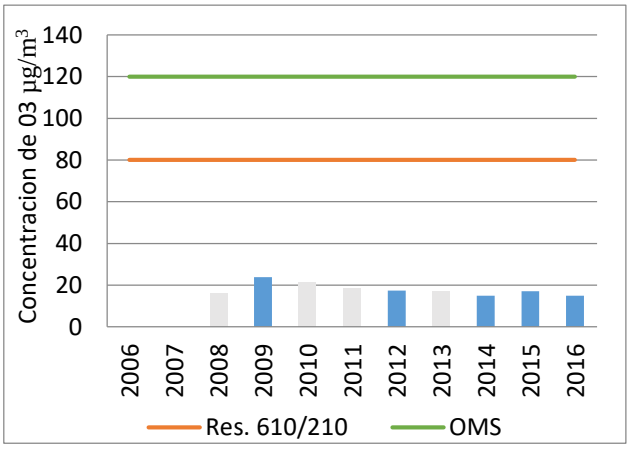
La concentración media en 1 hora y media móvil 8 horas en la estación de puente Aranda presenta unos niveles bajos en la relación con los niveles máximos permisibles fijados por la resolución 610 de 2010 y la guía de la OMS, estos niveles no sobre pasan los 20 µg/m^3, salvo el año 2009 que apenas supera los 20 µg/m^3.

Figura 26: Promedio Anual horario de O_3 Estación Puente Aranda.



Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Figura 27: Promedio móvil anual 8 horas O_3 Estación Puente Aranda.



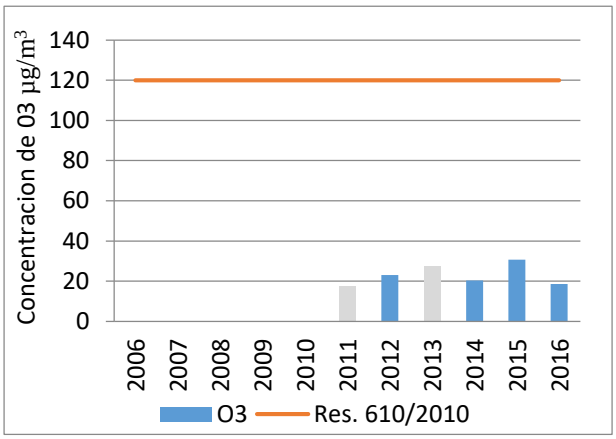
Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Nota: Las barras de color azul corresponden a los años validados, porcentaje de datos superior al 75%.

6.2.3. Estación San Cristóbal.

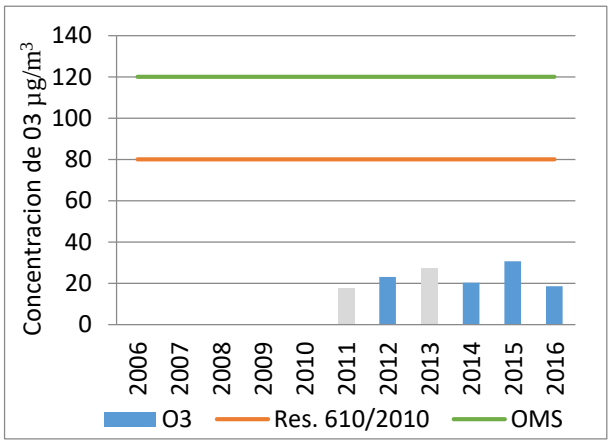
La estación San Cristóbal ubicada al sur oriente de la ciudad, cuenta con datos partir de año 2010, en donde solo se cuentan para el análisis de este estudio los años 2012, 2014, 2015 y 2016 de acuerdo a que la perdida de información no supera el 25 %. En relación con el comportamiento del contaminante se tiene que el año 2015 fue el que presento el nivel más alto sobrepasando los 20 µg/m^3, en ninguno de los promedios horario y de 8 horas presentan excedencias sobre la norma nacional y la guía de la OMS.

Figura 28: Promedio Anual horario de O_3 Estación San Cristóbal.



Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Figura 29: Promedio móvil anual 8 horas O_3 Estación San Cristóbal.



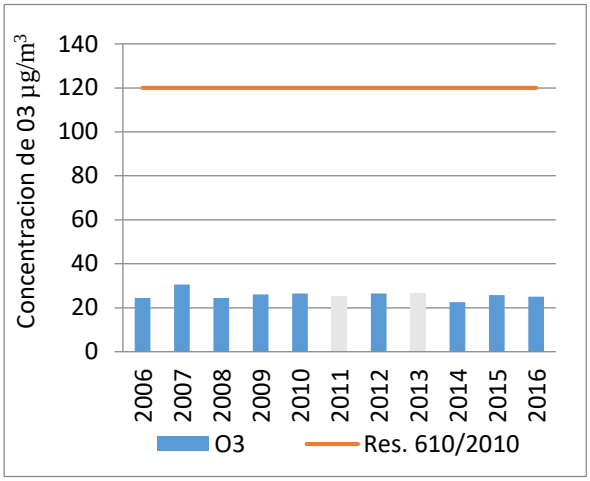
Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Nota: Las barras color azul corresponden a los años validados, porcentaje de datos superior al 75%.

6.2.4. Estación Centro de Alto Rendimiento.

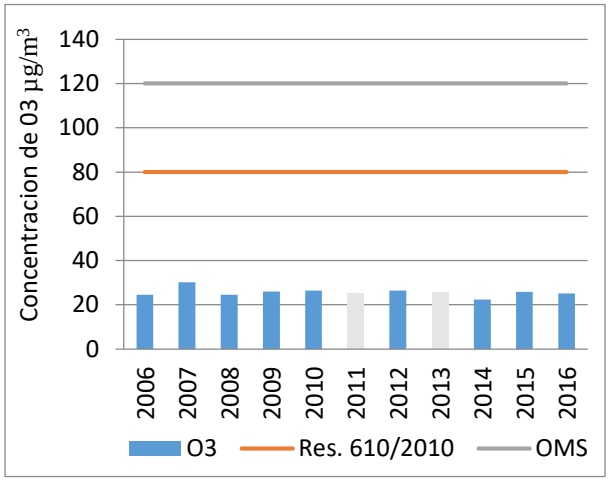
Esta estación cuenta con un porcentaje alto de datos horarios por año en donde las concentraciones medias de 1 hora y 8 horas; presentan un comportamiento con una variación leve, en donde el ozono se mantiene estable bajo una concentración alrededor de los 20 µg/m^3.

Figura 30: Promedio Anual horario de O_3
Estación Centro Alto Rendimiento



Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Figura 31: Promedio móvil anual 8 horas O_3
Estación Centro Alto Rendimiento



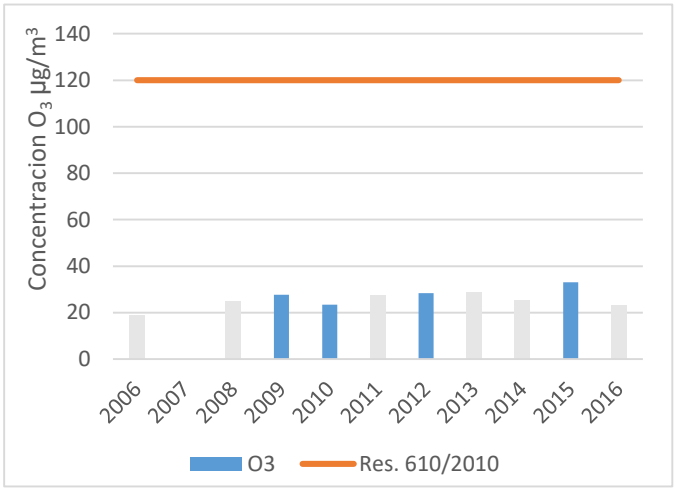
Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Nota: Las barras color azul corresponden a los años validados, porcentaje de datos superior al 75%.

6.2.5. Estación Ferias

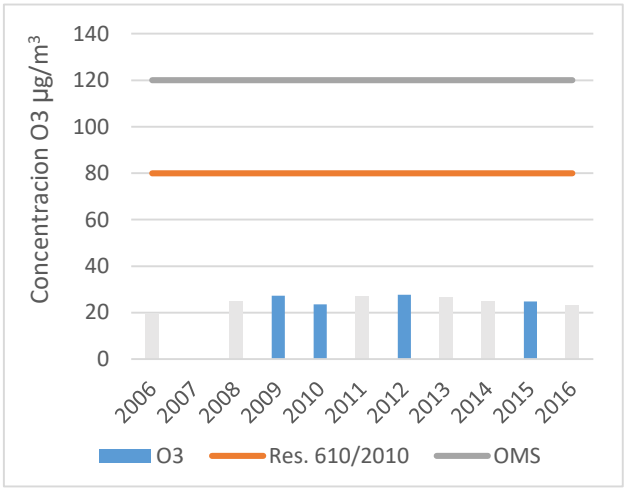
En la estación ferias se presentan uno de los niveles más alto en la concentración media de ozono en relación con las otras estaciones, sin exceder los niveles permitidos de la resolución 610 de 2010 y la guía a nivel mundial planteado por la OMS. En cuanto las tendencias presentan un leve aumento para el año 2015 con respecto al año 2009 y 2010.

Figura 32: Promedio Anual horario de O_3 Estación Ferias.



Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Figura 33: Promedio móvil anual 8 horas O_3 Estación Ferias.



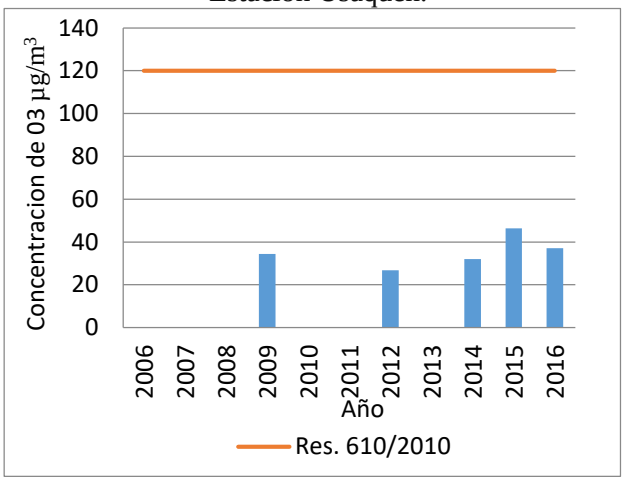
Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Nota: Las barras color azul corresponden a los años validados, porcentaje de datos superior al 75%.

6.2.6. Estación Usaquén.

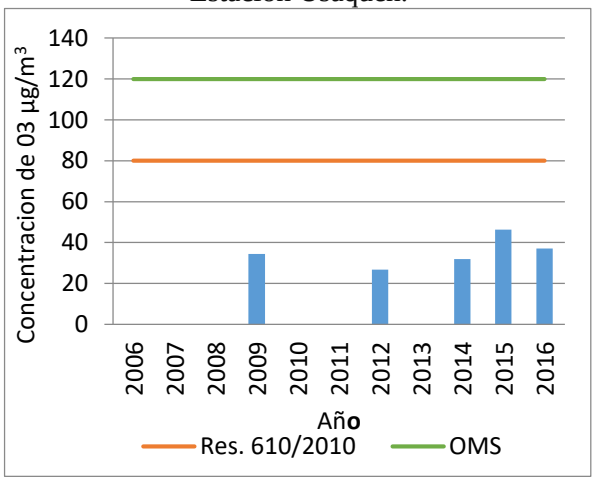
En esta estación se dan los promedios horarios y 8 horas más altos de todas las estaciones ubicadas al largo de Bogotá, junto con la estación de ferias, las cuales se encuentran ubicadas hacia el sector nor-occidental de la ciudad, lo cual se infiere sobre una posible dispersión de este contaminante hacia esta zona de Bogotá. En la relación a la tendencia se nota un aumento en la concentración en los últimos 4 años. El nivel de concentración media de una hora y 8 horas con mayor representatividad se presenta sobre el año 2015 el cual supera los 40 µg/m^3.

Figura 34: Promedio Anual horario de O_3 Estación Usaquén.



Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Figura 35: Promedio móvil anual 8 horas O_3 Estación Usaquén.



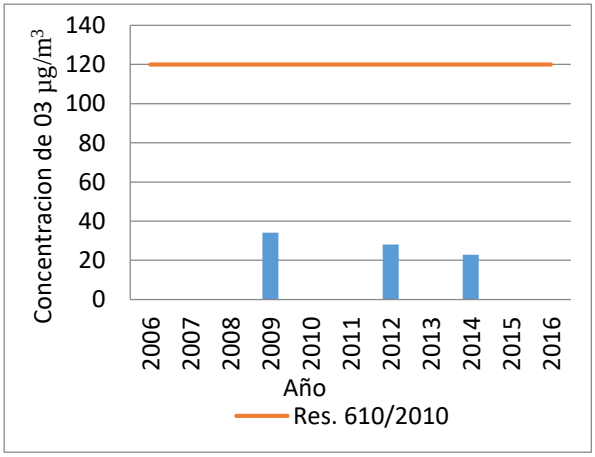
Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Nota: Las barras corresponden a los años validados, porcentaje de datos superior al 75%.

6.2.7. Estación Suba.

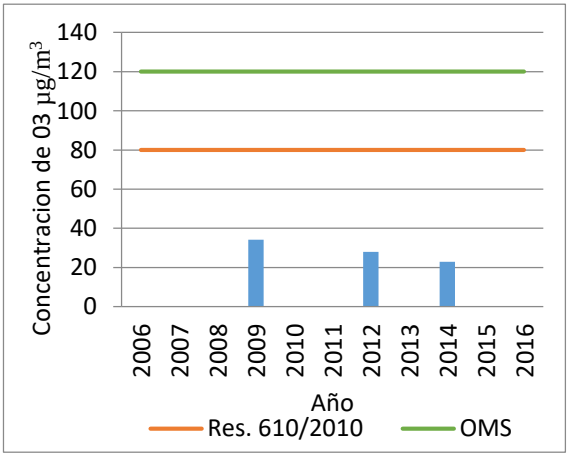
La estación de Suba ubicada hacia el nor oriente de Bogotá, presenta niveles bajos en la concentración media de una hora y 8 horas, con relación a las estaciones de Ferias y Usaquén, para esta estación presenta una tendencia a disminuir de acuerdo a los datos anuales validados en donde su máximo promedio anual tanto en una como de 8 horas se da en el año 2009 el cual está alrededor de los 30 µg/m^3.

Figura 36: Promedio Anual horario de O_3 Estación Suba.



Fuente: Elaboración propia, información RMCAB

Figura 37: Promedio móvil anual 8 horas O_3 Estación Suba.



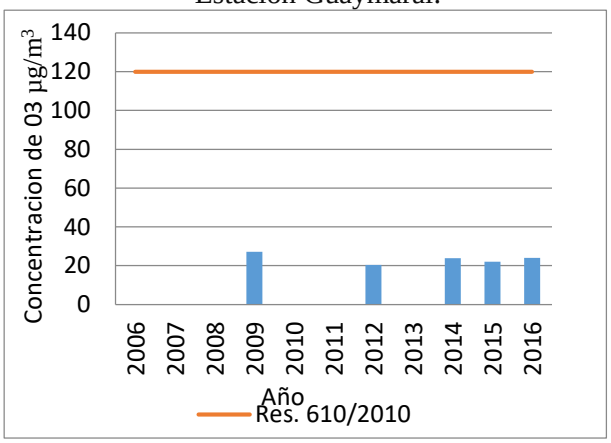
Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Nota: Las barras corresponden a los años validados, porcentaje de datos superior al 75%.

6.2.8. Estación Guaymaral

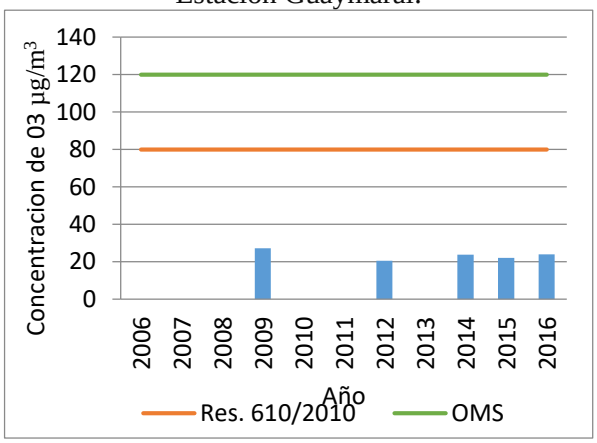
El ozono en la estación Guaymaral se mantiene estable en los últimos 4 años, en donde el promedio de 1 hora y 8 horas se encuentra sobre los 20 µg/m^3, lo que en relación con los niveles máximo fijados por la norma nacional e internacional se encuentra bajos y no representan ningún peligro para la salud de los habitantes de esta zona de la ciudad. En cuanto la relación con otras estaciones ubicada hacia el norte, presenta un comportamiento similar a la estación de suba la cual es la más cercana.

Figura 38: Promedio Anual horario de O_3 Estación Guaymaral.



Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Figura 39: Promedio móvil anual 8 horas O_3 Estación Guaymaral.

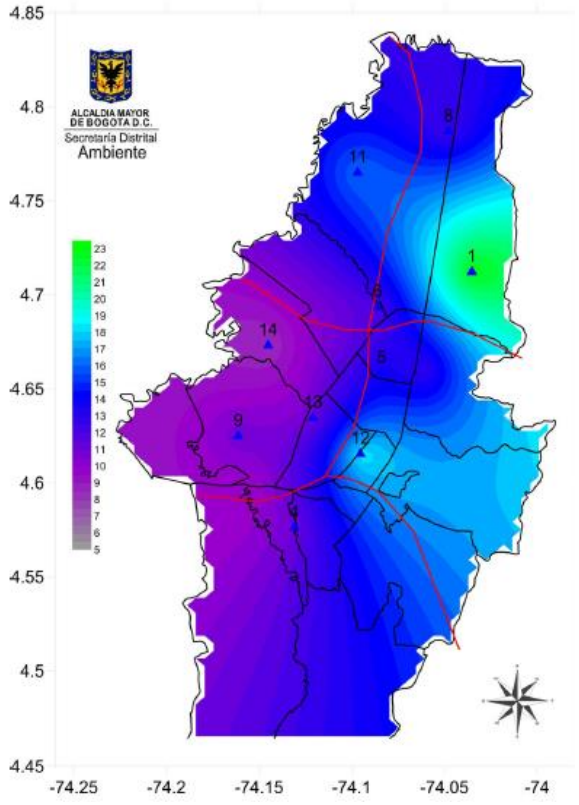


Fuente: Elaboración propia, información RMCAB.

Nota: Las barras corresponden a los años validados, porcentaje de datos superior al 75%.

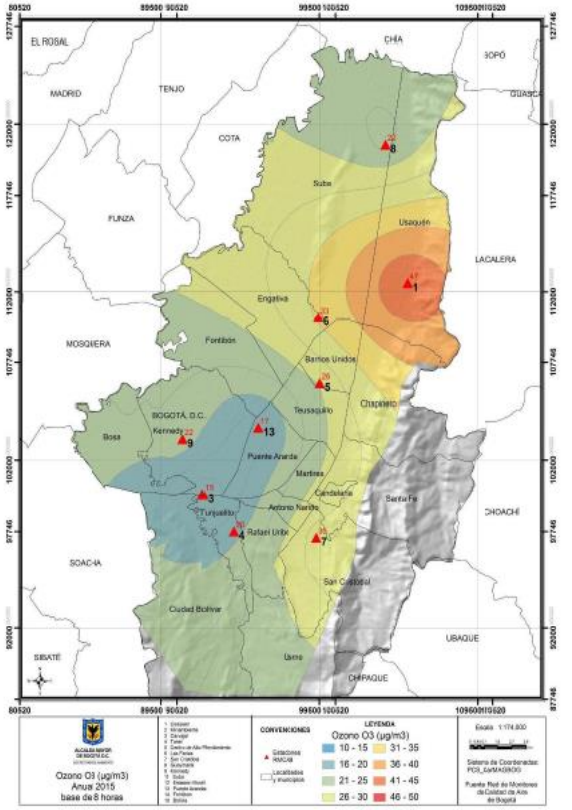
En las figuras 40 y 41 se presentan el comportamiento del ozono en la ciudad de Bogotá, establecidos por la SDA en los informes anuales. En donde se puede observar que la estación Usaquén registra las mayores concentraciones de O_3 en toda la ciudad, lo cual confirma los análisis anteriormente realizados en cuanto los reportes de cada estación. A diferencia de las tendencias registradas en los contaminantes, NO2, SO2 y CO, las concentraciones de ozono tienden a ser más altas en las estaciones localizadas en la zona norte de la ciudad, lo cual puede deberse a su naturaleza como contaminante secundario, formado a partir de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de radiación solar (Secretaria Distrital de Ambiente, 2015).

Figura 40: Concentración de O_3 en Bogotá 2010.



Fuente: RMCAB informe 2010

Figura 41: Concentración de O_3 en Bogotá 2015



Fuente: RMCAB informe 2015

6.3. Variación Temperatura en Bogotá

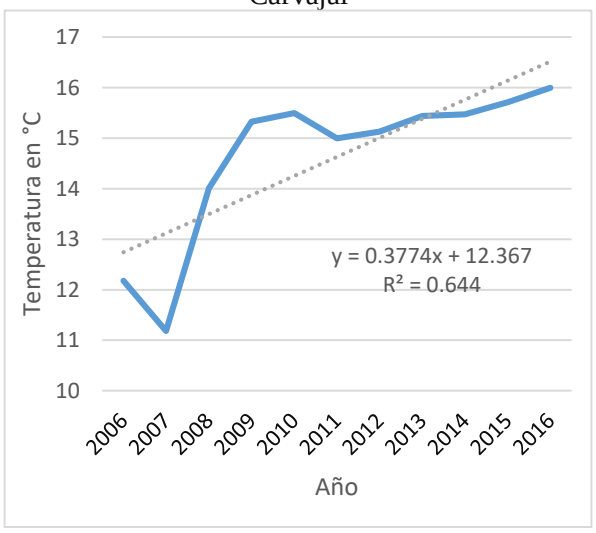
Las tendencias de NO_2 y el O_3 evaluadas anteriormente son una clara evidencia de la presencia de estos contaminantes en la atmosfera de la ciudad de Bogotá, estos gases son clasificados como GEI, debido a las consecuencias que presentan sobre las condiciones físicas y químicas de la atmosfera, como por ejemplo en el aumento de la temperatura, la cual ha sido percibida a través de la sensación térmica de cada persona que habita en Bogotá.

En las siguiente graficas se presenta la variación de la temperatura media anual en los últimos 10 años, registrada por siete (7) estaciones de la RMCAB las cuales fueron igualmente analizadas con respecto a las concentraciones de NO_2 y O_3. De acuerdo a esto se puede observar el notable aumento de temperatura que ha tenido la ciudad de Bogotá desde el año 2006. En la estación Carvajal (Figura 42) se evidencia un fuerte aumento entre el año 2006 y el año 2009 de 3°C aproximadamente, otra estación que se puede demostrar el aumento de la temperatura es en la

estación suba; la cual para el año 2006 se encuentra su media anual en 12,6°C y ya para el año 2016 la media anual se aproxima sobre los 15°C, con respecto a las otras estaciones evaluadas presenta un comportamiento homogéneo en cuento su tendencia en donde la variación se encuentra entre los 14 y 15 °C durante los periodos analizados, una tendencia similar se puede evidenciar en la Figura 43 que establece la variación de la temperatura en la estación Kennedy entre el año 2008 y el 2016 lo cual se puede observar en su pendiente de la ecuación lineal y el coeficiente de determinación .

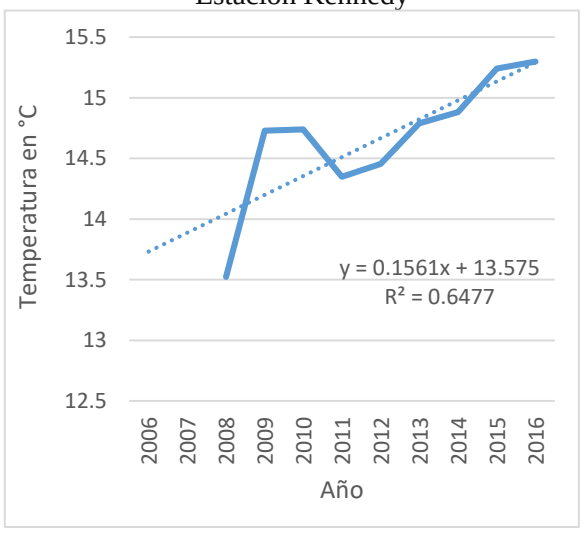
En las estaciones de San Cristóbal y Puente Aranda (Figura 44 y Figura 45), se da una variación fuerte de la temperatura media anual, la cuales presentan una pendiente negativa en su cálculo de la tendencia lineal, sin embargo si se observa la temperatura inicial en ambas estaciones y se compara con la temperatura final en el año 2016 es notorio el aumento. en las estaciones Centro de Alto Rendimiento y Ferias ubicadas hacia nor-occidente y norte dela ciudad la temperatura presente un leve aumento de aproximadamente de un grado Celsius

Figura 42: Variación de Temperatura – Estación Carvajal



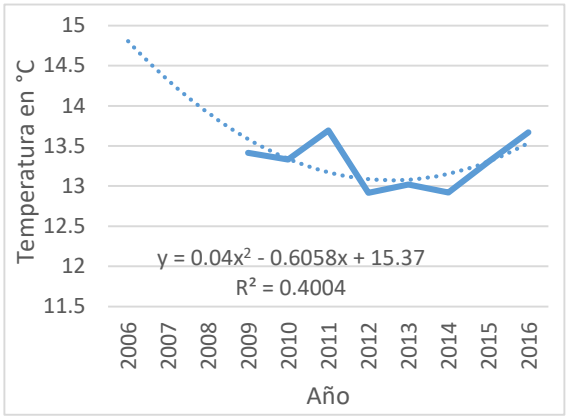
Fuente: RMCAB

Figura 43: Variación de la Temperatura – Estación Kennedy



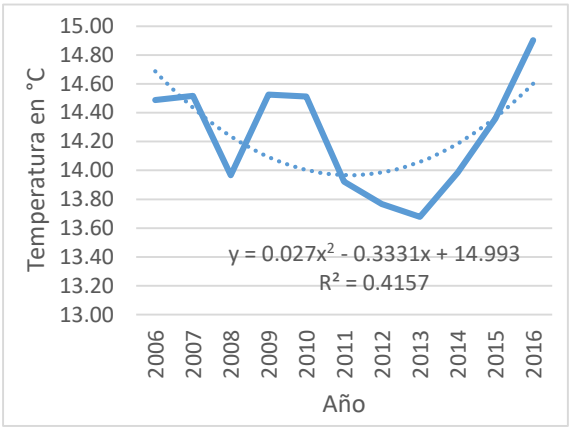
Fuente: RMCAB

Figura 44: Variación Temperatura – Estación San Cristóbal



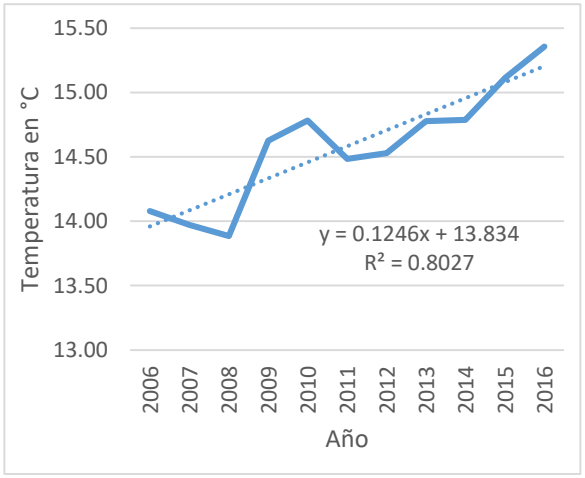
Fuente: RMCAB

Figura 45: Variación Temperatura – Estación Puente Aranda



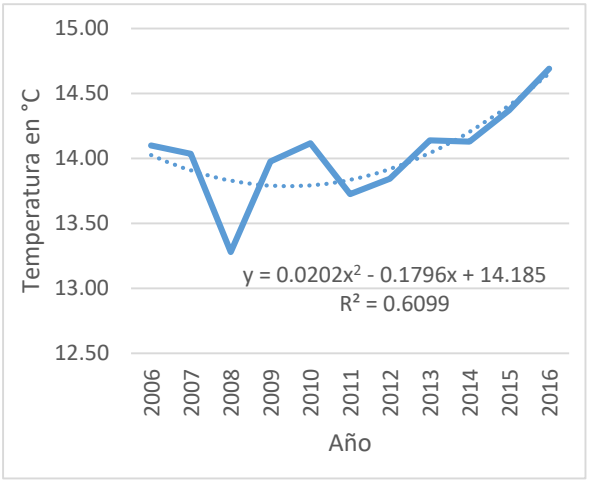
Fuente: RMCAB

Figura 46: Variación de la Temperatura - Estación Centro de Alto Rendimiento



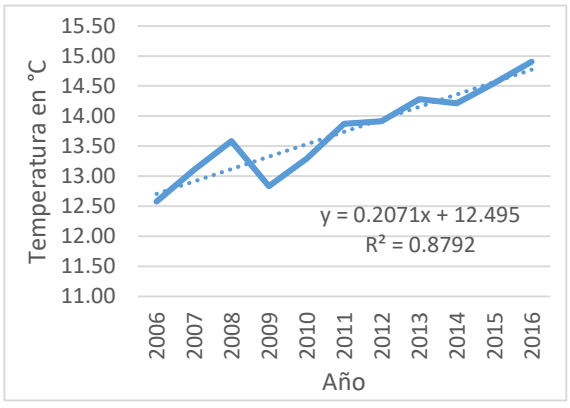
Fuente: RMCAB

Figura 47: Variación de la Temperatura – Estación Ferias



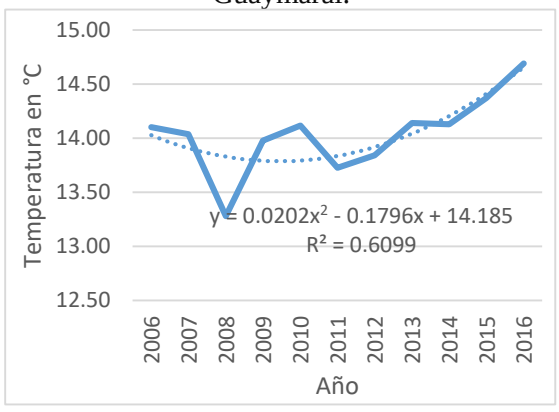
Fuente: RMCAB

Figura 48: Variación de Temperatura – Estación Suba.



Fuente: RMCAB

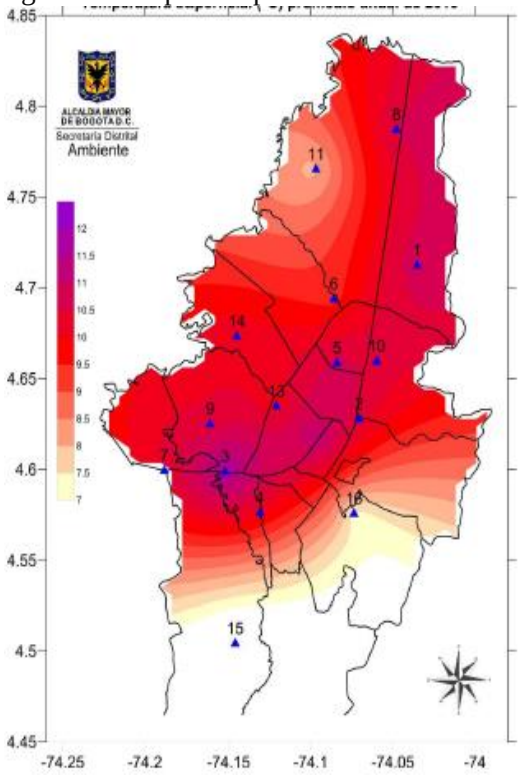
Figura 49: Variación Temperatura – Estación Guaymaral.



Fuente: RMCAB

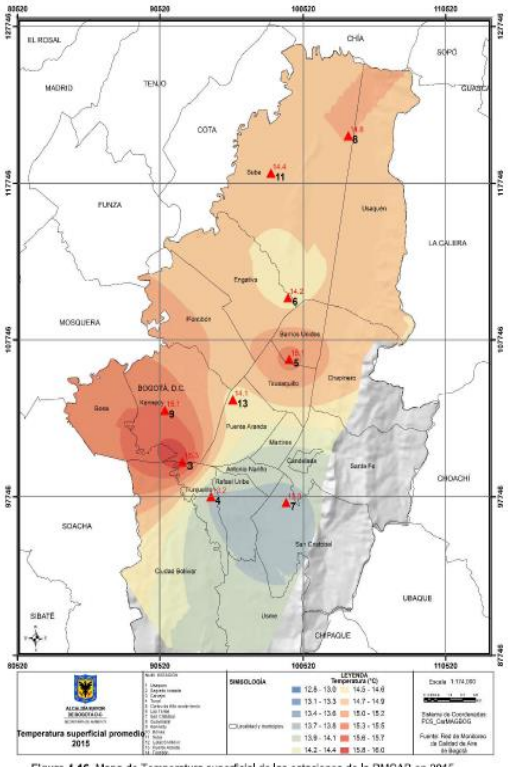
En las siguientes figuras se presentan los mapas de temperatura ambiente para los años 2010 y 2015 los cuales fueron elaborador por la SDA y presentados en los informes anuales de calidad de aire en los respectivos años, en estos más se puede observar

Figura 50: Mapa Temperatura ambiente 2010



Fuente: RMCAB informe 2010

Figura 51: Mapa Temperatura ambiente 2015



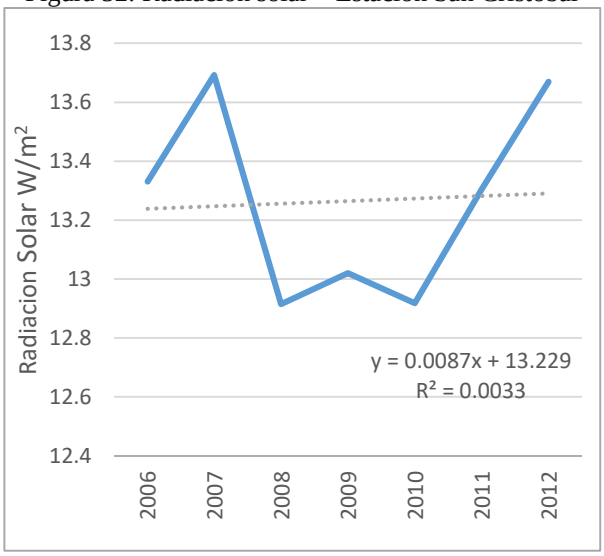
Fuente: RMCAB informe 2015

6.4. Radiación Solar

Básicamente toda la energía que llega a la tierra proviene del sol. La absorción y pérdida de energía radiante por la tierra y la atmósfera son casi totalmente responsables del clima de la Tierra, tanto a escala global como local (Seinfeld, 2006). De esta manera la radiación se convierte en un factor importante en la variación de la temperatura y determina el comportamiento de los contaminantes atmosféricos en especial la relación de los NO_2 y el O_3. De igual forma las características geográficas de la ciudad de Bogotá en cuanto su posición global y su altimetría favorece que e incremento de la radiación solar sea más evidente.

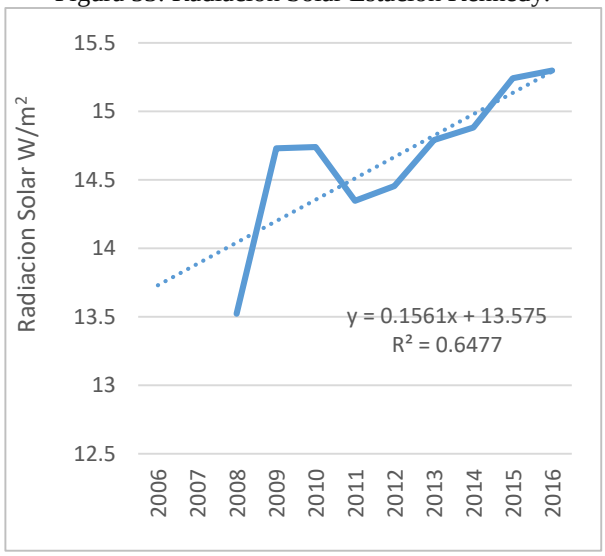
A continuación, se presenta la variación de la radiación solar en 4 estaciones de monitoreo de calidad de aire de Bogotá, en donde éstas presentan una tendencia de crecimiento durante los 10 años de evaluación, lo cual se puede predecir de la baja nubosidad y algunas características físicas del sector en donde se encuentra ubicadas estas estaciones. Para la estación de San Cristóbal (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**); presenta los niveles más bajos de radiación solar, siendo ésta estación la que mayores niveles presentó durante el año 2015 de acuerdo al informe anual de calidad de aire expedido por la SDA, sin embargo, la estación se encuentra ubicada sobre al sur oriente de la Bogotá, junto a los cerros orientales los cual genera algunas condiciones climáticas especiales que favorece a que la radiación solar sea baja. La situación de las estaciones de Kennedy, Centro de Alto Rendimiento y Guaymaral (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, Figura 54 y Figura 55) son similares en cuanto el comportamiento siendo zonas de la ciudad despejadas. En relación con el comportamiento de ozono en la ciudad de Bogotá, la estación de Guaymaral ubicada al norte, presenta una tendencia fuerte representada en el aumento en la radiación solar influyendo en la generación y presencia en las concentraciones representativas de ozono troposférico.

Figura 52: Radiación solar – Estación San Cristóbal



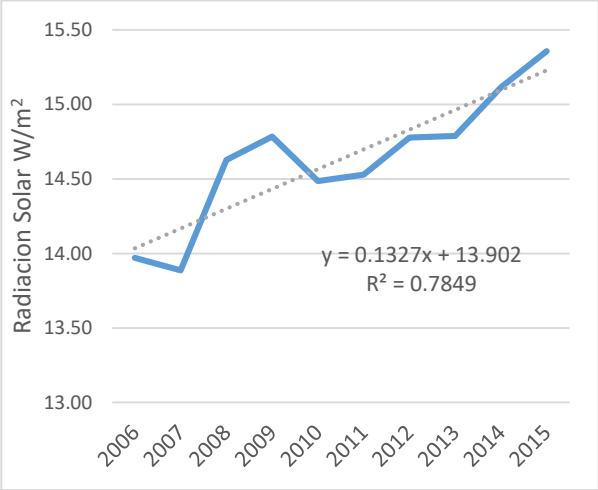
Fuente: RMCAB

Figura 53: Radiación Solar Estación Kennedy.



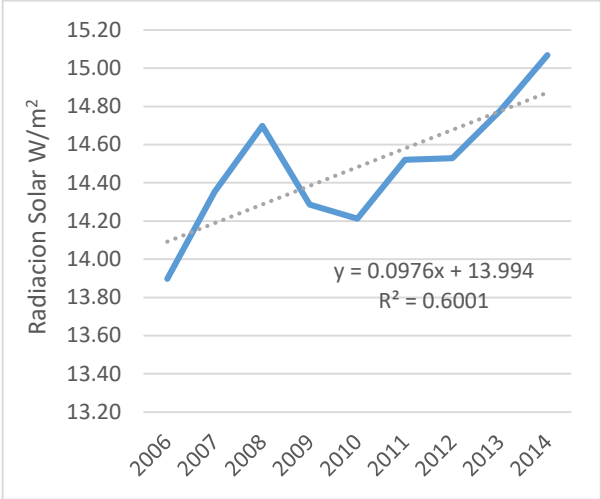
Fuente: RMCAB

Figura 54: Radiación solar – Estación Centro Alto Rendimiento



Fuente: RMCAB

Figura 55: Radiación solar – Estación Guaymaral

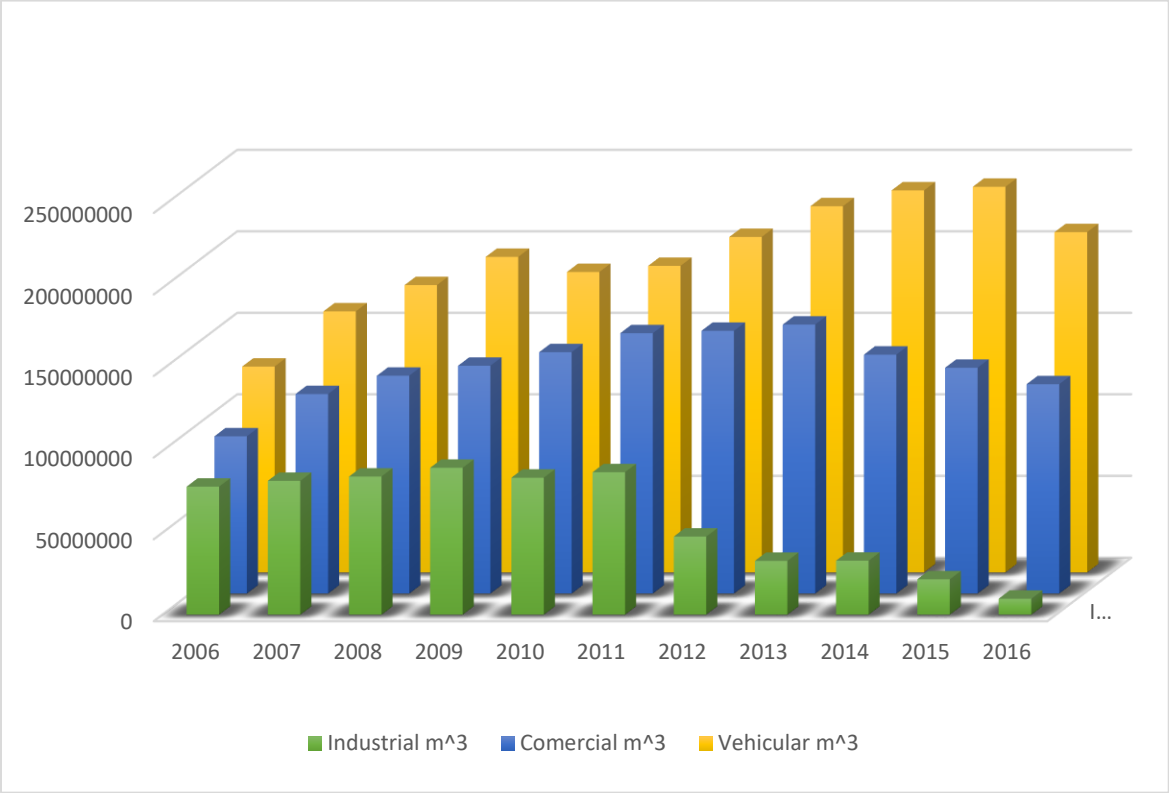


Fuente: RMCAB

6.5. Masificación y consumo de Gas Natural en Bogotá

El gas natural se ha venido consolidando como uno de los combustibles de mayor demanda a nivel nacional y local, el cual se presentó al mundo como una opción económica y amigable con el medio ambiente que permite sustituir el uso de combustibles líquidos (Concentra, 2016), En el caso de Bogotá D.C. el gas natural se utiliza esencialmente como combustible en los sectores residencial, comercial, industrial y vehicular (Fedesarrollo & Energia de Bogota, 2013). A través de la ley 142 de 1994 se da el aval para el programa de masificación de gas natural como combustible. En la Figura 56; se presenta el consumo de gas natural en metros cúbicos, que ha sustentado a la ciudad de Bogotá en los últimos 10 años, para entonces en el 2006 se observa una tendencia de aumentar el consumo hasta el año 2011, siendo los usos comercial y vehicular los sectores de mayor consumos, a partir del 2012 se disminuye este consumo siendo mucho más notorio en el sector industrial. Este suceso se puede deber a la incertidumbre que se ha generado a nivel nacional sobre las reservas de este combustible a futuro y a la alta demanda y la baja oferta de este combustible, de igual forma la emigración de la industria de Bogotá hacia municipios aledaños se convierto en otro factor importante en el descenso del consumo de gas natural en la ciudad.

Figura 56: Consumo de Gas Natural en Bogotá 2006 a 2016



Fuente: Elaboración propia con información de SUI, UPME y Concentra.

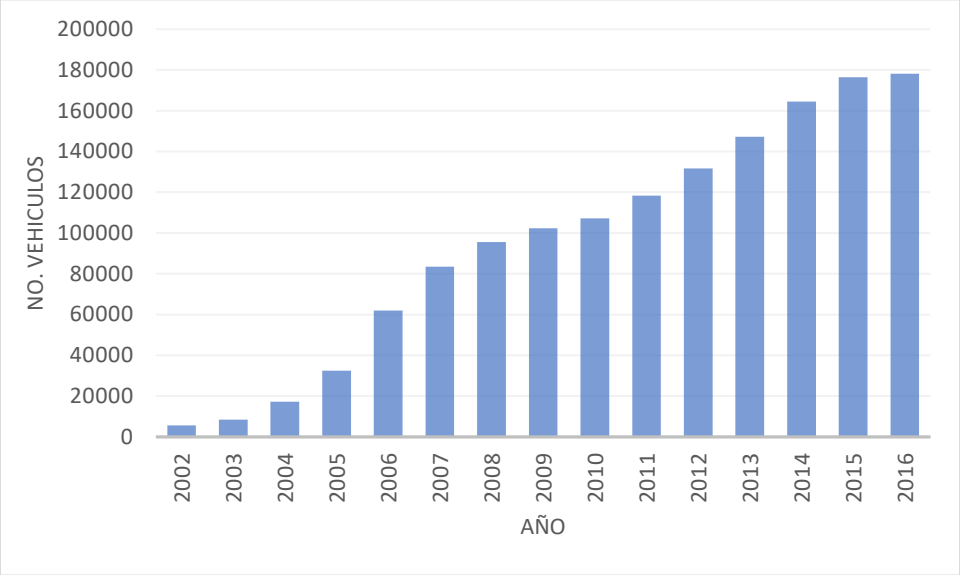
Tabla 5: Consumo de gas natural en Bogotá por sectores.

AÑO	consumo gas natural			
	Industrial	Comercial	Vehicular	Total
	m^3	m^3	m^3	
2006	78240685	96178949	126069641	**300491281**
2007	81761562	122100844	159884390	**363748803**
2008	84393107	133311292	176039531	**393745938**
2009	89741002	139441135	193316884	**422501030**
2010	83707150	147741885	184070037	**415521082**
2011	87053841	159431949	187826569	**434314370**
2012	47706185	160874012	205549691	**414131900**
2013	32882274	164704800	224428669	**422017756**
2014	32980796	146261850	234157122	**413401782**
2015	21612755	138222258	236372513	**396209541**
2016	9728007	128123356	208535652	**346389031**
Total	**649807364**	**1536392330**	**168757282**	**2354956976**

Fuente: SUI y Concentra 2016.

En cuanto al GNV[9] la masificación de este combustible ha dependido de la tecnología de los motores aplicada para este combustible y la oferta de las estaciones de servicio, en donde las cifras del número de automóviles convertidos para funcionar a gas natural va en aumento (Figura 57).

Figura 57: No. Vehículos Convertidos a Gas Natural.



Fuente: Concentra 2016.

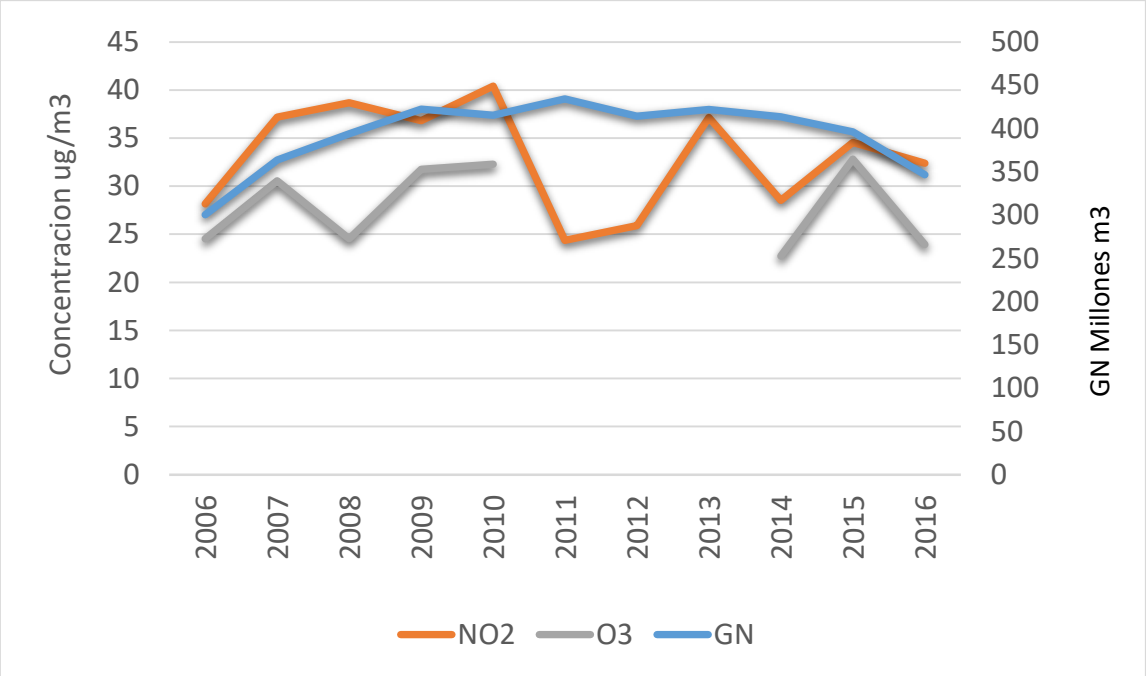
6.6. Análisis de la Variación de la Concentración de NO_2 y O_3 con Respecto al Consumo de Gas Natural En Bogotá

De acuerdo a los resultados obtenidos en el consumo de gas natural y la variación presentada por el NO_2 y el O_3 se presenta una relación débil en la correlación calculada para la relación entre el consumo de gas natural y los dos agentes atmosféricos evaluados, lo cual se puede observar en las siguientes figuras que establece las curvas del comportamiento promedio anual horario de los dos contaminantes en las estaciones evaluadas junto con el consumo de gas natural, lo cual permite observar gráficamente un comportamiento similar en los periodos anuales avaluados entre las tres variables, en donde al inicio del año 2006 hasta el año 2010 se presentan un crecimiento notable en el consumo de gas natural lo que se refleja paralelamente con el comportamiento presentado

[9] GNV: Gas Natural Vehicular.

por el NO_2 y el O_3, a partir del 2010 se presenta una variación en los contaminantes en cuanto su comportamiento, de igual forma para ese año el consumo gas natural en el sector industrial decrece (ver Figura 56), lo que genera un descenso leve el consumo de gas natural total y con ello un decrecimiento en la concentración media horaria de NO_2 y el O_3 para los últimos periodos evaluados.

Figura 58: Variación de NO_2 y O_3 con respecto al consumo de gas natural.

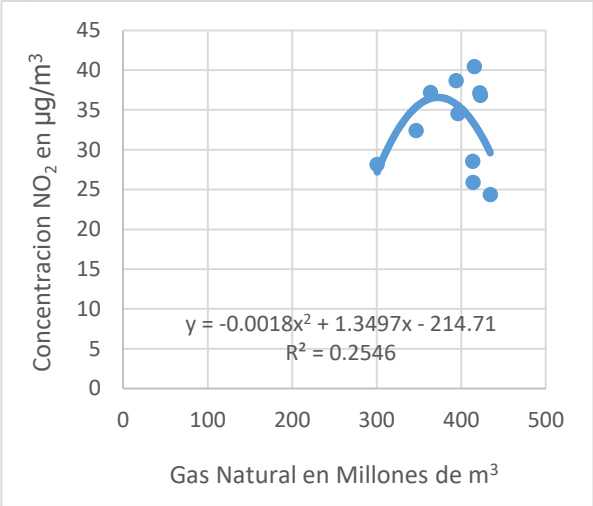


Fuente: Elaboración propia, con información RMCAB, UPME, SUI y Concentra

En la Figura 59 y Figura 60 se muestran los diagramas de dispersión del resultado de la relación entre el Consumo de gas natural y el comportamiento de la concentración promedio horaria de NO_2 y O_3 respectivamente en donde se presentan relaciones directas débiles, lo cuales se representan a través de una ecuación de regresión de tipo hiperbólica y el coeficiente de determinación, dando como resultado una relación débil entre las variables.

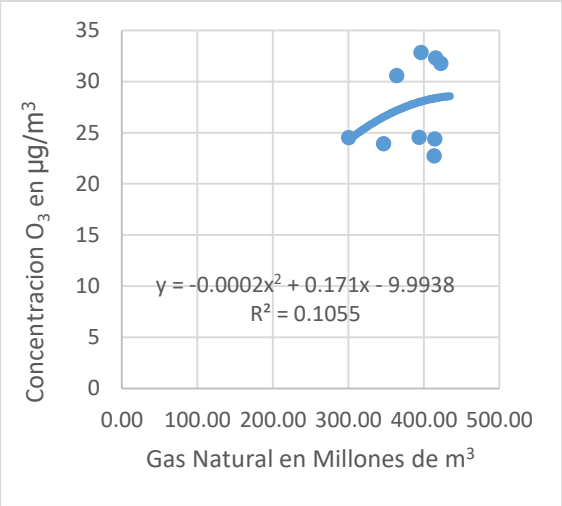
Aun siendo débiles la relaciones entre el consumo de gas natural y la variación la concentración promedio horario de NO_2 y el O_3; cabe destacar este resultado, debido a la dificultad presentado en la obtención de datos de la RMCAB y el criterio de validación de estos datos, aun asi se presenta cierta relación lo que permite establecer la influencia del consumo del gas natural sobre la concentración de NO_2 y O_3 en la ciudad de Bogotá.

Figura 59: Diagrama de dispersión consumo de gas natural en relación con la variación de NO_2.



Fuente: elaboración propia

Figura 60: Diagrama de dispersión consumo de gas natural en relación con la variación de O_3.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Consumo de gas natural y Concentración promedio horaria.

AÑO	GN	NO2	O3
	Millones m^3	Media estaciones	Media estaciones
2006	300.49	28.16	24.52
2007	363.75	37.19	30.57
2008	393.75	38.69	24.53
2009	422.50	36.82	31.76
2010	415.52	40.43	32.29
2011	434.31	24.37	
2012	414.13	25.89	24.38
2013	422.02	37.15	
2014	413.40	28.53	22.73
2015	396.21	34.55	32.83
2016	346.39	32.40	23.93

Fuente: UPME, SUI, Concentra y RMCAB.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El gas natural presenta una relación directa con respecto a la concentración de NO_2 Y O_3 durante los últimos 10 años en la ciudad de Bogotá, estableciendo el gas natural como uno de los principales combustibles generadores de óxidos de nitrógeno y con ello contribuyendo a la contaminación atmosférica de la ciudad desencadenado una serie de problemas atmosféricos y afectación a salud de las persona que habitan a Bogotá.
- El gas natural se está consolidando en Bogotá como uno de los principales combustibles en los sectores comercial y vehicular gracias a sus ventajas económicas, para el año 2006 el consumo de GNV se encontraba sobre los 126 millones de metros cúbicos y el consumo de gas natural comercial era de 96 millones de metros cúbicos para el año 2016 el consumo GNV fue 208 millones de metros cúbicos y el comercial fue de 126 millones. En el sector industrial este consumo ha disminuido debido a las condiciones y traslado de la industria Bogotana.
- Las Estaciones de Carvajal, Puente Aranda, Kennedy ubicadas al sur occidente presentan las concentraciones más altas de NO_2 junto con la estación de Centro de Alto Rendimiento ubicada hacia centro occidente de la ciudad, lo cual establece una dispersión del contaminante hacia sur occidente de la ciudad. Las concentraciones promedio horario de NO_2 de estas estaciones supera los niveles máximos permisibles establecidos por la OMS (promedio horario anual 40 $\mu g/m^3$), las cuales se encuentran con variación en la concentración media anual entre 30 y 50 $\mu g/m^3$.
- Las concentraciones de O_3 registradas por las estaciones de RMCAB son bajas en relación a los límites máximos permisibles, en la zona de la localidad de Usaquén se presentan las concentraciones más altas de la ciudad de Bogotá en los promedios horarios y promedio móvil de 8 horas, estas concentraciones varían entre 30 y 40 $\mu g/m^3$ durante los años analizados para la estación de Usaquén.
- El aumento de la temperatura en la ciudad de Bogotá es evidente, de acuerdo los datos de la estación Carvajal la temperatura media anual para el año 2006 se encentraba sobre los 12 °C y ya para el año 2016 presentó una temperatura media anual de 16 °C siendo el caso más crítico de aumento de temperatura de acuerdo a la información de la RMCAB. La suma de factores como la emisión de gases efecto invernadero, la configuración y estructura de la ciudad, junto con el estado de la capa de ozono generan este aumento en la temperatura media de la ciudad.

8. BIBLIOGRAFIA

Alvarez C., M. (Julio de 2016). *CEPAL*. Recuperado el 28 de 11 de 2016, de http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40297/1/S1600524_es.pdf

Carnicer, J. (2007). *Escuela de Negocios Internacional.* Recuperado el 19 de Enero de 2017, de http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45259/componente45257.pdf

Concentra. (2016). *Evolucion y caracterizacion del GNV en colombia.* Bogota.

Cuesta Santos, O., Toledo Villa, H., & Vidaillet Rodriguez, J. (junio de 1995). *Scielo* . Recuperado el 16 de Enero de 2017, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30031995000100009

Echarri, L. (2007). *Universidad de Navarra.* Recuperado el 16 de Enero de 2017, de file:///C:/Users/camil/Downloads/Tema%207%20Contaminacion%20atmosferica%2007.pdf

Escuelas Argentina IPEM 56. (s.f.). Recuperado el 14 de 02 de 2017, de http://www.oni.escuelas.edu.ar/2008/CORDOBA/1324/trabajo/radiacionsolar.html

Fedesarrollo & Energia de Bogota. (2013). *Analisis de la situacion energetica de bogota.* Bogota.

Galindo , L., Samaniego, J., Carbonell, J., Alatorre, J., Reyes, O., & Sanchez, L. (2015). *Ocho Tesis Sobre El Cambio climatico y Desarrollo Sostenible en America Latina.* Santiago de Chile: CEPAL.

Heres del Valle, D. R. (2015). El cambio climatico y la energia en Latinoamerica. *CEPAL*, 51.

IDEAM. (2005). *IDEAM*. Recuperado el 17 de 01 de 2017, de http://www.meteoaeronautica.gov.co/ozono-troposferico

IDEAM. (2007). *Informacion Tecnica Sobre los Gases de Efecto Invernadero y Cambio Climatico.* Bogota: Instituto de Hidrologia, Metereologia y Estudios Ambientales.

IPCC, Panel Intergubernamental del Cambio Climatico. (2013). *Climate Change 2013: The Phisical Sciencie Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report*

of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge - United Kindon: Cambridge University press.

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (Febrero de 2008). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de calidad de aire.* Recuperado el 2017 de enero de 15, de http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527391/Protocolo+para+el+Monitoreo+y+seguimiento+de+la+calidad+del+aire.pdf/6b2f53c8-6a8d-4f3d-b210-011a45f3ee88

OMS. (09 de 2016). *Organizacion Mundial de la Salud.* Obtenido de http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/

Pico Gallego, A., Gonzales Fernandez, I., & SÁNCHEZ GIMENO , B. (2012). *Contaminacion Atmosferica.* Madrid: Universidad Nacional de Educacion a Distancia.

Revista Ambientun. (2004). El ozono en las ciudades. *Ambientun*.

Secretaria Distrital de Ambiente. (2005). *Informe anual de calidad de aire de Bogota* . Bogota.

Secretaria Distrital de Ambiente. (2006). *Informe Anual de Calidad de Aire de Bogota.* Bogota D. C.

Secretaria Distrital de Ambiente. (02 de 2017). *Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogota*. Obtenido de RMCAB: http://ambientebogota.gov.co/red-de-calidad-del-aire

Seinfeld, J. H. (2006). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change* (2 Edicion ed.). Toronto: John Wiley & Sons, INC.