

**ESTIMACION DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES POR FUENTES  
MÓVILES A NIVEL LOCAL EN EL DISTRITO DE BARRANQUILLA.**

**ING. ÁLVARO ANDRÉS MÉNDEZ SEVERINO**



**UNIVERSIDAD DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL  
MAESTRÍA EN INGENIERIA AMBIENTAL  
BARRANQUILLA, ATLANTICO.**

**2018**

**ESTIMACION DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES POR FUENTES  
MÓVILES A NIVEL LOCAL EN EL DISTRITO DE BARRANQUILLA.**

**ING. ÁLVARO ANDRÉS MÉNDEZ SEVERINO**

**TRABAJO DE GRADO**

**Presentado como requisito parcial**

**Para optar el título de**

**MAGISTER EN INGENIERIA AMBIENTAL**

**DIRECTOR**

**Ing. DAYANA MILENA AGUDELO CASTAÑEDA M.Sc. Ph.D**

**COORDINADOR DE INVESTIGACIÓN**

**UNIVERSIDAD DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL**

**MAESTRÍA EN INGENIERIA AMBIENTAL**

**BARRANQUILLA, ATLANTICO.**

**2018**

Nota de Aceptación.

---

---

---

---

---

Jurado 1.

---

Jurado 2.

Barranquilla, Noviembre de 2018

## **Dedicatoria**

*A mis padres por brindarme toda su confianza, guía y apoyo y motivarme a sacar adelante el mejor de mis esfuerzos en cada momento de mi vida.*

*A mis hermanos Santiago Rafael y Anagabriela para que este esfuerzo sirva de ejemplo en el forjamiento de su futuro.*

*A mis únicas abuelas Evelia Moscarella y Emna Moscarella porque fueron ellas el motor de muchas decisiones en mi vida.*

*A mi familia en general por brindarme su eterna y verdadera amistad.*

**Álvaro A. Méndez Severino**

## Agradecimientos

Mi mayor agradecimiento a la **Universidad del Norte**, ya que gracias a ella tuve la oportunidad de cursar la maestría en ingeniería ambiental profesional.

A la **Doctora Dayana Agudelo** que, sin importar los cambios y obstáculos, se mantuvo firme en su apoyo como directora de la investigación, y cuyo criterio académico fue indispensable para el desarrollo de este trabajo. Fue ella quien me dio el incentivo para persistir y lograr llegar a la meta.

A la **Doctor Carlos Pacheco Bustos**, por su amable y paciente labor como profesor, consejero, coordinador y amigo. Su dirección y retroalimentación constante fueron vitales en el desarrollo de todas las etapas en este proceso de formación. Es el quien alentó mi interés por las ciencias ambientales y me encaminó de manera asertiva en la ingeniería ambiental.

Al honorable grupo de **ingenieros** que aportaron su apoyo, conocimiento e información para el desarrollo del proyecto, en especial, los doctores Julián Arellana y Víctor Cantillo, la especialista Wendy Villanueva.

## GLOSARIO

*Para efectos de interpretación del presente proyecto se asienta el siguiente vocabulario que hace parte integral del documento y de la resolución 1111 de 2013 “por la cual se modifica la resolución 910 del 5 de Junio de 2008” para fuentes Móviles, además de la resolución 610 de 2010 “Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006” para la calidad de aire de todo el territorio nacional.*

**Aire:** Fluido que forma la atmósfera de la Tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición normal es de por lo menos 20% de oxígeno, 77% de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua en relación volumétrica.

**Atmósfera:** Es la capa gaseosa que rodea a la Tierra.

**Año Modelo:** Año que identifica el de producción del tipo de vehículo automotor.

**CO (Monóxido de carbono):** Gas inflamable, incoloro e insípido que se produce por la combustión de combustibles fósiles.

**Contaminante:** Un constituyente de un material o residuo que se sabe o sospecha que es agente de riesgo.

**Contaminantes Criterio:** Llamados así porque fueron objeto de evaluaciones publicadas en informes de calidad del aire, con el fin de establecer niveles permisibles que protegieran la salud, el medio ambiente y el bienestar de la población. La identificación subjetiva de los efectos de la contaminación condujo a la identificación de los siguientes contaminantes principales: partículas, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, COVs, y O<sub>3</sub>. Estos contaminantes son los más comunes y omnipresentes en los centros urbanos, que es donde la población se concentra. Los contaminantes criterios se han identificado como perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos.

**Contaminación del aire:** La presencia habitual, en la atmósfera, de sustancias resultantes de la actividad humana o de procesos naturales, en concentración suficiente, durante un tiempo suficiente y en circunstancias tales como para afectar el confort, la salud o el bienestar de personas, o el medio ambiente.

**Contaminante del aire:** Cualquier sustancia emitida a la atmósfera, por una actividad humana o por un proceso natural, que afecte al ser humano o al medio ambiente.

**Categoría M:** Vehículo automotor con al menos cuatro ruedas, diseñado y construido para el transporte de pasajeros. Está dividido en tres categorías, M1, M2 y M3.

**Categoría M1:** Vehículo diseñado y construido para transportar hasta 8 pasajeros más el conductor.

**Categoría M2:** Vehículo diseñado y construido para transportar más de 8 pasajeros más el conductor y cuyo peso bruto vehicular no supere las 5 toneladas.

**Categoría M3:** Vehículo diseñado y construido para transportar más de 8 pasajeros más el conductor y cuyo peso bruto vehicular supere las 5 toneladas.

**Categoría N:** Vehículo automotor con al menos cuatro ruedas, diseñado y construido para el transporte de carga. Está dividido en tres categorías, N1, N2 y N3.

**Categoría N1:** Vehículo diseñado y construido para transportar carga, con un peso bruto vehicular no superior a 3,5 toneladas. Esta categoría se divide en tres clases de acuerdo al peso de referencia.

**Categoría N2:** Vehículo diseñado y construido para transportar carga, con un peso bruto vehicular superior a 3,5 toneladas y que no exceda 12 toneladas.

**Categoría N3:** Vehículo diseñado y construido para transportar carga, con un peso bruto vehicular superior a 12 toneladas.

**Concentración de una Sustancia en el Aire:** Es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida.

**Condiciones de Referencia:** Son los valores de temperatura y presión con base en los cuales se fijan las normas de calidad del aire y de las emisiones, que respectivamente equivalen a 25 °C y 760 mm Hg (1 atmósfera de presión).

**Contaminación Atmosférica:** Es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.

**Contaminantes:** Fenómenos físicos o sustancias, o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que, solos o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas.

**Clase I:** Para la reglamentación Euro 1 y Euro 2, cualquier vehículo de la Categoría N1 con un peso de referencia que no supere 1.250 kg, se utilizará en la presente resolución para los vehículos ciclo Otto. Para la reglamentación Euro 3 o Euro 4 cualquier vehículo de la Categoría N1 con un peso de referencia menor o igual a 1.305 kg, se utilizará en la presente resolución para los vehículos ciclo Diésel.

**Clase II:** Para la reglamentación Euro 1 y Euro 2, cualquier vehículo de la Categoría N1 con un peso de referencia superior a 1.250 kg y que no supere 1.700 kg, se utilizará en la presente resolución para los vehículos ciclo Otto. Para la reglamentación Euro 3 o Euro 4, cualquier vehículo de la Categoría N1 con un peso de referencia superior a 1.305 kg e inferior o igual a 1.760 kg, se utilizará en la presente resolución para los vehículos ciclo Diésel.

**Clase III:** Para la reglamentación Euro 1 y Euro 2, cualquier vehículo de la Categoría N1 con un peso de referencia superior a 1.700 kg, se utilizará en la presente resolución para los vehículos ciclo Otto. Para la reglamentación Euro 3 o Euro 4, cualquier vehículo de la Categoría N1 con un peso de referencia superior a 1.760 kg, se utilizará en la presente resolución para los vehículos ciclo Diésel.

**Emisión:** Descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, provenientes de una fuente fija o móvil. Episodio o Evento: Es la ocurrencia o acaecimiento de un estado tal de concentración de contaminantes en el aire que, dados sus valores y tiempo de duración o exposición, impone la declaratoria por la autoridad ambiental competente, de alguno de los niveles de contaminación, distinto del normal.

**Emisiones Diurnas:** Son las emisiones del tanque de combustible del vehículo debidas a una mayor temperatura del combustible y a la presión de vapor del mismo. Estas emisiones se deben al incremento de la temperatura ambiente ocasionado por el sistema de escape del vehículo o por el calor reflejado en la superficie del camino.

**Emisiones Evaporativas del Motor Caliente:** Son aquellas que se presentan debido a la volatilización del combustible en el sistema de alimentación después de que el motor se ha apagado. El calor residual del motor volatiliza el combustible.



**Emisiones de Gases de Escape:** Son las cantidades de Hidrocarburos (HC), Monóxido de Carbono (CO) y Óxidos de Nitrógeno (NOx) emitidas a la atmósfera a través del escape de un vehículo como resultado de su funcionamiento.

**Factores de emisión:** Cantidad promedio de un contaminante emitido por una industria, en relación con la cantidad definida de material procesado.

**Fuente de Emisión:** Actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire.

**Fuente Móvil:** Es la fuente de emisión que, por razón de su uso o propósito, es susceptible de desplazarse, como los automotores o vehículos de transporte a motor de cualquier naturaleza. Son fuentes móviles los vehículos automotores, las motocicletas, los motociclos y los mototriciclos.

**HDV:** Heavy-Duty Vehicle. Cualquier vehículo automotor con un peso bruto vehicular superior a 3.856 kg o con un peso neto vehicular superior a 2.722 kg o con un área frontal básica superior a 4,18 m<sup>2</sup>. Los motores diésel usados en estos vehículos se dividen en tres clases de servicio llamados LHDDE, MHDDE y HHDDE, de acuerdo con el peso bruto vehicular. Los motores Otto usados en estos vehículos se dividen en dos clases de servicio llamados LHDGE y HHDGE, de acuerdo con el peso bruto vehicular.

**HHDDE:** Heavy Heavy-Duty Diésel Engines (Incluye Urban Bus). Cualquier motor diésel instalado en un HDV cuyo peso bruto vehicular sea superior a 14.969 kg.

**HHDGE:** Heavy Heavy-Duty Gasoline Engines (Incluye Urban Bus). Cualquier motor a gasolina instalado en un HDV cuyo peso bruto vehicular sea superior a 6.350 kg.

**Humo:** Es la materia que en la emisión de escape reduce la transmisión de la luz.

**Inmisión:** Transferencia de contaminantes de la atmósfera a un "receptor". Se entiende por inmisión a la acción opuesta a la emisión. Aire inmiscible es el aire respirable a nivel de la troposfera.

**Motocarro:** Vehículo automotor de tres ruedas con estabilidad propia con componentes mecánicos de motocicleta, para el transporte de personas o mercancías con capacidad útil hasta 770 kilogramos.

**Normas y criterios de emisión de contaminantes:** Cuerpo técnico donde quedan especificados valores máximos que no deben sobrepasarse, referente a la totalidad o parte de las variables o indicadores representativos de la composición y volumen de los efluentes en general, y cada contaminante en particular, sean éstos de carácter natural o energético.

**NO<sub>2</sub> (Dióxido de Nitrógeno):** Gas de color pardo rojizo fuertemente tóxico cuya presencia en el aire de los centros urbanos se debe a la oxidación del nitrógeno atmosférico que se utiliza en los procesos de combustión en los vehículos y fábricas.

**Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión:** Es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias o fenómenos contaminantes presentes en el aire, establecido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.

**Nivel Normal (Nivel I):** Es aquel en que la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración son tales, que no producen efectos nocivos, directos ni indirectos, en el medio ambiente o la salud humana.

**Nivel de Prevención (Nivel II):** Es aquel que se presenta cuando las concentraciones de los contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, causan efectos adversos y manifiestos, aunque leves, en la salud humana o en el medio ambiente tales como irritación de las mucosas, alergias, enfermedades leves de las vías respiratorias o efectos dañinos en las plantas, disminución de la visibilidad u otros efectos nocivos evidentes.

**Nivel de Alerta (III):** Es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su duración o tiempo de exposición, puede causar alteraciones manifiestas en el medio ambiente o la salud humana y en especial alteraciones de algunas funciones fisiológicas vitales, enfermedades crónicas en organismos vivos y reducción de la expectativa de vida en la población expuesta.

**Nivel de Emergencia (IV):** Es aquel que se presenta cuando la concentración de contaminantes en el aire y su tiempo de exposición o duración, puede causar enfermedades agudas o graves u ocasionar la muerte de organismos vivos, y en especial de los seres humanos.

**Peso Bruto Vehicular:** Es el peso vehicular, más la capacidad de pasajeros y/o su carga útil.

**Peso de Referencia (RW):** Es el peso neto vehicular más 100 Kg.

**Peso Neto Vehicular:** Es el peso real del vehículo en condiciones de operación con todo el equipo estándar de fábrica y con combustible a la capacidad nominal del tanque.

**PST (Partículas Suspendidas Totales):** Material particulado que incluye tanto a la fracción inhalable como a las mayores de 10 micras, que no se sedimentan en periodos cortos sino que permanecen suspendidas en el aire debido a su tamaño y densidad.

**PM<sub>10</sub> (Material Particulado Menor a 10 Micras):** Material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros nominales.

**PM<sub>2.5</sub> (Material Particulado Menor a 2,5 Micras):** Material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 2,5 micrómetros nominales.

**Sistema de Control de Emisiones Evaporativas:** Es aquel que recoge los vapores de gasolina provenientes del tanque de combustible o del carburador y los conduce hacia el depósito que contiene carbón activado (Cánister), para después drenarlos y llevarlos a la cámara de combustión donde se queman al tiempo con la mezcla aire/combustible.

**Sistema de Recirculación de Gases de Escape:** Es aquel que tiene la función de recircular pequeñas cantidades de gases de escape hacia el múltiple de admisión, con lo cual se reduce la emisión de Óxidos de Nitrógeno.

**Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire:** Conjunto de equipos de medición de calidad del aire instalados sistemáticamente para verificar el cumplimiento de uno o varios de los objetivos de vigilancia de calidad del aire previstos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.

**SO<sub>2</sub> (Dióxido de Azufre):** Gas incoloro, no inflamable que posee un fuerte olor en altas concentraciones.

**Tiempo de Calentamiento:** Es el lapso entre el momento en que el equipo es energizado o encendido y el momento cuando cumple con los requerimientos de estabilidad en la lectura.

**Tiempo de Exposición:** Es el lapso de duración de un episodio o evento de contaminación.”

**Urban bus:** Vehículo propulsado por un HHDV, diseñado para transportar 15 o más pasajeros.

**Vehículo Automotor:** Clasificación dada en la presente resolución a toda fuente móvil objeto de seguimiento y diferente a motocicleta, motociclo, moto triciclo o motocarro.

**Vehículo Bi-combustible:** Vehículo automotor que utiliza un motor de combustión interna que puede operar con gas natural o con gasolina (u otro combustible de ignición por chispa como etanol). Generalmente, se construye a partir de un vehículo ciclo Otto.

**Vehículo Ciclo Diésel:** Vehículo que opera con un motor de combustión interna cuya función se basa en un ciclo termodinámico, en el cual se inyecta en la cámara de combustión el combustible después de haberse realizado una compresión de aire por el pistón. La relación de compresión de la carga del aire es lo suficientemente alta como para encender el combustible inyectado, es decir, el calor se aporta a presión constante. Para efectos de esta resolución, se incluyen los vehículos ciclo Diésel que operen con combustible diésel y sus mezclas con biodiesel, gas natural o gas licuado de petróleo.

**Vehículo Ciclo Otto:** Vehículo que opera con un motor de combustión interna cuya función se basa en un ciclo termodinámico, en el cual las operaciones de admisión, compresión, explosión y escape se realizan en un cilindro desde que entra la mezcla carburada hasta que son expulsados los gases. En este ciclo, la adición de calor se realiza a volumen constante. Para efectos de esta resolución, se incluyen los vehículos ciclo Otto que operen gas natural o gas licuado de petróleo.

**Vehículo Dedicado a Gas Natural:** Vehículo que ha sido diseñado y construido para operar exclusivamente con gas natural vehicular.

**Vehículo Dual:** Vehículo automotor que utiliza un motor de combustión interna con una mezcla de gas natural y diésel. El diésel es inyectado directamente en el interior de la cámara de combustión, mientras el gas es introducido al interior de la entrada de aire por medio del carburador o por medio de inyección de gas. Generalmente, se construye a partir de un vehículo ciclo Diésel.

**Vehículo Híbrido:** Vehículo que funciona, alternada o simultáneamente, mediante la combinación de un motor eléctrico y un motor de combustión interna ciclo Otto o ciclo Diésel. Pertenecen a esta categoría los vehículos híbridos en serie (incluyendo los vehículos eléctricos que cuentan con motores de combustión interna. híbridos en paralelo e híbridos enchufables.

**Vehículo Eléctrico:** Vehículo impulsado exclusivamente por uno o más motores eléctricos, que obtienen corriente de un sistema de almacenamiento de energía recargable, como baterías u otros dispositivos portátiles de almacenamiento de energía eléctrica, incluyendo celdas de combustibles de hidrógeno o que obtienen la corriente a través de catenarias. Estos vehículos no cuentan con motores de combustión interna o sistemas de generación eléctrica a bordo como medio para suministrar energía eléctrica.

## Tabla de contenido

<b>ABSTRACT</b> .....	22
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	23
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	26
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	29
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	32
<b>4.1 Objetivo General</b> .....	32
<b>4.2 Objetivos Específicos</b> .....	32
<b>5. ANTECEDENTES</b> .....	33
<b>6. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	44
<b>7. MARCO TEORICO</b> .....	46
<b>7.1 EMISIONES POR FUENTES MOVILES</b> .....	46
<b>7.1.1 Contaminantes producidos por la gasolina</b> .....	47
<b>7.1.2 Contaminantes producidos por el diésel</b> .....	47
<b>7.1.3 Motor a gasolina y motores a diésel.</b> .....	48
<b>7.2 CONTAMINANTES PRODUCIDOS POR LOS VEHICULOS Y EFECTOS ADVERSOS A LA SALUD HUMANA</b> .....	50
<b>7.2.1 Monóxido De Carbono</b> .....	50
<b>7.2.2 Óxidos de Nitrógeno</b> .....	51
<b>7.2.3 Material Particulado</b> .....	52
<b>7.2.4 Óxidos de Azufre</b> .....	53
<b>7.2.5 Compuestos orgánicos volátiles.</b> .....	54
<b>7.3 Metodología CORINAIR</b> .....	56
<b>7.3.1 Factores De Emisión.</b> .....	56
<b>7.4 Factores De Actividad.</b> .....	57
<b>7.5 CONDICIONES AMBIENTALES Y ATMOSFÉRICAS.</b> .....	57
<b>7.5.1 Localización Del Área de Estudio Del Proyecto</b> .....	58
<b>7.5.2. Aspectos Geográficos</b> .....	58
<b>7.5.3 Relieve</b> .....	58
<b>7.5.4 Clima</b> .....	59
<b>7.5.5 Temperatura</b> .....	60
<b>7.5.6 Humedad relativa</b> .....	61
<b>7.5.7 Población</b> .....	62

7.5.8 Brillo Solar.....	63
7.5.9 Viento.....	63
<b>8. METODOLOGIA .....</b>	<b>66</b>
8.1 Gestión, Planeación y Proyección De La Información.....	66
8.2 Recopilación, Clasificación Y Análisis De La Información. ....	66
8.3. Características de la Flota Vehicular .....	67
8.4 Aforos Vehiculares.....	71
<b>9. ESTIMACION DE LAS EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MOVILES.....</b>	<b>76</b>
9.1 Inventario De Emisiones.....	77
9.1.1 Inventario De Emisiones Bottom-Up.....	78
9.1.2 Inventario De Emisiones Top-Down.....	78
9.2 Modelos De Estimación De Emisiones.....	81
9.2 1 Agrupaciones Vehiculares.....	82
9.3 Factores De Emisión Vehicular Adaptado Al Distrito Barranquilla. ....	86
9.4 Factores De Actividad Vehicular Adaptado Al Distrito Barranquilla. ....	91
9.5 Evaluación de la concentración de contaminantes emitidos por fuentes móviles.....	93
<b>10. DISCUSIÓN Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>95</b>
10.1 Distribución de la Flota Vehicular.....	95
10.2 Afectaciones en la dinámica de los contaminantes por las condiciones ambientales del distrito. ....	103
10.3 Emisiones Vehiculares .....	104
10.4 Análisis de Incertidumbre.....	111
<b>11. CONCLUSIONES.....</b>	<b>115</b>
<b>12. LIMITACIONES .....</b>	<b>119</b>
<b>13. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>120</b>
<b>14. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS Y WEBGRAFICAS .....</b>	<b>122</b>
<b>15. ANEXOS .....</b>	<b>136</b>

## LISTA DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1. Alto flujo vehicular en la calle 79.....	34
Ilustración 2. Alto flujo vehicular en la carrera 46.....	34
Ilustración 3. Estructura Metálica (puente peatonal) Corroído Situado en la universidad autónoma, carrera 46 con 90, Una Vía De Amplio Flujo Vehicular.. ..	37
Ilustración 4. Escultura Metálica Corroída Situada en el parque del golf aledaña a Una Vía De Amplio Flujo Vehicular, que corresponde a la carrera 59b.. ..	38
Ilustración 5. Procesos de emisión en vehículos automotores.....	46
Ilustración 6. Emisiones de gases de escape en vehículos automotores diésel y gasolina.....	48
Ilustración 7. Ciclo de cuatro tiempos de un motor a gasolina. . . . .	49
Ilustración 8. Ciclo de cuatro tiempos de un motor diésel. . . . .	50
Ilustración 9. Composición de los compuestos orgánicos volátiles. . . . .	54
Ilustración 10. Mapa de Colombia y la ciudad de Barranquilla (Distrito Especial, Industrial y Portuario). . . . .	58
Ilustración 11. Promedio multianual de temperatura mínima. . . . .	60
Ilustración 12. Promedio multianual de temperatura promedio. . . . .	61
Ilustración 13. Promedio multianual de temperatura máxima. . . . .	61
Ilustración 14. Nota1. Promedio temperatura mínima y máxima. El clima promedio en Aeropuerto internacional Ernesto Cortissoz. 2016. . . . .	61
Ilustración 15. Promedio multianual de humedad relativa. . . . .	62
Ilustración 16. Nota1. Niveles de comodidad de la humedad. El clima promedio en Aeropuerto internacional Ernesto Cortissoz. 2016.. . . .	62
Ilustración 17. Promedio multianual de brillo solar.....	63
Ilustración 18. Velocidad media del viento sobre Barranquilla.. . . . .	64
Ilustración 19. Velocidad mensual promedio del viento. El clima promedio en Aeropuerto internacional Ernesto Cortissoz. 2016.. . . .	64
Ilustración 20. Dirección del viento. El clima promedio en Aeropuerto internacional Ernesto Cortissoz. 2016.. . . .	65
Ilustración 21. Régimen anual de viento: Barranquilla. Información suministrada por el Programa de Meteorología Aeronáutica del IDEAM. . . . .	65



Ilustración 22. Consolidado del parque automotor según el estado de los vehículos de Barranquilla. ....	70
Ilustración 23. Cantidad de vehículos activos en Barranquilla de acuerdo a los intervalos de tiempo en años establecidos en el proyecto. ....	70
Ilustración 24. Vías seleccionadas para aforo vehicular. ....	72
Ilustración 25. Distribución de autos registrados en el distrito y fuera del distrito, resultados de aforo para tramo número 1. ....	74
Ilustración 26. Distribución de autos registrados en el distrito y fuera del distrito, resultados de aforo para tramo número 2. ....	75
Ilustración 27. Distribución de autos registrados en el distrito y fuera del distrito, resultados de aforo para tramo número 3. ....	75
Ilustración 28. Distribución promedio de categorías vehiculares en los aforos realizados en el distrito. ....	76
Ilustración 29. Propuesta de la aplicación del método Top-Down para construir un inventario de emisiones urbanas.....	80
Ilustración 30. Distribución porcentual por categorías vehiculares del distrito de acuerdo con el modelo del automóvil. ....	96
Ilustración 31. Distribución por categorías vehiculares del distrito de acuerdo con el modelo del vehículo, R1 & R2. ....	97
Ilustración 32. Distribución por categorías vehiculares del distrito de acuerdo con el modelo del vehículo, R3 & R4. ....	98
Ilustración 33. Distribución por categorías vehiculares del distrito de acuerdo con el modelo del vehículo, R5 & R6. ....	98
Ilustración 34. Distribución por categorías vehiculares del distrito de acuerdo con el modelo del vehículo, R7 & R8.....	99
Ilustración 35. Distribución porcentual por modelos vehiculares del distrito de acuerdo con la categoría del automóvil (edad del parque automotor).....	100
Ilustración 36. Distribución porcentual por modelos de motocicletas del distrito..	101
Ilustración 37. Distribución del uso de combustible del parque automotor del distrito.....	102
Ilustración 38. Número de vehículos activos de acuerdo al uso de Gasolina.....	103
Ilustración 39. Número de vehículos activos de acuerdo al uso de ACPM..	103

Ilustración 40. Tecnologías vehiculares usadas a nivel global. Vehicle Emission Standards April 2015.....	105
Ilustración 41. Calidad de la gasolina extra a partir del año 2012 comercializada en Colombia.....	106
Ilustración 42. Calidad de la gasolina corriente partir del año 2012 comercializada en Colombia.....	106
Ilustración 43. Calidad del diésel a partir del año 2012 comercializada en Colombia.....	106
Ilustración 44. Distribución de las emisiones contaminantes por fuentes móviles en el Distrito de Barranquilla.....	109
Ilustración 45. Comparación de las emisiones contaminantes por categorías en el Distrito de Barranquilla.....	110
Ilustración 46. Distribución porcentual del total de emisiones calculadas en el estudio actual para el distrito de Barranquilla.....	114
Ilustración 47. Distribución parque automotor distrito de Barranquilla.....	116

## LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Principales efectos producidos por los contaminantes atmosféricos.....	55
Tabla 2. Velocidad media del viento en Barranquilla por meses del año y promedio anual. ....	63
Tabla 3. Distribución de Porcentajes de dirección del viento en Barranquilla. ....	65
Tabla 4. Parque Automotor en el Distrito de Barranquilla.. ....	68
Tabla 5. Clases de vehículos registradas en la base de datos de vehículos de Barranquilla. ....	69
Tabla 6. Categorías agrupadas de la base de datos de vehículos de Barranquilla.. ....	69
Tabla 7. Formulario utilizado para el aforo del tramo número uno del actual estudio en la malla vial del Distrito de Barranquilla. ....	73
Tabla 8. Relación de los inventarios de emisiones con los SVCA. ....	77
Tabla 9. Definición de las categorías de vehículos de carretera. ....	82
Tabla 10. Resumen de todas las clases de vehículos cubiertas por la metodología. ....	84
Tabla 11. Pesos establecidos por la normatividad colombiana para las categorías establecidas por la European environment agency. ....	85
Tabla 12. Relación peso-categorías Heavy Duty Vehicles. ....	85
Tabla 13. Resumen de tipos de vehículos establecidos en la metodología CORINAIR. ....	86
Tabla 14. Modelos vehiculares establecidos por CORINAIR. ....	87
Tabla 15. Factores de emisión ajustados a Barranquilla. ....	88
Tabla 16. Factores de actividad propuestos por Rodríguez, P.A. y Behrentz E. Universidad de Los Andes, Bogotá, 2009. ....	92
Tabla 17. Factores de actividad propuestos por Herrera, D. 2007. ....	92
Tabla 18. Factores de actividad propuestos y adaptado al Distrito. ....	93
Tabla 19. Distribución del parque automotor discriminado por tipo de servicio del Distrito. Fuente: elaboración propia.....	96
Tabla 20. Distribución del parque automotor discriminado por modelo del Distrito. Fuente: elaboración propia.....	96

Tabla 21. Número de vehículos activos de acuerdo al uso de combustible. Fuente: elaboración propia.....	102
Tabla 22. Relación lineal entre los rangos del estudio y la tecnología europea para el cálculo de estimación emisiones contaminantes.....	104
Tabla 23. Estimación de emisiones totales calculadas para cada uno de los contaminantes de acuerdo con la categoría vehicular .....	107
Tabla 24. Comparación del inventario de gases de efecto invernadero con el inventario realizado en el actual proyecto de investigación aplicado al Distrito de Barranquilla.....	112
Tabla 25. Comparación del inventario de emisiones de Aburra con el inventario realizado en el actual proyecto de investigación aplicado al Distrito de Barranquilla..	113
.....	

## RESUMEN

Los vehículos automotores emiten grandes cantidades de contaminantes atmosféricos en las áreas urbanas. Diversos estudios científicos vinculan la contaminación del aire con las enfermedades respiratorias, cardiovasculares, cardíacas y hepáticas en el ser humano, detrimento de la flora y fauna, incluso hasta la afectación de los materiales. Los inventarios de emisiones son una herramienta fundamental para analizar esta problemática. En Barranquilla se han realizado inventarios aplicando las metodologías *Bottom-up* y *Top-down*; anteriormente se han generado estos inventarios haciendo estimaciones como el de TPD & Epypsa en 2012 y el de DAMAB en 2016, estos han utilizado el modelo CORINAIR, haciendo uso de factores de emisión adaptados para Colombia, velocidad promedio en las vías y número de vehículos por categoría. Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo estimar la concentración de emisiones contaminantes procedentes de las fuentes móviles que impactan la calidad de aire de Barranquilla. La metodología usada corresponde a la *Top-Down* usando factores de emisión de la Agencia Ambiental Europea. El área de estudio corresponde a la ciudad de Barranquilla en su perímetro urbano, año base 2018. El proyecto de investigación presenta los resultados de la estimación de contaminantes atmosféricos (CO, NOx, COVs y PM) provenientes de fuentes móviles en el Distrito. Los resultados arrojan que la mayor contribución la tienen los vehículos de carga pesada referida a buses urbanos, los cuales aportan 464 t/año (75%) de PM y NOx con 5718 t/año (54%), el mayor aporte de COVs lo hacen las motocicletas con 1789 t/año (48%) y la categoría vehicular que más aporta CO son los autos públicos y particulares con 5971 t/año (35%), además de las motos con 5358 t/año(32%). El contaminante con el mayor aporte lo hace el CO con 16878,7 t/año, seguido del NOx con 10638,7 t/año, y los demás, COVs con 3719,6 t/año y PM con 637,2 t/año. El aporte estimado en la investigación corresponde a una cantidad global de 32.200,67 t/año.

***PALABRAS CLAVE: factor de emisión; fuentes móviles; contaminantes atmosféricos; CORINAIR; Top-Down.***

## **ABSTRACT**

Motor vehicles bring large amounts of air pollutants in urban areas. Various scientific studies related to respiratory, cardiovascular, cardiac and hepatic diseases in humans, detrimental to flora and fauna, even to the affectation of materials. The inventories of the emissions are a fundamental tool to analyze this problem. In Barranquilla, inventories have been carried out using the Bottom-up and Top-down methodologies; these inventories were previously generated by making estimates such as TPD & Eypsa in 2012 and DAMAB in 2016. These have used the CORINAIR model, using emission factors adapted for Colombia, average speed on the roads and number of vehicles per category. Therefore, this study aims to estimate the concentration of emissions from mobile sources that impact the air quality of Barranquilla. The methodology used corresponds to the *Top-Down* using emission factors of the European Environmental Agency. The study area corresponds to the city of Barranquilla in its urban perimeter, base year 2018. The research project presents the results of the estimation of atmospheric pollutants (CO, NO<sub>x</sub>, VOCs and PM) from mobile sources in the District. The results show that the greatest contribution is made by heavy-duty vehicles referred to urban buses, which contribute 464 t/year (75%) of PM and NO<sub>x</sub> with 5718 t/year (54%), the highest contribution of VOCs. make motorcycles with 1789 t/year (48%) and the vehicle category that contributes the most CO are public and private cars with 5971 t/year (35%), in addition to motorcycles with 5358 t/year (32%). The pollutant with the highest contribution is CO with 16878.7 t/year, followed by NO<sub>x</sub> with 10638.7 t/year, and the others, VOCs with 3719.6 t/year and PM with 637.2 t/year. The estimated contribution in the research corresponds to an overall amount of 32,200.67 t/year.

**KEYWORDS:** *emission factor; mobile sources; atmospheric pollutants; CORINAIR, Top-Down.*

## 1. INTRODUCCIÓN

En el Distrito de Barranquilla en los últimos años se ha presentado un incremento considerable del parque automotor, de acuerdo con datos de la secretaria de tránsito y seguridad vial para el 2018 este último ha aumentado en un 65% con relación al año 2014, lo cual contribuye al aumento de emisiones contaminantes y generando así deterioro en la calidad del aire; Los vehículos automotores aportan en gran manera emisiones de contaminantes a las áreas urbanas. Estos contaminantes incluyen: precursores de ozono, gases efecto invernadero, sustancias acidificantes, material particulado (PM), especies carcinogénicas (hidrocarburos aromáticos policíclicos y compuestos orgánicos persistentes, sustancias tóxicas y metales pesados (EEA, 2016). Según el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, así como agencias ambientales internacionales, una herramienta fundamental para el entendimiento del problema de contaminación ocasionada por parte de este tipo de fuentes y la formulación de políticas de control de la contaminación del aire, son los inventarios de emisiones de fuentes móviles.

Un indicador de la calidad del aire lo conforma el gasto energético utilizado en los sectores productivos, de transporte, de comercio y de servicios, ya que en su gran mayoría los contaminantes emitidos a la atmósfera son el producto de la combustión de tipos de combustibles fósiles (Hernández, 2010). De acuerdo con lo anterior siendo el Distrito de Barranquilla una ciudad potencial para el desarrollo de estos sectores productivos, es posible que su calidad del aire se esté deteriorando a medida que esta ha ido creciendo; Según mediciones locales y mediciones realizadas por las corporaciones encargadas, las concentraciones de material particulado  $PM_{2.5}$  y  $O_3$  en ocasiones han excedido los valores propuestos por la Organización Mundial de la Salud y la última resolución 2254 de 2017 que adopta la norma de calidad de aire ambiente y otras disposiciones. Uno de los principales causales de este tipo de contaminación ha sido el crecimiento del parque industrial que actualmente abarca gran parte del territorio, como lo muestran los mapas actualizados del plan de ordenamiento territorial (POT), teniendo gran incidencia en el aporte de estos compuestos. Otro causal han sido quemadas abiertas en el

perímetro urbano, o el uso como combustible en calderas u hornos, de llantas, baterías, plásticos y otros elementos y desechos que emitan contaminantes tóxicos al aire. Por último, el otro factor y no de menor relevancia en su impacto en la calidad del ambiente lo conforma el parque automotor que a través de la emisión de gases producidos por el tráfico vehicular causan la polución del aire urbano.

La contaminación atmosférica no debe verse solo como una problemática ambiental, si no como una problemática que está directamente relacionada con la calidad de vida de la población, esto se puede notar con la aparición de diferentes enfermedades, siendo una de las principales preocupaciones en relación a la salud pública debido a que estos contaminantes son capaces de ingresar al sistema respiratorio del ser humano “causando morbilidad y mortalidad de origen cardiaco como respiratorio y enfermedades crónicas de obstrucción pulmonar”(Echeverri & Maya, 2008), cardíacas (Evelson et al., 2016), e incluso enfermedades neurológicas (Maher et al., 2016). estos síntomas se presentan con mayor frecuencia en niños y adultos mayores, dependiendo del tiempo de exposición a fuentes de contaminación, del tipo y naturaleza del contaminante (Charres, Diana, & González, 2016); asimismo puede reflejarse en la reducción de la producción general, del desarrollo y de la educación del país (Álvarez-Narvaez et al., 2016).

De la misma forma que afecta al ser humano también afecta la vida vegetal y animal, causando afecciones en el sistema respiratorio para los animales y obstrucciones que impiden procesos vitales como la fotosíntesis, en el caso de las plantas( Pérez, González-Dávila, Santana-Casiano, & Körtzinger, 2000). Por otra parte los efectos de la contaminación del aire en los objetos materiales se manifiestan principalmente en la corrosión superficial en diversos grados, debido a que presentan alteraciones en su composición física y/o química lo cual pueden generar costos adicionales asociados a efectos estéticos. muchos de los tesoros artísticos de valor histórico de la ciudad y otras unidades funcionales, estructuras, materiales de construcción, piedra, hormigón, ladrillo se ven ciertamente afectados ya que son los que están expuestos en gran medida a las condiciones atmosféricas. La corrosión natural de las superficies metálicas y los materiales minerales de construcción se acelera



dramáticamente por la deposición de contaminantes y partículas de polvo en combinación con la humedad, la radiación UV y la actividad bacteriana. (Baumbach, 1996).

En consecuencia, el siguiente proyecto contará como un soporte a nivel técnico sobre factores de emisión, factores de actividad y estimación de emisiones contaminantes de fuentes móviles a escala local para la realización del inventario de emisiones, usando el modelo de inventario (*Top-Down*) y la guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas del Ministerio de Medio Ambiente, que permiten la evaluación de cómo contribuyen las emisiones contaminantes del parque automotor al deterioro de la calidad del aire en Barranquilla. De igual forma los factores de emisión que se presentaran son los establecidos por la Agencia Europea de protección del Medio Ambiente (EEA, 2016); Con los datos actualizados de los vehículos matriculados en la ciudad de Barranquilla para el año en curso, se realizó la ESTIMACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES PROCEDENTES DE LAS FUENTES MÓVILES QUE IMPACTAN LA CALIDAD DE AIRE DEL DISTRITO ESPECIAL, INDUSTRIAL Y PORTUARIO DE BARRANQUILLA.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es importante resaltar que durante el periodo 2014 a 2017, la tasa de crecimiento económico de la ciudad de Barranquilla ha tenido un incremento considerable, incluso ha estado por encima de la nacional y se mantendrá para el año vigente de acuerdo con el informe de coyuntura económica expedido por la alcaldía. Este crecimiento y el aumento de diversas actividades que componen los procesos productivos son susceptibles de generación de emisiones y disminución de la calidad del aire por la contaminación atmosférica, llegando a niveles donde la calidad de vida de la población desciende a un ritmo que ha preocupado a los diferentes organismos que vigilan y controlan estos aspectos (Caracol Radio, 2018); por ejemplo en el informe sobre la situación ambiental del Atlántico entregado a la Asamblea se asegura que la ciudad presenta problemas de contaminación atmosférica, la Contraloría General del Departamento sostiene que Barranquilla es una de las grandes ciudades colombianas con graves problemas ambientales (Contraloría Distrital, 2013).

Es importante dejar en claro que esta problemática no es solo de carácter ambiental sino también económico y social. Según un análisis realizado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, la contaminación del aire es el tercer factor generador de costos sociales (MINAMBIENTE, 2017), después de la contaminación del agua y desastres naturales (Larsen, 2004). Por otro lado la contaminación local causa actualmente pérdidas a Colombia que ascienden a 1.5 billones de pesos en (Larsen, 2004). Las emisiones contaminantes que causan la polución del aire en las áreas urbanas, provienen principalmente de fuentes móviles como automóviles, buses, camionetas, entre otros (MAVDT, 2010). Por tal razón el incremento del parque automotor puede causar un alza significativa de diversos contaminantes atmosféricos dependiendo del tipo y calidad del combustible usado, de la tecnología vehicular, el estado mecánico del vehículo, estilo de conducción, velocidades, aceleración, entre otros (IDEAM, 2012).

Por otro lado el Informe Nacional De Calidad Ambiental Urbana realizado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en 2015, muestra en cuanto a la

calidad de la información que la ciudad de Barranquilla reportó 16 indicadores con información válida. No reportó información de los indicadores de población urbana expuesta a ruido por encima de los niveles permisibles y de calidad del aire ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ), porque no contaba con sistema de vigilancia de calidad del aire para la ciudad. Además, se consideraron inválidos los indicadores de consumo residencial de energía por habitante y superficie construida con criterios de sostenibilidad, por inconsistencias en la información de soporte y los cálculos correspondientes. En lo que tiene que ver con la calidad ambiental Barranquilla se ubica en el rango de BAJA calidad ambiental, debido a que 6 de los indicadores directos obtuvieron calificaciones MUY BAJA y BAJA, lo cual afecta notoriamente su calidad ambiental. Lo más crítico es la falta de información ambiental, según identificó el estudio, gran parte de los porcentajes negativos en la clasificación de cada ciudad se debe precisamente a información que no se tiene (Betancur L., 2015). Entre las ciudades de más de 500.00 habitantes, se situó en el rango de calidad ambiental Urbana Baja, con 21,7 puntos (Urbana, 2013).

Hasta el año 2016 no se tenían estudios suficientes sobre la calidad del aire en Barranquilla, Sin embargo, se espera determinar su estado actual mediante la puesta en funcionamiento de las estaciones de Calidad del Aire, gracias al convenio entre la Alcaldía de Barranquilla y el Gobierno de Corea del Sur denominado “Fortalecimiento de los sistemas de vigilancia de la calidad del aire y de las capacidades técnicas e institucionales para la gestión integral de la calidad del aire en Colombia (El Heraldó, 2016). En ese sentido fortalecer la información necesaria para la gestión de la calidad de aire es importante a la hora de tomar decisiones y realizar planes de mitigación y/o control.

En el contexto internacional, la contaminación del aire está fuertemente marcada por el desarrollo de inventarios de fuentes de emisión en muchos casos elaborados textualmente y la predicción espaciotemporal de la contaminación atmosférica (Giraldo, L. & Behrentz, E., 2015), que sirve como insumo para el análisis del estado de la calidad del aire y los efectos de la salud de las poblaciones, los medios de comunicación, la actualización de las normas y el desarrollo de los estudios de investigación en pro del mejoramiento, el control y la prevención de la calidad del

aire (Hernández, M. et al. 2010). Colombia todavía presenta algunas falencias, como la generación de inventarios de fuentes de emisión, desarrollo de un mayor número de estudios epidemiológicos y los problemas económicos de la problemática de la calidad del aire. Sin embargo, esta problemática debe tener también una visión global e integral de todo el territorio como se realiza en otros países.

Por lo tanto, como forma de aportar soluciones a esta problemática, se optó por usar la metodología *Top-Down* usando factores de emisión de la Agencia Ambiental Europea CORINAIR diseñada para estimar la concentración de contaminantes atmosféricos emitidos por fuentes vehiculares locales (EEA, 2016). De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se plantea como pregunta de investigación la siguiente;

#### **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

- ¿Cuál es la emisión total estimada de contaminantes atmosféricos criterio provenientes de fuentes móviles en el Distrito especial, industrial y portuario de Barranquilla?

### 3. JUSTIFICACIÓN

La contaminación del aire es un fenómeno que está afectando a los habitantes de la población Colombiana en las principales ciudades, en especial, a grupos vulnerables como niños, enfermos, mujeres en embarazo y ancianos en sectores de menor recurso (Gaviria, Muñoz, & González, 2012). Diversos estudios científicos vinculan la contaminación del aire con las enfermedades respiratorias (Romero, Olite, & Alvarez, 2006), cardiovasculares, cardíacas (Montero, 2011) y hepáticas en el ser humano (Granada, 2014), sus efectos dependen también del tiempo de exposición al que este se encuentre (Catalán-Vázquez et al., 2009). La OMS estipula que "La contaminación atmosférica constituye un riesgo medioambiental para la salud y se estima que causa alrededor de millones de muertes prematuras al año en todo el mundo".

De acuerdo con la legislación colombiana, la defensa de los derechos constitucionales de la persona y la comunidad requiere una aproximación integral por lo que considera que el derecho a la vida, la salud, la integridad personal, la educación, la seguridad, la vivienda, entre otros, implican que se prometa y asegure un entorno ambiental óptimo donde la persona pueda desarrollarse individual y colectivamente. De acuerdo con lo anterior la preocupación por la calidad del aire y del ambiente, forma parte fundamental de la protección y garantía de los derechos fundamentales del ser humano. Además de lo anterior, es un deber de Barranquilla y las demás ciudades en Colombia, cumplir con la normatividad referente a los estándares de calidad de aire, la cual nace en 1993 con la sanción de la Ley 99 por la cual crea el Ministerio del Medio Ambiente; En 1995 la norma marco para el componente aire a través del Decreto 948, el cual contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire, en donde se consagran las normas y principios generales para la protección atmosférica, los mecanismos de prevención y control, las competencias para la fijación de normas y los instrumentos y los medios de control y vigilancia (Buitrago, J, et al, 2007).

El departamento del atlántico cuenta con una red de calidad de aire muy deficiente, lo cual se traduce a que no se posee información necesaria para la toma de decisiones en cuanto a medidas de control luego de que se presente un evento que pueda amenazar a la comunidad. Es importante resaltar que la calidad de aire del área metropolitana no es muy buena de acuerdo con estudios realizados por el IDEAM (Betancur, 2015) y además está asociada a otros factores que inciden tanto en la población, como en los componentes rurales y/o urbanos (vegetación, estructuras). Esta situación se explica, en parte, por el acelerado crecimiento económico que se ha presentado en el Distrito, esto incluye además el crecimiento del parque automotor, el aumento de la demanda de energía que produce mayor consumo de combustibles fósiles, el incremento de las industrias; Por ende el notable deterioro de la calidad del aire ha generado una creciente preocupación por parte de autoridades ambientales y de salud pública del departamento del Atlántico.

En cuanto a la temática relacionada con la contaminación del aire, en el país la calidad del aire es monitoreada en diferentes ciudades principales por el Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire con el fin de establecer los programas de mitigación y control, gestión del riesgo, y otros ejes relacionados. Los proyectos de investigación como los inventarios de emisiones, usando la metodología, *Top-Down*, permiten el análisis de cuanto aportan las emisiones contaminantes del parque automotor al deterioro de la calidad del aire en Barranquilla. Punto que es de suma importancia dentro de los sistemas de vigilancia de la Calidad del Aire. La importancia del estudio radica en que si se encuentran en concentraciones elevadas los contaminantes emitidos por los vehículos, afectaran la salud humana provocando enfermedades principalmente en los sistemas respiratorio y circulatorio, que pueden causar hasta la muerte (Mannucci, P., Franchini, M., 2017). Estos gases se desplazan en sentido norte-noreste en época de mayores vientos, de acuerdo a la orientación de flujos de aire de la ciudad, y en tiempo de vientos débiles se encuentran uniformemente distribuidos (Consuegra, 2013).

Actualmente, existen pocos estudios de emisiones de las fuentes móviles de la ciudad de Barranquilla. Este trabajo presenta un diagnóstico actualizado de las emisiones de CO, NO<sub>x</sub>, COVs, y PM provenientes de las fuentes emisoras y las posibles medidas de acción que se podrían implementar para reducir estas emisiones. En ese sentido, la identificación de las fuentes que emiten contaminantes a la atmósfera se vuelve una actividad importante y a la vez tediosa, debido a que demanda la instrumentación y aplicación de métodos que permitan estimar el tipo y la cantidad de los contaminantes emitidos (Gaitán, Cancino, & Behrentz, 2007). Para terminar un instrumento importante en este proyecto de investigación lo constituye el inventario de emisiones, mediante el cual es posible identificar tanto el grupo de fuentes emisoras y actividades de interés, como el tipo y cantidad de contaminantes generados (Correa, Ríos, & Pacheco, 2015).

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo General**

- Estimar la concentración de contaminantes criterio atmosféricos procedentes de las fuentes móviles que impactan la calidad de aire del distrito de Barranquilla.

### **4.2 Objetivos Específicos**

- Analizar los resultados obtenidos de la estimación de los contaminantes criterio emitidos por fuentes móviles por medio de factores de emisión con la metodología CORINAIR.
- caracterizar los resultados de la estimación de los contaminantes con el fin de conocer los aportes cuantitativos de cada categoría vehicular.
- Evaluar la incertidumbre asociada al inventario de emisiones por fuentes móviles del Distrito.
- Realizar un análisis de la información recolectada con el fin de evaluar el grado de incidencia de cada tipo de emisión en la ciudad de Barranquilla.



## 5. ANTECEDENTES

En la ciudad de Barranquilla se han realizado inventarios de emisiones aplicando las metodologías *Bottom-up* y *Top-down*. Anteriormente se han generado estos inventarios haciendo estimaciones con factores de emisión como el de (TPD & Epypsa, 2012), el de (Orozco & Romaña, 2017) y el (Palacio, D., Sierra, R., & Varela, S., 2016), estos han utilizado para la estimación el modelo CORINAIR, haciendo uso de factores de emisión adaptados para Colombia, velocidad promedio en las vías y número de vehículos por categoría.

En el año 2007, el MAVDT auspició la estimación de la contaminación por PM<sub>10</sub> debido al uso de combustibles fósiles en algunas ciudades del país, se encontró que en Barranquilla se generaban, en ese momento, 1660 toneladas de esta forma, como se cita en (Caro & Uribe, 2008). En el diagnóstico para la formulación del plan maestro de movilidad del distrito de Barranquilla, se presentó la aplicación de los factores de emisión del modelo EMEP/CORINAIR para estimar la carga contaminante producida por el parque automotor en la atmosfera de la ciudad; se encontró que los vehículos generan aproximadamente 800 ton/año, sin incluir lo generado por las motocicletas, lo cual sumaría una cifra mayor (TPD & Epypsa, 2012).

En otro orden de ideas, varios estudios asociados al alto tráfico, han encontrado un vínculo directo con la alta concentración de contaminantes aportados y/o depositados en el área de influencia, permitiendo una correlación con el acelerado deterioro de diferentes estructuras o elementos que hacen parte del mismo entorno (Baumbach, 1996); Además de los aspectos climatológicos que posee la ciudad, en cuanto a condiciones de humedad relativa alta, temperaturas elevadas, alta salinidad, alta radiación solar, las cuales contribuyen al rápido detrimento de los elementos expuestos al ambiente. Para este mismo caso también se suma la deposición de contaminantes como el PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, causante de enfermedades respiratorias (Romero, Olite, & Alvarez, 2006), cardiovasculares, cardíacas (Montero, 2011) y hepáticas en el ser humano (Granada, 2014). A continuación se puede evidenciar en las ilustraciones 1 y 2, dos vías principales del distrito

cogestionadas de vehículos que transitan a diario con máximo flujo entre las 6:00 a.m. hasta las 8:00 p.m.



*Ilustración 1. Alto flujo vehicular en la calle 79. Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 2. Alto flujo vehicular en la carrera 46. Fuente: Elaboración propia*

El grupo prensa de la universidad del norte publicó un artículo en julio de 2018 titulado: “Niños y población de la tercera edad, los más afectados por la contaminación del aire”, este refiere algunas notas que se consignan a continuación:

*“Nuestro estudio permite ratificar lo que la literatura ha comprobado previamente, el impacto que tiene la contaminación del aire sobre enfermedades respiratorias; pero adiciona algo nuevo: el impacto sobre enfermedades cardiovasculares”, contó Julián Fernández Niño, profesor del Departamento de Salud Pública.*

*El docente hizo parte de un grupo de investigación que usó durante cuatro años (2011 a 2014) la información diaria de la red de monitoreo de la calidad del aire*

*en Bogotá, Cali, Medellín y Bucaramanga, y evaluó su asociación con el número de visitas médicas por urgencias que hubo por enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cerebrovasculares, y durante los siguientes días luego de los cambios en los contaminantes del aire.*

*De esta forma, el equipo de investigación halló que el dióxido de nitrógeno y el material particulado de 2,5 y 10 micras son los más nocivos. El primero es un producto de los procesos de combustión a altas temperaturas como los que se encuentran en carros y plantas eléctricas. Por otra parte, el material particulado es una serie de cuerpos sólidos y líquidos diminutos que se encuentran en el aire y se agrupan en las dos medidas mencionadas. “Las de 2.5 micras son más importantes porque se absorben más rápido en el torrente sanguíneo y pueden afectar diversos órganos”, explicó el profesor Fernández.*

*Los resultados principales fueron: por cada incremento de 6 microgramos por metro cúbico de dióxido de nitrógeno en el aire, se da un incremento porcentual de 10.59% en las consultas de las enfermedades respiratorias de niños de 5 a 9 años en las ciudades estudiadas. Las alzas en este contaminante también causan un aumento de 6.12% y 6.17% las consultas en mayores de 60 años por razones cardio y cerebro vasculares respectivamente.*

*Asimismo, los incrementos de 10 microgramos por metro cúbico de material particulado de 10 micras reflejan un alza de 8.32% en consultas por problemas respiratorios en niños. Además, 5.06% y 7.92% fueron las alzas en consultas de adultos mayores en enfermedades vasculares. El incremento de material particulado de 2.5 micras aumentó en 8.23% las consultas para niños y en los adultos, 5.61% y 7.17%.*

*Barranquilla no estuvo en el estudio, puesto que no había un análisis de la calidad del aire en la ciudad, como el que hoy se adelanta. “Necesitamos, por lo menos, un año completo de datos para poder verificar pues es muy probable que estos efectos también estén presentes en la ciudad”, aseveró el profesor. El artículo científico ya fue aceptado en la revista *International Journal of Environmental Research and Public Health* y se publicará.”*

El material particulado es un conjunto de partículas sólidas y líquidas emitidas directamente al aire, en los cuales varían en tamaño, es decir su granulometría y composición dependiendo de sus fuentes de emisión, tales como el hollín del diésel, polvo por vías, y las partículas resultantes de procesos productivos (Alvarez Mendoza, 2014). Estas partículas en suspensión son una compleja mezcla de productos químicos y/o elementos biológicos, como metales, sales, materiales carbonosos, orgánicos volátiles, compuestos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y endotoxinas que pueden interactuar entre sí formando otros compuesto (Augusto & Suárez, 2011). En ese sentido es claro que al momento de entrar en contacto estos elementos ya expuestos a la intemperie con los contaminantes emitidos por las fuentes aumentaría la probabilidad de corrosión de los materiales, como se evidencia en las ilustraciones 3 y 4. Esta corrosión natural de las superficies metálicas y los materiales minerales de construcción se acelera dramáticamente por la deposición de gases ácidos y partículas de polvo en combinación con la humedad (Baumbach, 1996).

En consecuencia con lo anterior, en Barranquilla es notorio en muchas de las vías altamente transitadas, el deterioro de muchos elementos constructivos como podemos observar en la ilustración 4, que corresponde a una escultura hecha en hierro ubicada en el parque del Golf en la cerrera 59b.

Otro caso particular es el puente peatonal que quedaba ubicado en la Universidad autónoma del caribe, La estructura peatonal, ubicada en la carrera 46 con calle 90, estaba en avanzado estado de deterioro por cuanto está invadida por la corrosión, lo que representaba un riesgo para los peatones, dice un artículo publicado en el periódico local el Heraldo, el cual titularon “Desmontan por riesgo el puente de la Autónoma”. Este comunicado comenta además lo siguiente:

*“La Alcaldía expuso que luego de las denuncias ciudadanas y de la revisión técnica correspondiente, la administración decidió desmontarlo debido al avanzado deterioro que presenta esta estructura y por el riesgo que representaba para los transeúntes.*

“El alcalde observó que ese puente metálico tiene 15 años de construido y tuvo muy poco uso por su avanzado deterioro. Hoy se está desmontando esa estructura y con ello se previene el riesgo de un posible accidente, en días anteriores habían caído algunas partes que estuvieron a punto de lesionar a una persona, eso motivó al alcalde a darnos la indicación respectiva, hoy queda desmontado el puente, y los apoyos en los próximos días también serán retirados”, puntualizó el Secretario Distrital de Obras Públicas.

El puente tenía la misión de proteger la vida de los estudiantes y transeúntes que caminaban por el sector y querían cruzar la avenida Olaya Herrera. Sin embargo, esta obra resultó poco útil y por ello la administración previamente había realizado cambios de circulación de algunas vías, con lo que logró disminuir los riesgos. En ese punto se instaló un semáforo y se demarcó el cruce peatonal en la intersección.”

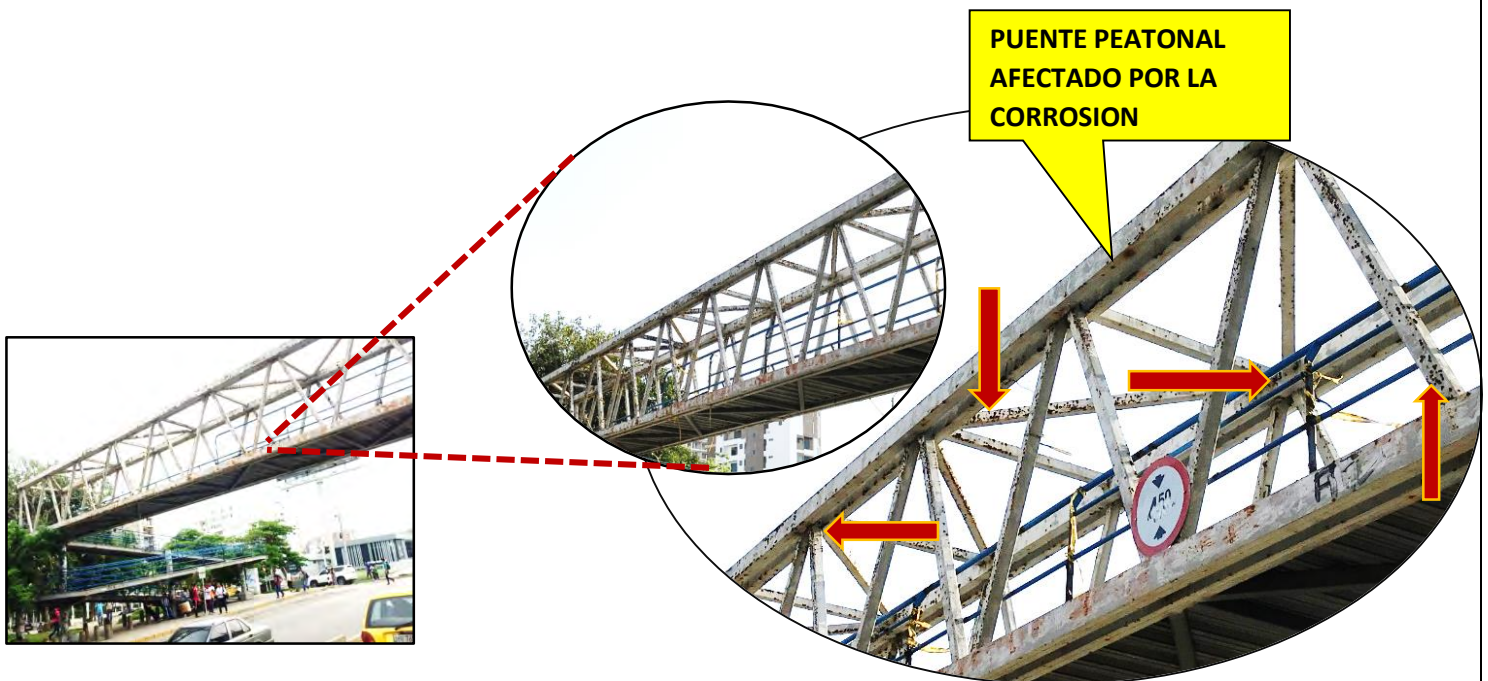
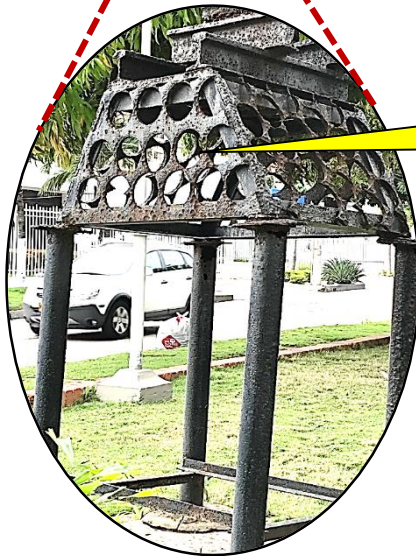


Ilustración 3. Estructura Metálica (puente peatonal) Corroído Situado en la universidad autónoma, carrera 46 con 90, Una Vía De Amplio Flujo Vehicular. Fuente: Elaboración propia.





**ELEMENTO  
CORROÍDO**



**MATERIAL AFECTADO  
POR LA CORROSION**

*Ilustración 4. Escultura Metálica Corroída Situada en el parque del golf aledaña a Una Vía De Amplio Flujo Vehicular, que corresponde a la carrera 59b. Fuente: Elaboración propia.*

En Colombia existe un instrumento para la vigilancia de la calidad del aire, denominado Índice de Calidad del Aire (ICA), el cual permite comparar los niveles de contaminación de calidad del aire, de las autoridades ambientales o entidades que cuenten con redes de monitoreo de la calidad del aire (Manuel & Calderón, 2015). El (ICA) corresponde a una escala numérica adimensional, que oscila entre 0 y 500, a la cual se le asigna un color, el cual a su vez tiene una relación con los efectos a la salud. Teniendo en cuenta los contaminantes que son monitoreados en el país, las características de los combustibles que se distribuyen y los equipos que actualmente se encuentran en las redes de calidad del aire, los contaminantes que tiene en cuenta el ICA son los denominados contaminantes “criterio” (PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y CO), que deben reportarse en cuanto a calidad de aire se refiere, de acuerdo con las características ambientales de las áreas urbanas (Manuel & Calderón, 2015); el Distrito, una ciudad con más de 1.2 millones de habitantes no cuenta con un índice de calidad del aire. Para el Índice de Calidad Ambiental Urbana (ICAU), el reporte de calidad del aire se realiza por variable y no como ICA. Determinar la calidad ambiental de las áreas urbanas, en el marco de lo establecido en la Política de Gestión Ambiental Urbana, se calcula través de indicadores simples que permitan medir y hacer seguimiento a cambios cuantitativos, de elementos relevantes de la calidad ambiental urbana, en determinado momento del tiempo o entre periodos de tiempo (Urbana, 2013).

A escala nacional, en Colombia existen problemas de contaminación del aire, en ciudades como Medellín y Bogotá, se han realizado estudios que asocian la contaminación del aire con problemas de salud relacionados con enfermedades respiratorias. En el Protocolo para la vigilancia sanitaria y ambiental publicado en 2012 se afirma que: “Diversos estudios han demostrado asociación entre la exposición a material particulado (medido como PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) y gases contaminantes del aire, con un aumento de la frecuencia de la morbilidad y la mortalidad por enfermedades respiratorias como el asma” (Morales, N., & Nobles, M., 2013).

Behrentz y Rodríguez (2009) elaboraron la actualización del inventario de emisiones provenientes de las fuentes móviles por medio de mediciones directas. Realizaron más de 200 mediciones directas del tubo de escape bajo las condiciones reales de

operación de los vehículos en la ciudad. Según los resultados obtenidos, las fuentes vehiculares en Bogotá emiten anualmente ton de CO<sub>2</sub>; de CO; de NO<sub>x</sub>; y ton de PM<sub>2.5</sub> Manzi (2003) seleccionó y aplicó una metodología para la estimación de los factores de emisión de las fuentes móviles de la ciudad de Bogotá. Estimaron las emisiones del parque automotor (vehículos livianos y vehículos pesados) de la ciudad para 5 contaminantes (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, COV y PM<sub>10</sub>), con las mediciones de las concentraciones de dichos contaminantes en el área urbana de alto flujo vehicular ubicado en el centro de la ciudad. Estos factores de emisión de la flota vehicular de la ciudad fueron empleados para generar el inventario de emisiones requerido por el Modelo de Calidad de Aire de Bogotá.

Ahora, en otro estudio (Gallardo et al, 2012) se calcularon las emisiones de CO y NO<sub>x</sub> de fuentes móviles en Bogotá (Colombia), Buenos Aires (Argentina), Santiago (Chile) y San Paulo (Brasil), utilizando observaciones pico de la mañana concurrentes de monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). Al culminar la estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles en la ciudad de Bogotá, se logró estimar las emisiones totales para contaminantes criterio, obteniendo resultados de 6 Ton/d para PM<sub>10</sub>, 2.500 Ton/día para CO, 150 Ton/día para (Óxidos de nitrógeno) NO<sub>x</sub>, 7 Ton/día para óxidos de azufre SO<sub>x</sub> y 200 Ton/d para compuestos orgánicos volátiles COVs. Además, se evaluaron los aportes de cada categoría vehicular al inventario total de emisiones, siendo los buses la categoría de mayor relevancia al aportar el 50% de las emisiones de PM<sub>10</sub>, a pesar de representar menos del 5% del total de la flota de vehículos en la ciudad (Giraldo, 2005).

En el Valle de Aburra, Colombia, se realizó un inventario de emisiones donde se estimó que durante el año 2009 las fuentes móviles emitieron 166.899 toneladas de monóxido de carbono (CO), 29.324 toneladas de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), 1.669 toneladas de óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), 25.652 toneladas de compuestos orgánicos volátiles (COV), 2.377 toneladas de material particulado menor a 10 micras PM<sub>10</sub> y 2.075 toneladas de material particulado menor a 2,5 micras (PM<sub>2.5</sub>), siendo los vehículos livianos los principales causantes de las emisiones de monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles (debido al uso de gasolina), mientras los



buses hacen mayor aporte en emisiones NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> (debido al uso de diésel) (Toro et al., 2010).

En Santiago de Chile, un estudio muestra que las estrategias implementadas han evitado que la calidad del aire decaiga mucho más. Entre ellas: la disponibilidad del gas natural, el retiro de los buses más contaminantes y la introducción de convertidores catalíticos (Morales, N., & Nobles, M., 2013). Sin embargo realizan una crítica indicando que es necesario priorizar y focalizar las medidas del plan, debido a que hay muchas medidas con muchos responsables y no se le da prioridad al principal factor de la contaminación que es el transporte (O'Ryan & Larraguibel, 2000).

Molina, usó un grupo interdisciplinario y presentó sus recomendaciones para el diseño de una estrategia integral para la calidad de aire de la zona metropolitana del valle de México, dentro las cuales se resalta: hacer énfasis en las exposiciones crónicas, medición de la composición química de las partículas con diámetro inferior a 2.5 micras, desarrollo de inventarios de emisiones confiables, reforzar la investigación científica, definir actividades efectivas sobre el sector transporte, fortalecer la coordinación interinstitucional y obtener el financiamiento a través de sobrepagos a la gasolina así como transferir los costos al contaminador y quienes reciben los beneficios (Molina M. , 2000).

Así mismo, en México, se realizó un estudio a través del cual se intentó evaluar el esfuerzo por parte del gobierno o autoridades locales para control de contaminación del aire por medio de dos variables: la proporción del presupuesto estatal dedicado a obras públicas y acciones sociales y el Índice de Fortaleza Gubernamental. Los resultados obtenidos por el modelo fueron contradictorios (Morales, N., & Nobles, M., 2013). No obstante el estudio establece que “evaluaciones de políticas, tanto de impacto (si los programas son efectivos) como de implementación (por qué razones son efectivos o no), son insumos fundamentales para decidir si un programa debe continuar, crecer o desaparecer; para valorar la utilidad de nuevos programas; para aumentar la efectividad de la administración y gestión de programas; y para rendir cuentas a los ciudadanos” (Camacho García & Flamand, 2009, pág. 302).

Es importante dejar en claro que no se tiene que llegar a una problemática ambiental aguda para empezar a mitigar los impactos producidos por las distintas fuentes, hay una problemática a nivel mundial mediata que necesita de urgente atención, y es deber de cada nación a nivel nacional, regional y local, comprometerse con el objetivo de sostenibilidad ambiental, para que la calidad de vida de generaciones futuras sea limpia y segura. Es deber del Gobierno Nacional y por ende deber del distrito poner en marcha los programas que incluyen acciones enmarcadas con el ordenamiento urbano, reforestación y pavimentación en zonas críticas, mejoramiento del transporte público, mejoramiento de la calidad de los combustibles, modernización del parque vehicular, certificación y Verificación vehicular, campañas de sensibilización y educación ambiental, cumplimiento de la normatividad, entre otras. Un claro ejemplo es la ciudad de México, la cual era considerada como una de las ciudades más contaminadas por lo que el gobierno mexicano desarrolló el Programa PROAIRE, a partir de un diagnóstico de la calidad de aire de la zona metropolitana del Valle, diseñó las estrategias para la reducción de emisiones de fuentes móviles que incluye los siguientes programas: Modernización del Programa de Verificación Vehicular (planes de certificación del parque automotor cada seis meses); sustitución de convertidores catalíticos; programa de autorregulación de unidades a diésel; actualización del programa Hoy No Circula (prohibición del uso de automóviles privados un día a la semana); regulación ambiental del transporte de carga; sustitución del transporte de pasajeros de mediana capacidad por vehículos nuevos de alta capacidad; renovación de taxis y de autobuses del transporte público de pasajeros; Construcción y modernización de vías; corredores de Transporte de pasajeros (Buitrago, J., et al., 2007).

En el caso de Santiago de Chile la formulación del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) de la Región Metropolitana se convirtió en la agenda política para reducir las emisiones de las múltiples fuentes en la ciudad en un horizonte de diez años. Es importante anotar que, aunque durante la última década la zona metropolitana aumentó su población, duplicó el Producto Interno Bruto (PIB) y triplicó el parque automotriz, igualmente, redujo a casi la mitad la emisión de sustancias contaminantes al aire. Entre las medidas adoptadas se

destacan la ampliación de la red de Metro, la mejora en la calidad de combustibles, los cambios introducidos en transporte público y la construcción de autopistas urbanas e incluye las siguientes medidas: a) Renovación en transportes, de buses y camiones, el retiro de buses sin sello verde al 2004, la incorporación de buses de tecnología limpia, la implantación de sistemas de control de emisiones para buses diésel y la aplicación de las normas Euro III y EPA98 y Tier1 y expedición de nuevas normas de ingreso vehículos livianos y aumento de exigencias en fiscalización en plantas y en la vía pública. B) Mejora de los Combustibles. Encaminado a la reducción de la cantidad azufre en el DIESEL de 300ppm a 50ppm, la mejora en la calidad de la gasolina, (reducción de contenidos de azufre y benceno y la regulación en el uso de la leña residencial. C) Programas Estratégicos para el control de la Contaminación Intramuros por las emisiones asociadas al proceso de combustión, Programa de Educación Ciudadana, Programa de Aspirado de Calles, pavimentación de calles y estabilización de Veredas. D) Programas de Fortalecimiento de la Gestión Ambiental Local, con el fin de involucrar a los diversos actores del ámbito local de las distintas comunas de la Región Metropolitana en el diseño y ejecución de las medidas del PPDA (trabajo con municipios, redes sociales, líderes ambientales, etc.) (Buitrago, J., et al., 2007)

En Barranquilla, el problema de la contaminación del aire no ha recibido la atención prioritaria que requiere, es por ello que el Distrito debe promover el plan de prevención y atención a la contaminación atmosférica, a través de procesos de participación ciudadana y en algunas ocasiones por el sector científico y/o académico ya que desde la formulación de estos se pueden reducir los episodios críticos de contaminación (alertas y preemergencias). Es importante destacar el hecho de que todas las alternativas anteriormente planteadas en ciudades como Santiago de Chile o la ciudad de México son aplicables a la estructura operacional del parque automotriz del distrito.

## 6. MARCO DE REFERENCIA

En este numeral se presenta la normativa ambiental de carácter general aplicable al proyecto de investigación, así como la normativa específica para los aspectos de calidad de aire.

La normativa general ambiental que se tuvo en cuenta para la elaboración de este proyecto se lista a continuación:

- ✓ Se reglamenta parcialmente la ley 23 1973, el decreto ley 2811 de 1974 y la ley 9 de 1979 en aspectos relacionados con la prevención y control de la contaminación atmosférica y a su vez la protección de la calidad del aire.
- ✓ Constitución Política Nacional 1991, de la Asamblea Nacional Constituyente, comprende aspectos ambientales en el Título II, Capítulo 3, Artículos 79-81.
- ✓ Ley 99 de 1993 del Congreso Nacional de Colombia por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente; se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables; se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y se dictan otras disposiciones.
- ✓ Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015, Por medio del cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible.

La normativa indicada a continuación sirvió de base para la formulación del proyecto, se lista a continuación la normatividad específica:

- ✓ Decreto 948 de 1995 (junio 5) del Ministerio del Medio Ambiente, por el cual se reglamentan parcialmente la Ley 23 de 1973, los Artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto Ley 2811 de 1974; los Artículos 41, 42, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 09 de 1979; la Ley 99 de 1993, en relación con la preservación y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. Se establecen las normas concernientes a la protección y control de la calidad del aire.

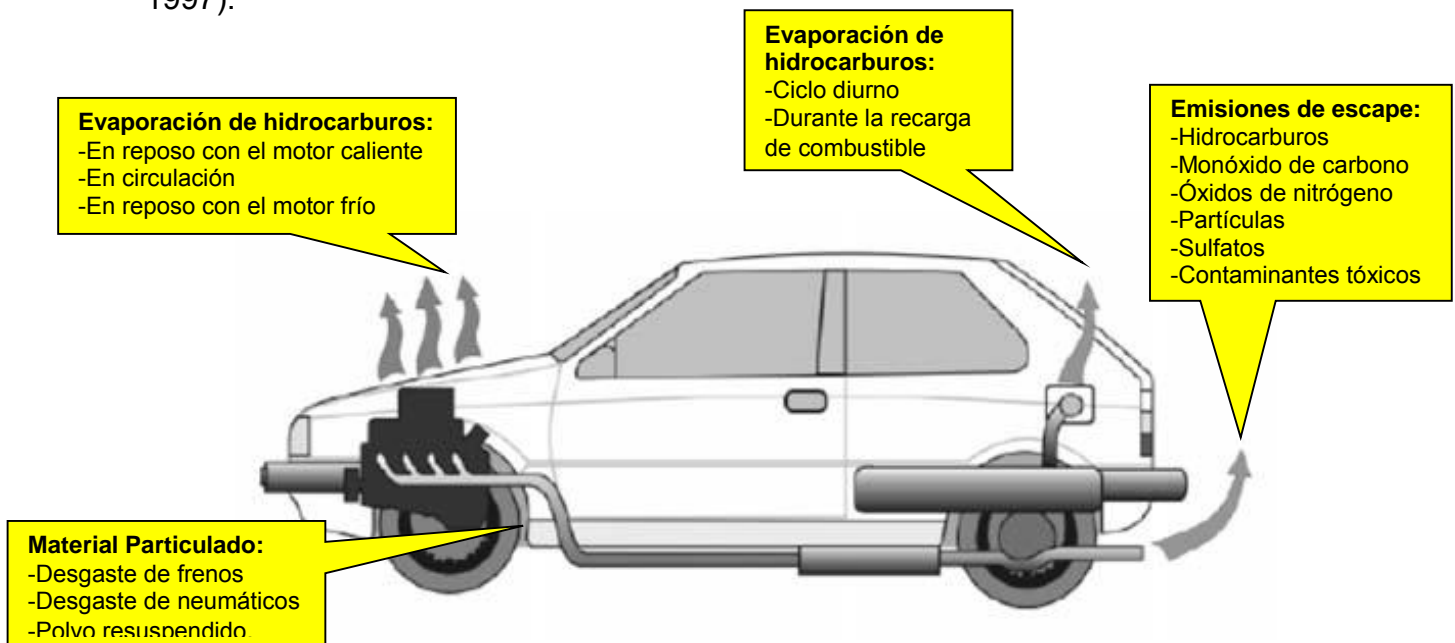
- ✓ Resolución 909 de 1996 de los Ministerios de Transporte y Medio Ambiente, por la cual se modifica parcialmente la Resolución 005 de 1996 de MinTransporte y Medio Ambiente, por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por fuentes móviles terrestres a gasolina o diésel, y se definen los equipos y procedimientos de medición de dichas emisiones y se adoptan otras disposiciones. Se establece la obligación para todos vehículos que se utilizan en las obras (Volquetas y camiones) de tener vigente el certificado de emisión de gases, expedido por un diagnostico autorizado por la Autoridad ambiental.
- ✓ Decreto 2622 de 2000 Minambiente: Modifica el artículo 40 del Decreto 948 de 1995, modificado por el artículo 2° del Decreto 1697 de 1997. Regula las especificaciones de calidad de los combustibles líquidos que se han de importar, producir, distribuir y consumir en todo el territorio nacional.
- ✓ Decreto 1530 2002: Modifica el Artículo 40 del Decreto 948/95, el Artículo 2 del Decreto 1697/97 y el Decreto 2622/00 sobre Calidad de los Combustibles.
- ✓ Resolución 1111 DE 2013, Por la cual se modifica la resolución 910 de 2008, se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres y se adoptan otras disposiciones.
- ✓ Resolución 610 de 2010, Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006 de MAVDT: Por la cual se establece la Norma de calidad del aire o nivel de inmisión, para todo el territorio nacional y se desarrollan los niveles máximos permisibles; los procedimientos para la medición, los programas de reducción de la contaminación del aire y los niveles de prevención, alerta y emergencia y las medidas generales para su mitigación.
- ✓ Resolución 2254 de 2017, Por la cual se adopta la norma de calidad de aire ambiente y se dictan otras disposiciones.

## 7. MARCO TEORICO

### 7.1 EMISIONES POR FUENTES MOVILES

Los vehículos automotores que circulan por carreteras son aquellos como los automóviles, los camiones y autobuses diseñados para operar en carreteras públicas (Castro, P & Escobar, L, 2006). En la mayor parte de las áreas urbanas los vehículos automotores contribuyen en gran medida a las emisiones de CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, partículas, compuestos tóxicos del aire y especies que reducen la visibilidad (Radian International LLC, 1997).

Las emisiones de vehículos automotores consisten de un gran número de contaminantes resultantes de varios procesos diferentes como se observa en la ilustración 5 Las emisiones más comúnmente considerados son las del escape, que resultan de la combustión y se emiten por el tubo de escape del vehículo y las que provienen de varios procesos de emisión evaporativos (Radian International LLC, 1997).



*Ilustración 5. Procesos de emisión en vehículos automotores. Fuente: manuales del programa de inventarios de emisiones de México volumen II fundamentos de inventarios de emisiones. Fuente: INE-SEMARNAT, 2005.*

No todos los vehículos emiten contaminantes en las mismas proporciones; estas dependen del tipo de motor y combustible que se utilice.

### **7.1.1 Contaminantes producidos por la gasolina**

La gasolina es un combustible derivado del petróleo, el cual se obtiene por destilación del mismo; cuando se utiliza en una máquina bien sincronizada y con suficiente aire, produce dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, agua (H<sub>2</sub>O) óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y energía. Algunos compuestos tóxicos se encuentran en la gasolina y se emiten al aire cuando esta se evapora o pasa a través del motor como combustible no quemado. El benceno, por ejemplo, es un componente de la gasolina. Los vehículos emiten pequeñas cantidades de benceno en el combustible no quemado o cuando la gasolina se evapora (Castro, P & Escobar, L, 2006).

Una cantidad significativa de benceno proviene de la combustión incompleta de compuestos de la gasolina, como el tolueno y el xileno, que son químicamente muy similares al benceno. Al igual que el benceno, estos compuestos se encuentran en forma natural en el petróleo y se concentran más cuando este se refina para producir gasolina de alto octanaje (Castro, P & Escobar, L, 2006).

El formaldehído, el acetaldehído, el material particulado del combustible para motores Diésel y el 1,3-butadieno no están presentes en el combustible, pero son subproductos de la combustión incompleta. El formaldehído y el acetaldehído se forman también mediante un proceso secundario cuando otros contaminantes de fuentes móviles experimentan reacciones químicas en la atmósfera (Castro, P & Escobar, L, 2006).

### **7.1.2 Contaminantes producidos por el diésel**

El diésel es combustible derivado del petróleo, producto de la destilación, produce, dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, agua (H<sub>2</sub>O) óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>2</sub>), partículas (MP) y energía. Las emisiones de diésel son una mezcla de más de 400 partículas finas diferentes, vapores y materiales orgánicos tóxicos, que resultan cuando se quema el combustible diésel. Más de 40 sustancias químicas de las emisiones de diésel han sido consideradas como contaminantes tóxicos (TAC) en el Estado de California. Algunos de los contaminantes tóxicos del aire que se encuentran en las emisiones de diésel incluyen monóxido de carbono, dióxido de azufre, compuestos de cianuro, aldehídos, benceno, formaldehído, plomo

inorgánico, compuestos de manganeso, compuestos de mercurio, metanol, fenol y arsénico (Castro, P & Escobar, L, 2006).

### Gases contaminantes de gasolina y diésel

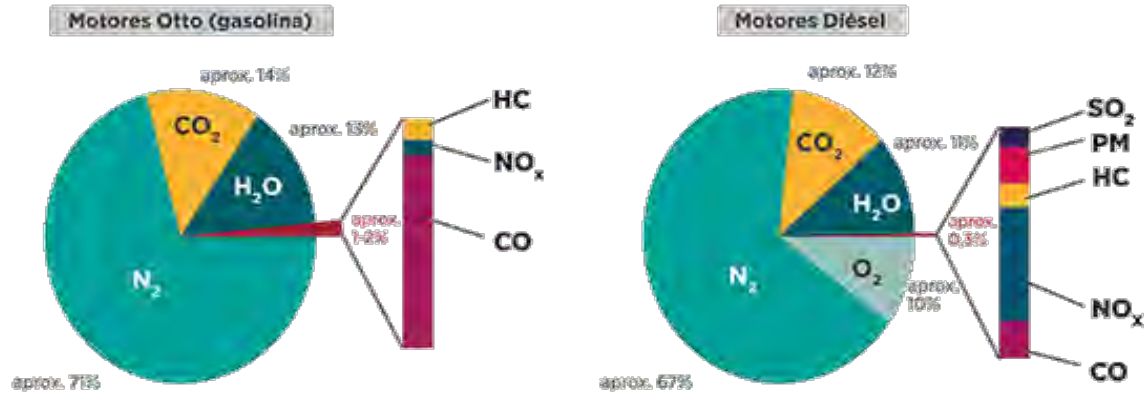


Ilustración 6. Emisiones de gases de escape en vehículos automotores diésel y gasolina. Fuente: <http://www.aprendeconenergia.cl/combustibles-derivados-del-petroleo-desigual-impacto-ambiental/>

#### 7.1.3 Motor a gasolina y motores a diésel.

La diferencia importante que posee un motor de gasolina y uno diésel es el proceso de explosión para generar la energía a través de la quema del combustible. En ambos motores se presenta un ciclo de cuatro etapas que consisten en la inyección de combustión, inyección de compresión, proceso de combustión y escape (González, L, 2018). En el motor a gasolina, durante la fase de inyección de combustión, el combustible se mezcla con aire, mientras que en el motor a diésel entra sólo aire que es calentado a temperaturas de más de 540 °C en la fase de inyección de compresión, ésta en el motor a gasolina calienta la mezcla de aire y gasolina; durante la etapa del proceso de combustión, el motor de gasolina requiere de la chispa de las bujías para encender la mezcla, mientras que en el motor diésel, debido a la volatilidad del combustible y la temperatura del oxígeno, sólo se necesita inyectar el primero que estos entren en contacto para producirse la explosión (NCHEu, 2017). Kates & Luck (1982) exponen las similitudes y diferencias que existen entre estos tipos de motores. Resalta que los dos son de combustión interna, eso quiere decir que el combustible es quemado dentro de cilindros del motor; y además, la mayoría de los motores realizan ciclos de cuatro tiempos que consiste en las etapas de aspiración, compresión, motriz y escape, realizadas por el pistón.;



y por último, estos dos combustibles , el diésel y la gasolina, son combustibles líquidos obtenidos del petróleo, aunque la gasolina se diferencia por ser altamente volátil a temperaturas relativamente bajas, mientras que el diésel requiere de altas temperaturas para evaporarse.

En lo que respecta a las emisiones de material particulado, los vehículos a combustible diésel generan este contaminante en cantidad considerablemente mayor que los vehículos a gasolina (Camner, 1988), además de eso, los vehículos pesados a diésel, son los mayores emisores entre las diferentes categorías de vehículos diésel (Harrison et al., 2016). En los motores de gasolina se forma por la condensación del vapor de aceite en el escape, estas emisiones de material particulado son usualmente pequeñas para motores de cuatro tiempos, mientras que en los motores diésel son considerablemente más altas. Las emisiones diésel en forma de humo negro, son una de las principales fuentes de altas concentraciones de material particulado en la mayoría de las grandes ciudades de países en vía de desarrollo (Faiz, Weaver, & Walsh, 1996). A continuación se ilustran los procesos de combustión de motores diésel y a gasolina.

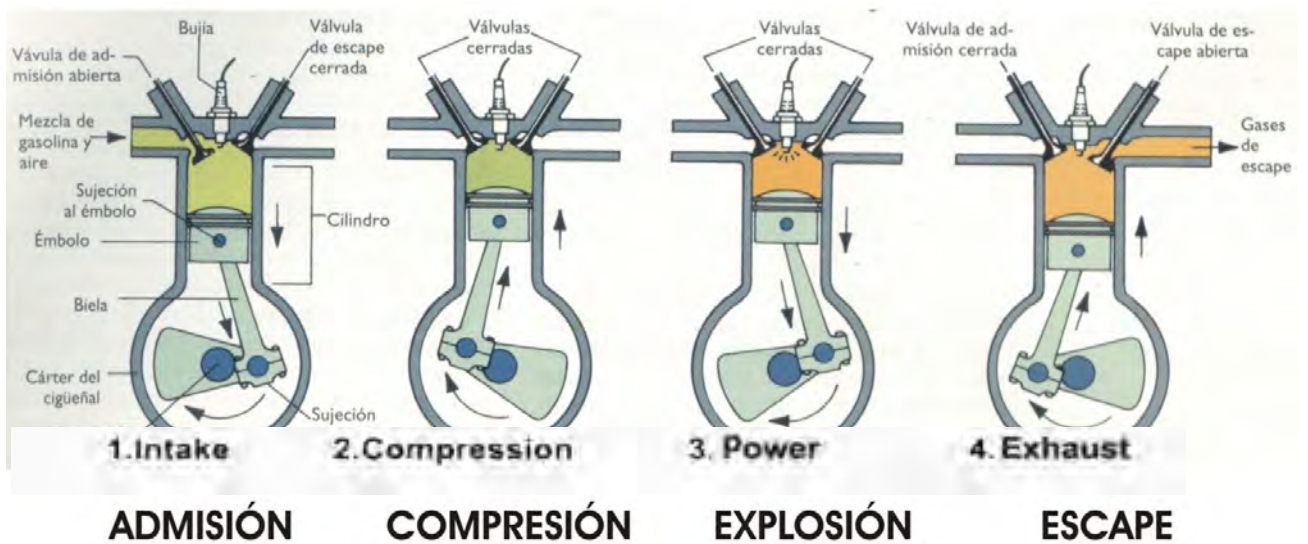


Ilustración 7. Ciclo de cuatro tiempos de un motor a gasolina. Fuente: <https://sites.google.com/site/maquinastermicas3d/4-combustion-externa>.

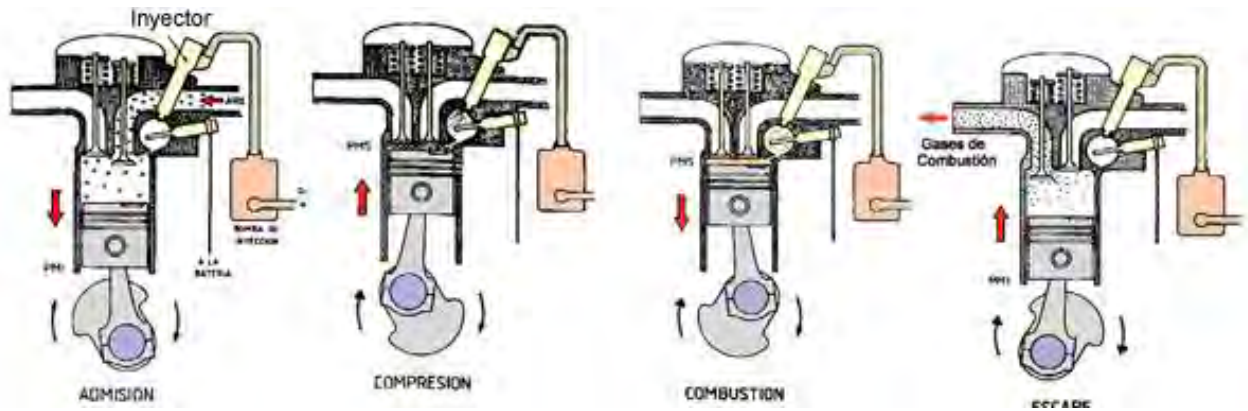


Ilustración 8. Ciclo de cuatro tiempos de un motor diésel. Fuente: [http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4935/html/22\\_motor\\_diesel.html](http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4935/html/22_motor_diesel.html)

## 7.2 CONTAMINANTES PRODUCIDOS POR LOS VEHICULOS Y EFECTOS ADVERSOS A LA SALUD HUMANA

Los contaminantes producidos por el parque automotor son de orden primario. Los contaminantes primarios son los que proceden directamente de la fuente de emisión, son los que se emiten directamente a la atmósfera como el dióxido de azufre  $SO_2$ , que daña directamente la vegetación y es irritante para los pulmones (Gómez & Calderón, 2007). A su vez los contaminantes criterio pueden sufrir transformaciones al entrar en contacto con otra sustancia, como resultado se producen contaminantes secundarios como consecuencia de las transformaciones y reacciones químicas y físicas que sufren los contaminantes primarios en el seno de la atmósfera, distinguiéndose, sobre todo, la contaminación fotoquímica y la acidificación del medio (Ballester, 2005). Ambos contaminantes, primarios y secundarios pueden depositarse en la superficie de la tierra por precipitación (Cororia-zambrano & Rojas-caldelas, 2008). El presente proyecto estudiará los contaminantes emitidos directamente a la atmosfera.

### 7.2.1 Monóxido De Carbono

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro e inodoro que resulta de la combustión incompleta de combustibles fósiles (Radian International LLC, 1997). Una cantidad significativa del CO emitido en áreas urbanas es producto de los vehículos automotores. El CO es un gas venenoso, que se produce depende de cómo se quema el combustible, es un gas más pesado que el oxígeno o el aire y

desplaza al oxígeno de la atmósfera en pequeñas cantidades, el CO causa dolores de cabeza, mareos y náuseas. En grandes cantidades es mortal, porque priva al cuerpo del oxígeno necesario en sus pulmones.

Su mayor concentración se encuentra en áreas con gran cantidad de tráfico y especialmente en los meses de invierno. Los límites máximos de concentraciones establecidos por la EPA son de 35ppm en promedio en una hora y 9ppm para un tiempo mayor a 8 horas (Morales, N., & Nobles, M., 2013). Este compuesto es de los más peligrosos por su capacidad de combinarse con la hemoglobina y causar asfixia química que ocasiona reducción del oxígeno en el corazón y en el cerebro, lo cual es crítico para las personas que tienen padecimientos en el corazón, en los pulmones o anemia ya que al exponerse a esta sustancia les ocasiona dolores de cabeza, fatiga y reflejos retardado (Arellano, 2009).

De acuerdo a lo descrito en el documento soporte Norma de calidad del aire (IDEAM, 2005), las fuentes de CO más importantes en las ciudades son las fuentes móviles, cuyos estudios existentes muestran que cerca del 70% de la contaminación del aire está asociada a fuentes móviles.

### **7.2.2 Óxidos de Nitrógeno**

El dióxido de nitrógeno es un gas secundario que se forma en la atmósfera por la reacción entre el NO y el O<sub>2</sub>. Como menciona (Elías, 2012) “Es un gas pardo rojizo, no inflamable, tóxico y de olor asfixiante, es uno de los principales contaminantes atmosféricos responsable de la contaminación atmosférica y potencialmente peligroso para la salud tanto del hombre como de los animales” (Morales, N., & Nobles, M., 2013). Otros autores afirman que “el NO<sub>2</sub> permanece en la atmósfera durante un promedio de tres días, tiempo en el cual puede causar graves intoxicaciones si se acumula en proporciones peligrosas” (Chanizco & Garritz., 1995).

Estudios realizados en ciudades españolas, demuestran que debido al incremento de vehículos diésel, sin filtros de partículas y catalizadores específicos para NO<sub>2</sub>, emiten niveles mucho más elevados de NO<sub>2</sub> y partículas en suspensión que otro tipo de vehículos (Querol, 2008).

### 7.2.3 Material Particulado

En la mayoría de las áreas urbanas, la emisión de material particulado primario proviene principalmente de los vehículos. Estos tienen típicamente una distribución bimodal, que consiste en una fase de hollín y una fase de nucleación, la fase de hollín es rica en carbón elemental y tiene un pico de distribución entre los 50 y 100nm; por otro lado, la fase de nucleación tiene un pico de distribución entre los 15 y los 30 nm, las partículas de esta fase resultan principalmente del enfriamiento de los gases de escape. Los vehículos emiten ambas fases, pero la fase de hollín es más pronunciada en las emisiones diésel (Harrison et al., 2016).

En Colombia es el principal contaminante de medición, conocido comúnmente como  $PM_{10}$ , que son las partículas inferiores a 10 micras o  $PM_{2.5}$ , partículas inferiores a 2,5micras, siendo el parámetro más importante con respecto al comportamiento de las partículas en la atmósfera, cuyo tamaño depende de la penetración en el sistema respiratorio. Material que se ha demostrado proviene de diversas fuentes como lo menciona De Nevers (1997) pueden provenir de procesos industriales, tráfico de vehículos, combustión doméstica, centrales térmicas, obras en construcción, entre otros. Está constituido por partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, producidas por motores ciclo diésel y la combustión incompleta de combustibles sólidos, como la madera y el carbón. De igual forma “Se produce también por la condensación de vapores ácidos y Compuestos Orgánicos Semivolátiles” (Sbarato, 2009), o como menciona la OMS, “es un contaminante que está constituido principalmente por “sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro sódico, el carbón, el polvo de minerales y el agua” (OMS, 2011).

Es importante resaltar que el material particulado no posee una composición específica, sino que su masa y composición varía considerablemente en términos espaciotemporales, además de esto es susceptible a ser influenciado por las condiciones meteorológicas y climáticas de la zona donde se presente (Zereini & Wiseman, 2010). Así como otros contaminantes atmosféricos pueden formarse en la atmósfera por la interacción de sustancias precursoras provenientes de las emisiones, el material particulado también puede conformarse en el aire por

condensación o reacción química de los gases y vapores, reacciones químicas entre partículas primarias con gases y/o vapores, coagulación de diferentes tipos de partículas primarias o por la adquisición de revestimiento superficial de partículas ya formadas, proceso que altera su composición (Phalen & Phalen, 2013).

Además, diferentes estudios han demostrado que “el material particulado agrava enfermedades respiratorias y cardíacas preexistentes, causa daño a los pulmones en especial a las personas con influenza afectando sobre manera a niños y adultos mayores” (Sbarato, 2009). Esto se ha atribuido especialmente a las denominadas partículas de fracción respirable menores a  $10\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ), las cuales se depositan exclusivamente en nariz y garganta e incluso pueden llegar a depositarse en el tracto respiratorio. Las partículas de menor tamaño correspondientes a  $2,5\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ) son las que afectan en mayor grado la salud humana, al alojarse en bronquiólos respiratorios y región alveolar (Sbarato, 2009) & (Rojas & Garibay, 2009).

#### **7.2.4 Óxidos de Azufre.**

Óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ) es un término general que se refiere al dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y otros óxidos de este elemento. El  $\text{SO}_2$  es un gas incoloro de olor fuerte que se forma en la combustión de combustibles fósiles que contienen azufre. Los óxidos de azufre son compuestos irritantes del sistema respiratorio que pueden ocasionar una respuesta similar al asma o bien agravar una condición asmática preexistente. Los síntomas de una exposición a altas concentraciones ambientales pueden incluir tos, goteo de la nariz y falta de aliento. Estas respuestas pueden ser más severas en fumadores (Radian International LLC, 1997).

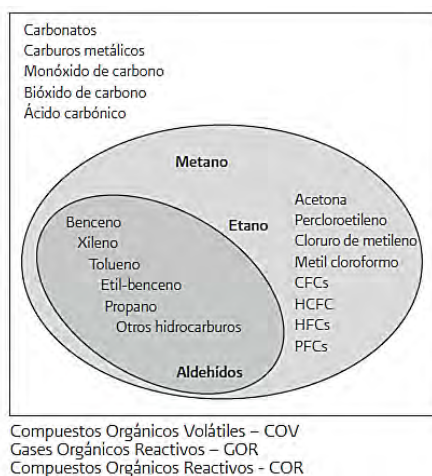
La presencia del  $\text{SO}_2$  en la atmósfera es “la principal causa de producción de lluvia ácida y aumento de los niveles de partículas con diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros ( $\text{PM}_{10}$ ) y a 2,5 micrómetros ( $\text{PM}_{2.5}$ ), que incrementan cuando el  $\text{SO}_2$  y los oxidantes fotoquímicos reaccionan en la atmósfera” (Sbarato, 2009). Cuando se encuentra presente en el aire con valores por encima de 20ppm causa afectaciones en la salud como lo son; irritación en ojos, nariz, garganta así como también incide sobre las personas con problemas respiratorios, más exactamente

problemas pulmonares y bronquitis, causando afecciones severas cuando se aumenta el tiempo de exposición y agravándose aún más cuando las concentraciones se encuentran entre 400-500ppm (Palate, 2009).

### 7.2.5 Compuestos orgánicos volátiles.

Los compuestos orgánicos no volátiles que no son metano (NMVOC) son originados por las emisiones evaporativas y exhaustivas de los motores de los vehículos. Entre estos compuestos, podemos ubicar a los aromáticos, a los hidrocarburos ligeros y pesados, incluyendo furanos y dioxinas (Lara, C., Mendoza, J. F., et al, 2009). Los compuestos considerados fotoquímicamente reactivos son denominados compuestos orgánicos volátiles (COV) o gases orgánicos reactivos (GOR). Entonces, por definición, los COV o GOR son un subconjunto de los hidrocarburos totales, y son gases fotoquímicamente reactivos que pueden participar en la formación del ozono. Algunos de los compuestos en esta categoría de contaminantes incluyen aldehídos tales como el formaldehído y acetaldehído, además de compuestos aromáticos como el benceno. En general, es recomendable que se desarrollen estimaciones de emisiones tanto para COT como para COV, de manera tal que el usuario tenga flexibilidad para elegir el grupo de contaminantes adecuado para el propósito del inventario de emisiones. La ilustración xx ilustra gráficamente la relación entre estas varias definiciones de hidrocarburos. Las áreas sombreadas indican cuales son los compuestos incluidos en la definición de COVs (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009).

*Ilustración 9. Composición de los compuestos orgánicos volátiles. Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 2009.*



Algunos de los compuestos en esta categoría de contaminantes incluyen algunos aldehídos como el formaldehído y el acetaldehído que son irritantes del tracto respiratorio y compuestos químicos carcinogénicos. El benceno, que también es carcinogénico, puede estar presente. Las exposiciones de corta duración a estos compuestos pueden ocasionar irritación del tracto respiratorio. También existe el potencial para un incremento en los casos de cáncer cuando hay exposiciones largas a algunas especies de GOT (Radian International LLC, 1997).

*Tabla 1. Principales efectos producidos por los contaminantes atmosféricos. Fuente: informe del estado de la calidad del aire. IDEAM 2007-2010.*

<b>CONTAMINANTE</b>	<b>EFFECTOS SOBRE LA SALUD HUMANA</b>	<b>EFFECTOS SOBRE LAS PLANTAS</b>	<b>EFFECTOS SOBRE MATERIALES</b>
<b>Partículas</b>	Los efectos dependen de su tamaño. El cual determinara su nivel de penetración en el organismo. A menor tamaño mayor penetración. Pueden ser toxicas por si mismas o transportar moléculas de gases irritantes.	Al acumularse sobre las hojas puede obstruir los estoma, dificultando la fotosíntesis, así mismo pueden causar necrosis y caída de las hojas.	La deposición de partículas puede causar problemas estéticos, lo que conllevara con mayor frecuencia, incurriendo mayores costos. Las partículas con ayuda del viento ejercen una acción erosiva sobre los materiales.
<b>Compuestos de azufre</b>	Afectan al sistema respiratorio y pueden causar infecciones respiratorias en niños.	aparición de manchas lechosas en las hojas, seguido de perdida de color en las zonas intervenales; en algunas ocasiones hay muerte de tejido	Ataque químico que se puede manifestar con deterioro de las pinturas y debilitamiento.
<b>Óxidos de carbono</b>	El CO se combina con la hemoglobina de la sangre reduciendo su capacidad de transportar oxígeno a los tejidos, afectando el comportamiento y la sensibilidad visual.	Concentraciones elevadas pueden producir alteraciones en su metabolismo.	-
<b>Compuestos de nitrógeno</b>	Problemas relacionados con el sistema respiratorio.	Pueden llegar a producir defoliaciones, clorosis y necrosis.	puede producir decoloración
<b>Metales</b>	Son alternamente tóxicos abajas concentraciones. Se incorporan a la cadena trófica y son bioacumulables.	Son altamente tóxicos a bajas concentraciones. Se incorporan a la cadena trófica y son bioacumulables.	-

### **7.3 Metodología CORINAIR.**

Es una guía europea sobre inventario de emisiones que resultó de la fusión del Programa Europeo de Vigilancia y Evaluación (EMEP) y CORINAIR (Baca, 2011). Tiene como objetivo estimar las emisiones de contaminantes resultantes de las actividades antrópicas y naturales (AAE, 2016) , por lo que gracias a su implementación se logra conocer la evolución temporal de las emisiones, plantear políticas medioambientales, suministrar información a los organismos competentes en el área de contaminación ambiental (CNR COP, 2017) ; está compuesta por dos metodologías: la simplificada, donde el cálculo de la emisión se ejecuta a través de factores de emisión de acuerdo a la actividad, y las detalladas, donde el cálculo se realiza mediante modelos matemáticos complejos que necesitan de información minuciosa de la actividad (Baca , 2011). Ahora, esta guía se actualiza anualmente y se encuentra disponible en una página web oficial (EEA, 2017).

#### **7.3.1 Factores De Emisión.**

Un factor de emisión es una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y una unidad de actividad. En general, los factores de emisión se clasifican en dos tipos: los basados en procesos y los basados en censos. Por lo común los primeros se usan para hacer estimaciones de las emisiones de fuentes puntuales, y a menudo se combinan con los datos de actividad recopilados con encuestas o con balances de materiales. Por otra parte, los factores de emisión basados en censos, se usan mucho para hacer estimaciones de las emisiones de fuentes de área (Castro, P & Escobar, L, 2006).

Tradicionalmente, el parámetro más relevante para el cálculo de emisión asociado a un vehículo es la velocidad media para un tramo determinado. La gran mayoría de factores de emisión disponibles en la literatura son funciones de la velocidad media, obtenidas empíricamente mediante regresiones con bajo nivel de correlación, supuestamente representativas de las distintas categorías vehiculares (Castro, P & Escobar, L, 2006).



#### **7.4 Factores De Actividad.**

El modelo básico de cálculo utilizado en la estimación de las emisiones atmosféricas se basa en el producto de dos variables, una primera variable que define el nivel de actividad de una fuente de emisión y una segunda variable que define el factor de emisión propio para cada actividad. En el caso de tráfico, la actividad se podría considerar por ejemplo el tipo de vía por el cual se circula (urbana, carretera convencional, autovía y autopista) o el tipo de vehículo que se esté considerando. El nivel de actividad sería entonces la intensidad de tráfico que circula por un punto de vía determinado (Benoiston Lao, E., Recio, B., & María, J. (2006). El modelo de cálculo consiste relacionar una actividad con la emisión de contaminantes propios de cada actividad. Los factores de actividad son obtenidos, por lo general, a partir de parámetros de producción o estadísticos; incluyendo balances, consumo energético, datos de población, etc. (Noceda, M. D., 2013). Los factores de emisión son parámetros empíricos, obtenidos a partir de datos medidos en fuentes de emisión de referencia (EEA, 2009a).

#### **7.5 CONDICIONES AMBIENTALES Y ATMOSFÉRICAS.**

En esta investigación se decidió optar por el Modelo (*Top - Down*), debido a que este requiere de una serie de datos que adapta los factores de emisión de CORINAIR a las condiciones de la ciudad, por lo que teóricamente daría una estimación más aproximada a la zona de estudio, estos factores son las condiciones climáticas, geográficas, de calidad de los combustibles y de patrones de conducción, que en lugar de manejar una velocidad promedio, tiene en cuenta la velocidad de conducción en tiempo real; este factor ha sido ampliamente usado para revelar el impacto de las condiciones de operación del vehículo en el consumo de combustible y emisión de contaminantes (Yao, Liu, & Li, 2013).

Es importante en primera instancia contextualizar el análisis que se realizará, definiendo el área de estudio del proyecto, y especificar las condiciones meteorológicas o climáticas, que en la medida tienen afectación en la dinámica del contaminante.

### 7.5.1 Localización Del Área de Estudio Del Proyecto.



Ilustración 10. Mapa de Colombia y la ciudad de Barranquilla (Distrito Especial, Industrial y Portuario). Fuente: [Uninorte.edu.co](http://Uninorte.edu.co). [Conectados-con-el-mundo/sobre-Colombia-y-barranquilla](http://Conectados-con-el-mundo/sobre-Colombia-y-barranquilla). Google Earth.

### 7.5.2. Aspectos Geográficos

La ciudad está localizada en el vértice nororiental del departamento del Atlántico, sobre la orilla occidental del río Magdalena, a 15 km de su desembocadura en el mar Caribe. Barranquilla se encuentra a una latitud  $10^{\circ} 59' 16''$  al norte de la línea ecuatorial y una longitud de  $74^{\circ} 47' 20''$  al occidente de Greenwich, tomando como referencia la plaza de la Paz, punto cero de la ciudad.

El área urbana está edificada sobre un plano ligeramente inclinado cuyas alturas extremas, según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, son 4 msnm al oriente y 98 metros al occidente, sobre el nivel del mar. Otras fuentes señalan alturas accidentales en las lomas, hasta de 120 metros fuera de la ciudad (CIOH, 2010).

### 7.5.3 Relieve

Está conformado por llanuras marinas, serranías, terrenos planos y cenagosos, la llanura marina está compuesta por depósitos arenosos y lodo, producto de la sedimentación del Río Magdalena. Un paisaje ligeramente montañoso ocupa el 45% del territorio, lo conforman la serranía de Luruaco y la Serranía de Tubará. Los suelos planos del Atlántico son fruto del depósito aluvial lacustre y deltaicos, se encuentran tres zonas concretas: Las llanuras aluviales que atraviesan el Canal del Dique; Las Terrazas aluviales que rodean la Ciénaga de Luruaco y La Planicie

Eólica localizada entre el Río Magdalena y el cordón de serranías (Gobernación del atlántico, plan de desarrollo 2012-2015).

Para fines de este informe, las coordenadas geográficas de Aeropuerto internacional Ernesto Cortissoz son latitud: 10,890°, longitud: -74,781°, y elevación: 24 m. La topografía en un radio de 3 kilómetros de Aeropuerto internacional contiene solamente variaciones modestas de altitud, con un cambio máximo de altitud de 60 metros y una altitud promedio sobre el nivel del mar de 24 metros. En un radio de 16 kilómetros contiene solamente variaciones modestas de altitud (218 metros). En un radio de 80 kilómetros contiene variaciones grandes de altitud (1.864 metros).

#### **7.5.4 Clima**

Entre los factores que determinan el clima de Barranquilla están la latitud, la cercanía al mar y el relieve. La ciudad está muy cerca del Ecuador o paralelo 0, por lo cual los rayos del sol caen perpendiculares, registrándose altas temperaturas durante todo el año. Barranquilla además, está ubicada en la zona intertropical o de bajas latitudes, este factor sumado a su cercanía al mar y a sus tierras bajas, permite una moderación de las temperaturas por la influencia de las brisas marinas. Así mismo, el clima de Barranquilla es de tipo tropical seco, es decir, correspondiente a una vegetación propia de la sequedad y bajo altas temperaturas (CIOH, 2010).

En Barranquilla no se producen las abundantes selvas características del clima tropical. Por el contrario, es una zona seca, como lo es todo el litoral Caribe colombiano, debido a que los vientos alisios del noreste soplan paralelos al litoral, absorbiendo la humedad, empujándola hacia el interior de la Región Caribe hasta las estribaciones de la cordillera de los Andes, donde producen abundantes lluvias.

Los vientos alisios son secantes y en determinadas épocas del año soplan con más energía, aumentando la sequía en la región. La sequía también se produce por un fenómeno conocido como la "Sombra de sotavento" de la Sierra Nevada de Santa Marta. La Sierra Nevada de Santa Marta es una barrera para los vientos alisios del noreste, éstos, luego de aridecer la península de la Guajira, alojan toda la humedad del lado de Barlovento de la Sierra Nevada produciendo abundantes lluvias, hasta 2500 mm anuales, pero en el lado de sotavento esto es, el lado opuesto a

Barlovento, la parte de la Sierra que mira hacia Barranquilla, se genera sequía que se extiende hasta el oriente de la ciudad. Por la sombra de sotavento el promedio de lluvias en la parte oriental de la ciudad (Barrios las Nieves, Rebolo, La Luz, Simón Bolívar) es ligeramente menor que en el occidente y suroccidente de la ciudad (CIOH, 2010).

La atmósfera de la ciudad está condicionada por su ubicación, en una zona intermedia entre dos extremos climáticos: el árido del norte (desierto de la guajira) y la región húmeda al sur que se inicia en el valle medio del Magdalena y recibe la influencia del mar Caribe. El clima tropical y seco se caracteriza por dos periodos: uno seco y otro húmedo. El periodo seco comprende desde diciembre a marzo y se caracteriza porque los vientos alisios del noreste soplan con tanta energía que suelen causar daños a las viviendas. La época humedad comprende los meses de abril hasta noviembre. El periodo lluvioso se interrumpe por un pequeño verano conocido como "Veranillo de San Juan" o época de transición, que se origina como consecuencia de la entrada a la ciudad de los vientos alisios del sureste, que provocan la sequía durante un corto periodo tiempo. Durante la época humedad o invernal, la escasez de los vientos y la abundante humedad, produce en la ciudad un ambiente caluroso con características malsanas de selva tropical (CIOH, 2010).

### 7.5.5 Temperatura

Las temperaturas máximas superan siempre los 31.0 grados centígrados, mientras las mínimas están por encima de los 23.3 grados centígrados hasta los 24.8 grados centígrados. El tipo de clima es seco, con gran déficit de agua, y cálido (CIOH, 2010).

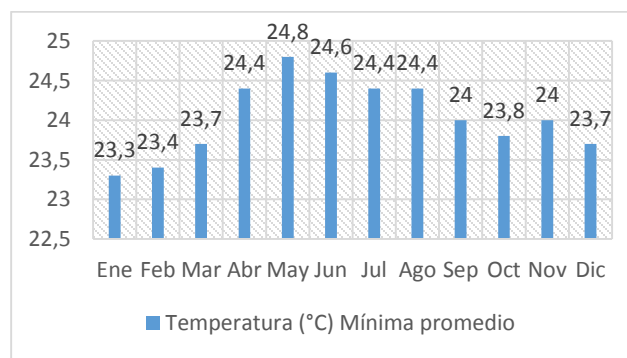


Ilustración 11. Promedio multianual de temperatura mínima. Fuente: (CIOH, 2010).

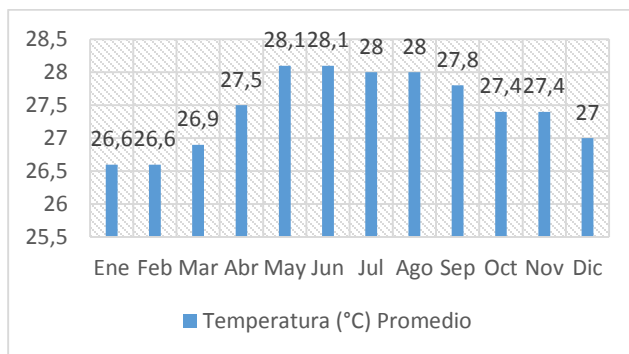


Ilustración 12. Promedio multianual de temperatura promedio. Fuente: (CIOH, 2010).

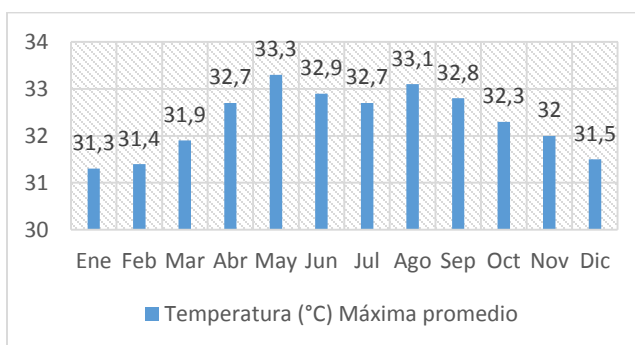


Ilustración 13. Promedio multianual de temperatura máxima. Fuente: (CIOH, 2010).

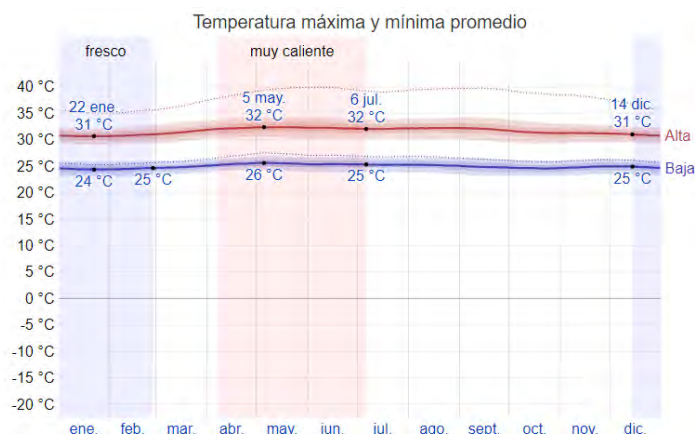


Ilustración 14. Nota1. Promedio temperatura mínima y máxima. El clima promedio en Aeropuerto internacional Ernesto Cortissoz. 2016. Fuente: Weather Spark. Cedar Lake Ventures, Inc.

Nota1: Este informe ilustra el clima típico en Aeropuerto internacional Ernesto Cortissoz, basado en un análisis estadístico de informes climatológicos históricos por hora y reconstrucciones de modelos del 1 de enero de 1980 al 31 de diciembre de 2016. [support@weatherspark.com](mailto:support@weatherspark.com).

### 7.5.6 Humedad relativa

La cercanía al mar, la ubicación a orillas del río Magdalena, la zona del Parque Natural Nacional Isla Salamanca, los humedales del delta de la desembocadura del

río Magdalena, hace que esta zona tenga bastante humedad, pero esta humedad es modificada por los vientos secantes y la empujan hacia el interior de la región para producir abundantes lluvias en las estribaciones de los Andes.

Los mayores niveles de humedad se registran en Octubre, el mes más lluvioso con 94%, le siguen Septiembre y Noviembre con 93%, agosto con 91% y Mayo, Junio y Julio con 90%. Los meses de humedad son Febrero y Marzo con 87%, así mismo la media anual varía entre el 89% y el 91% (CIOH, 2010).

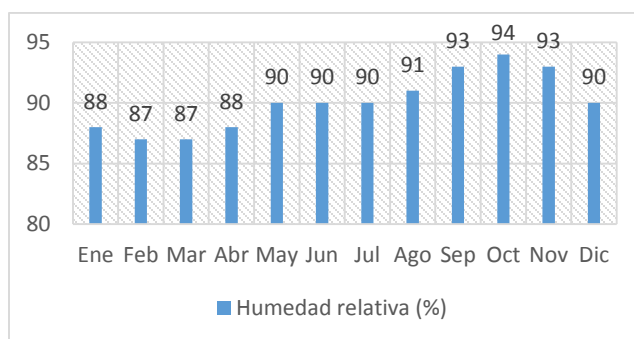


Ilustración 15. Promedio multianual de humedad relativa. Fuente: (CIOH, 2010).

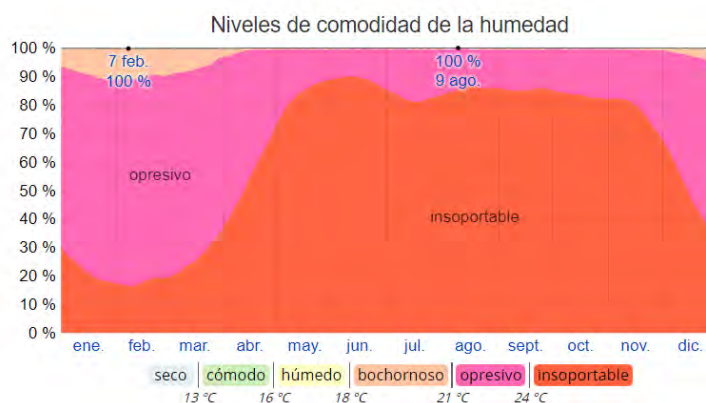


Ilustración 16. Nota 1. Niveles de comodidad de la humedad. El clima promedio en Aeropuerto internacional Ernesto Cortissoz. 2016. Fuente: Weather Spark. Cedar Lake Ventures, Inc.

### 7.5.7 Población

El 95% de la población del Departamento es urbana y los municipios de Soledad y Barranquilla concentran el 82% de esta, situación que marca una tendencia a la macrocefalia. Es así como Barranquilla concentra una población muy superior a la suma total de la población de las tres mayores del sistema de asentamientos: Soledad, Malambo y Sabanalarga (Gobernación del atlántico, plan de desarrollo 2012-2015). De acuerdo con informes del DANE Barranquilla posee un número de

1.232.766 de habitantes para el 2018 aproximadamente, y con una proyección de 1.239.804 habitantes para el 2020.

### 7.5.8 Brillo Solar

Los valores promedios mayores de brillo solar se presentan en los meses de diciembre y Enero con 253 y 28 horas/mes. Respectivamente. Los meses con menos brillo solar son Septiembre y Octubre con 164 y 166 horas/mes; el resto del año oscila entre 188 y 245 horas/mes (CIOH, 2010).

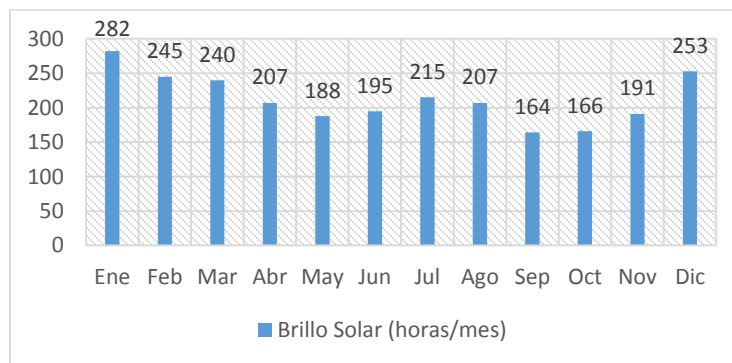


Ilustración 17. Promedio multianual de brillo solar. Fuente: (CIOH, 2010).

### 7.5.9 Viento

Régimen de vientos en superficie sobre Barranquilla

Velocidad del viento Barranquilla												
Velocidad media del viento												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	sept	Oct	Nov	Dic
<b>Vprom(m/s)</b>	5,6	5,9	6,1	4,8	3,3	2,7	3,2	3,1	2,6	2,2	2,9	4,5
<b>Vprom(km/h)</b>	20,2	21,25	22	17,21	11,9	9,7	11,6	11,2	9,38	8	10,45	16,2
<b>Promedio Anual(m/s)</b>	3,9	(km/h)	14,1									

Tabla 2. Velocidad media del viento en Barranquilla por meses del año y promedio anual. Fuente: (CIOH, 2010)

Durante todo el año los regímenes de velocidad media del viento en la ciudad de barranquilla están determinados por las oscilaciones del sistema de alta presión de las Azores y las fluctuaciones de la Zona de Convergencia Intertropical sobre el área, las cuales de diciembre a marzo (Época Seca) presentan posiciones propicias para que se presente flujo constante de viento en la ciudad de barranquilla ocasionando las mayores velocidades del año, las cuales según los registros multianuales del IDEAM oscilan entre 4.5 y 6.1 m/seg, así mismo de abril a junio

(Época Humedad) se presentan velocidades medias entre 2.7 y 4.8 m/seg. De igual manera, durante la época de transición de junio a julio se ostentan velocidades medias entre 2.7 y 3.2. Durante la segunda época humedad del año (agosto a noviembre) se presentan las velocidades medias menores, las cuales oscilan entre 2.2 y 3.1 m/seg. El promedio anuales presenta un valor de 3.9 m/seg (CIOH, 2010).

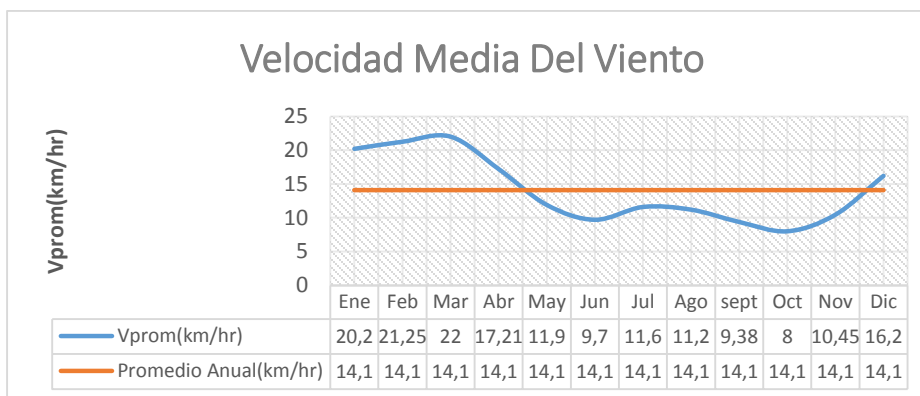
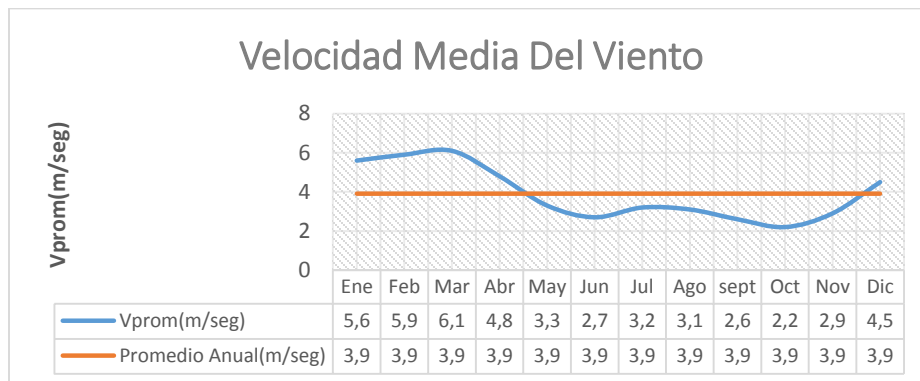


Ilustración 18. Velocidad media del viento sobre Barranquilla. Fuente: (CIOH, 2010).

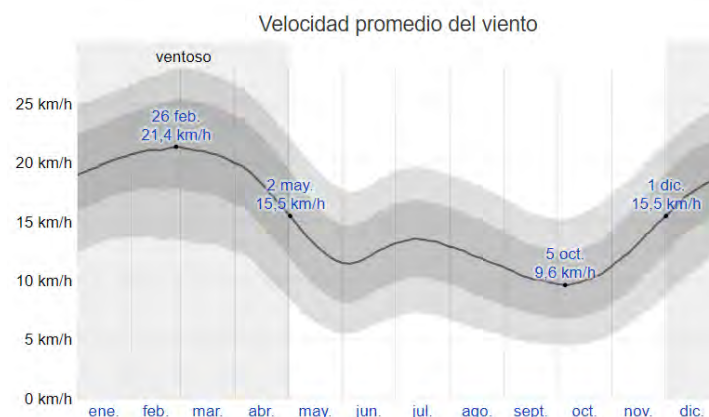


Ilustración 19. Nota1. Velocidad mensual promedio del viento. El clima promedio en Aeropuerto internacional Ernesto Cortissoz. 2016. Fuente: Weather Spark. Cedar Lake Ventures, Inc.



Así mismo, en Barranquilla predominan dos flujos con direcciones noreste (42.7%) y norte (25%), con predominio de vientos moderados. También se presentan frecuencias relativas al Este, Sureste y Sur, con 5.8%, 6.1% y 6.1% de observaciones, respectivamente (CIOH, 2010).

Dirección del viento Barranquilla	
Dirección del viento (%)	
Dirección	%
NE	42.7
N	25
E	5.8
SE	6.1
S	6.1

Tabla 3. Distribución de Porcentajes de dirección del viento en Barranquilla. Fuente: (CIOH, 2010)



Ilustración 20. Nota1. Dirección del viento. El clima promedio en Aeropuerto internacional Ernesto Cortisoz. 2016. Fuente: Weather Spark. Cedar Lake Ventures, Inc.

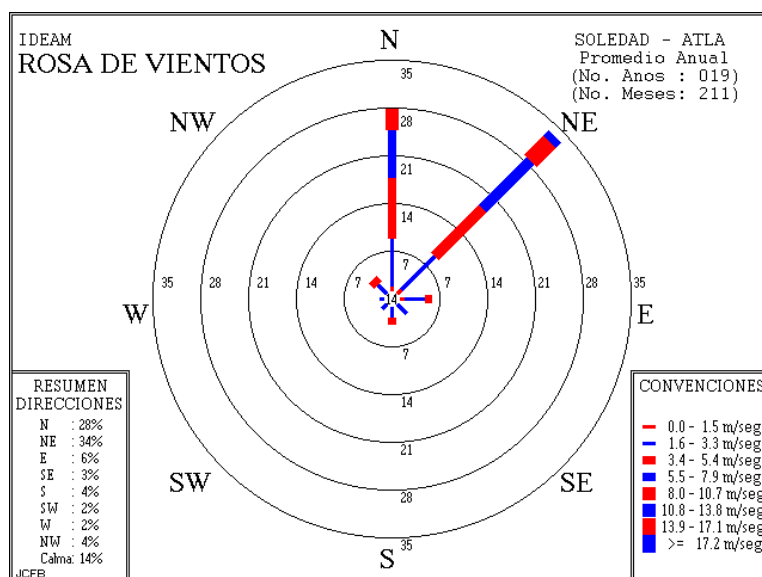


Ilustración 21. Régimen anual de viento: Barranquilla. Información suministrada por el Programa de Meteorología Aeronáutica del IDEAM. Fuente: Instituto De Hidrología Meteorología Y Estudios Ambientales.

## **8. METODOLOGIA**

Para establecer los volúmenes de contaminación generados por el parque automotor en el Distrito de Barranquilla se utilizó la metodología presentada a continuación, basada en la guía del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MINAMBIENTE, 2017):

### **8.1 Gestión, Planeación y Proyección De La Información.**

Durante esta primera etapa definiremos las estrategias para desarrollar el alcance del proyecto, de acuerdo con las actividades descritas a continuación:

- i. Identificación y establecimiento de contaminantes criterio a evaluar.
- ii. Gestión ante las autoridades de orden distrital (Secretaria Distrital De Movilidad), con el fin de recopilar información relevante para el proyecto.
- iii. Organización del plan y programa de trabajo.
- iv. Indagación, estudio y recopilación de los factores de emisiones atmosféricas de fuentes móviles, además de los factores de actividad.
- v. Verificación, Análisis y conclusiones de los datos obtenidos.

### **8.2 Recopilación, Clasificación Y Análisis De La Información.**

En esta segunda etapa se revisaron los datos obtenidos por medio de la Secretaria de Movilidad de Barranquilla, además de la información relacionada con aforos y distribución del parque automotor presente en el Distrito, con el fin de clasificarlos y analizarlos. De la misma forma, se realizó el análisis y procesamiento de la información obtenida a través de la revisión bibliográfica de otros estudios que proporcionan datos, indicadores y estadísticas necesarios para el llevar a cabo el objeto principal del proyecto; para ello se tuvieron en cuenta actividades como las descritas a continuación.

- i. Clasificación de la distribución del Parque Automotor de Barranquilla a partir de la información proporcionada por Secretaria Distrital de Transito y Seguridad Vial.
- ii. Revisión bibliográfica y estudio de: inventarios en el área metropolitana de Barranquilla, de los factores de emisiones atmosféricas (CORINAIR) de

fuentes móviles, con el fin de obtener volúmenes de contaminación en el Distrito de Barranquilla.

- iii. Clasificación vehicular por clase, tipo de combustible y modelo, con el objetivo de aplicar los factores de emisión del modelo EMEP/CORINAIR.
- iv. Categorización de Vehículos por clase, con el objetivo de aplicar los factores de Actividad ajustados al Distrito.
- v. Recopilación de información vehicular de campo con aforos de Tránsito, de acuerdo con Identificación de tramos conocidos en la malla vial.
- vi. Consolidación de los diferentes datos obtenidos a través de diferentes fuentes de información.

Es de suma importancia aclarar que los resultados obtenidos en el presente proyecto no son datos reales, sino estimaciones, debido a que es imposible obtener estos datos en cada instante de tiempo y en cada punto del espacio. Más sin embargo, es un estudio esencial para la reproducción de las cantidades emitidas. También es importante destacar que en los inventarios de emisiones pueden obtenerse niveles de confiabilidad altos, siempre y cuando los datos se ajusten al área local en particular y se realice una adecuada gestión, clasificación, interpretación y procesamiento de la información base (Área Metropolitana Valle De Aburrá, 2006).

### **8.3. Características de la Flota Vehicular**

Con el fin de realizar la estimación de las emisiones de los vehículos existentes en la ciudad, se realizó una recopilación de la distribución de vehículos y modelos que permite obtener tanto la variación de la flota vehicular como su composición (modelo, cilindraje, servicio, categoría, clase y estado del vehículo). En la Tabla 4 se presenta la distribución del parque automotor en el Distrito de Barranquilla, de acuerdo con la categoría vehicular. Esta relación está basada en los vehículos matriculados y relacionados en la base de datos de la Secretaria Distrital De Movilidad y seguridad Vial de Barranquilla.

La base de datos del parque automotor contiene un total de 48 clases vehiculares oficiales aproximadamente que se muestran en la Tabla 5 con un total de 231.037

unidades registradas hasta el año 2018. Según los aforos vehiculares, por las vías seleccionadas sólo se registró el paso de autos, buses, maquinaria, camiones y motocicletas, por lo que sólo se usaron las clases de vehículos correspondientes, como se muestra en la Tabla 6, con la selección de sólo estas categorías y la eliminación de unidades que carecían de información sobre tipo de servicio y combustible usado, se obtuvo una base de 180.433 vehículos hasta el año 2018, que corresponde de al 78,10% de todos los vehículos registrados hasta ese mismo año.

Tabla 4. Parque Automotor en el Distrito de Barranquilla. Fuente: Secretaria Distrital De Movilidad y seguridad Vial de Barranquilla.

<b>Parque Automotor Total</b>						
<b>FECHA GENERACION</b>	<b>2018-09-21 02:14:36</b>					
<b>CLASE</b>	<b>REGISTRO</b>	<b>SERVICIO</b>	<b>COMBUSTIBLE</b>	<b>MODELO</b>	<b>ESTADO VEHICULO</b>	<b>TOTAL</b>
APILADOR	RNMA	PARTICULAR	ACPM	2016	Activo	1
APILADOR	RNMA	PARTICULAR	ACPM	2017	Activo	3
APILADOR	RNMA	PARTICULAR	ELECTRICO	2017	Activo	1
AUTOHORMIGONERA	RNMA	PARTICULAR	ACPM	2002	Activo	1
AUTOHORMIGONERA	RNMA	PARTICULAR	ACPM	2014	Activo	1
AUTOHORMIGONERA	RNMA	PARTICULAR	ACPM	2015	Activo	2
AUTOHORMIGONERA	RNMA	PARTICULAR	ACPM	2016	Activo	1
AUTOHORMIGONERA	RNMA	PARTICULAR	ACPM	2017	Activo	1
AUTOHORMIGONERA	RNMA	PARTICULAR	GAS	2013	Activo	1
AUTOMOVIL	RNA	PARTICULAR	GASOLINA	1949	Activo	1
AUTOMOVIL	RNA	PARTICULAR	GASOLINA	1949	Cancelado	1
AUTOMOVIL	RNA	PARTICULAR	GASOLINA	1950	Activo	3
AUTOMOVIL	RNA	PARTICULAR	GASOLINA	1950	Cancelado	2
AUTOMOVIL	RNA	PARTICULAR	GASOLINA	1951	Activo	7
AUTOMOVIL	RNA	PARTICULAR	GASOLINA	1951	Cancelado	4
AUTOMOVIL	RNA	PARTICULAR	GASOLINA	1952	Activo	6
AUTOMOVIL	RNA	PARTICULAR	GASOLINA	1952	Cancelado	5
AUTOMOVIL	RNA	PARTICULAR	GASOLINA	1953	Activo	33
AUTOMOVIL	RNA	PARTICULAR	GASOLINA	1953	Cancelado	20
AUTOMOVIL	RNA	PARTICULAR	GASOLINA	1954	Activo	46
AUTOMOVIL	RNA	PARTICULAR	GASOLINA	1954	Cancelado	34
VOLQUETA	RNA	PUBLICO	GASOLINA	1984	Activo	1
VOLQUETA	RNA	PUBLICO	GASOLINA	1984	Hurtado	1
VOLQUETA	RNA	PUBLICO	GASOLINA	1986	Activo	1
VOLQUETA	RNA	PUBLICO	GASOLINA	1992	Activo	1
VOLQUETA	RNA	PUBLICO	GASOLINA	1993	Activo	1
VOLQUETA	RNA	PUBLICO	GASOLINA	1994	Activo	4
VOLQUETA	RNA	PUBLICO	GASOLINA	1994	Hurtado	1
VOLQUETA	RNA	PUBLICO	GASOLINA	1994	Trasladado	3
VOLQUETA	RNA	PUBLICO	GASOLINA	1995	Activo	1
VOLQUETA	RNA	PUBLICO	GASOLINA	1995	Hurtado	1
VOLQUETA	RNA	PUBLICO	GASOLINA	1995	Trasladado	2
VOLQUETA	RNA	PUBLICO	GASOLINA	1996	Activo	2
VOLQUETA	RNA	PUBLICO	GASOLINA	1996	Trasladado	2
VOLQUETA	RNA	PUBLICO	GASOLINA	1997	Activo	1
VOLQUETA	RNA	PUBLICO	GASOLINA	2008	Activo	3
VOLQUETA	RNA	PUBLICO	GASOLINA	2009	Activo	5
VOLQUETA	RNA	PUBLICO	GASOLINA	2013	Activo	2
VOLQUETA	RNA	PUBLICO	GASOLINA	2014	Activo	1
VOLQUETA	RNA	PUBLICO	GASOLINA	2015	Activo	4
VOLQUETA SOBRE ORUGA	RNMA	PARTICULAR	ACPM	1994	Activo	1
ZANJADORA	RNMA	PARTICULAR	ACPM	2005	Activo	2
					<b>TOTAL</b>	<b>231037</b>

<b>Clases Registradas</b>		
Automóvil	Maquinaria agrícola	Apiladora
Bus	Maquinaria industrial	Autohormigonera
Bus articulado	Microbús	Buldozer
Buseta	Motocarro	cambiadora de riel
Camión	Motocicleta	Cargador
Camioneta	Mototrailla	Grua
Campero	Semirremolque	Carretilla Elevadora
Cuatrimoto	Tracto/Camión	Compactadora
Volqueta	Cribas	Cosechadora
Dragas	Excavadora	Finisher
MiniRetroexcavadora	Miniexcavadora	Fresadora
Minicargador	MontaCarga	Zanjadora
Vibrocompactadora	Tractor	Taladro
Semiremolque	Retroexcavadora	Retrocargador
Piloteadora	Perforadora	Remolque
Recicladora	Pavimentadora	Motoniveladora
<b>Total 231.037</b>		

Tabla 5. Clases de vehículos registradas en la base de datos de vehículos de Barranquilla. Fuente: Secretaria distrital de movilidad y seguridad vial.

Con el fin de manejar unidades criterio y simplificar el cálculo total de las emisiones, se establecieron para los distintos tipos de automotores manejados en el presente proyecto una categoría registrada que se resumen en la Tabla 6.

<b>Categorías</b>	<b>Clases pertenecientes</b>	<b>Unidades</b>
Automóvil	Automóvil, Camioneta, Campero Particular	115861
Taxis	Automóvil, Camioneta, Campero Público(Ambulancias)	15147
Maquinaria	Maquinaria de construcción y comercial, maquinaria agrícola e industrial	5143
Bus	Buseta, microbús, bus, bus articulado.	7648
Camión	Tracto-camión, camión, y volqueta.	5159
Motos	Motocarros, Cuatrimotos, y motocicletas	31475
Total		<b>180.433</b>

Tabla 6. Categorías agrupadas de la base de datos de vehículos de Barranquilla. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6 se definen las categorías vehiculares de acuerdo con los factores de emisión disponibles dados por sus características de fabricación y las tecnologías de vehículos, además de los factores en función de la actividad de los vehículos.

De acuerdo con la Tabla 6 categorías agrupadas, El número total de unidades varía de acuerdo con el número total de la Tabla 5 Clases registradas, esto se debe al estado del vehículo, de acuerdo con la información suministrada por la secretaria de movilidad, como se observa en la ilustración 22. Para el estudio solo se realizaron los cálculos correspondientes con los automotores que se encuentren activos; los otros estados de los vehículos son cancelado, trasladado o se encuentran en destrucción total, hurtado e inactivo.

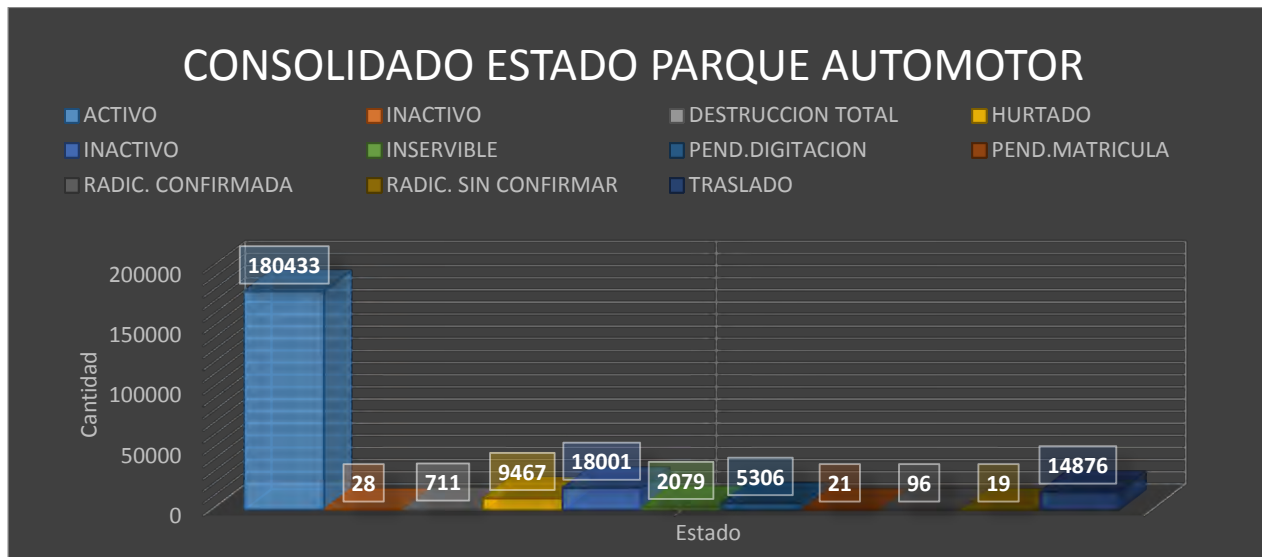


Ilustración 22. Consolidado del parque automotor según el estado de los vehículos de Barranquilla. Fuente: Elaboración propia.

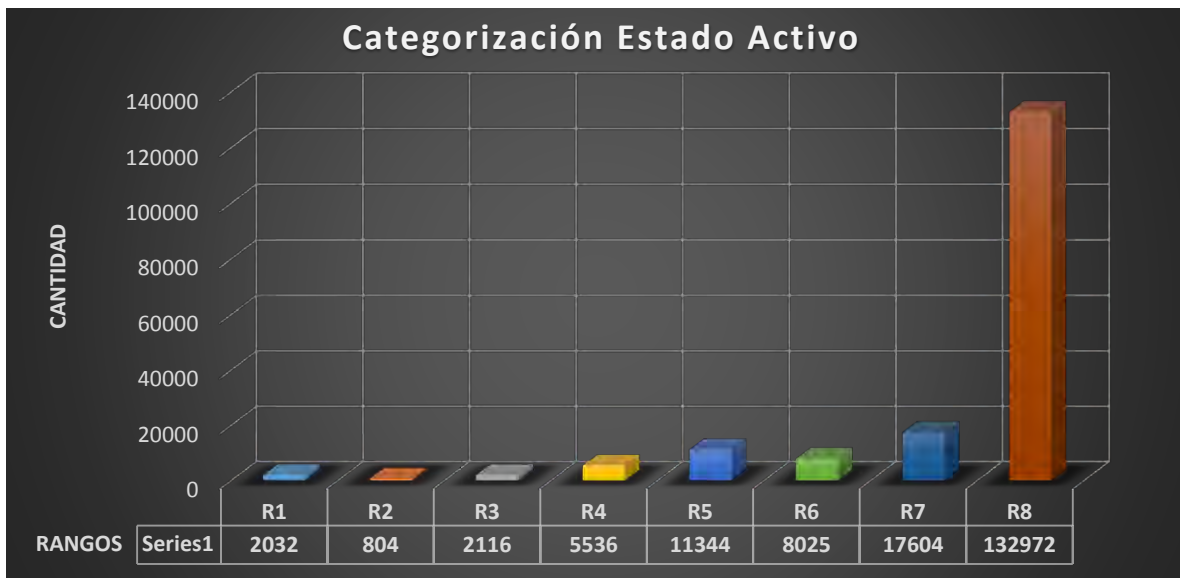


Ilustración 23. Cantidad de vehículos activos en Barranquilla de acuerdo a los intervalos de tiempo en años establecidos en el proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, como el presente proyecto pretende estudiar la generación de toda la flota vehicular en toda la ciudad, pero además propone realizar conteos vehiculares en las vías de mayor relevancia, por su importancia y flujo vehicular, por lo cual, deben ser las más propensas a presentar una alta concentración de contaminantes, puesto que el tráfico rodado es el factor más determinante del deterioro de la calidad del aire en ambientes urbanos (Querol X, Viana M, Moreno T, et al, 2014). De acuerdo con lo anterior y sin menor importancia se debe reconocer que no todos los vehículos que transitan en la ciudad son propios de la zona por lo que tienen placa de otro municipio, corregimiento o ciudad. En Barranquilla cada vez se matriculan menos vehículos, mientras los carros con placas foráneas aumentan, una tendencia que preocupa al Distrito. Un artículo publicado por el periódico el heraldo titulado “Cada vez se matriculan menos carros en Barranquilla” asegura que el incremento es evidente. Muchos propietarios de vehículos de carga pesada pertenecientes a empresas cementeras, de bebidas o vehículos de alta gama suelen matricularlos en el interior y pagan allí los impuestos de rodamiento, pero utilizan la malla vial de Barranquilla”, señaló el secretario de Tránsito y Seguridad Vial (Heraldo, 2017).

#### **8.4 Aforos Vehiculares**

El número de unidades hace alusión a la población vehicular activa o que circula en la zona objeto de estudio. Sin embargo, es importante destacar que el número total de vehículos puede ser muy diferente al número de vehículos registrados con domicilio en el distrito. Esta situación puede ser mejor ilustrada con los siguientes ejemplos: En una zona comercial, industrial o de oficinas, por ejemplo, normalmente se pueden encontrar durante el día muchos vehículos domiciliados fuera de la misma. Así mismo, para una zona residencial se puede esperar que los vehículos ahí registrados recorran una gran cantidad de sus kilómetros anuales fuera de ella (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009).

Por otro lado la existencia de un programa estricto de verificación vehicular local podrá incentivar a los conductores a registrar sus vehículos en otro lugar. Así mismo, vehículos que circulan en el área de estudio pero que están registrados con un domicilio distinto pueden tener mayores niveles de emisión que los vehículos que están registrados con domicilio en la misma área. En general, en la determinación



del número total de unidades a considerar en el desarrollo de un inventario de emisiones de fuentes móviles deben tomarse en cuenta todos estos aspectos y cualquier otro que pueda provocar un sesgo significativo en la delimitación de la flota vehicular (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009). Para la siguiente etapa en este estudio, se seleccionaron 5 vías mayormente transitadas y de relevancia en la ciudad de Barranquilla, estas son la Carrera 47, vía 40, Carrera 45, vía circunvalar y calle 85. En cada una se eligió el punto de muestreo para realizar el aforo vehicular en intervalos de 30 minutos, de acuerdo con el sentido de la vía; además se eligieron horas pico para para determinar la distribución de autos locales y foráneos con los máximos flujos. En la ilustración 24, se presenta un mapa correspondiente a la distribución de éstos aforos en la malla vial del Distrito, teniendo en cuenta que la selección de los puntos a aforar se realizó de acuerdo a las zonas asociadas con el alto tráfico.



Ilustración 24. Vías seleccionadas para aforo vehicular. Fuente: Google Earth. Elaboración propia.

El primer tramo corresponde a la carrera 47 entre calle 74 y 75, se estimó que en promedio, el total de vehículos que circulan por la vía y el destino de origen de la placa en días hábiles para cada una de las categorías establecidas en el estudio, estos datos se distribuyen como se muestra en la Tabla 7, así mismo para los



tramos 2, 3, 4 y 5 que corresponde a la calle 85 entre carreras 44 y 45 y carrera 45 entre calles 56 y 57, vía 40 y circunvalar; es importante mencionar que el número de vehículos totales aforados en promedio es de 550 unidades en intervalo establecido en minutos, los demás formularios se encuentran en el anexo 5.

*Tabla 7. Formulario utilizado para el aforo del tramo número uno del actual estudio en la malla vial del Distrito de Barranquilla. Fuente Elaboracion propia.*

## FORMULARIO Nº 1

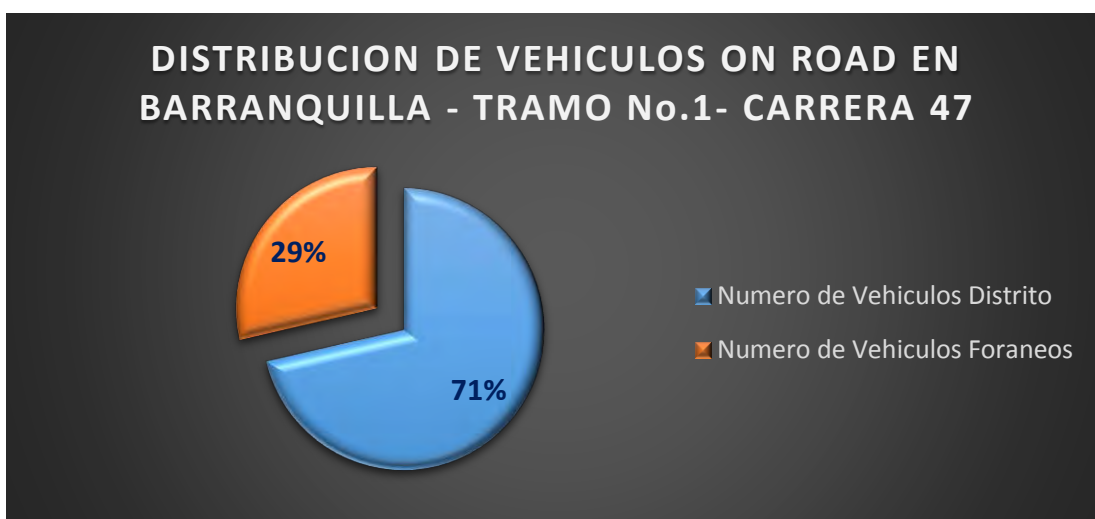
# ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

<b>TRAMO DE LA CARRETERA</b>	<b>CARRERA 47</b>	<b>HORA</b>	<b>6:30 pm -7:00pm</b>
<b>SENTIDO</b>	<b>ORIENTE - OCCIDENTE</b>	<b>INTERVALOS</b>	<b>30 MINUTOS</b>
<b>UBICACIÓN</b>	<b>BARRANQUILLA</b>	<b>DIA</b>	<b>MARTES</b>
		<b>FECHA</b>	<b>27/11/2018</b>

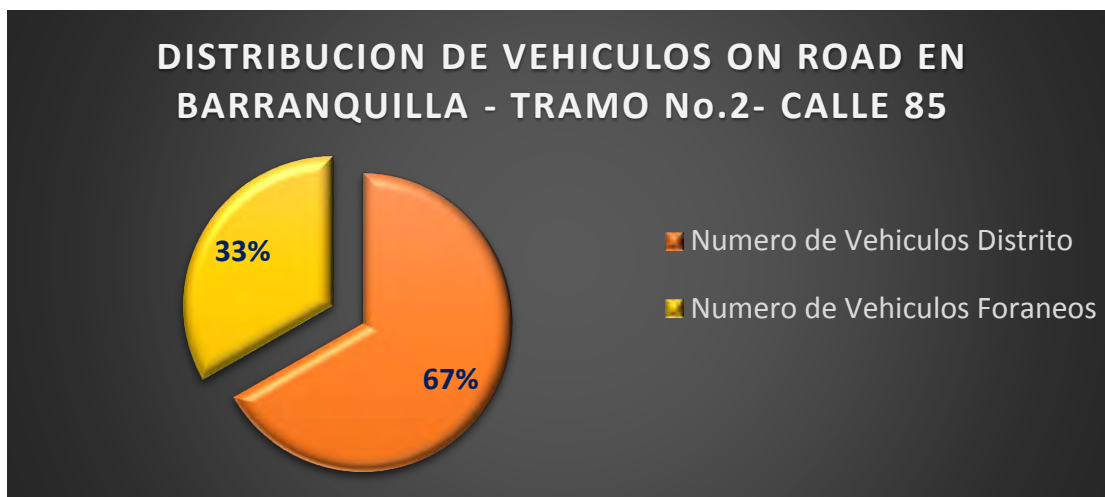
<b>TIPO DE VEHICULO</b>	<b>REGISTRO PLACA</b>	<b>NUMERO DE VEHICULOS</b>
Auto particular	Barranquilla	124
Auto particular	Bogotá	18
Auto particular	Puerto Colombia	28
Auto particular	Bucaramanga	4
Auto particular	Sabaneta	1
Auto particular	Turbaco	4
Auto particular	Cartagena	2
Auto particular	Medellín	1
Auto particular	Pasto	1
Auto particular	Cali	1
Auto particular	Cúcuta	1
Auto particular	Rio Negro	1
Auto particular	Cota	1
Auto particular	Ibagué	1
Auto particular	Arjona	1
Auto particular	Envigado	3
Auto particular	Valledupar	2
Auto particular	La Calera	1
Auto particular	Soledad	5
Auto particular	Piñón	1
Auto publico	Barranquilla	109
Auto publico	Soledad	26
Auto publico	Puerto Colombia	2
Auto publico	Galapa	1
Bus	Barranquilla	43
Bus	Puerto Colombia	1
Motos	Colombia	67
Camión	Bogotá	2
Camión	Santa Marta	1
Camión	La Calera	1
Camión	Barranquilla	1

Los resultados arrojan que en promedio cerca del 30% de los vehículos que circulan en la ciudad no son matriculados en Barranquilla, como se puede apreciar en las ilustraciones 25, 26 y 27.

En los tres tramos los autos particulares constituyen en promedio el 59% de la flota vehicular, seguido de los taxis con 20% y demás motos con el 13%, bus 6%, camión 2%. En el anexo 6 se puede observar la distribución de los vehículos de acuerdo al registro de matrícula de la placa, en este se muestra la comparación entre el número de vehículos que circulan por cada uno de los tramos estudiados. Los tres aforos muestran tendencias similares, siendo los vehículos de Bogotá y Puerto Colombia los que mayor número de unidades tienen después de los del Distrito.



*Ilustración 25 Distribución de autos registrados en el distrito y fuera del distrito, resultados de aforo para tramo número 1. Fuente: elaboración propia.*



### DISTRIBUCION DE VEHICULOS ON ROAD EN BARRANQUILLA - TRAMO No.3- CARRERA 45

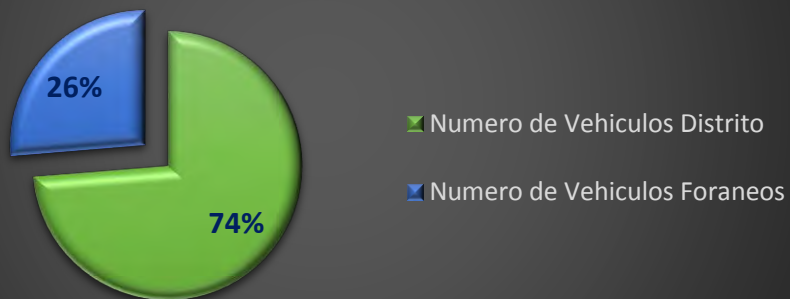
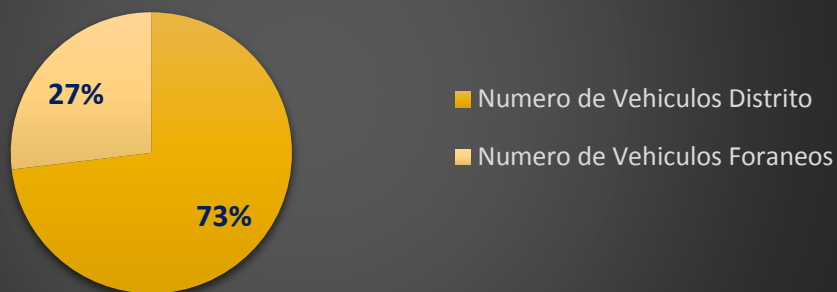


Ilustración 26. Distribución de autos registrados en el distrito y fuera del distrito, resultados de aforo para tramo número 2 y 3. Fuente: elaboración propia.

### DISTRIBUCION DE VEHICULOS ON ROAD EN BARRANQUILLA - TRAMO No.4- VIA 40



### DISTRIBUCION DE VEHICULOS ON ROAD EN BARRANQUILLA - TRAMO No.5- CARRERA 38

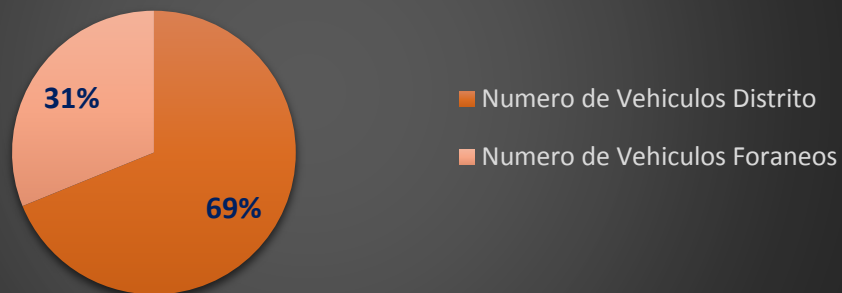
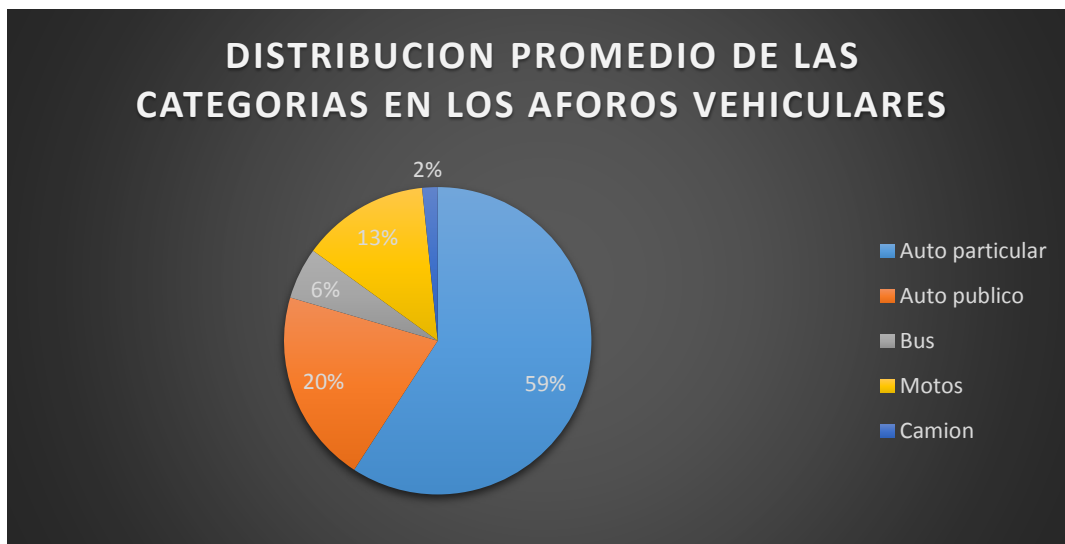


Ilustración 27. Distribución de autos registrados en el distrito y fuera del distrito, resultados de aforo para tramo número 4 y 5. Fuente: elaboración propia.



*Ilustración 28. Distribución promedio de categorías vehiculares en los aforos realizados en el distrito. Fuente: elaboración propia.*

## **9. ESTIMACION DE LAS EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MOVILES**

Muchas estimaciones de emisiones se desarrollan utilizando un factor de emisión que supone una relación lineal entre la tasa de emisión y una unidad de actividad. La exactitud de la estimación siempre dependerá de la calidad de los datos con que se cuenta y de las suposiciones en que se base. Además, el uso de vehículos automotores está directamente ligado al nivel económico, poblacional, de desarrollo y consecuentemente al Sistema de Vigilancia de la calidad del aire asociado (MAVDT, 2008). La Tabla 8 muestra en qué casos y de qué manera se debe realizar un inventario de fuentes móviles en Colombia.

Por otro lado, en Barranquilla no se cuenta con factores de emisión que permitan tener una estimación de los niveles de emisión provenientes de las fuentes móviles, por lo tanto se recurre, para efectuar estimaciones de emisiones de contaminante atmosférico a los valores consignados en la literatura, documentos disponibles en el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial (MAVDT). La estimación de las emisiones vehiculares se obtiene mediante el producto de una determinada actividad vehicular por el factor de emisión apropiado. Este último se puede representar como la tasa másica de emisión de un determinado contaminante por unidad de distancia recorrida (Castro, P & Escobar, L, 2006).

Tabla 8. Relación de los inventarios de emisiones con los SVCA. Fuente: PROTOCOLO DE CALIDAD DEL AIRE. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE.

SVCA RELACIONADO	DESCRIPCION DEL SVCA	TIPO DE INVENTARIO DE FUENTES MOVILES
SVCA TIPO I: Indicativo	población < 150k Hab. y > 50k sin problemas de calidad de aire o fuentes relevantes	Inventario de fuentes móviles basado de factores de emisión.
SVCA TIPO II: Básico	población < 150k Hab. y > 500k	Inventario de fuentes móviles basado de factores de emisión o uso de modelos de emisión (tasas básicas de emisión y valores de poder específico extrapolados de otras ciudades).
SVCA TIPO III: Intermedio	población < 500k Hab. y > 1.5M	Uso de modelos de emisión (tasas básicas de emisión y valores de poder específico extrapolados de otras ciudades). En caso de contarse con recursos económicos podrá hacerse estudios de tasas de emisión locales y estudios de campo de poder específico de vehículos.
SVCA TIPO IV: Avanzado	población concentrada > 1.5M	Uso de modelos de emisión. Se debe hacer estudios de tasas de emisión locales y estudios de campo de poder específico de vehículos. Como alternativa deben desarrollarse factores de emisiones locales.

## 9.1 Inventario De Emisiones

Un inventario de emisiones consiste en establecer las cantidades de contaminantes atmosféricos que se emiten al aire provenientes de diferentes fuentes en un período dado de tiempo. Gracias a los datos que son suministrados por estos estudios, es posible realizar una adecuada gestión de la calidad del aire (Rangel, 2010). Para realizar un inventario de emisiones se tiene en cuenta: propósito del inventario de emisión, tipos de fuentes de emisiones, concentración de contaminantes emitidos, características temporales y espaciales de las fuentes, procesos y prácticas de control de emisiones que usan las fuentes en el área, legislación, y la metodología de estimación de contaminantes, equipos para el monitoreo y control (INECC, 2007). En la literatura se encuentran dos principales aproximaciones para el desarrollo de los inventarios de emisiones: top-down (arriba-abajo) y bottom-up (abajo-arriba). La aproximación bottom-up o a microescala requiere un conocimiento detallado de los parámetros referidos a cada actividad emisora en cada celda (tipo de uso del suelo, aforos de tráfico, consumo de combustible,

densidad de población, etc.), con el objetivo de estimar su contribución a las emisiones totales. Mientras que la aproximación top-down o a macroescala, calcula el total de las emisiones referidas a ciertas unidades administrativas para las cuales se dispone de datos relevantes y se distribuye entre las celdas haciendo uso de patrones locales de distribución apropiados (densidad de población, industriales o de tráfico, etc.).

### 9.1.1 Inventario De Emisiones Bottom-Up

La metodología Bottom-up, consiste en elaborar un inventario de emisiones, ejecutando actividades con el propósito de obtener datos específicos del punto de la emisión como: flujo o volumen de tránsito, tipo y longitud de las vías. Las emisiones por contaminante y categoría vehicular se valoran empleando la ecuación (2), proveniente de la transformación de la ecuación (1) en función de las variables mencionadas (Carmona A., L. et al., 2016).

$$E_i = \sum_{j=0}^n FE_{ij} * F_{jk} * L_k \quad (2)$$

Donde,  $E_i$  (g/año): emisiones totales del contaminante  $i$  (PM, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, VOCs).

$FE_{ij}$  (g/km-veh): factor de emisión del contaminante  $i$  para la categoría vehicular  $j$ .

$F_{jk}$  (veh/h): flujo veh para la categoría vehicular  $j$  en la categoría de malla vial  $k$ .

$L_k$  (km): longitud de la vía para la categoría de malla vial  $k$ .

### 9.1.2 Inventario De Emisiones Top-Down

El enfoque *Top-Down* se refiere tradicionalmente a la construcción del inventario partiendo de valores de emisiones del dominio completo o de baja resolución (por ejemplo, a nivel país) (Carmona et. al, 2016). La estimación de emisiones de fuentes móviles por contaminante y categoría vehicular se realiza empleando la ecuación (1) (US EPA, 1997).

$$E_i = \sum_{j=0}^n FE_{ij} * FA_j * N_j \quad (1)$$

Donde,  $E_i$  (g/año): emisiones totales del contaminante  $i$  (PM, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, VOCs).

$FE_{ij}$  (g/km-veh): factor de emisión del contaminante  $i$  para la categoría vehicular  $j$ .

$FA_j$  (km/año): factor de actividad para la categoría vehicular  $j$ .

$N_j$  (veh): número de vehículos para la categoría vehicular  $j$ .

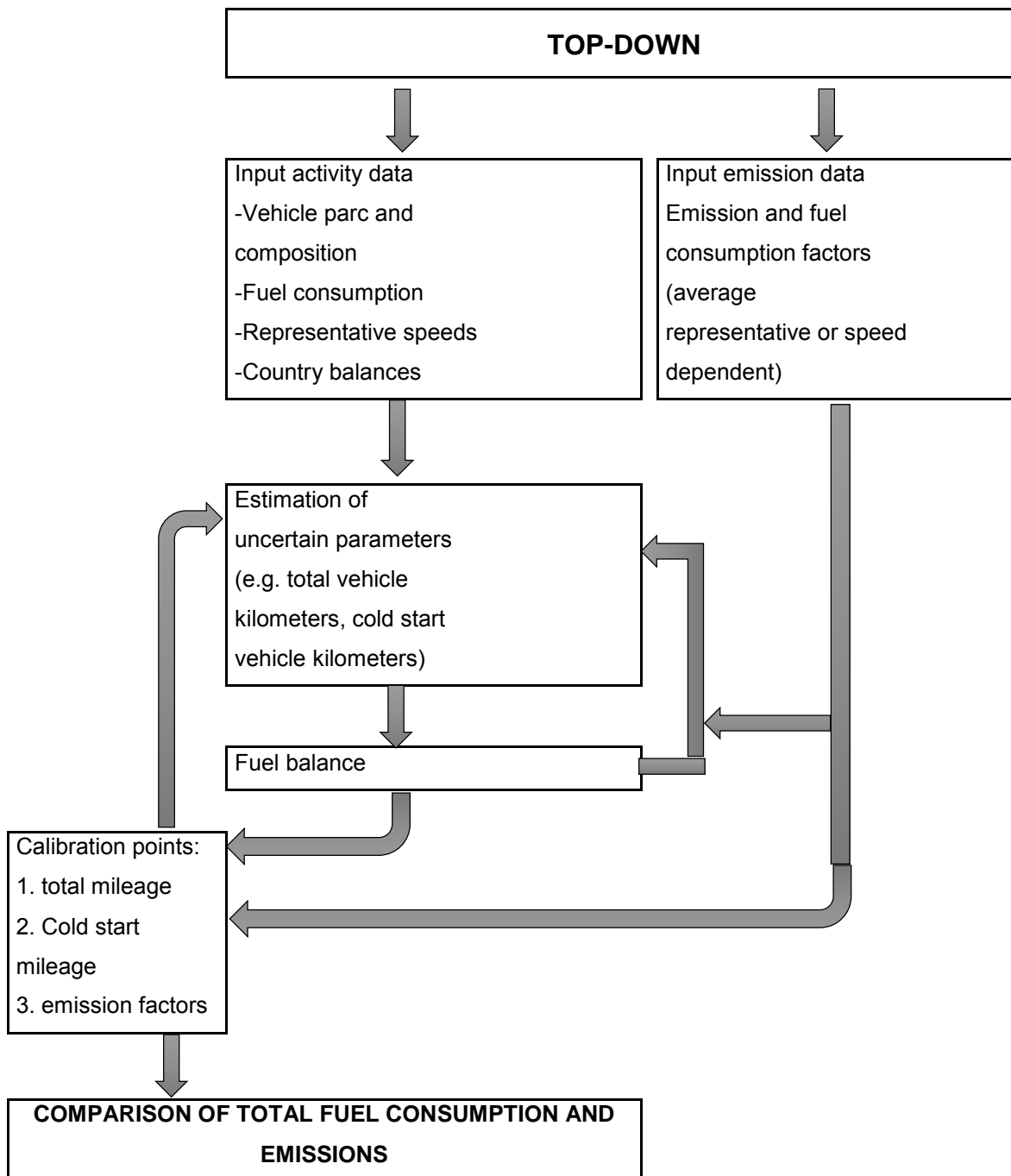
En este proyecto, se usaron los factores de emisión y los factores de actividad para 5 categorías vehiculares. Los datos se encuentran clasificados por año, modelo, cilindraje, tipo de servicio y combustible. Los factores de emisión y los factores de actividad utilizados se encuentran en tabla 15 y 18.

Por otra parte, a diferencia de los inventarios de *Bottom-Up*, que son importantes cuando se trata de asignar las emisiones nacionales a los distintos territorios en el país, el *Top-Down* es un tipo de inventario que puede conducir a emisiones más altas o más bajas para las regiones particulares debido a que dichas variables no siempre son representativas de la actividad de tráfico real. Por ejemplo, la población permanente en el distrito industrial de una ciudad puede ser muy limitado, pero el tráfico puede ser muy denso. Por otra parte, las zonas industriales están vinculados a la actividad de los vehículos comerciales pesados que no están presentes en las partes más internas de la ciudad. El uso de la población de los ciudadanos como un proxy para estimar la actividad de transporte por carretera en la zona industrial, por tanto, sería subestimar significativamente las emisiones. En tales casos los inventarios deben ser construidos en los diferentes territorios. La ilustración 29 muestra un enfoque metodológico que se puede seguir con el fin de hacer el máximo uso de la creación de un inventario de emisiones (EEA, 2016).

En principio, las estimaciones de las emisiones de vehículos de motor *Top-Down* se llevan a cabo de forma independiente. En cada caso la información más fiable (por ejemplo, conteos de tráfico, estadísticas de registros de vehículos y factores de emisión medidos) forman la base del cálculo. Parámetros inciertos se evalúan entonces de acuerdo con el conocimiento relevante y supuestos razonables. Después de que las estimaciones independientes se han llevado a cabo, la actividad y estimación de emisiones (en términos de kilómetros calculados anual total de

vehículos y factores de emisión) se comparan, y cualquier discrepancia que se identifica, se resuelve. Después de que los datos de actividad y de emisión han sido reconciliados, el siguiente paso es calcular las emisiones totales vehiculares, y comparar los resultados con otros estudios para reducir en medida el nivel de incertidumbre (EEA, 2016).

*Ilustración 29. Propuesta de la aplicación del método Top-Down para construir un inventario de emisiones urbanas. Fuente: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016.*





## 9.2 Modelos De Estimación De Emisiones.

Actualmente se cuenta con distintos modelos que permiten la estimación de emisiones contaminantes y factores de emisión provenientes de fuentes móviles, algunos de estos se presentan a continuación.

Modelos De Estimación De Emisiones		
Modelo IVE	Modelo COPERT	Metodología CORINAIR
<p>El modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE) es un programa en lenguaje JAVA, usado para estimar las emisiones de vehículos en países en vías de desarrollo; predice contaminantes atmosféricos locales, contaminantes criterio, contaminantes tóxicos y gases de efecto invernadero, siendo ya utilizado para generar inventarios de emisiones vehiculares en ciudades como Buenos Aires (Argentina), Shanghái y Beijing (China), Bogotá (Colombia), Sao Paulo (Brasil), Lima (Perú), Santiago (Chile) y Los Ángeles (Estados Unidos). Fue desarrollado por el Centro de Investigación de Sistemas Sustentables Internacionales (ISSRC) y financiado por la Agencia de Protección del Medioambiente de Estados Unidos (EPA) (International Sustainable Systems research Center, 2008). Los datos de entrada que requiere el modelo IVE son: la distribución de la flota vehicular, actividad vehicular y tasas básicas de emisión, basadas en factores de emisión específicos para los vehículos locales (Cornare, 2017).</p>	<p>Este modelo fue desarrollado por el Centro de Investigación Conjunta de la Comisión Europea; estima las emisiones contaminantes de CO, NO, COVs, MP, metano, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y amoníaco, provenientes de categorías vehiculares como vehículos de pasajeros (ligeros, pesados), autobuses urbanos, motonetas y motocicletas. El modelo requiere datos de entrada como: temperatura, distribución de kilómetros recorridos por tipo de vehículo y de vía, características del combustible (presión de vapor, contenido de azufre, etc.), distribución de la flota vehicular por clase, distribución del número de arranques por vehículo, distribución de velocidad promedio por tipo de vehículo y de vía, etc (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016).</p>	<p>Es una guía europea sobre inventario de emisiones que resultó de la fusión del Programa Europeo de Vigilancia y Evaluación (EMEP) y CORINAIR (Baca, 2011). Tiene como objetivo estimar las emisiones de contaminantes resultantes de las actividades antrópicas y naturales (AAE, 2016) , por lo que gracias a su implementación se logra conocer la evolución temporal de las emisiones, plantear políticas medioambientales, suministrar información a los organismos competentes en el área de contaminación ambiental (CNR COP, 2017); está compuesta por dos metodologías: la simplificada, donde el cálculo de la emisión se ejecuta a través de factores de emisión de acuerdo a la actividad, y las detalladas, donde el cálculo se realiza mediante modelos matemáticos complejos que necesitan de información minuciosa de la actividad (Baca , 2011). Ahora, esta guía se actualiza anualmente y se encuentra disponible en una página web oficial (EEA, 2017).</p>

Tabla 9.2. Comparación de algunos modelos de estimación de emisiones. Fuente: Elaboración propia

Es necesario centralizar la información para la estimación de emisiones en el país, la definición de un modelo único para la estimación de emisiones no garantiza que se logre un inventario adecuado de emisiones ni un consolidado nacional si no se cuenta con información de base que esté debidamente sistematizada y sea asequible en la medida de lo posible cualquier medio. Estudios de la universidad de la Salle muestran que el modelo IVE (haciendo uso de FE que vienen por defecto en el modelo) tiende a sobrestimar las emisiones en Bogotá. Mas sin embargo estudios realizados por la universidad pontificia bolivariana muestran que al aplicar

la metodología con factores de emisión CORINAIR se obtiene un mejor estimación de las emisiones en el valle de aburra. Así mismo diferentes estudios actuales locales como el inventario de emisiones atmosféricas barranquilla, atlántico realizado por el DAMAB han utilizado la metodología CORINAIR, por lo que se propone utilizar la misma metodología, para comparar los estudios y así reducir el nivel de incertidumbre.

### 9.2 1 Agrupaciones Vehiculares.

Para realizar estas agrupaciones se tuvo en cuenta las categorías contempladas por la European environment agency. En la tabla 9 se presentan dichas agrupaciones.

Tabla 10. Definición de las categorías de vehículos de carretera. Fuente: EMEP/EEA guía de inventario de emisiones contaminantes del aire 2016

Agency	Vehicle category		Official Classification	Fuel Type
EUROPEAN ENVIROMENT AGENCY	<b>Passenger Cars</b>	Cilindraje < 1.4 L	M1: vehicles used for the carriage of passengers and comprising not more than eight seats in addition to the driver's seat.	Gasoline
		Cilindraje 1.4 – 2.0 L		
		Cilindraje > 2.0 L		Diesel
		Cilindraje < 2.0 L		
		Cilindraje >2.0 L		
	<b>Light Commercial Vehicles</b>	< 3.5 t	N1: vehicles used for the carriage of goods and having a maximum weight not exceeding 3.5 tonnes.	Gasoline
				Diesel
	<b>Heavy Duty Vehicles</b>	<7.5t	N2: vehicles used for the carriage of goods and having a maximum weight exceeding 3.5 tonnes but not exceeding 12 tonnes.	Gasoline
		7.5-16t	N3: vehicles used for the carriage of goods and having a maximum weight exceeding 12 tonnes.	
		16-32t	M2: vehicles used for the carriage of passengers and comprising more than eight seats in addition to the driver's seat, and having a maximum weight not exceeding 5 tonnes.	Diesel
		> 32 t	M3: vehicles used for the carriage of passengers and comprising more than eight seats in addition to the driver's seat, and having a maximum weight exceeding 5 tonnes.	
<b>Mopeds and Motorcycles</b>	< 50 cm <sup>3</sup>	L1e: Light two-wheel powered vehicles with an engine cylinder capacity not exceeding 50 cm <sup>3</sup> , a maximum design speed not exceeding 45 km/h and a maximum continuous or net power £4000 W	Gasoline	

	<b>Two stroke</b>		L2e: Three-wheel mopeds with a maximum design speed not exceeding 45 km/h, a maximum continuous rated or net power $\leq$ 4000 W and mass in running order $\leq$ 270 kg.
	<b>Four stroke</b>		L3e: Two-wheel motorcycle with an engine cylinder capacity exceeding 50 cm <sup>3</sup> or a design speed exceeding 45 km/h, or a maximum continuous or net power exceeding 4000 W.
	<b>Motorcycles</b>		L4e: Two-wheel motorcycle with side-car, with a maximum of four seating positions including the driver on the motorcycle, with side car and a maximum of two seating positions for passengers in the side car.
	<b>Two stroke</b>	> 50 cm <sup>3</sup>	L5e: Powered tricycle with mass in running order $\leq$ 1000 kg and three-wheel vehicle that cannot be classified as a L2e vehicle.
	<b>Four stroke</b>		L6e: Light quadricycle with maximum design vehicle speed $\leq$ 45 km/h and mass in running order $\leq$ 425 kg and engine capacity $\leq$ 50 cm <sup>3</sup> if a PI engine, or engine capacity $\leq$ 500 cm <sup>3</sup> if a CI engine.
	<b>Four stroke</b>	50–250 cm <sup>3</sup> 250–750 cm <sup>3</sup> > 750 cm <sup>3</sup>	L7e: Heavy quadricycle with mass in running order $\leq$ 450 kg for the transport of passengers, or $\leq$ 600 kg for the transport of goods.

El modelo tiene entonces los vehículos clasificados de acuerdo al cilindraje, así: los menores o iguales a 1.4 litros, entre 1.4 y 2 litros y los mayores de 2 litros para los automóviles y motocicletas de 50m<sup>3</sup> en adelante. Para la construcción de esta información fue necesario hacer una clasificación por cilindraje para vehículos, camionetas, camperos, camión, bus, motocicleta, entre otros de toda la base de datos reportada por la secretaria de tránsito. De acuerdo con la metodología *EMEP/EEA* y de acuerdo con la legislación de la Unión Europea cada categoría corresponde a unos controles de acuerdo con su tecnología que están asociados a los factores de emisión consecuente a la actividad del vehículo, como se muestra en la tabla 10. En este proyecto se ajustaron los factores de emisión de acuerdo con la normativa colombiana, así se observa en la tabla 15. Además es importante aclarar que en el estudio no se tiene en cuenta la clasificación de vehículos que funcionan con Gas Natural, biodiesel, eléctrico, gas o gasgasol debido a que en Barranquilla las emisiones provenientes de este parque automotor, no son

significativas en aporte, comparado con los demás tipos de combustible como la gasolina y el ACPM. Para el presente estudio la clasificación fue redistribuida de la siguiente manera: Carros de pasajeros a gasolina; Buses; Camiones a diésel; Motos a gasolina.

Tabla 11. Resumen de todas las clases de vehículos cubiertas por la metodología. Fuente: EMEP/EEA guía de inventario de emisiones contaminantes del aire 2016.

Agency	Vehicle category		Legislation/technology	Fuel Type
EUROPEAN ENVIROMENT ENCY	Passenger Cars	Cilindraje < 1.4 L	PRE ECE ECE 15/00-01 ECE 15/02 ECE 15/03 ECE 15/04	Gasoline
		Cilindraje 1.4 – 2.0 L	Improved conventional Open loop Euro 1 — 91/441/EEC Euro 2 — 94/12/EC Euro 3 — 98/69/EC Stage 2000 Euro 4 — 98/69/EC Stage 2005 Euro 5 — EC 715/2007	
		Cilindraje > 2.0 L	Euro 3 — 98/69/EC Stage 2000 Euro 4 — 98/69/EC Stage 2005 Euro 5 — EC 715/2007	
		Cilindraje < 2.0 L	Conventional Euro 1 — 91/441/EEC Euro 2 — 94/12/EC Euro 3 — 98/69/EC Stage 2000 Euro 4 — 98/69/EC Stage 2005 Euro 5 — EC 715/2007	Diesel
		Cilindraje >2.0 L	Euro 3 — 98/69/EC Stage 2000 Euro 4 — 98/69/EC Stage 2005 Euro 5 — EC 715/2007	
		Hybrid	Euro 4 — 98/69/EC Stage 2005	
	Light Commercial Vehicles	< 3.5 t	Conventional Euro 1 — 93/59/EEC Euro 2 — 96/69/EC Euro 3 — 98/69/EC Stage 2000 Euro 4 — 98/69/EC Stage 2005 Euro 5 — EC 715/2007	Gasoline
			Conventional Euro 1 — 93/59/EEC Euro 2 — 96/69/EC Euro 3 — 98/69/EC Stage 2000 Euro 4 — 98/69/EC Stage 2005 Euro 5 — EC 715/2007	Diesel
	Heavy Duty Vehicles	<7.5t	Conventional	Gasoline
		7.5-16t	Conventional	
		16-32t	Euro I — 91/542/EEC Stage I Euro II — 91/542/EEC Stage II	Diesel
		> 32 t	Euro III — 1999/96/EC Stage I	
		Urban Bus	Conventional Euro I — 91/542/EEC Stage I Euro II — 91/542/EEC Stage II Euro III — 1999/96/EC Stage I	Diesel
	Mopeds and Motorcycles Two stroke Four stroke	< 50 cm <sup>3</sup>	Conventional Euro 1 — 97/24/EC Stage I Euro 2 — 97/24/EC Stage II Euro 3 — Directive 2002/51/EC Euro 4 — Regulation EC 168/2013 Euro 5 — Regulation EC 168/2013	Gasoline
	Motorcycles Two stroke Four stroke	> 50 cm <sup>3</sup>	Conventional 97/24/EC — Euro 1 2002/51/EC Stage I — Euro 2 2002/51/EC Stage II — Euro 3	

	<b>Four stroke</b>	50–250 cm <sup>3</sup> 250–750 cm <sup>3</sup> > 750 cm <sup>3</sup>	Euro 4 — Regulation EC 168/2013 Euro 5 — Regulation EC 168/2013	
--	--------------------	--	--	--

Puesto que en la European environment agency los Heavy Duty Vehicles y Light Commercial Vehicles están agrupados según su peso y no por cilindrada, se asumió que la clasificación indicada en el estudio concuerda con el peso establecido para dichas categorías según la normatividad colombiana.

Vehicle category	Weight (t)
N2	3.5-12
N3	>12
M2	<5
M3	>5

Tabla 12. Pesos establecidos por la normatividad colombiana para las categorías establecidas por la European environment agency. Fuente: Castro, P & Escobar, L, 2006.

Castro, P & Escobar, L, proponen que los vehículos según su peso se pueden ubicar en dos categorías diferentes, Light Commercial Vehicles y Heavy Duty Vehicles, por lo que se realizó una revisión de las especificaciones técnicas de dichos vehículos relacionando así el peso con el cilindraje, determinando de esta forma las agrupaciones que se tuvieron en cuenta para el ajuste de los factores de emisión. Además para los vehículos mayores a 32 toneladas se eligió el peso mínimo de comercialización en el mercado (*por ejemplo demotores.co promociona la Kenworth T800 tracto mula; este modelo equipa diversos motores. Los Cummins ISM de 350 a 370 caballos de potencia y 2.100 Nm y los Paccar MX13, seis cilindros en línea de 12,9 litros de cilindrada con sistema de inyección 'common rail' más el sistema SCR (Reducción Catalítica Selectiva) en combinación con EGR (Recirculación de Gases de Escape), Fuente: revista motor: <http://www.motor.com.co/actualidad/industria/kenworth-t800-llega-coleccion-tractomulas/24050>). Dichas agrupaciones se encuentran en la tabla 12.*

Vehicle category	Adapted category
< 7.5 t	M2 con cilindraje < a 6000 c.c.
	N1, N2 con cilindraje < a 6000 c.c.
7.5t-16t	M3 con cilindraje ≤ a 6000c.c.
	N2 con cilindraje ≥ a 6000 c.c.
	N3 con cilindraje < a 6200 c.c.
16t-32t	M3 con cilindraje > a 6000 c.c.
	N3 con cilindraje ≥ a 6200 c.c
>32t	≥12000 c.c.

Tabla 13. Relación peso-categorías Heavy Duty Vehicles. Fuente: Castro, P & Escobar, L, 2006.

Por último, se realizó una clasificación de las motocicletas de dos tiempos y cuatro tiempos teniendo en cuenta que a partir del año 1998 se empezaron a comercializar las de cuatro tiempos en Colombia.

### 9.3 Factores De Emisión Vehicular Adaptado Al Distrito Barranquilla.

En el presente proyecto se determinaron las emisiones en caliente, es decir, las emisiones que provienen del tubo de escape de los automóviles cuando la temperatura del agua del motor alcanza los 70°C, debido a que son las de mayor representación en la contaminación total generada por el tránsito, según los diversos estudios realizados en Estados Unidos y La Unión Europea que estima que las emisiones en frío no son tan significativas comparadas con las emisiones en caliente (Arango y Builes, 2002). Adicionalmente, el estudio CORINAIR, presenta muy poca información acerca de los factores de emisión en frío para diferentes tipos de vehículos (Área Metropolitana Valle de Aburra, 2006). Por lo tanto, los factores de emisión en caliente se calcularon de acuerdo con la metodología europea (EMEP/CORINAIR) que presenta una base de datos completa para el cálculo de emisiones.

A continuación, se presenta el procedimiento utilizado para la selección de los factores de emisión de la guía EMEP/EEA adecuados, de acuerdo con los siguientes parámetros:

- I. **Tipo de combustible:** Gasolina o Diésel.
- II. **Tipo de vehículo:** Vehículos de pasajeros, buses, de carga pesada y motos.

Tipo de vehículo
Carros de pasajeros
Vehículos de carga pesada
Buses
Motocicletas y Ciclomotor

Tabla 14. Resumen de tipos de vehículos establecidos en la metodología CORINAIR. Fuente: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016.

- III. **Tipo de vía:** Relacionado con la velocidad de circulación de los vehículos. Determina la velocidad promedio a la que transitan los vehículos en la ciudad (vías urbanas).

IV. **Modelo del vehículo:** Relacionado con el año de fabricación de los vehículos. La metodología Europea (EMEP/CORINAIR) utiliza la clasificación por modelo presentada en la tabla 14.

Referencia	Modelo
pre ECE	Vehículos<1971
ECE 15 00 & 01	1972 a 1977
ECE 15 02	1978 a 1980
ECE 15 03	1981 a 1985
ECE 15 04	1985 a 1992
Convencional mejorado	1985 a 1990
Ciclo cerrado	1985 a 1990
Euro 1	1992 a 1996
Euro 2	1996 a 2000
Euro 3	2000 a 2005
Euro 4	2005 a 2007
Euro 5 y 6	2007 a 2020

*Tabla 15. Modelos vehiculares establecidos por CORINAIR. Fuente: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016.*

V. **Categoría del vehículo:** Referida a la capacidad del motor (cilindraje). Como se presentaron en el numeral 9.2.

Para la determinación de los factores de emisión el rango de velocidades va de 5 km/h a 130 km/h, en el desarrollo de la metodología se utilizó la velocidad establecidas para el territorio nacional promedio de 20 km/h (Inter-urbano).

Se formularon nuevos factores de emisión básicos ajustados para vehículos importados al territorio nacional, clasificados según los estándares establecidos por la agencia de Medio Ambiente de la Unión Europea. Para el caso del CO se ajustó el factor de emisión a la tecnología convencional para los automóviles públicos y particulares, es importante resaltar la brecha temporal entre las tecnologías utilizadas en Colombia y la real a nivel mundial; para el caso de los FE de NO<sub>x</sub>, COVs, y PM de las demás categorías se estableció el de mayor valor y en la categoría de motos se realizaron promedios para las tecnologías Euro I, Euro II, Euro III y para tecnologías más antiguas como convencional, mayor valor nuevamente, siguiendo los tipos de motocicletas que transitan en el perímetro

urbano. Los FE de la maquinaria no hacen parte del alcance de este estudio, mas sin embargo operan dentro y fuera de la malla vial por lo que también emiten contaminantes al área de foco, un caso de estudio solo referido a esa categoría sería un complemento importante para tema en desarrollo, según lo recomienda el manual de Non-road Transport de la EEA. De acuerdo con lo anterior en la tabla 15 se presentan los factores emisión ajustados al parque automotor del Distrito de Barranquilla.

Tabla 16. Factores de emisión ajustados a Barranquilla. Fuente: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016.

<b>RANGO 1 (1900-1971)</b>					
<b>CATEGORIZACION TESIS</b>		<b>FE</b>			
<b>Categorías</b>	<b>Clases pertenecientes</b>	<b>CO</b>	<b>NOx</b>	<b>COVs</b>	<b>PM</b>
<b>Automóvil</b>	Automóvil, Camioneta, Campero Particular	20,70000	2,14000	3,80548	0,00322
<b>Taxis</b>	Automóvil, Camioneta, Campero Público(Ambulancias)	20,70000	2,14000	3,80548	0,00322
<b>Maquinaria</b>	Montacargas, maquinaria agrícola e industrial	-	-	-	-
<b>Bus</b>	Buseta, microbús, bus y minivan	12,48288	16,95732	4,05108	1,83859
<b>Camión</b>	Tracto-camión, camión, y volqueta.	8,03090	43,47631	1,69278	1,92019
<b>Motocicleta</b>	Motocarros, cuatrimotos, ciclomotos, motonetas y motocicletas	18,76393	0,02343	14,48489	0,20000
<b>RANGO 2 (1972-1977)</b>					
<b>CATEGORIZACION TESIS</b>		<b>FE</b>			
<b>Categorías</b>	<b>Clases pertenecientes</b>	<b>CO</b>	<b>NOx</b>	<b>COVs</b>	<b>PM</b>
<b>Automóvil</b>	Automóvil, Camioneta, Campero Particular	20,70000	2,14000	3,80548	0,00322
<b>Taxis</b>	Automóvil, Camioneta, Campero Público(Ambulancias)	20,70000	2,14000	3,80548	0,00322
<b>Maquinaria</b>	Montacargas, maquinaria agrícola e industrial	-	-	-	-
<b>Bus</b>	Buseta, microbús, bus y minivan	12,48288	16,95732	4,05108	1,83859
<b>Camión</b>	Tracto-camión, camión, y volqueta.	8,03090	43,47631	1,69278	1,92019
<b>Motocicleta</b>	Motocarros, cuatrimotos, ciclomotos, motonetas y motocicletas	18,76393	0,02343	14,48489	0,20000
<b>RANGO 3 (1978-1985)</b>					
<b>CATEGORIZACION TESIS</b>		<b>FE</b>			
<b>Categorías</b>	<b>Clases pertenecientes</b>	<b>CO</b>	<b>NOx</b>	<b>COVs</b>	<b>PM</b>
<b>Automóvil</b>	Automóvil, Camioneta, Campero Particular	20,70000	2,14000	3,80548	0,00322
<b>Taxis</b>	Automóvil, Camioneta, Campero Público(Ambulancias)	20,70000	2,14000	3,80548	0,00322
<b>Maquinaria</b>	Montacargas, maquinaria agrícola e industrial	-	-	-	-
<b>Bus</b>	Buseta, microbús, bus y minivan	12,48288	16,95732	4,05108	1,83859
<b>Camión</b>	Tracto-camión, camión, y volqueta.	8,03090	43,47631	1,69278	1,92019
<b>Motocicleta</b>	Motocarros, cuatrimotos, ciclomotos, motonetas y motocicletas	18,76393	0,02343	14,48489	0,20000
<b>RANGO 4 (1986-1992)</b>					
<b>CATEGORIZACION TESIS</b>		<b>FE</b>			
<b>Categorías</b>	<b>Clases pertenecientes</b>	<b>CO</b>	<b>NOx</b>	<b>COVs</b>	<b>PM</b>
<b>Automóvil</b>	Automóvil, Camioneta, Campero Particular	20,70000	2,14000	3,80548	0,00322



<b>Taxis</b>	Automóvil, Camioneta, Campero Público(Ambulancias)	20,70000	2,14000	3,80548	0,00322
<b>Maquinaria</b>	Montacargas, maquinaria agrícola e industrial	-	-	-	-
<b>Bus</b>	Buseta, microbús, bus y minivan	12,48288	16,95732	4,05108	1,83859
<b>Camión</b>	Tracto-camión, camión, y volqueta.	8,03090	43,47631	1,69278	1,92019
<b>Motocicleta</b>	Motocarros, cuatrimotos, ciclomotos, motonetas y motocicletas	18,76393	0,02343	14,48489	0,20000
<b>RANGO 5 (1993-1996)</b>					
<b>CATEGORIZACION TESIS</b>		<b>FE</b>			
<b>Categorías</b>	<b>Clases pertenecientes</b>	<b>CO</b>	<b>NOx</b>	<b>COVs</b>	<b>PM</b>
<b>Automóvil</b>	Automóvil, Camioneta, Campero Particular	2,94029	0,36218	0,29976	0,00322
<b>Taxis</b>	Automóvil, Camioneta, Campero Público(Ambulancias)	2,94029	0,36218	0,29976	0,00322
<b>Maquinaria</b>	Montacargas, maquinaria agrícola e industrial	-	-	-	-
<b>Bus</b>	Buseta, microbús, bus y minivan	4,59441	11,48569	0,82430	0,66817
<b>Camión</b>	Tracto-camión, camión, y volqueta.	7,77239	26,22191	1,99179	1,63400
<b>Motocicleta</b>	Motocarros, cuatrimotos, ciclomotos, motonetas y motocicletas	12,37900	0,03899	4,62122	0,08000
<b>RANGO 6 (1997-2000)</b>					
<b>CATEGORIZACION TESIS</b>		<b>FE</b>			
<b>Categorías</b>	<b>Clases pertenecientes</b>	<b>CO</b>	<b>NOx</b>	<b>COVs</b>	<b>PM</b>
<b>Automóvil</b>	Automóvil, Camioneta, Campero Particular	1,04262	0,21906	0,13125	0,00322
<b>Taxis</b>	Automóvil, Camioneta, Campero Público(Ambulancias)	1,04262	0,21906	0,13125	0,00322
<b>Maquinaria</b>	Montacargas, maquinaria agrícola e industrial	-	-	-	-
<b>Bus</b>	Buseta, microbús, bus y minivan	4,73257	7,01122	0,58054	0,37391
<b>Camión</b>	Tracto-camión, camión, y volqueta.	5,73684	22,67498	1,27749	0,75523
<b>Motocicleta</b>	Motocarros, cuatrimotos, ciclomotos, motonetas y motocicletas	9,79366	0,04244	2,45514	0,04000
<b>RANGO 7 (2001-2005)</b>					
<b>CATEGORIZACION TESIS</b>		<b>FE</b>			
<b>Categorías</b>	<b>Clases pertenecientes</b>	<b>CO</b>	<b>NOx</b>	<b>COVs</b>	<b>PM</b>
<b>Automóvil</b>	Automóvil, Camioneta, Campero Particular	0,49280	0,08520	0,02338	0,00128
<b>Taxis</b>	Automóvil, Camioneta, Campero Público(Ambulancias)	0,49280	0,08520	0,02338	0,00128
<b>Maquinaria</b>	Montacargas, maquinaria agrícola e industrial	-	-	-	-
<b>Bus</b>	Buseta, microbús, bus y minivan	4,55159	3,93414	0,50452	0,26621
<b>Camión</b>	Tracto-camión, camión, y volqueta.	5,60192	39,56795	1,08311	0,60428
<b>Motocicleta</b>	Motocarros, cuatrimotos, ciclomotos, motonetas y motocicletas	5,40404	0,01750	1,52968	0,01200
<b>RANGO 8 (2006-2019)</b>					
<b>CATEGORIZACION TESIS</b>		<b>FE</b>			
<b>Categorías</b>	<b>Clases pertenecientes</b>	<b>CO</b>	<b>NOx</b>	<b>COVs</b>	<b>PM</b>
<b>Automóvil</b>	Automóvil, Camioneta, Campero Particular	0,49280	0,08520	0,02338	0,00128
<b>Taxis</b>	Automóvil, Camioneta, Campero Público(Ambulancias)	0,49280	0,08520	0,02338	0,00128
<b>Maquinaria</b>	Montacargas, maquinaria agrícola e industrial	-	-	-	-
<b>Bus</b>	Buseta, microbús, bus y minivan	4,55159	3,93414	0,50452	0,26621
<b>Camión</b>	Tracto-camión, camión, y volqueta.	5,60192	21,28788	1,08311	0,60428
<b>Motocicleta</b>	Motocarros, cuatrimotos, ciclomotos, motonetas y motocicletas	5,40404	0,01750	1,52968	0,01200

En el anexo 4 se presentan las relaciones de factores de emisión agrupados de acuerdo al modelo del vehículo al cual le corresponde una tecnología según el manual de road transport 2016 de la EEA. Cada una de estos valores se obtuvo de acuerdo con las ecuaciones presentadas en la metodología CORINAIR de EMEP/EEA 2016 según la velocidad promedio a la que transitan los diferentes vehículos en el Distrito. Para tener un grado de confiabilidad de los resultados que se presentan a continuación, CORINAIR en el capítulo Road transport contiene un anexo donde se encuentran las relaciones matemáticas que permiten el cálculo de cada factor de emisión asociado a cada contaminante.

De acuerdo con el anexo 4 en el CO puede apreciarse que la emisión es inversamente proporcional a medida que avanza la tecnología, es decir que a menor tecnología, la emisión es mayor. Para el caso de un automóvil PRE-ECE el factor de emisión para una velocidad de 20km/h es de 42,36 g/km y para un Euro 1, el factor de emisión desciende a 2.94 g/km.

El factor de emisión se puede sacar para las diferentes capacidades, ya que se conoce la velocidad de tránsito promedio y la distribución vehicular hasta Euro 5. El factor de emisión de NOx presenta valores mayores en los vehículos de carga pesada. Por ejemplo, para el tipo de vehículo ECE 15-03 con  $CC > 6200\text{cm}^3$ , la emisión de NOx a velocidad de 20km/h es de 68.44 g/km y un vehículo Euro 3 con  $CC > 6200\text{cm}^3$  la emisión es de 37.24 g/km. Para los buses urbanos que funcionan con diésel se tienen factores de emisión de CO de 12.48g/km para velocidades de 20km/h con una tecnología convencional, mientras que para un Euro 4 es de 2.22g/km. Lo mismo ocurre para los demás contaminantes (NOx, COV's y TSP).

Debido a que no se posee información suficientemente específica, sobre cuál de las diferentes capacidades de carga de los camiones hacen parte de la flota vehicular del Distrito, se decidió determinar el valor de los factores de emisión de CO, NOx y PM tomando el caso más desfavorable. Lo mismo se realizó para los demás contaminantes, independiente del peso del vehículo. Las motocicletas de 2 tiempos presentan emisiones directamente proporcionales al cilindraje, es decir que a mayor cilindraje, mayor emisión de CO, COVs y PM. Esto se evidencia en el caso donde el valor emitido de CO asciende a 1.8 g/km a 5.4 g/km en Euro. A diferencia del NOx

que disminuye de 0.056g/km a 0.023 g/km en convencional ECE 15 00 & 01. Las motocicletas de 4 tiempos presentan emisiones de tendencia similar a las de 2 tiempos. Para el caso de emisión de NOx proveniente de motocicleta de cilindraje <math> < 50\text{cm}^3 </math> se tienen valores de 0.17g/km y de motocicleta de cilindraje >750cm<sup>3</sup> valor de 0.076g/km para velocidades de 20km/h.

En las tablas del anexo 4 se aprecia que la emisión depende del cilindraje de los vehículos, independiente de la categoría establecida. Esta relación es directamente proporcional para los contaminantes TSP, es decir que a mayor cilindraje la emisión es mayor. A partir de la metodología explicada anteriormente, se obtuvieron los factores de emisión presentados en el anexo 4, clasificándose por cilindrajes, modelos, tipos de combustible, tecnologías y categorías de los vehículos. De esta manera se pudo hacer el ajuste del FE para cada categoría del Distrito presentada en la tabla 15.

#### **9.4 Factores De Actividad Vehicular Adaptado Al Distrito Barranquilla.**

La información disponible acerca de los factores de actividad de las diferentes categorías vehiculares se basa en suposiciones que deben ser entendidas de acuerdo con el servicio que presta el automotor. Dichos factores se basan en investigaciones previas que utilizaron métodos aproximados para asignarlos (HERRERA, D., 2007). Teniendo en cuenta los factores de emisión de los contaminantes y la velocidad promedio, se procedió a calcular la cantidad de masa de los contaminantes por kilómetro recorrido. A partir de esta información se calcula la carga total de contaminante por año, para que al final se pueda obtener la carga total de contaminación emitida por el parque automotor en Barranquilla. La velocidad promedio estimada para el Distrito de Barranquilla es de 20 km/h tanto para vehículos particulares como de servicio público. Según datos arrojados por diferentes concesionarios la distancia promedio que recorre un auto particular es de 20.000 Km/año; servicio público (taxis y buses), 100.000 Km/año y los demás vehículos 30.000 Km/año (Palacio, D., Sierra, R., & Varela, S., 2016).

La información sobre los kilómetros que recorre cada clase de vehículo anualmente de acuerdo con el plan maestro de movilidad del año 2012, donde se recopiló

información arrojada por diferentes concesionarios, revela que anualmente un auto particular recorre alrededor de 20.000 Km, los taxis y buses 100.000 Km y los demás camiones 30.000 Km. Si bien no se muestra una metodología específica para el cálculo de los factores de actividad, estos son similares a los documentados en otras regiones del país (Toro et al., 2013) (Rojas, 2015), a excepción del factor de actividad asignado a los buses y taxis, que difiere mucho de el de otras ciudades como los factores de actividad en la jurisdicción de la CAR Cundinamarca (63.000 Km bus y 45.000 Km taxi) y los del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (61.000 Km y 43.000 Km). Por lo que se optó por un factor de actividad de 80.000 Km anuales para taxis y buses, más equilibrado entre el reportado por la autoridad local y por las investigaciones en otras regiones (González, L, 2018). Rodríguez, P.A. y Behrentz E. proponen en la actualización de un inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá los siguientes factores de actividad.

<b>factores de actividad</b>	
<b>categoría vehicular</b>	<b>km/año</b>
Taxis	75k
Buses, busetas, microbuses	65k
camiones	30k
flota articulada(transmilenio)	70k
servicio escolar y de turismo	63k
vehículos de pasajeros	9.5k-18k
camionetas y camperos	12k-22k

Tabla 17. Factores de actividad propuestos por Rodríguez, P.A. y Behrentz E. Universidad de Los Andes, Bogotá, 2009. Fuente: Pachón, J. P.h.D (2013).

Herrera, D. propone los siguientes FA para su estudio.

<b>factores de actividad</b>	
<b>categoría vehicular</b>	<b>km/año</b>
Moto	25.55k
Buses, busetas, microbuses	65k
camiones	32.85k
flota articulada	80k
alimentadores	76k
vehículos de pasajeros	25k

Tabla 18. Factores de actividad propuestos por Herrera, D. 2007.

Como no se contó con una información detallada de los datos del kilometraje recorrido de los diferentes tipos de vehículos existentes en el Distrito. Dado que no existe un estudio sobre el recorrido de los automotores a nivel local, se tomó para

el presente proyecto los siguientes factores de actividad de acuerdo la información suministrada de otros estudios y ajustados al parque automotor del Distrito de Barranquilla.

factores de actividad	
categoría vehicular	km/año
Taxis	100k
Buses, busetas, microbuses	100k
camiones	30k
flota articulada(Transmetro)	75k
vehículos de pasajeros	20k
Motos	25k

Tabla 19. Factores de actividad propuestos y adaptado al Distrito. Fuente: Elaboración propia.

### 9.5 Evaluación de la concentración de contaminantes emitidos por fuentes móviles.

De acuerdo a la información disponible se estimaron las cantidades de contaminantes CO, NO<sub>x</sub>, COVs y material particulado (PM), utilizando el tipo de inventario *Top-Down* para fuentes móviles. Como ya se ha mencionado los factores de emisión aplicados para calcular la carga contaminante del aire en el distrito de Barranquilla son tomados de la metodología CORINAIR ajustado al distrito, los cuales se puede apreciar en la tabla 15. Todos los factores de emisión de masa de material particulado (PM) reportados por la EEA se refieren a PM<sub>2.5</sub>, ya que la fracción gruesa (PM<sub>2.5-10</sub>) es despreciable en los escapes de los vehículos. Los factores de emisión masiva de PM corresponden a las emisiones primarias del tránsito y no a la formación de aerosoles secundarios de las reacciones químicas en la atmósfera minutos u horas después de la liberación, incluyen tanto material filtrable como condensable (EEA, 2016). Estos factores de emisión se dan en (g/Km) miligramo de contaminante por kilómetro recorrido, a determinada velocidad, de acuerdo con las diferentes categorías de vehículos cada velocidad está relacionada con un factor de emisión, el cual puede ser afectado por esta variable en algunos parámetros. Para determinar la cantidad de contaminantes emitidos durante un año se debe tener en cuenta la velocidad promedio y la distancia que recorren los vehículos en Barranquilla, de esta manera se obtienen las siguientes ecuaciones (Palacio, D., Sierra, R., & Varela, S., 2016).

Velocidad promedio = 20 Km/h (particulares y público)

FA<sub>1</sub> = 20.000 Km/año – Particulares

FA<sub>2</sub> = 100.000 Km/año - servicio público (taxis y buses)

FA<sub>3</sub> = 30.000 Km/año – los demás vehículos

FA<sub>4</sub> = 25.000 Km/año – Motos

Con la información establecida se procede a realizar los cálculos, de acuerdo con la ecuación (1) presentada en el numeral 9.1. Así para el caso de CO emitido por un automóvil de servicio público de tecnología ECE 15 04 durante un año, teniendo en cuenta el volumen del parque automotor al año correspondiente es:

$$CO_{\text{emitido/año}} = 20,70 \frac{\text{g}}{\text{Km}} * 100.000 \frac{\text{Km}}{\text{año}} = 2.070.000 \frac{\text{g}}{\text{año}} - \text{veh}$$

De acuerdo con los datos relacionados en la ilustración 29 la cantidad total de vehículos dentro de esta categoría es de 126.

$$CO_{\text{emitido/año}} = 126 \text{ veh} * 2.070.000 \frac{\text{g}}{\text{año}} - \text{veh} = 260.820.000 \frac{\text{g}}{\text{año}}$$

$$CO_{\text{emitido/año}} = 260,820 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

Luego entonces para el caso de CO emitido por un automóvil de servicio público de tecnología Euro 3 durante un año, teniendo en cuenta el volumen del parque automotor al año es:

$$CO_{\text{emitido/año}} = 0,492 \frac{\text{g}}{\text{Km}} * 100.000 \frac{\text{Km}}{\text{año}} = 49.200 \frac{\text{g}}{\text{año}} - \text{veh}$$

De acuerdo con los datos relacionados en la ilustración 31 la cantidad total de vehículos dentro de esta categoría es de 517.

$$CO_{\text{emitido/año}} = 517 \text{ veh} * 49.200 \frac{\text{mg}}{\text{año}} - \text{veh} = 25.477.900 \frac{\text{mg}}{\text{año}}$$

$$CO_{\text{emitido/año}} = 25,47 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

## 10. DISCUSIÓN Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados arrojados por el modelo CORINAIR, los cuales están expresados en unidades de Ton/año y representan la cantidad de contaminantes emitidos por la flota vehicular que circula por cada una de las vías más importantes del Distrito.

### 10.1 Distribución de la Flota Vehicular

Para la estimación de las emisiones provenientes del tráfico rodado se recopiló información tendiente a identificar las características del parque automotor de la zona de estudio. Las diferentes categorías incluyen:

- Automóvil: Automóvil, Camioneta, Campero Particular.
- Taxis: Automóvil, Camioneta, Campero Público (Ambulancias).
- Maquinaria: Maquinaria de construcción y comercial, maquinaria agrícola e industrial.
- Bus: Buseta, microbús, bus y bus articulado.
- Camión: Tracto-camión, camión, y volqueta.
- Motos: Motocarros, cuatrimotos y motocicletas.

A continuación se identifica la distribución del parque automotor del Distrito, de acuerdo con la categoría vehicular y el servicio prestado por el vehículo. Cabe anotar que en las tablas 19 a 21, sólo se incluyen los datos procesados y sistematizados por la Secretaría Distrital de Movilidad Y Seguridad Vial.

CONSOLIDADO GENERAL TIPO DE SERVICIO ESTADO ACTIVO				
CLASE/SERVICIO	PARTICULAR	PUBLICO	OFICIAL	TOTAL
AUTOMOVIL	77382	12857	53	90292
MOTOCICLETA	30692	0	181	30873
CAMIONETA	28358	1898	222	30478
CAMPERO	10121	14	103	10238
BUS	49	4644	4	4697
CAMION	1406	2336	39	3781
MICROBUS	246	1419	15	1680
BUSETA	32	1235	3	1270
TRACTO CAMION	16	763	0	779
VOLQUETA	134	460	5	599
MOTOCARRO	341	0	0	341
CUATRIMOTO	236	0	0	236
MAQ. INDUSTRIAL	65	0	6	71

<b>MOTOCICLO</b>	25	0	0	<b>25</b>
<b>MAQ. AGRICOLA</b>	17	0	0	<b>17</b>
<b>BUS ARTICULADO</b>	0	1	0	<b>1</b>
<b>MAQ. CONSTRUCCION</b>	2690	2365	0	<b>5055</b>
<b>TOTAL</b>				<b>180433</b>

Tabla 20. Distribución del parque automotor discriminado por tipo de servicio del Distrito. Fuente: elaboración propia. Fuente: Secretaria Distrital De Movilidad y seguridad Vial de Barranquilla.

En la tabla 19 se tabulan el número de automotores activos de acuerdo con las categorías y modelo vehicular que circulan por el Distrito.

Modelo	AUTOMOVIL	TAXIS	MAQUINARIA	CAMIONES	BUS	MOTOCICLETA	TOTAL
<b>R1 1900-1971</b>	1362	237	31	166	224	12	<b>2032</b>
<b>R2 1972-1977</b>	366	82	53	110	165	28	<b>804</b>
<b>R3 1978-1985</b>	821	83	168	226	488	330	<b>2116</b>
<b>R4 1986-1992</b>	3824	126	169	269	519	629	<b>5536</b>
<b>R5 1993-1996</b>	6778	296	165	513	928	2664	<b>11344</b>
<b>R6 1997-2000</b>	3639	330	163	170	756	2967	<b>8025</b>
<b>R7 2001-2005</b>	7957	517	388	304	1246	7192	<b>17604</b>
<b>R8 2006-2019</b>	91153	13469	4006	2819	3348	18177	<b>132972</b>
<b>TOTAL</b>	<b>115900</b>	<b>15140</b>	<b>5143</b>	<b>4577</b>	<b>7674</b>	<b>31999</b>	<b>180433</b>

Tabla 21. Distribución del parque automotor discriminado por modelo del Distrito. Fuente: elaboración propia. Fuente: Secretaria Distrital De Movilidad y seguridad Vial de Barranquilla.

En la tabla 20 puede observarse como el número de automóviles ha llegado a superar el número de motocicletas, buses y camiones, y con respecto a la edad del parque automotor se ve que más la mitad del parque es relativamente nuevo tiene no menos de 15 años. En la ilustración 30 se observa la distribución porcentual y la influencia de cada categoría vehicular en cada rango establecido, este grafico muestra la dinámica del parque respecto a la tecnología.

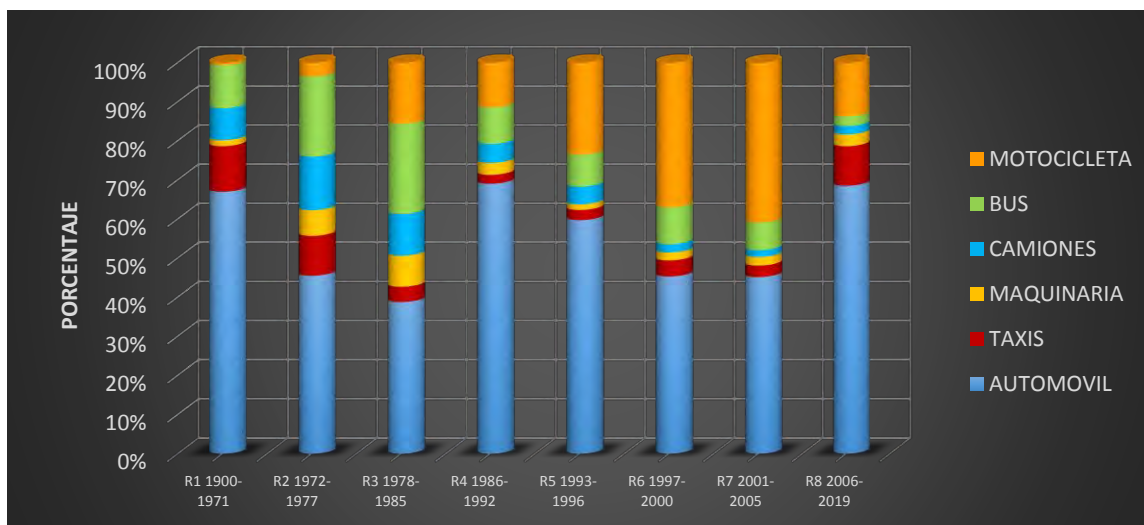


Ilustración 30. Distribución porcentual por categorías vehiculares del distrito de acuerdo con el modelo del automóvil. Fuente: elaboración propia. Fuente: Secretaria Distrital De Movilidad y seguridad Vial de Barranquilla.



En las ilustraciones de la 31 a la 34 puede observarse el aporte de cada categoría al parque vehicular del Distrito, de acuerdo con los rangos establecidos en el proyecto.

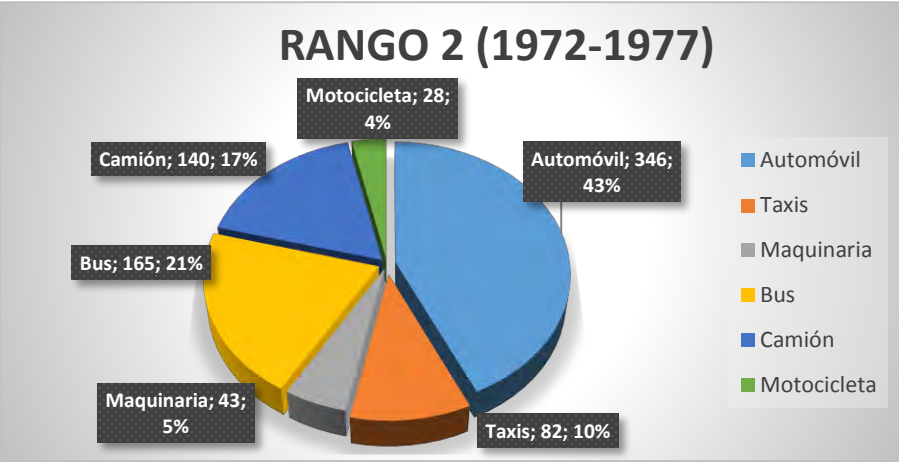
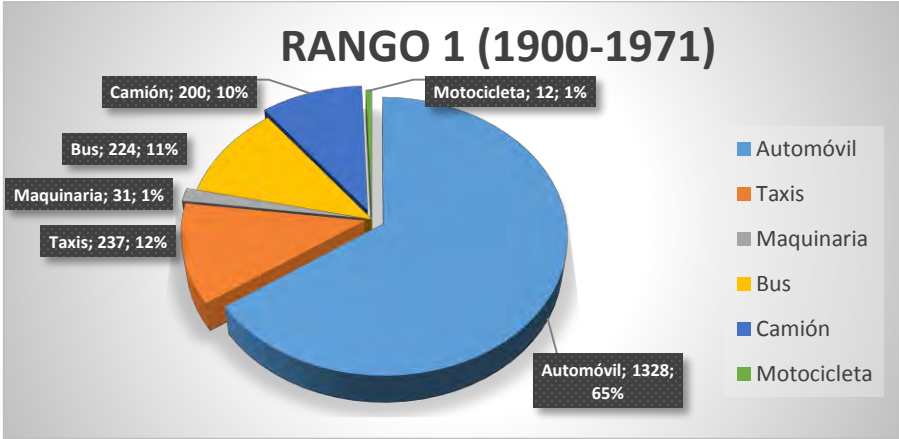
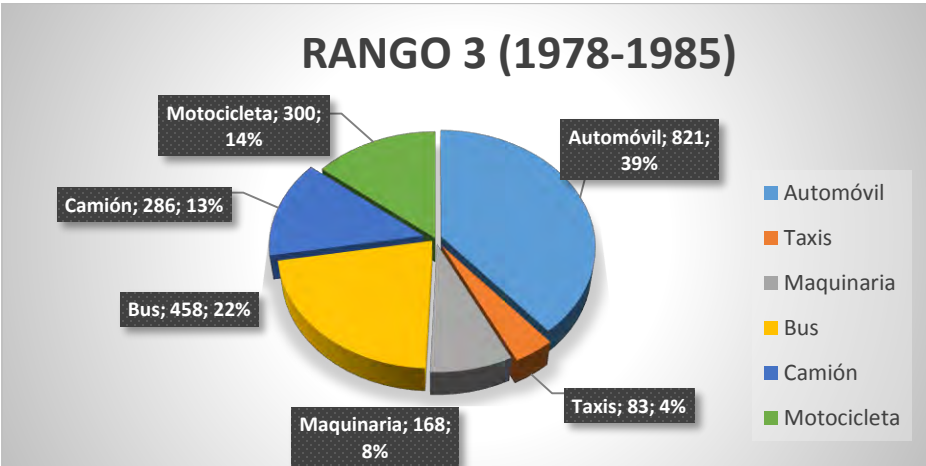


Ilustración 31. Distribución por categorías vehiculares del distrito de acuerdo con el modelo del vehículo, R1 & R2. Fuente: elaboración propia. Fuente: Secretaria Distrital De Movilidad y seguridad Vial de Barranquilla.



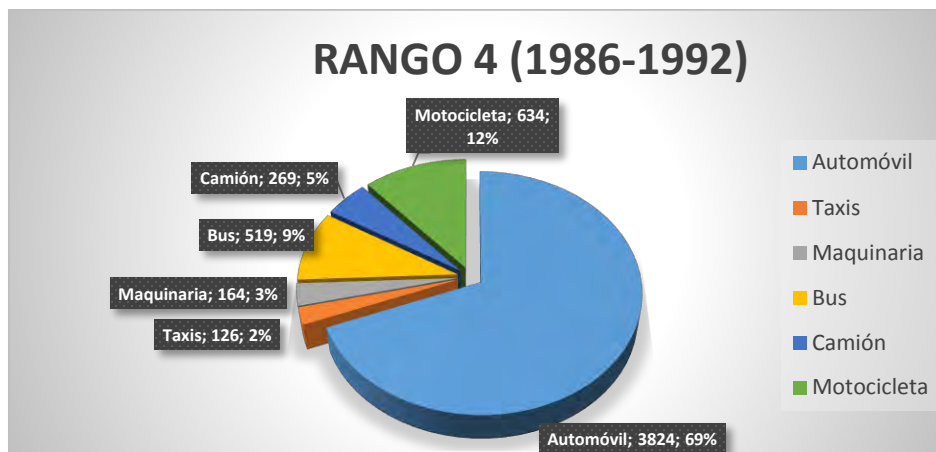


Ilustración 32. Distribución por categorías vehiculares del distrito de acuerdo con el modelo del vehículo, R3 & R4.  
Fuente: elaboración propia. Fuente: Secretaria Distrital De Movilidad y seguridad Vial de Barranquilla.

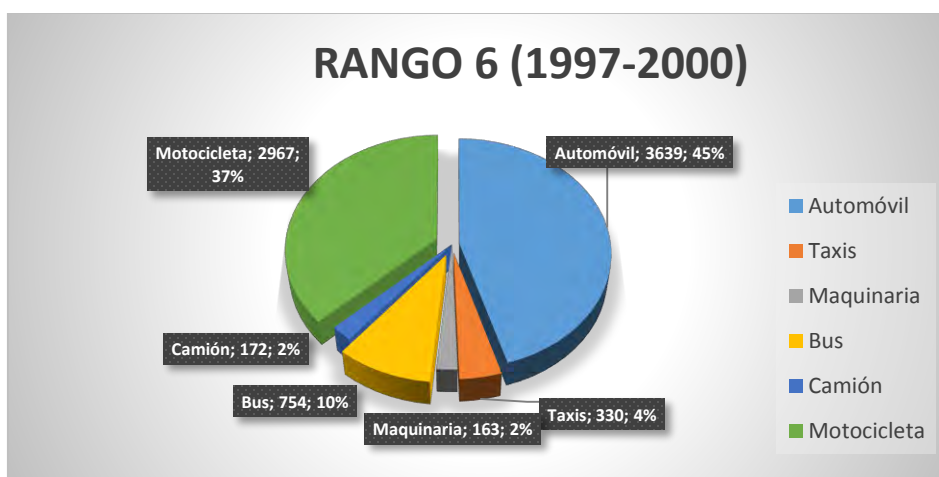
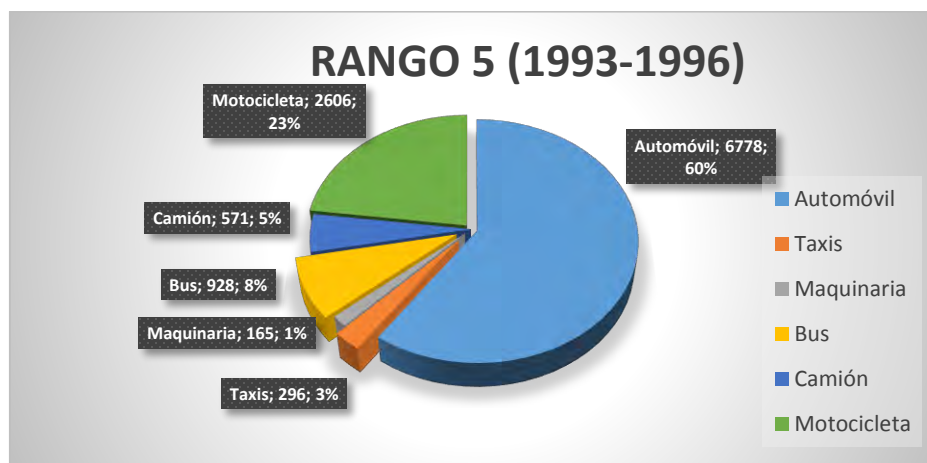
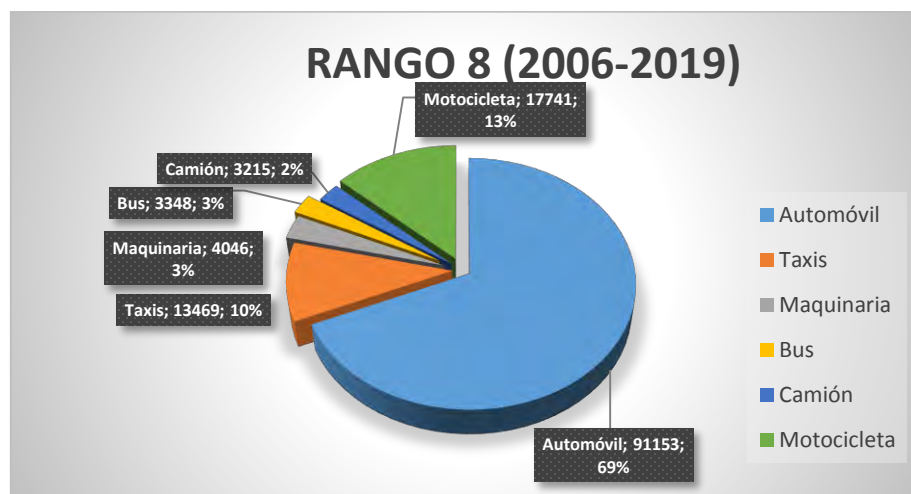
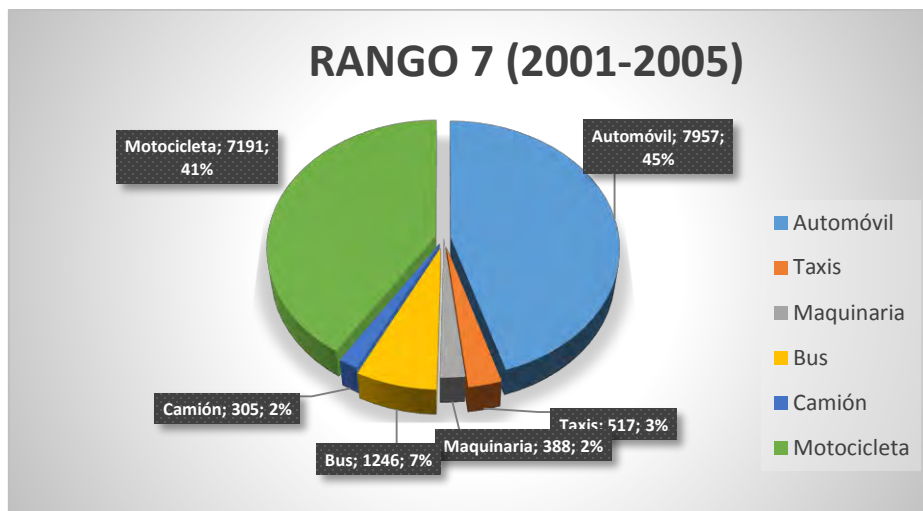


Ilustración 33. Distribución por categorías vehiculares del distrito de acuerdo con el modelo del vehículo, R5 & R6.  
Fuente: elaboración propia. Fuente: Secretaria Distrital De Movilidad y seguridad Vial de Barranquilla.



*Ilustración 34. Distribución por categorías vehiculares del distrito de acuerdo con el modelo del vehículo, R7 & R8. Fuente: elaboración propia. Fuente: Secretaría Distrital De Movilidad y seguridad Vial de Barranquilla.*

La mayor contribución en todos los rangos, de R1 hasta R8, la hacen la categoría de automóviles un promedio del 54.4%, seguido de las motos con un 18%; los taxis con un 6%, los camiones y buses representan el 7.12% y el 11.22%, respectivamente. Por último la maquinaria la cual le corresponde un 3.3%.

En La ilustración 35 puede observarse la distribución del parque automotor de acuerdo al modelo. Aproximadamente el 85% de los buses y el 88 % de los camiones tienen menos de 22 años, mientras que el 92% de los taxis y el 84% de los automóviles tienen menos de 12 años; solo las motocicletas pueden considerarse como la categoría más actualizada de la flota vehicular. Este indicador permite medir la efectividad y calidad de prestación del servicio de transporte urbano, pues refleja en qué medida las empresas y administraciones controlan que

el parque automotor no sobrepase la edad máxima recomendada por el Ministerio De Transporte como financiera y económicamente viable para operación de 15 a 20 años para vehículos de orden público y particulares, y 35 años para vehículos de transporte de carga, de acuerdo con el “Proyecto De Ley Por La Cual Se Adoptan Mecanismos Para La Reposición Del Parque Automotor De Servicio Público De Transporte”.

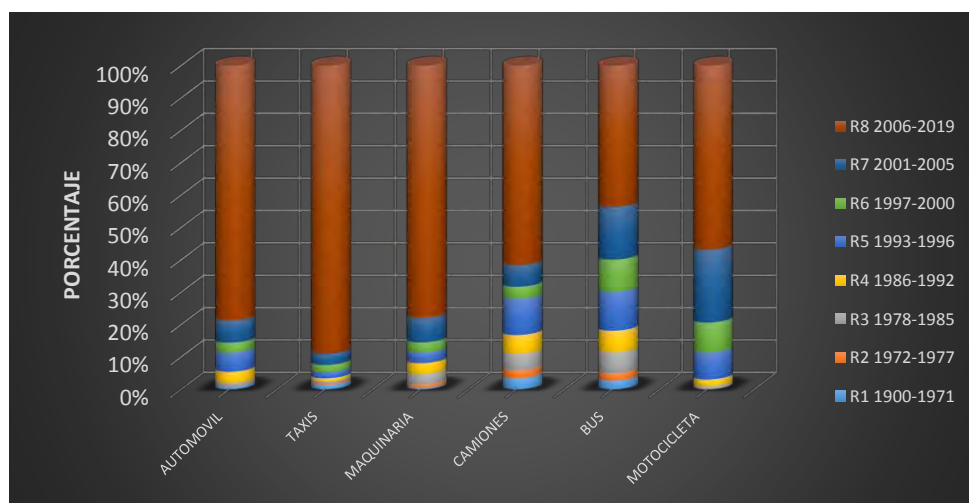


Ilustración 35. Distribución porcentual por modelos vehiculares del distrito de acuerdo con la categoría del automóvil (edad del parque automotor). Fuente: elaboración propia. Fuente: Secretaría Distrital De Movilidad y seguridad Vial de Barranquilla.

En cuanto a la categoría de motocicletas, se realizó una clasificación de dos tiempos y cuatro tiempos. En la ilustración 36 se muestra la distribución encontrada, el número en cada categoría y su porcentaje.

Para el uso de motocicletas con motor de 2 tiempos y 4 tiempos, dada la falta de información distrital, se tuvieron en consideración los porcentajes reportados por Rojas (2015) en la jurisdicción de la CAR Cundinamarca, que son del 38% para motos de 2 tiempos y de 62% para motos de 4 tiempos. De igual forma el informe de actualización de inventario de emisiones realizado por el área metropolitana del valle de Aburrá de 2010 propone bajo la jurisdicción correspondiente que son del 25% para motos de 2 tiempos y de 75% para motos de 4 tiempos (Área Metropolitana Valle de Aburra, 2010). Para la distribución porcentual del distrito se promedió 30% para motos de 2 tiempos y de 70% para motos de 4 tiempos.

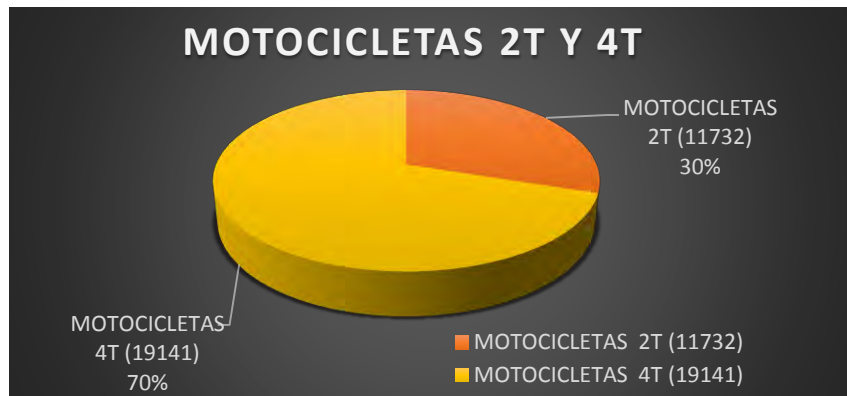


Ilustración 36. Distribución porcentual por modelos de motocicletas del distrito. Fuente: elaboración propia. Fuente: Secretaría Distrital De Movilidad y seguridad Vial de Barranquilla.

Las ilustraciones de la 31 a la 34 contienen los datos de evolución del número y porcentaje de vehículos registrados activos en el Distrito por rango establecido. En los rangos 6 y 7 puede apreciarse que la cantidad de motos registradas ha tenido variación considerable entre los años 1997 y 2005. El incremento para el distrito de Barraquilla en el rango 7 con respecto al rango 4 corresponde de 30% para el periodo referido. En el distrito el comportamiento de las motos registradas ha sido creciente, en los rangos R1, R2, R3, R4, R5, R6 y R7 se nota una variación del 1%, 4%, 14%, 12%, 23%, 37% y 41% respectivamente.

El número de buses (buses, busetas y microbuses, ya sean de servicio particular, público u oficial, incluyen urbanos, metropolitanos e interurbanos) existentes en el distrito presentó un descenso en el año de 1992, y en los siguientes años siguió disminuyendo incluso hasta llegar, en el rango 8 a ser el 3% de la flota.

El número de camiones (camiones y volquetas, sean particulares, públicos u oficiales) presentaron un fuerte descenso en el año 1985, pero a partir del año 1992 su crecimiento se mantuvo constante. Los camiones del sector público y oficial representan un valor de 3% respectivamente.

En todos los rangos puede apreciarse que la cantidad de automóviles registrados ha sido predominante ante las demás categorías de la flota vehicular, a excepción de los rangos 6 y 7 donde las motos igualan los porcentajes de distribución. Los autos particulares participan entre un 40% a 70% del total.

De acuerdo con la información suministrada por la secretaria de movilidad la distribución del uso de combustible del parque automotor del distrito, en la ilustración 37, se puede observar que los tipos de combustible usados son biodiesel, gas, gasgasol, hidrogeno, eléctrico, aunque los predominantes son la gasolina con un 86,5% y el ACPM con un 10%, ambos tipos sumados corresponden 96,5%, razón por la cual en este estudio los contaminantes analizados son los emitidos por estas dos tipologías de motores.

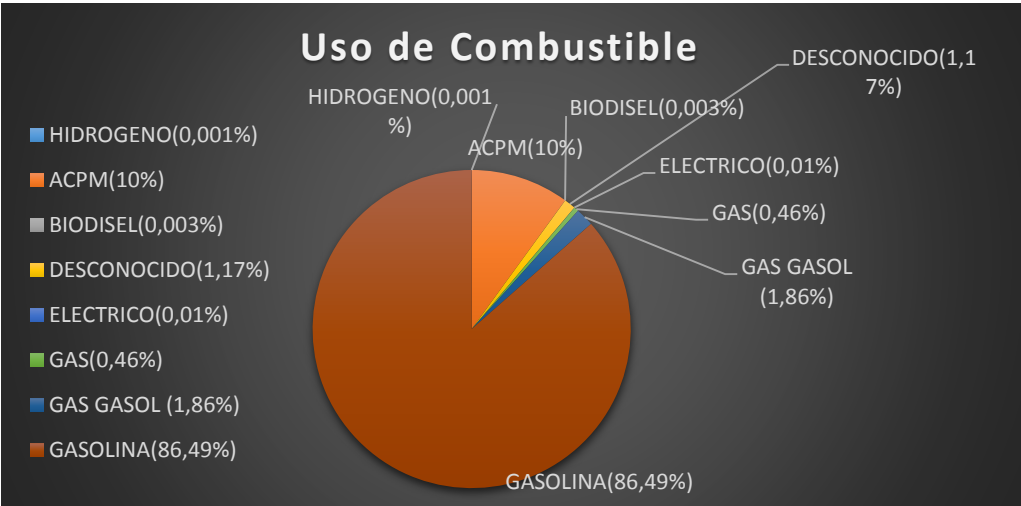


Ilustración 37. Distribución del uso de combustible del parque automotor del distrito. Fuente: elaboración propia. Fuente: Secretaria Distrital De Movilidad y seguridad Vial de Barranquilla.

De acuerdo con la tabla 21 se observa que el número de vehículos a gas y gasgasolina contiene casi la totalidad restante con un porcentaje del 2.5% del total de vehículos, y el 1% ultimo corresponde a los otros usos de combustible. Cabe anotar que este 3.5% de los vehículos no realiza un aporte significativo de contaminación en el área de estudio.

GENERAL COMBUSTIBLES CATEGORIA AUTOMOVIL PARTICULAR	
ACPM	18051
BIODISEL	6
ELECTRICO	17
GAS	832
GASGASOL	3350
GASOLINA	156062
HIDROGENO	1
DESCONOCIDO	2114

Tabla 22. Número de vehículos activos de acuerdo al uso de combustible. Fuente: elaboración propia.

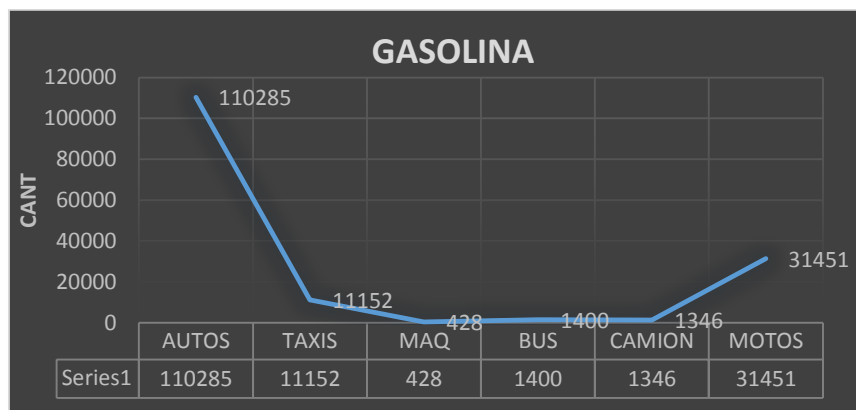


Ilustración 38. Número de vehículos activos de acuerdo al uso de Gasolina. Fuente: elaboración propia.

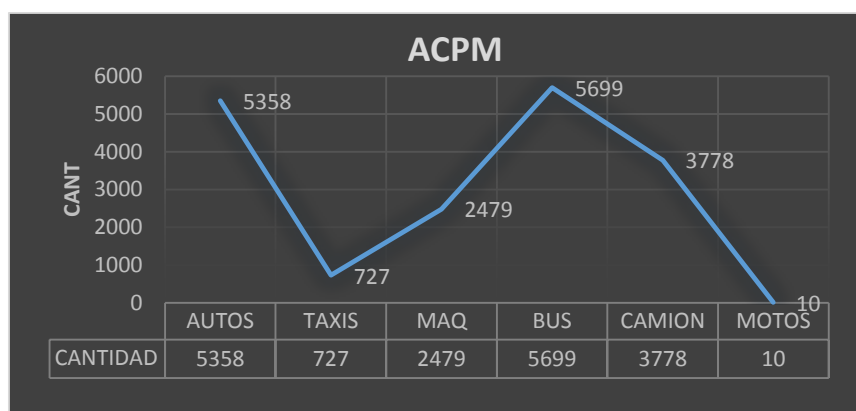


Ilustración 39. Número de vehículos activos de acuerdo al uso de ACPM. Fuente: elaboración propia.

## 10.2 Afectaciones en la dinámica de los contaminantes por las condiciones ambientales del distrito.

El viento, la humedad, la inversión térmica y las precipitaciones juegan un papel determinante en el aumento o disminución de la contaminación, el viento es un factor propio para la difusión de los contaminantes el efecto sin embargo depende la topografía del terreno y de la presencia de obstáculos. La humedad por su parte, juega un papel negativo favoreciendo la acumulación de humos. El vapor de agua como consecuencia de la humedad puede reaccionar con determinados aniones, aumentando su agresividad. La inversión térmica limita la dispersión de contaminantes, esta inversión se puede producir como consecuencia del enfriamiento del suelo por la erradicación de calor producida en las noches con ausencia de nubosidad (Palacio, D., Sierra, R., & Varela, S, 2016).

En un estudio elaborado para CRA en el año 2016, relacionado con la presión que ejercen a la atmosfera las fuentes contaminantes del departamento del Atlántico, se



concluye que la mayor fuente de contaminación del aire son las fuentes móviles principalmente en la ciudad de Barranquilla (DAMAB, 2016).

### 10.3 Emisiones Vehiculares

A continuación, se presenta la aplicación de una metodología general con el fin de establecer la carga contaminante al aire producida por el parque automotor del Distrito de Barranquilla en un año.

Para el cálculo de las emisiones, procedentes de las fuentes móviles del Distrito de Barranquilla, respecto al año 2018, se hacen los cálculos de emisión específicos, mediante el empleo de los factores de emisión anteriormente ajustados, en el capítulo 9.3. Para ello es indispensable analizar la relación que existe entre los factores de emisión y el año el cual se aplica la tecnología en Colombia. La tabla 22 muestra la linealidad entre la tecnología, los rangos de edades definidos en el estudio y los años en los que la metodología de la unión europea aplica dichas tecnologías.

TECNOLOGIA	ESTUDIO	EMEP/CORINAIR
pre ECE	R1( 1900-1971)	Vehículos<1971
ECE 15 00 & 01	R2( 1971-1977)	1972 a 1977
ECE 15 02		1978 a 1980
ECE 15 03	R3 (1978-1985)	1981 a 1985
ECE 15 04	R4 (1986-1992) R5 (1993-1996)	1985 a 1992
Convencional mejorado	N.A.	Vehículos >1992
Ciclo cerrado	N.A.	Vehículos >1992
Euro 1	R6 (1997-2000)	1992 a 1996
Euro 2	R7 (2001-2005)	1996 a 2000
Euro 3	R8 (2006-2019)	2000 a 2005
Euro 4	N.A.	2005 a 2007
Euro 5 y 6	N.A.	2007 a 2020

Tabla 23. Relación lineal entre los rangos del estudio y la tecnología europea para el cálculo de estimación emisiones contaminantes. Fuente: Elaboración propia.

Es de suma importancia dejar en claro que las tecnologías llegadas a muchos países en desarrollo y en transición, a través del apoyo de La Asociación para Combustibles y Vehículos Limpios (PCFV), han completado la eliminación gradual de la gasolina con plomo, seguida de la adopción de objetivos y planes de trabajo



para introducir combustibles con menor contenido de azufre. La promoción de otros combustibles y vehículos más limpios ayudará a los países en desarrollo y en transición a introducir requisitos para combustibles de azufre de 50 ppm o menos. Sin embargo, la mayoría de estos países aún no han introducido estándares de emisión de vehículos como se muestra en la ilustración a continuación. Para el caso de Colombia, actualmente se cuenta con tecnologías menores e iguales a Euro 3, ver en ilustración 40. Los estándares de emisión de vehículos Euro 3 requerirán 150 ppm de azufre en gasolina y 350 ppm de azufre en diésel para cumplir con el límite de emisiones (United Nations Environment Programme, 2015).



*Ilustración 40. Tecnologías vehiculares usadas a nivel global. Vehicle Emission Standards April 2015. Fuente: PCFV Secretariat. United Nations Environment Programme, 2015.*

De acuerdo con informes de Ecopetrol a partir del año 2012, se empezó a comercializar gasolina de menos de 300 ppm de azufre en todo el país, estos datos se obtuvieron con base a mediciones tomadas en Refinería de Barrancabermeja y tanques de distribuidores mayoristas de Medellín, además empezó a entregar diésel de menos de 50 ppm de azufre a nivel nacional. Estas son muestras aleatorias reportados por TIP (Contratista externo del ICP).

## Calidad de la gasolina extra

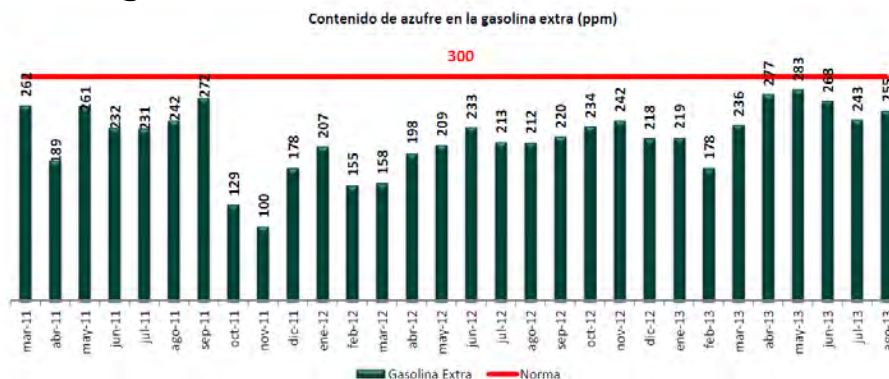


Ilustración 41. Calidad de la gasolina extra a partir del año 2012 comercializada en Colombia. Fuente: Ecopetrol.

## Calidad de la gasolina corriente

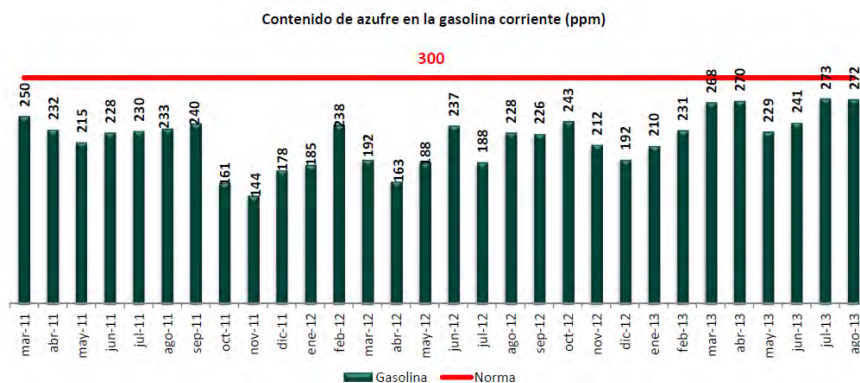


Ilustración 42. Calidad de la gasolina corriente a partir del año 2012 comercializada en Colombia. Fuente: Ecopetrol.

## Calidad del Diésel

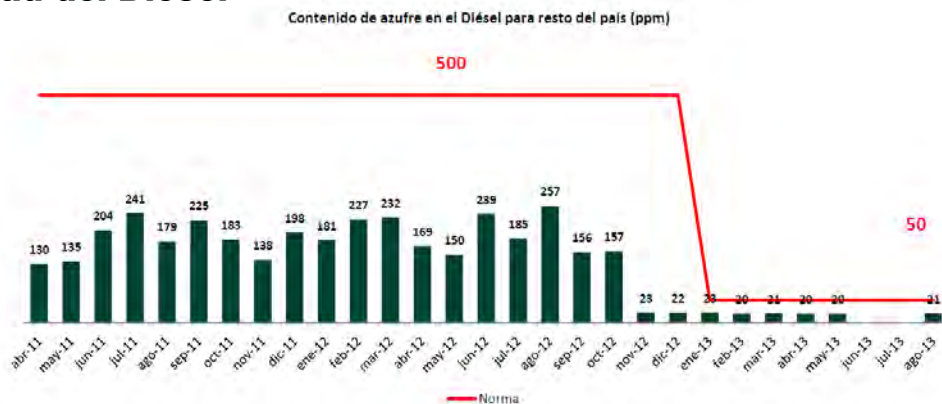


Ilustración 43. Calidad del diésel a partir del año 2012 comercializada en Colombia. Fuente: Ecopetrol.

De acuerdo con lo anterior, los cálculos realizados para la estimación de las emisiones en Barranquilla se llevó a cabo con los datos relacionados correspondientes a las tecnologías Euro III, sin embargo el ministerio de medio ambiente afirma que los vehículos que comúnmente circulan en el país son Euro II

o menos (MADS, 2015). Es por ello que para para el rango 8, categorización del estudio, se le asigno Euro III, para el rango 7 Euro II, rango 6 Euro I y así mismo para las demás que corresponden a las tecnologías convencionales. En la tabla 22 es notorio el desfase en cuanto a las edades de los vehículos en Barranquilla y el año en el que la tecnología europea fue implementada, esto permite conocer el número de años de atraso tecnológico que tiene el país.

Estos cálculos se realizan conforme a la metodología de estimación de emisiones por factores de emisión presentados por EMEP/CORINAIR y de acuerdo a la formula presentada en el numeral 9.1 para la realización de inventarios *Top-Down*. Para ello, se identificaron las variables que influyen en el cálculo, como los factores de actividad asociados a los servicios que presta cada uno de los vehículos o el número de vehículos activos y discriminados por categorías, esta información con la que se contó fue brindada por la secretaria de movilidad y seguridad vial del Distrito de barraquilla al año vigente. En la tabla 23 se muestran las emisiones totales calculadas para cada uno de los contaminantes y el número de vehículos totales tomados en cuenta para la estimación de las emisiones de cada uno de los contaminantes estudiados.

<b>EMISIONES TOTALES CONTAMINANTES POR FUENTES MOVILES</b>						
<b>UNIDAD (Ton/año)</b>						
<b>Categorías</b>	<b>No.</b>	<b>CO</b>	<b>NOx</b>	<b>COVs</b>	<b>PM</b>	<b>total</b>
<b>Automóvil</b>	<b>115861</b>	4067,37	504,37	577,47	3,62	5153,25
<b>Taxis</b>	<b>15147</b>	1903,63	250,10	246,83	2,16	2402,98
<b>Bus</b>	<b>7648</b>	4579,36	5718,23	905,42	463,65	11912,40
<b>Camión</b>	<b>5159</b>	969,94	4148,79	200,54	147,26	5544,56
<b>Motocicleta</b>	<b>31475</b>	5358,18	17,17	1789,34	20,53	7187,47
<b>TOTAL</b>	<b>175290</b>	<b>16878,467</b>	<b>10638,653</b>	<b>3719,597</b>	<b>637,211</b>	<b>32200,66</b>

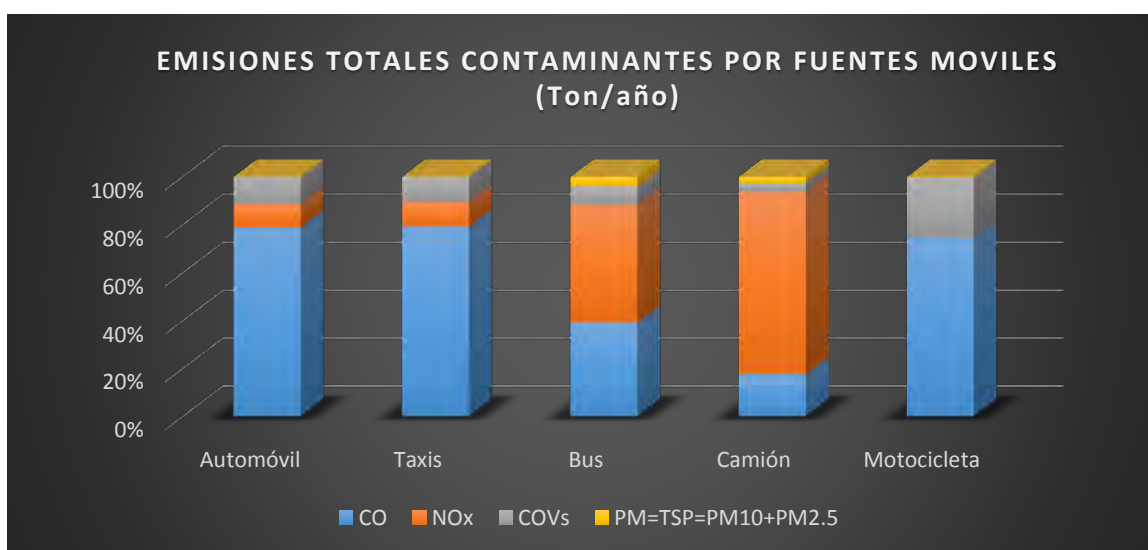
*Tabla 24. Estimación de emisiones totales calculadas para cada uno de los contaminantes de acuerdo con la categoría vehicular: Fuente Elaboración propia.*

La categorización presentada en la tabla 23 no incluye la maquinaria, es decir, ningún tipo de maquinaria de construcción, comercial, agrícola e industrial. Para el cálculo de emisiones contaminantes son te tuvo en cuenta esta categoría debido a que no hace parte del objeto y alcance de este estudio. De acuerdo con EMEP/EEA las fuentes móviles por carretera son tratadas en el capítulo 1.A.3.b.i-iv Road transport 2018 y los factores emisión se encuentran en el anexo 1.A.3.b.i-iv Road

transport hot EFs Annex 2018; la información de las fuentes de maquinaria móvil no vial están consignadas en el capítulo 1.A.4 Non road mobile machinery 2016 y su respectivo anexo 1.A.4 Non road mobile machinery Annex. Uno de los desafíos más importantes para estimar las emisiones de estas fuentes se relaciona con la obtención de datos de actividad. Los cálculos se pueden realizar sobre la base del consumo de combustible o las horas de operación de la maquinaria. Es raro que los datos de consumo de combustible resuelvan el combustible utilizado específicamente en NRMM del que consume el transporte por carretera. Es una buena práctica garantizar que el combustible asignado al transporte por carretera no incluya el utilizado por NRMM. Esto es relevante si la estimación de las emisiones de NRMM se basa en un enfoque de combustible utilizado o de horas de operación (EEA, 2016).

Los tipos de equipos utilizados bajo la etiqueta colectiva NRMM representan una lista muy amplia. En algunos casos, existe el riesgo de una mala asignación, superposición o doble conteo, porque no siempre está claro si, por ejemplo, Los vehículos utilitarios especializados tales como camiones de bomberos, recolectores de basura, camiones de alcantarillado, camiones cisterna, etc. están incluidos en las categorías de informes de vehículos de carretera. En la medida de lo posible, la maquinaria debe informarse bajo la categoría de reporte NRMM apropiada y no con el transporte por carretera. Si no es posible resolver el combustible usado por el vehículo principal y la maquinaria móvil a bordo, entonces las emisiones de la maquinaria móvil pueden reportarse bajo la misma categoría de fuente que el vehículo principal. En algunos otros casos, la maquinaria es móvil en principio, pero en realidad permanece en el mismo sitio durante largos períodos, o solo es móvil dentro de un radio pequeño, por ejemplo, algunas excavadoras y grúas. Es una buena práctica resolver las emisiones de NRMM de otras fuentes, como vehículos de carretera y combustión estacionaria siempre que sea posible, aunque en el presente proyecto no se cuenta con la información necesaria y completa para el cálculo de una estimación real y aproximada de las emisiones. Se necesita documentación detallada para explicar la asignación de diferentes tipos de vehículos y maquinaria a las categorías de informes de emisiones (EEA, 2016).

La tabla 23 muestra la cantidad de emisiones para los principales contaminantes por categoría de vehículos, para la estimación de cada una de las emisiones de las agrupaciones realizadas para el cálculo de los factores de emisión son dadas por el cilindraje del vehículo para las categorías passenger cars y motorcycles; para la categoría heavy duty vehicles, está dado por el peso del automotor sin embargo en el estudio se ajustó de acuerdo al cilindraje. El valor utilizado para el cálculo de la estimación de las emisiones se tomó para los casos Euro I, Euro II y Euro III un promedio de las medias de los factores de emisión para cada uno de los intervalos de años, para los casos ECE convencionales se tomó el factor de emisión con mayores valores debido al alto nivel de incertidumbre. La velocidad utilizada para el cálculo de los factores de emisión, es de 20 km/h. La ilustración 44 muestra la distribución de esas emisiones.



*Ilustración 44. Distribución de las emisiones contaminantes por fuentes móviles en el Distrito de Barranquilla. Fuente Elaboración propia.*

Allí, puede verse como los vehículos livianos, principalmente las motocicletas son los principales responsables de las emisiones de monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles mientras que los buses hacen el mayor aporte de óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y material particulado.

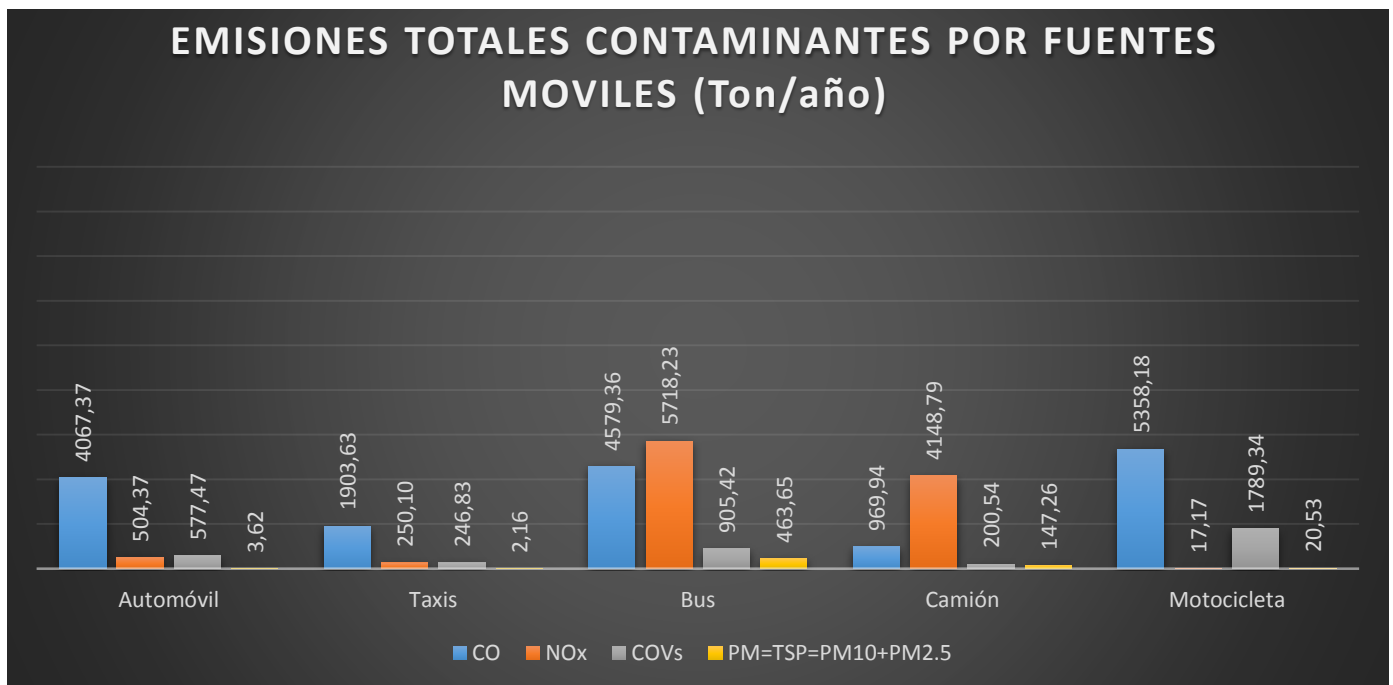
En la ilustración 45 se muestra la estimación de la emisión de los contaminantes estudiados para cada una de las categorías de vehículos, según la clasificación del proyecto, se observa que los automotores que más carga contaminante aportan al

ambiente son los heavy duty o pesados que incluyen los camiones y los buses. Así mismo al mayor aporte de material particulado le corresponde a los buses y camiones respecto a la flota registrada oficialmente. Además se observa que el óxido de nitrógeno (NOx) es el contaminante que más emite la flota vehicular en el distrito.

En relación a los resultados obtenidos de la estimación de contaminantes atmosféricos en las distintas categorías vehiculares, se puede deducir que los vehículos de carga pesada (Bus, Buseta, 2, 3 y 4, 2S1, 2S2, 3S1, 2S3, 3S2, 3S3) obtuvieron una mayor emisión del contaminante óxido de nitrógeno (NOx) en comparación a las demás, debido a que estos vehículos cuentan con un motor diésel.

Se encontraron los mayores valores para Compuestos Orgánicos Volátiles y estos fueron atribuidos a la categoría de motos y automóviles públicos o privados que transitan por Barranquilla, debido a su funcionamiento a gasolina, lo que conlleva a una mayor evaporación de COVs que el diésel por estar formada de componentes de menor peso molecular, menor punto de ebullición y evaporación.

*Ilustración 45. Comparación de las emisiones contaminantes por categorías en el Distrito de Barranquilla. Fuente: Elaboración propia.*



#### **10.4 Análisis de Incertidumbre.**

Los modelos de emisiones son estimaciones realizadas a partir de datos, factores de actividad y factores de emisión que a menudo son limitados, debido a las dificultades que se presentan en la recopilación de datos, suposición de situaciones, inexactitud e imprecisión en el nivel de detalle de la información y por las simplificaciones y criterios que se asumen. Por otro lado se limita la metodología por la falta de homogenización de las clasificaciones vehiculares entre los distintos entes administrativos que requieren la información de flujos vehiculares, la desactualización y carencia de información en cuanto a factores de emisión y de actividad propios de la ciudad, ausencia de reportes obligatorios a las autoridades de los procesos de reconversión a gas natural, híbrido o cualquiera otra tecnología de combustible, desactualización de base de datos oficiales, omisión del número de vehículos no pertenecientes a la ciudad, cambios en la calidad de los combustibles, carencia de aforos vehiculares en otras tipologías de vías como intermedias, locales y rurales, reduciendo la certeza en la estimación de la actividad vehicular de la malla secundaria, entre muchas otras razones más, por lo tanto, es de esperarse que las estimaciones de las emisiones resultantes suelen tener cierto grado de incertidumbre que es preciso conocer.

Para obtener un grado de confiabilidad de las emisiones calculadas se puede comparar los resultados obtenidos con otros inventarios realizados para la misma zona de estudio, utilizando otras metodologías o comparar con inventarios de diferentes ciudades que posean un parque automotor parecido en su caracterización, a fin de verificar si están dentro del mismo rango de magnitud.

Para el primer caso, se compararon las emisiones por tonelada/año de cada compuesto presentadas en el Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), realizado en agosto de 2013 por GeoAdaptive LLC & CINPRO para el Banco Interamericano de Desarrollo en el marco de la Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES) como parte del proyecto de “Urban Development and Climate Change: Current and Historic Urban Footprint, Urban Growth Scenarios and Basic Studies on Climate Change Mitigation and Adaptation”, respecto al sector de transporte(fuentes móviles-on road) según el Plan Maestro de Movilidad del distrito de

Barranquilla, con los valores del inventario específico (“Top-Down”) obtenido en la presente tesis. Además se comparó de igual forma con otro estudio (Inventario De Emisiones Atmosféricas Barranquilla, Atlántico) realizado por Control De Contaminación LTDA Para el DAMAB en el año 2013. Esta comparación permite concluir que las mayores diferencias se encuentran entre los resultados del NOx y el CO, las cuales se deben a la utilización de diferentes valores de factores de emisión establecidos por la metodología EMEP CORINAIR, además la guía de la agencia europea utilizada en el inventario GEI es la actualización 2013 mientras que la del presente informe es la actualización 2016. Por otro lado la velocidad promedio considerada en el Área para transporte Particular y Público fue de 50 km/h y el número de vehículos fue de 121.765, para el año 2013, lo cual difiere en mayor medida puesto que el parque automotor actual estudiado es de 180.433 con una velocidad promedio de 20 km/h. En cuanto al estudio del DAMAB se utilizaron factores de emisión de CARINAIR 2016 igual que el presente estudio pero, en el estudio mencionado primeramente realizan variaciones en las velocidades de acuerdo a la categorización vehicular.

<b>EMISIONES TOTALES CONTAMINANTES POR FUENTES MOVILES</b>					
<b>UNIDAD (Ton/año)</b>					
	<b>No.</b>	<b>CO</b>	<b>NOx</b>	<b>COVs</b>	<b>PM</b>
<b>Barranquilla, presente estudio(1)</b>	<b>175290</b>	<b>16878,467</b>	<b>10638,653</b>	<b>3719,597</b>	<b>637,211</b>
<b>Barranquilla, estudio GEI(2)</b>	<b>121765</b>	<b>41011,850</b>	<b>4894,470</b>	<b>4008,790</b>	<b>926,060</b>
<b>Barranquilla estudio(DAMAB)</b>	<b>122386</b>	<b>56938,580</b>	<b>6525,870</b>	<b>5434,244</b>	<b>801,543</b>

- (1) Resultados inventario tesis de investigación, año base 2018.
- (2) Resultados inventario GEI, año base 2013.
- (3) Resultados inventario DAMAB, año base 2014-2015.

*Tabla 25. Comparación del inventario de gases de efecto invernadero con el inventario realizado en el actual proyecto de investigación aplicado al Distrito de Barranquilla. Fuente: elaboración propia.*

La diferencia en el total de NOx se debe a que la emisión de este contaminante es inversamente proporcional a la velocidad, entre mayor sea la velocidad menor será el factor de emisión. La diferencia del CO puede radicar en que el parque automotor de barranquilla actual respecto al del año 2012 es relativamente más joven, por lo que las unidades de este contaminante han disminuido gracias a la implementación de



tecnologías vehiculares, además muchos vehículos en un tiempo transcurrido de 8 a 10 años pueden quedar obsoletos si son de tecnologías muy antiguas o lo que son susceptibles a cambios y se trasladan a otra zona.

La otra forma de verificar los resultados obtenidos es la comparación entre inventarios de otras ciudades o zonas de estudio. Para esto se tomó el inventario realizado en el área metropolitana del valle de aburra por la universidad pontificia bolivariana de acuerdo con el Convenio de Asociación No. 323 de 2005, Inventario De Emisiones De Fuentes Móviles –Etrome–Manual Del Usuario, en agosto de 2006. Otro inventario que realizo el área metropolitana del valle de aburra por la universidad pontificia bolivariana de Convenio de Asociación No. 543 de 2008, Acta No 3, Simulaciones Especiales Tarea 1: Actualización Del Inventario De Emisiones Atmosféricas, en agosto de 2010.

<b>EMISIONES TOTALES CONTAMINANTES POR FUENTES MOVILES</b>					
<b>UNIDAD (Ton/año)</b>					
	<b>No.</b>	<b>CO</b>	<b>NOx</b>	<b>COVs</b>	<b>PM</b>
<b>Barranquilla, presente estudio(4)</b>	<b>175290</b>	<b>16878,47</b>	<b>10638,653</b>	<b>3719,60</b>	<b>637,21</b>
<b>AMVA(5)</b>	<b>643018</b>	<b>166899</b>	<b>29324</b>	<b>25652</b>	<b>2377</b>
<b>AMVA(6)</b>	<b>550619</b>	<b>104118</b>	<b>14780</b>	<b>27627</b>	<b>989</b>

(4) Resultados inventario tesis de investigación, año base 2018.

(5) Resultados inventario de emisiones del Área metropolitana del Valle de Aburra, año base 2010.

(6) Resultados inventario de emisiones del Área metropolitana del Valle de Aburra, año base 2006.

*Tabla 26. Comparación del inventario de emisiones de Aburra con el inventario realizado en el actual proyecto de investigación aplicado al Distrito de Barranquilla. Fuente: elaboración propia.*

Analizando los valores presentados en la tabla anterior se observa que la participación de las partículas en las emisiones totales del Distrito es menor a la presentada en las otras zonas de estudio, y esto puede deberse al hecho de que en otras ciudades el tráfico vehicular pesado se presenta en un porcentaje mayor como lo es el caso del Valle de Aburrá. También puede deberse a las diferencias del contenido de azufre y cenizas en el combustible utilizado. Además se puede apreciar el hecho de que en Barranquilla la categoría de las motos no es tan marcada como en el valle de aburra que supera al número de autos por lo que puede ser una de las demandas de CO altas. Para las emisiones de NOx se nota que para las zonas del Distrito, los porcentajes de emisión son bastante diferentes, lo cual puede atribuirse a la forma de calcular las emisiones de las fuentes móviles.

Las emisiones anuales del monóxido de carbono igualmente presentan una mayor diferencia entre las estimadas para el Distrito y para las otras zonas, lo cual también se debe a la metodología de cálculo de las emisiones, a los factores de emisión utilizados y a la forma de estimación del flujo vehicular. El porcentaje de participación del CO en las emisiones totales difiere en los tres estudios, con valores que varían entre 50% y 80%. A continuación se muestra la distribución porcentual del total de emisiones calculadas en el presente estudio. Las emisiones relativas de COV's son comparables a las presentadas por las otras zonas; este compuesto representa un 12% de la emisión vehicular. Para las demás este porcentaje varía entre 8% y 12%.

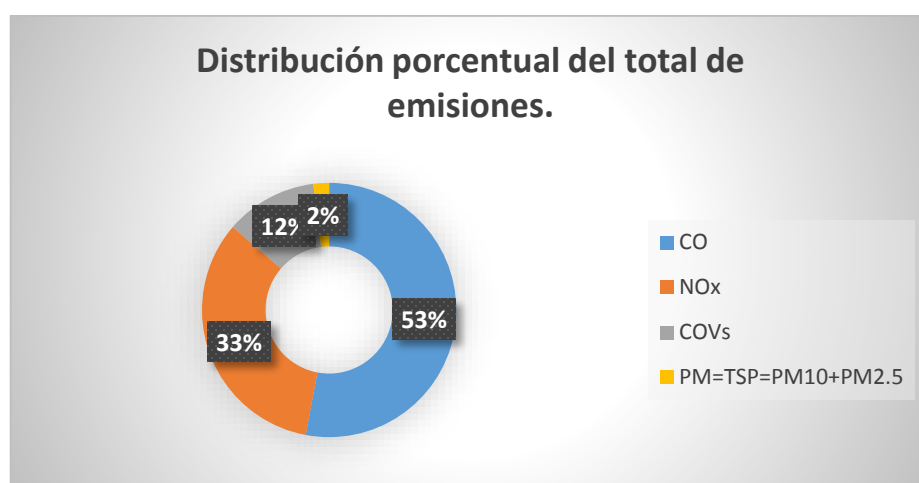


Ilustración 46. Distribución porcentual del total de emisiones calculadas en el estudio actual para el distrito de Barranquilla. Fuente: Elaboración propia.

## 11. CONCLUSIONES

El cálculo de emisiones desarrollado en el proyecto, permitió evidenciar los niveles de emisiones de los contaminantes criterio producidos por las fuentes móviles en la ciudad de Barranquilla, además de identificar y cuantificar el aporte de cada actividad. El modelo *Top-Down*, constituye una herramienta que permite estimar las emisiones provenientes del tráfico vehicular en el Distrito. Para la realización de este estudio fue usada la metodología establecida por CORINAIR proveniente de la unión europea y la información de entrada fue suministrada por la secretaria de movilidad y seguridad vial. La obtención de información primaria como aforos vehiculares se obtuvo por mediciones propias; la flota vehicular como actividad prioritaria, se obtuvo gracias a la secretaria de movilidad.

Durante el desarrollo del inventario se consideró una segregación de los vehículos, aforos vehiculares en puntos de las arterias y/o semiarterias de la ciudad en horas pico, kilómetros recorridos medios durante un año por categoría de vehículo, además de factores de emisión asociados a la tecnologías de los mismos. De los resultados se puede mencionar que el contaminante que se genera en mayor medida es el monóxido de carbono, este es el común denominador para todas las categorías establecidas (Ver Tabla 22), Seguido de los óxidos de nitrógeno, ambos parámetros son inversamente proporcional a la calidad de la combustión llevada a cabo por los motores de los vehículos para su funcionamiento.

El parque automotor del Distrito está compuesto en un 64% por automóviles y camperos particulares y 8% públicos, en un 18% por motos, en un 3% por camiones y en un 4% por buses. Aproximadamente el 85% de los buses y el 88% de los camiones tienen menos de 22 años, mientras que el 92% de los taxis y el 84% de los automóviles tienen menos de 12 años; las motocicletas pueden considerarse como la categoría con la tecnología más actualizada de la flota vehicular del distrito. En general las vías cuentan con categorías desactualizadas como los vehículos pesados que son los que mayor aporte de contaminación realizan, además de categorías vehiculares medianamente actualizadas como los autos particulares y las motos que se consideran los vehículos más actuales, este último debido al auge

que tuvo Colombia a partir del año 2000 en cuanto a la adquisición de motos por ser un vehículo económico y versátil que se ajusta adecuadamente a grandes grupos poblacionales de los estratos más bajos (ANDI, 2017). Más sin embargo el estudio evidenció el problema asociado con la presencia de motos con motores de 2 tiempos y sin ningún sistema de control de emisiones en la ciudad. Esta categoría es responsable de una alta tasa de emisiones de PM10 y COV, convirtiéndola en una de las categorías de mayor relevancia en términos de emisiones demostrando la importancia de implementar medidas de control para estos vehículos.

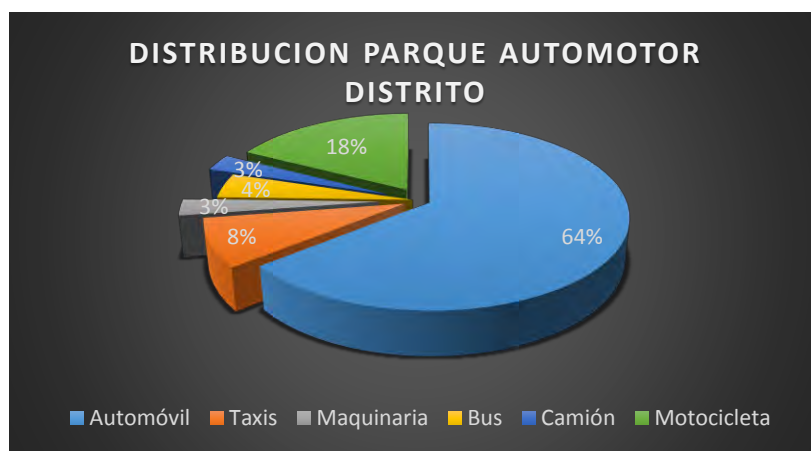


Ilustración 47. Distribución parque automotor distrito de Barranquilla. Fuente: Elaboración propia

En este inventario de emisiones se estimó que las fuentes móviles emitieron 16.879 toneladas de CO, 10.638 toneladas de NO<sub>x</sub>, 3720 toneladas de COVs, 637 toneladas de PM, donde los vehículos livianos fueron los principales responsables de las emisiones de CO (debido al uso de gasolina), mientras los buses hacen mayor aporte de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> (debido al uso de diésel).

Las emisiones de CO representan la mayor participación en los resultados totales del inventario, debido a que están relacionadas con algunos elementos que generan menos eficiencia en los motores de los vehículos como los procesos de combustión incompleta, las bajas velocidades de circulación, la edad del parque automotor y las deficiencias en el mantenimiento y sincronización de los vehículos.

Los vehículos diésel son responsables de la mayor emisión de PM y NO<sub>x</sub> mientras que los vehículos a gasolina contribuyen significativamente en las emisiones de CO y COV. La estrategia efectiva de reducción de emisiones de contaminantes debe

enfocarse a la utilización de nuevos combustibles como el Gas Natural y a mejoras en la calidad de los combustibles diésel que se utilizan en la actualidad. Se determinó que los vehículos que más emiten a la atmósfera, cuando se analiza la contaminación unitaria, son los de mayor antigüedad (< 1996), seguidos por los demás modelos en orden creciente. El aporte estimado en el actual inventario corresponde a una cantidad global de 32.200,67 t/año.

En general el tráfico rodado es una importante fuente de emisión de contaminantes en el Distrito, es por esto que se hace necesario mejorar los mecanismos de recolección y procesamiento de datos al interior de cada una de las dependencias encargadas del manejo de esta información, debido a que la información existente acerca del parque automotor es deficiente e incompleta.

Es de suma importancia destacar que como la metodología que se llevó a cabo es la de la protección ambiental de la unión europea, se realizó una comparación, seguido de un análisis de las normativas vigentes en Colombia y las normativas europeas actuales; de acuerdo con los resultados se concluye que los niveles regulados en ambas son demasiado altos para la seguridad de la comunidad. De la misma forma que en muchos de los países europeos, en Colombia La normativas en cuanto a calidad de aire guardan gran similitud. La legislación europea regula límites de emisión de contaminantes específicos y establece unos valores objetivo (no vinculantes legalmente y que pueden superarse por causas justificadas) y unos valores límite (vinculantes jurídicamente y que no deben superarse) (Directiva 2008/50/CE, 2008), o bien fija techos nacionales de emisión (cantidades máximas anuales de sustancias que puede emitir un país) (Directiva 2001/81/CE, 2001). Mas sin embargo La nueva política europea de calidad del aire supone un retraso para alcanzar los valores guía de la OMS, que propone unos valores guía atendiendo estrictamente a criterios de salud, que indican la cantidad máxima deseable de contaminantes. Cabe destacar que la recomendación de la OMS para PM<sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) es menos de la mitad que el valor límite europeo ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y el límite colombiano ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de acuerdo con la resolución 2254 de 2017, mientras que Estados Unidos reguló un valor límite de  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hasta ahora, los valores límite para las emisiones de los motores fijados en las normas Euro (Normas Euro, 2016)

procedían de tests de circulación que no tenían en cuenta las posibles variaciones que se producen en condiciones reales de conducción en zonas urbanas (paradas y arranques frecuentes). La norma Euro VI, cuya entrada en vigor está prevista en 2014, corrige este extremo regulando límites de emisiones mucho más estrictos en cualquier condición de funcionamiento del motor. Sin embargo, se desconoce el efecto real que esto tendrá sobre los niveles de NO<sub>2</sub>, además de que algunas emisiones importantes seguirán sin regulación, como los productos de abrasión de ruedas y frenos (alrededor del 50% de las partículas que emite un coche). Estas normas han resultado muy útiles para reducir PM y CO. Por su parte, las emisiones reales de NO<sub>x</sub> de los diésel superan notablemente a las estimadas experimentalmente, lo que ha provocado un enorme impacto en las concentraciones de NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> en Europa.

A corto plazo, el Programa “Aire Puro” para Europa (Comisión Europea, 2013) plantea cumplir en 2020 con la legislación vigente en parámetros críticos en los que se observan incumplimientos, como O<sub>3</sub>, PM y NO<sub>2</sub>. Caso parecido tiene en Barranquilla como lo demuestran varios Infogramas del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire en los reportes mensuales de Barranquilla Verde, donde contaminantes como el O<sub>3</sub> y PM sobrepasan los niveles permisibles en ocasiones, por este motivo se deberían implementar las estrategias para la reducción de casos como estos. La mayor dificultad en las ciudades es reducir las emisiones de NO<sub>x</sub> procedentes de vehículos diésel ligeros y de pasajeros, dado que los más modernos emiten no mucho menos NO<sub>x</sub> que los más antiguos en condiciones de circulación urbana. En consecuencia, la solución más efectiva e inmediata exigiría la implantación urgente de medidas no tecnológicas dirigidas, principalmente, a una reducción drástica del tráfico privado urbano en favor del transporte público. A largo plazo la estrategia pretende evitar que se sobrepasen las directrices de la OMS, exigiendo un esfuerzo adicional de reducción de emisiones. La propuesta de Directiva sobre Techos Nacionales de Emisión (Directiva 2001/81/CE, 2001) amplía el plazo hasta 2020 para reducir las emisiones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COV no metánicos y amoníaco. A partir de 2020 marca nuevos compromisos de reducción y se suman PM<sub>2.5</sub> y metano. Los avances alcanzados en las concentraciones de fondo por esta

Directiva condicionarán la revisión de la Directiva de Calidad del Aire (Directiva 2008/50/CE, 2008).

En conclusión, las evidencias científicas muestran que los niveles regulados son demasiado altos para proteger a la población. Lo anterior teniendo en cuenta que este tipo de contaminación es un riesgo ambiental que provoca un grave impacto en la salud pública (Boldo, E., & Querol, X., 2014).

## 12. LIMITACIONES

- ✚ En primera instancia, es necesario anotar que la metodología CORINAIR a pesar de ser un modelo creado para suplir las necesidades de países que no cuentan con un modelo de estimación de emisiones propio, utiliza factores de emisión desarrollados bajo condiciones que no son representativas de la actividad vehicular del Distrito.
- ✚ Es importante consolidar la información del parque vehicular que circula por Barranquilla, pues se aprecia la falta de información de los diferentes entes encargados de llevar este registro, como en el caso de la Secretaría de Movilidad y seguridad vial que no cuenta con los datos de actividad que recorren las categorías vehiculares en su malla vial. Una manera indirecta de hallar los factores de actividad es de acuerdo al consumo de combustible, pero no se cuenta con la información sobre ventas mensuales y/o anuales de combustibles en las estaciones de servicio ubicadas cada punto de la ciudad, de manera tal que la información no está centralizada en una base de datos que debería ser actualizada constantemente. Lo anterior con el fin de aumentar el nivel de detalle y la rigurosidad en la estimación del inventario, reduciendo la utilización de supuestos y ajustando las metodologías a las circunstancias reales de la zona estudio.
- ✚ Por otra parte la base de datos que posee el RUNT del Ministerio de Transporte, no se incluyó dentro del estudio lo que pudo ser de gran ayuda para una clasificación y caracterización más específica del parque vehicular, mas sin embargo es importante anotar que falta sin número de datos que no están registrados, por lo que se desconocen muchos detalles del parque vehicular, como el porcentaje de motos de dos tiempos y cuatro tiempos, o el número de vehículos reales de acuerdo al cilindraje.
- ✚ La información recolectada y agrupada con las unidades vehiculares en este inventario no se considera representativa de todas las categorías existentes en el Distrito, debido

a que cada una está compuesta por distintas clases de vehículos. Por ejemplo, los autos particulares están conformados por automóviles, camperos, camionetas, van, entre otros. Utilizar un solo valor de actividad vehicular para la categoría de autos no es la mejor alternativa ya que cada una de las clases que conforman esta categoría presenta patrones de conducción muy diferentes entre sí.

- ✚ No se incorporó el cálculo de emisiones de las fuentes de maquinaria móvil no vial consignadas en el capítulo 1.A.4 Non road mobile machinery 2016 ya que no hace parte del alcance del estudio, mas sin embargo la agencia ambiental europea recomienda incluir como complemento del inventario este cálculo con la información necesaria y completa para una estimación más real de las emisiones.

### **13.RECOMENDACIONES**

- ✚ Crear incentivos para la utilización de transporte masivo en lugar de transporte particular, la renovación del parque automotor, el cambio de tecnologías de combustión más eficientes y la conversión de vehículos a combustibles más limpios como el gas natural. El gas natural comprimido es, de los combustibles de automoción de origen fósil (gasolina, gasóleo, GLP y GNC) que produce menores emisiones contaminantes (dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas, monóxido de carbono), y a su vez resulta el más ventajoso económicamente hablando. Según la revista La Republica en un artículo publicado a finales de 2014, ciudades como Bogotá, Medellín, Bucaramanga, Barrancabermeja, Cartagena, Cali, incluso Barranquilla lograron tener éxito en el funcionamiento de los taxis a gas natural, obteniendo ahorros hasta de 50% y ayudando al medio ambiente.
- ✚ Dirigir el control de emisiones vehiculares hacia la actualización del parque automotor con la implementación de las nuevas tecnologías euro IV y euro V para vehículos como autos particulares y autos públicos, motocicletas, Buses convencionales. Incorporar las nuevas tecnologías no es solo un avance tecnológico, también es un desarrollo enfocado en ayudar a disminuir la contaminación ambiental que afecta la calidad de vida de la población. La tecnología EURO V no es costosa, sigue siendo tan accesible como la tecnología EURO IV. La tecnología EURO V tiene los mismos principios de funcionamiento que la tecnología EURO IV, y por lo tanto tiene el mismo costo de mantenimiento; la diferencia radica en la optimización de la combustión y la calibración



del motor, en donde los niveles de NOx y MP se reducen para cumplir los requisitos sobre emisiones de la norma. Un vehículo con tecnología EURO I, contamina el equivalente a cinco vehículos EURO V. Adicionalmente, el EURO I contamina 30 veces el valor de material particulado que un vehículo EURO IV o EURO V (Díaz F., Autocosmos Verde, 2017).

- ✚ Evaluar y estudiar la posibilidad de establecer como obligatorio las jornadas semestrales del día sin carro, con el propósito de analizar las variaciones de contaminantes en el Distrito.
- ✚ Caracterizar los combustibles líquidos usados en la región, para lograr una especiación de compuestos orgánicos volátiles lo más cercana posible a la realidad local.
- ✚ Realizar estudios locales continuos de factores de emisión para los principales contaminantes y compararlos respecto a estudios anteriores.
- ✚ Reforzar los programas de seguimiento al cumplimiento de la normatividad para fuentes móviles, mediante monitoreo continuo y simultáneo con equipos automáticos y manuales, incluso diarios, en zonas que sean identificadas como foco de contaminación.
- ✚ Es recomendable aplicar el modelo de fuentes móviles para simular condiciones de velocidades de circulación mínimas durante el día y máximas en la noche, para luego evaluar el comportamiento de las emisiones totales; de esta forma se llega a conocer más a detalle el comportamiento de los vehículos, logrando una mejor estimación de emisiones.
- ✚ Para futuros inventarios se recomienda consultar los CDA (Centros De Diagnósticos Automotor) ya que son los entes destinados al examen técnico mecánico de los vehículos automotores y a la revisión del control ecológico de sus emisiones de gases conforme a las normas ambientales. Es importante revisar si el vehículo está en óptimas condiciones mecánicas, ambientales y de seguridad, este tipo de reportes o informes permitirían una mejor discriminación del parque automotor.

## 14. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS Y WEBGRAFICAS

- AAE, A. a. (2016). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016*. Luxembourg: European Environment Agency. Recuperado de <http://www.eea.europa.eu/themes/air/emep-eea-air-pollutant-emission-inventoryguidebook>
- Alvarez Mendoza, C. I. (2014). *Estimación De Contaminación Del Aire Por Pm10 En Quito Determinado Por Indices Ambientales Obtenidos Con Imágenes Satelitales Landsat Etm*, 104. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8675/1/T-ESPE-047962.pdf>
- Álvarez-Narvaez, V., Quiñones-Bolaños, E., Huertas-Bolaños, M. E., Suárez, C. A., Berdugo-Arrieta, J., & Ramírez-Rivas, D. (2016). *Metodología para la selección de sitios de monitoreo atmosférico en zonas urbanas afectada por las emisiones de fuentes móviles*. *UIS Ingenierías*, 15(2), 73–84.
- ARANGO GOMEZ, P., BUILES MAYA, J. (2002). *Cálculo de la emisión vehicular de contaminantes atmosféricos en el Valle de Aburrá mediante factores de emisión CORINAIR*. 75 p. Trabajo de grado (Ingeniera Mecánica). Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería.
- Arellano, J. (2009). *Introducción a la ingeniería ambiental*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Augusto, C., & Suárez, A. (2011). *DIAGNÓSTICO Y CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO: PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES Y FRACCIÓN RESPIRABLE PM 10*. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>
- Baca, J. C. (2011). *Inventario de Emisiones Contaminantes Criterio, DMQ*. Quito: DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO SECRETARÍA DE AMBIENTE. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/2956/54309-3.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Ballester, F. (2005). *CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD*. *Rev Esp*

Salud Pública, 79 no 2, 159–175. Recuperado de <http://scielo.isciii.es/pdf/resp/v79n2/colaboracion3.pdf>

Secretaría Distrital de desarrollo económico. (2018). INFORME DE COYUNTURA ECONÓMICA: LA ECONOMÍA BARRANQUILLERA DENTRO DEL CONTEXTO NACIONAL. BARRANQUILLA. Recuperado de [file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/Boletin\\_Economia-Alcaldia\\_Barranquilla.pdf](file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/Boletin_Economia-Alcaldia_Barranquilla.pdf)

Benoiston Lao, E., Recio, B., & María, J. (2006). Inventario de emisiones atmosféricas rodado en España, con alta resolución espacial y temporal, para su aplicación en modelos de calidad del aire., Anexo 1, 1–104. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2099.1/2982>

Betancur, L. (2015). Índice de Calidad Ambiental Urbano en las ciudades de Colombia - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 - eltiempo.com. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16416472>

Boldo, E., & Querol, X. (2014). Nuevas políticas europeas de control de la calidad del aire: ¿un paso adelante para la mejora de la salud pública? *Gaceta Sanitaria*, 28(4), 263–266. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2014.04.003>

Buitrago, J., Castro, A., Manrique, J. H., & Ortiz, M. (2007). Análisis de la contaminación del aire en la ciudad de Villavicencio.

Camacho García, M. O., & Flamand, L. (2009). Políticas intergubernamentales para controlar la contaminación del aire en ciudades Mexicanas: una evaluación. México: B-Centro de investigación y Docencia Económicas.

Camner, P. et al. (1988). *Health effects of diesel exhaust emissions*.

CARACOL RADIO (2018). *Calidad del aire: El ABC de la calidad del aire/Ecología/Caracol Radio*. Date Accessed: 2018-10-28. URL: [caracol.com.co/radio/2018/03/13/ecologia/1520939891\\_603489.html](http://caracol.com.co/radio/2018/03/13/ecologia/1520939891_603489.html).

Carmona A., L. et al (2016). Conciliación de inventarios top-down y bottom-up de emisiones de fuentes móviles en Bogotá, Colombia. *Revista U. Distrital.*, 20(49), 59-74.

Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-921X2016000300004&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-921X2016000300004&script=sci_abstract&tlng=es)

Caro, D., & Uribe, L. (2008). *Evaluación de la concentración de metales contenidos en material particulado respirable y su incidencia sobre ambientes intra-extra murales en dos localidades de Bogotá y otras ciudades del país con antecedentes de contaminación atmosférica.* Universidad de la Salle. Recuperado de <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14621/T41.08C22e.pdf;jsessionid=ABDAFA35A257091DAAAC6E053D750DFA?sequence=1>

Castro, P., & Escobar, L. (2006). *ESTIMACION DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES POR FUENTES MÓVILES A NIVEL NACIONAL Y FORMULACION DE LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA EL AJUSTE DE LAS NORMAS DE EMISIÓN.* Universidad de La Salle Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá, c.

Catalán-Vázquez, M., Ms, M., Riojas-Rodríguez, H., C, M., Jarillo-Soto, E. C., & Delgadillo-Gutiérrez, H. J. (2009). *Percepción de riesgo a la salud por contaminación del aire en adolescentes de la Ciudad de México.* *Salud Pública de México*, 51(2), 148–156. <https://doi.org/10.1590/S0036-36342009000200011>

Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH). (2010). *Informe Final Seguimiento De Las Condiciones Meteorológicas Y Oceanográficas En El Caribe Colombiano Años 2001– 2007.* <https://www.cioh.org.co/meteorologia/Climatologia>.

Centro de investigaciones oceanográficas e hidrográficas. (2010). *CLIMATOLOGIA DE LOS PRINCIPALES PUERTOS DEL CARIBE COLOMBIANO.* BARRANQUILLA. Recuperado de [www.cioh.org.co](http://www.cioh.org.co).

Chanizco, A., & Garritz, A. (1995). *Química Terrestre.* México: FCE-Fondo de Cultura Económica.

Charres, I., Diana, F., & Gonzalez, M. (2016). *Evaluación de la calidad del aire en el municipio de Suesca (Cundinamarca).* Recuperado de [http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9539/Tesis\\_Evaluaciòn](http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9539/Tesis_Evaluaciòn) de

la calidad del aire en el Municipio de Suesca -  
Cundinamarca.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CNRCOP. (2017). Centro nacional de referencia sobre contaminantes orgánicos persistentes. Recuperado de <http://www.cnrcop.es/gc/si-quieres-profundizarmas/actuaciones-y-progresos/emisiones/new-profundizar-9/>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2008). Manual de Inventario de Fuentes Móviles. Bogotá D.C.: MAVDT. Colombia. 67 p.

Comunicación de la Comisión al Parlamento, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. (2014). Programa «Aire Puro» para Europa [Internet]. Recuperado de: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0918:FIN:ES:HTML>

Consuegra, E. A. (2013). Informe del estado de los recursos naturales. Barranquilla.

Contraloría Distrital. (2013). Recuperado de <http://contraloriabarranquilla.gov.co/apc-afiles/64646163313337626331653665633230/informe-ambiental-2013.pdf>

Cornare. (2017). Recuperado de [https://www.cornare.gov.co/SIAR/aire/CALIDAD\\_DE\\_AIRE/CONTENIDO/Informe\\_Modelo\\_Dispersion\\_Valles\\_de\\_San\\_Nicolas.pdf](https://www.cornare.gov.co/SIAR/aire/CALIDAD_DE_AIRE/CONTENIDO/Informe_Modelo_Dispersion_Valles_de_San_Nicolas.pdf)

Cororia-zambrano, E. A., & Rojas-caldelas, R. I. (2008). Calidad del aire y su incorporación en la planeación urbana : Mexicali , Baja California , México. Estudios Fronterizos, 20, 79–102.

Correa, Rafael D, C. R., & Pacheco, P. H. (2015). Monitoreo Experimental De La Calidad Del Aire En La Región Metropolitana, 32–49.

De Nevers, N. (1997). Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire. . México: Mc Graw Hill.

Díaz F., Autocosmos Verde.(2017). Lo que debe saber de la normativa ambiental EURO - Autocosmos.com. <https://noticias.autocosmos.com.co/2017/06/23/lo-que-debe>

*saber-de-la-normativa-ambiental-euro.*

*Directiva 2001/81/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos.*

*Recuperado de: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2001:309:0022:0030:ES:PDF>*

*Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa Recuperado de:*

*<http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/opencms/cal aire/contenidos/normativas/03 Directiva 2008 50 CE.html>*

*Echeverri, C. a., & Maya, G. J. (2008). Relation Between Fine Particles (Pm2.5) and Breathable Particles (Pm10) in Medellin City. Revista de Ingenierias Universidad de Medellín, 7(12), 23–42.*

*EEA, 2009a. EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2009. Technical Report No 6/2009, Copenhagen: European Environment Agency.*

*EEA. (2017). European Environmental Agency. Recuperado de <http://www.eea.europa.eu/>*

*El tiempo. (2016). Recuperado de <http://www.eltiempo.com/vida/salud/muertes-en-el-mundo-por-contaminacion-del-aire-48528>*

*El Heraldo (2016). Barranquilla dispone de 3 estaciones de monitoreo de calidad de aire.*

*Recuperado de <https://www.elheraldo.co/barranquilla/barranquilladisponde-de-3-estaciones-de-monitoreo-de-calidad-de-aire-307905>*

*EL HERALDO. ARROYO M I., (2017). Cada vez se matriculan menos carros en Barranquilla.*

*29 de noviembre. PP.:1. URLS: [ww.elheraldo.co/barranquilla/cada-vez-se-matriculan-menos-carros-en-barranquilla-429298](http://ww.elheraldo.co/barranquilla/cada-vez-se-matriculan-menos-carros-en-barranquilla-429298).*

*Elías, X. (2012). Los contaminantes y la destrucción térmica. España: Ediciones Díaz Santos.*

*European Environment Agency. (2016). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. Luxembourg: Publications Office of the European Union.*

- Evelson, P., Marchini, T., Garces, M., Cáceres, L., Magnani, N., & Alvarez, S. (2016). *Inhaled particulate matter leads to myocardial dysfunction*. In *Biochemistry of Oxidative Stress* (pp. 275–285). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-45865-6\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-45865-6_18)
- Faiz, A., Weaver, C. S., & Walsh, M. P. (1996). *Air pollution from motor vehicles: standards and technologies for controlling emissions*. World Bank. Recuperado de [https://books.google.com.co/books/about/Air Pollution from Motor Vehicles.html?id=HqsyvKD0lqC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.co/books/about/Air+Pollution+from+Motor+Vehicles.html?id=HqsyvKD0lqC&redir_esc=y)
- Gaitán, M., Cancino, J., & Behrentz, E. (2007). *Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá*. *Analysis of Bogota 's Air Quality*. *Revista de Ingeniería*. Universidad de Los Andes, (26), 81–92.
- Gallardo et al, L. E. (2012). *Evaluation of vehicle emission inventories for carbon monoxide for Bogotá, Buenos Aires, Santiago, and São Paulo*. Recuperado de <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/1542/1/TESIS%20INVENTARIO.pdf>
- Gaviria, C., Muñoz, J., & González, G. (2012). *Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos: un caso de estudio para el centro de Medellín*; *Air pollution and vulnerability of exposed individuals: Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, 30(3), 316–327. Recuperado de <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IscScript=iah/iah.xis&src=google&base=LILACS&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=669245&indexSearch=ID>
- Giraldo, L. (2005). *Ministerio de medio ambiente y desarrollo territorial*. Recuperado de [https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiFzW9levSAhXm0FQKHfa4DroQFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fambiente.gov.co%2Fapcafiles%2F57c59a889ca266ee6533c26f970cb14a%2FInventarioemisiones\\_fuentesm%25F3viles.pdf&usg=](https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiFzW9levSAhXm0FQKHfa4DroQFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fambiente.gov.co%2Fapcafiles%2F57c59a889ca266ee6533c26f970cb14a%2FInventarioemisiones_fuentesm%25F3viles.pdf&usg=)

Giraldo, L. A., & Behrentz, E. (2015.). *Estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá e identificación de variables pertinentes. (1).*

Gobernación del Atlántico. (2012); *Plan de desarrollo 2012 – 2015. Barranquilla, Atlántico;*  
Recuperado de:  
[http://www.atlantico.gov.co/images/stories/plan\\_desarrollo/plan\\_desarrollo\\_2012-2015.pdf](http://www.atlantico.gov.co/images/stories/plan_desarrollo/plan_desarrollo_2012-2015.pdf).

Gómez, M. V. T., & Calderón, A. V. M. (2007). *Programa para el mejoramiento de la calidad del aire en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá Contrato 158 de 2005. Air Quality Increase Program in the Metropolitan Area of the Aburrá Valley. Contract 158, 2005.,* 2(2), 7–22. Recuperado de  
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=31881931&lang=es&site=ehost-live>

González, L. (2018). *ESTIMACIÓN DE LA EMISIÓN ANUAL DE PM10 PROVENIENTE DE LAS FUENTES MÓVILES EN VÍAS DE ALTO TRÁFICO DE BARRANQUILLA POR MEDIO DE UN INVENTARIO DE EMISIONES CON EL MODELO IVE. Universidad de la Costa CUC.*

Granada, L. et al. (2014). *Sistema para el manejo de la calidad del aire en la ciudad de Cali. ARTÍCULO ORIGINAL ERGONOMÍA, SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL, XXXV(1), 13–24.*

GRUPO PRENSA. Carvajalino L. 2018. *Noticia - Universidad del Norte. pp: 1. URLS:*  
[www.uninorte.edu.co/web/grupo-prensa/noticia?articleId=13689255&groupId=73923](http://www.uninorte.edu.co/web/grupo-prensa/noticia?articleId=13689255&groupId=73923).

Harrison, R. M., Hester, R. E., & Querol, X. (2016). *Airborne particulate matter sources, atmospheric processes and health. Recuperado de*  
[https://books.google.com.co/books/about/Airborne+Particulate+Matter.html?id=z2zmDAAAQBAJ&source=kp\\_cover&redir\\_esc=y](https://books.google.com.co/books/about/Airborne+Particulate+Matter.html?id=z2zmDAAAQBAJ&source=kp_cover&redir_esc=y)

Harrison, R. M., Hester, R. E., & Querol, X. (2016). *Airborne particulate matter sources, atmospheric processes and health.*



Hernandez, M. et al. (2010). *Informe del Estado de la calidad del aire en Colombia*. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022433/CALIDADDELAIREWEB.pdf>

HERRERA, D. (2007). *MODELO DE EMISIONES VEHICULARES PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ (EVB)*. Universidad de los Andes. Recuperado de [file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/Emisionesvehiculares Bogotá.pdf](file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/Emisionesvehiculares%20Bogotá.pdf)

IDEAM, S. d. (2005). *Documento soporte norma de calidad de aire*. Bogotá, Colombia.

IDEAM. (2012). *Estado de la calidad de aire en Colombia 2007-2010, Bogotá D.C. Publicación aprobada por el comité de comunicaciones y publicaciones del IDEAM*. ISBN: 978-958-8067-56-8. Diciembre 2012, Bogotá D.C, Colombia.

INECC. (2007). *Manual para el curso de elaboración y usos de inventarios de emisiones*. México D. F.: Instituto Nacional de Ecología. Recuperado de [http://www.inecc.gob.mx/descargas/calair/manual1\\_vf.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/calair/manual1_vf.pdf)

INE-SEMARNAT. (2005). *Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones*. México, D.F. 506 pp. Recuperado de: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/new.consultaListaPub.php>.

International Sustainable Systems research Center. (2008). *Manual del Usuario del Modelo IVE*. Recuperado de <http://www.issrc.org/ive/>

Kates, E. J., & Luck, W. E. (1982). *Motores diesel y de gas de alta compresión*. Reverté. Recuperado de <https://books.google.com/books?id=UjtKi-fjkrYC&pgis=1>

Kouridis, C., Samaras, C., Hassel, D., Mellios, G., McCrae, I., Hickman, J., Geivanidis, S. (2016). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 – Update Dec. 2016*. European Environment Agency, 1–153.

Lara, C., Mendoza, J. F., López, M. G., Téllez, R., Martínez, W., & Alonso, E. M. (2009). *Propuesta metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la*

República Mexicana, (322), 1–126. Recuperado de <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt322.pdf>

Larsen, B. (2004). *COLOMBIA – COST OF ENVIRONMENTAL DAMAGE: A Socio- economic and environmental health risk assessment.*

Maher, B. A., Ahmed, I. A. M., Karloukovski, V., MacLaren, D. A., Foulds, P. G., Allsop, D., ... Calderon-Garciduenas, L. (2016). *Magnetite pollution nanoparticles in the human brain. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(39), 10797–10801. <https://doi.org/10.1073/pnas.1605941113>

Mannucci, P. M., & Franchini, M. (2017). *Health effects of ambient air pollution in developing countries. International Journal of Environmental Research and Public Health*. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph14091048>

Manuel, J., & Calderón, S. (2015). *Informe Nacional de Calidad Ambiental Urbana - 2013*, 1, 0–94. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Manzi, V. (2003). “Selección y aplicación de una metodología para la estimación de los factores de emisión de las fuentes móviles vehiculares de la ciudad de Bogotá”, [en línea], disponible en: [http://biblioteca.uniandes.edu.co/Tesis\\_2003\\_segundo\\_semestre/00002172.pdf](http://biblioteca.uniandes.edu.co/Tesis_2003_segundo_semestre/00002172.pdf).

MAVDT. (2010). *Ministerio de Medio ambiente y desarrollo territorial. Recuperado de [http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Polit%C3%ACcas\\_de\\_la\\_Direcci%C3%B3n/Pol%C3%ADtica\\_de\\_Preveni%C3%B3n\\_y\\_Control\\_de\\_la\\_Contaminaci%C3%B3n\\_del\\_Aire.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Polit%C3%ACcas_de_la_Direcci%C3%B3n/Pol%C3%ADtica_de_Preveni%C3%B3n_y_Control_de_la_Contaminaci%C3%B3n_del_Aire.pdf)*

METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ, Á. (2010). *SIMULACIONES ESPECIALES TAREA 1: ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS- Convenio de Asociación No. 543 de 2008 Acta No 3. Valle de aburra.*

METROPOLITANA VALLE DE ABURRÁ, Á. (2006). *ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN EL VALLE DE ABURRÁ, CON GEOREFERENCIACIÓN DE ÉSTAS INVENTARIO- MANUAL DEL USUARIO-CONVENIO 323 DE 2005. Valle de aburrá.*

- MINAMBIENTE. (2017). Recuperado de. <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1801-plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-2#1-1-normativa>.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, V. Y. D. T. Resolucion 610 (2010). Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/bf-Resolución 610 de 2010 - Calidad del Aire.pdf>
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Decreto 948, Diario Oficial No. 41.876 § (1995).
- Mintrop, L., Pérez, F. F., González-Dávila, M., Santana-Casiano, J. M., & Körtzinger, A. (2000). Alkalinity determination by potentiometry: Intercalibration using three different methods. *Ciencias Marinas*, 26(1), 23–37. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.7773/cm.v26i1.573>
- Molina, M. (2000). Proyecto Para el Diseño de una Estrategia Integral de Gestión de la Calidad de Aire en el Valle de México 2001 -2010. *Gaceta Ecológica*, 28 - 37.
- Montero, C. (2011). PRONÓSTICO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE LAS SERIES DE TIEMPO DE LOS COMPONENTES DEL IMECA. Recuperado de <http://www.bib.uia.mx/tesis/pdf/015419/015419.pdf>
- MORALES, N., & NOBLES, M. (2013). LINEAMIENTOS PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE MONTERÍA. Pontificia Universidad Javeriana Bogotá, Facultad d (Trabajo de grado realizado para optar al título de Magíster en Gestión Ambiental).
- MSN. Carolina Rojas. 6 de junio 2018 pp: 1. Las ventas de autos eléctricos superan el millón de unidades. Date Accessed: 2018-10-22. URL: [www.msn.com/es-co/autos/noticias/las-ventas-de-autos-el%C3%A9ctricos-superan-el-mill%C3%B3n-de-unidades/ar-AAyjXtR?li=AAqqv0r&ocid=mailsignout](http://www.msn.com/es-co/autos/noticias/las-ventas-de-autos-el%C3%A9ctricos-superan-el-mill%C3%B3n-de-unidades/ar-AAyjXtR?li=AAqqv0r&ocid=mailsignout)
- NCHEu. (2017). Diferencia entre el combustible diesel y gasolina para motores. Recuperado de <https://www.ncheurope.com/es/resolution/motores-y-engranajes/65-diferencia->

*entre-el-combustible-diesel-y-gasolina-para-motores*

NCHEurope. (2016). *Diferencia entre el combustible diesel y gasolina para motores.*

Recuperado de <https://www.ncheurope.com/es/resolution/motores-y-engranajes/65-diferencia-entre-el-combustible-diesel-y-gasolina-para-motores>

Noceda, M. D. (2013). *Estimación, análisis y evaluación de inventarios de emisiones atmosféricas antropogénicas a escala local, regional y continental.* Universidad Santiago de Compostella, 90-142.

Normas Euro (2016). *Reducción de las emisiones contaminantes de los vehículos ligeros.* [Internet]. (Consultado el 28/02/2014.) Disponible en: [http:// europa.eu/legislation summaries/environment/air pollution/l28186 es.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/l28186_es.htm)

O'Rayan, R., & Larraguibel, L. (2000). *Contaminación del aire en Santiago: estado actual y soluciones.* Santiago de Chile: Centro de economía aplicada (CEA).

Organización Mundial de la Salud- OMS. (2011). *Organización Mundial de la Salud.* Recuperado el 6 de enero de 2012, de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/index.html>:  
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/index.html>

Orozco, R., & Romaña, J. (2017). *Estimación de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos criterio: MP10, SO2, CO, COVs, NOX emitidos por las fuentes móviles en las principales vías de la ciudad de Barranquilla.* Universidad de la Costa.

Pachón, J. P.h.D (2013). *Revisión de metodologías usadas para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas en Colombia Caso de estudio Bogotá.* Bogotá.

Palacio, D., Sierra, R., & Varela, S. (2016). *INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS BARRANQUILLA, ATLÁNTICO.* Control de Contaminación Ltda. DAMAB. CC3577.BARRANQUILLA.

Palate, L. (2009). *Contaminación atmosférica.* Argentina: El Cid Editor.

Phalen, R. F., & Phalen, R. N. (2013). *Introduction to air pollution science : a public health*

*perspective. Jones & Bartlett Learning.*

*Prof. Dr.-Ing. Günter Baumbach (1996). Air Quality Control. Environmental Science and Engineering. ISBN 978-3-642-79001-0. Formation and Sources, Dispersion, Characteristics and Impact of Air Pollutants — Measuring Methods, Techniques for Reduction of Emissions and Regulations for Air Quality Control.*

*Querol X, Viana M, Moreno T, et al. Bases científico-técnicas para un Plan Nacional de Mejora de la Calidad del Aire. Informes CSIC. [Internet]. (Consultado el 1/04/2014.) Disponible en: [http://www.magrama.gob.es/es/calidad-yevaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/CALIDAD\\_AIRE\\_\(alta\)\\_tcm7-306363.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/calidad-yevaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/CALIDAD_AIRE_(alta)_tcm7-306363.pdf)*

*Querol, X. (2008). Calidad del aire, partículas en suspensión y metales. Revista Española de Salud Pública, 82(5).*

*Radian International LLC. (1997). Manuales del programa de inventarios de emisiones de México. Volumen II, Fundamentos De Inventarios De Emisiones Final. 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, RCN 670017.*

*Rangel, S. &. (2010). Inventario de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas ubicadas en la zona industrial de chimitá a lo largo de la vía entre el palenque y café Madrid. Bucaramanga (Colombia): Tesis de grado de Ingeniería Ambiental, Universidad Pontificia Bolivariana. Recuperado de [http://caracoli.cdm.gov.co/cai/cai2/docs/Inventario\\_de\\_Emisiones\\_Fijas\\_Chimita\\_2009.pdf](http://caracoli.cdm.gov.co/cai/cai2/docs/Inventario_de_Emisiones_Fijas_Chimita_2009.pdf)*

*Rodriguez, P & Behrentz, E. (2009). “Actualización del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá, a través de mediciones directas”, Recuperado de: [http://biblioteca.uniandes.edu.co/Tesis\\_12009\\_primer\\_semestre/524.pdf](http://biblioteca.uniandes.edu.co/Tesis_12009_primer_semestre/524.pdf).*

*Rodríguez, P.A. y Behrentz E. (2009). Actualización del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá a través de mediciones directas. Universidad de Los Andes, Bogotá.*

*Rojas, A. (2015). Estimación de emisiones de contaminantes provenientes de fuentes móviles*

en la jurisdicción car. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/52666/>

Rojas, L., & Garibay, V. (2009). *Las partículas suspendidas, aeropartículas o aerosoles: ¿hacen daño a la salud?; ¿podemos hacer algo?* Mexico: D - Instituto Nacional de Ecología.

Romero, M., Olite, F., & Alvarez, M. (2006). *La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. Revista Cubana Hig Epidemiol*, 44(2), 1–15.

Sbarato, D. &. (2009). *Contaminación del aire. Argentina: Editorial Brujas.*

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2009). *GUIA METODOLOGICA PARA LA ESTIMACION DE EMISIONES VEHICULARES EN CIUDADES MEXICANAS. (Western Governors' Association, Ed.) (Instituto). Coyoacán, México, D.F: ISBN: 978-607-7908-01-2.*

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). *Modelos empleados en la elaboración. In Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades Mexicanas (pp. 53-73). México: Raúl Marcó del Pont. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/618/modelos.pdf>*

Toro et al., M. A. (2010). *Actualización del inventario de emisiones atmosféricas en el Valle de Aburrá. Medellín (Antioquia): Universidad Pontificia Bolivariana. Recuperado de <http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/IsdocPlandedescontaminacion/Inventario%20de%20emisiones.pdf>*

TPD, & Epypsa. (2012). *Informe diagnóstico: Formulación del plan maestro de movilidad del distrito de barranquilla. Alcaldía de Barranquilla.*

Urbana, A. (2013). *Índice De Calidad Ambiental Urbana-Icau*, 1–112.

US EPA (1997). *Emission Inventory Improvement Pro-gram (EIIP). Technical Report Series, volumes I Introduction to the emission inventory improvement program. Morrisville,*

*Carolina del Norte. Recuperado de: <http://www.epa.gov/ttnchie1/eiip/techreport/volume01/i01.pdf>*

*Yao, Z., Liu, H., & Li, Z. (2013). Statistical vehicle specific power profiling for urban freeways. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 96, 2927–2938. <https://doi.org/10.1016/J.SBSPRO.2013.08.324>*

*Zereini, F., & Wiseman, C. L. S. (2010). Urban airborne particulate matter : origin, chemistry, fate and health impacts. Springer Verlag.*

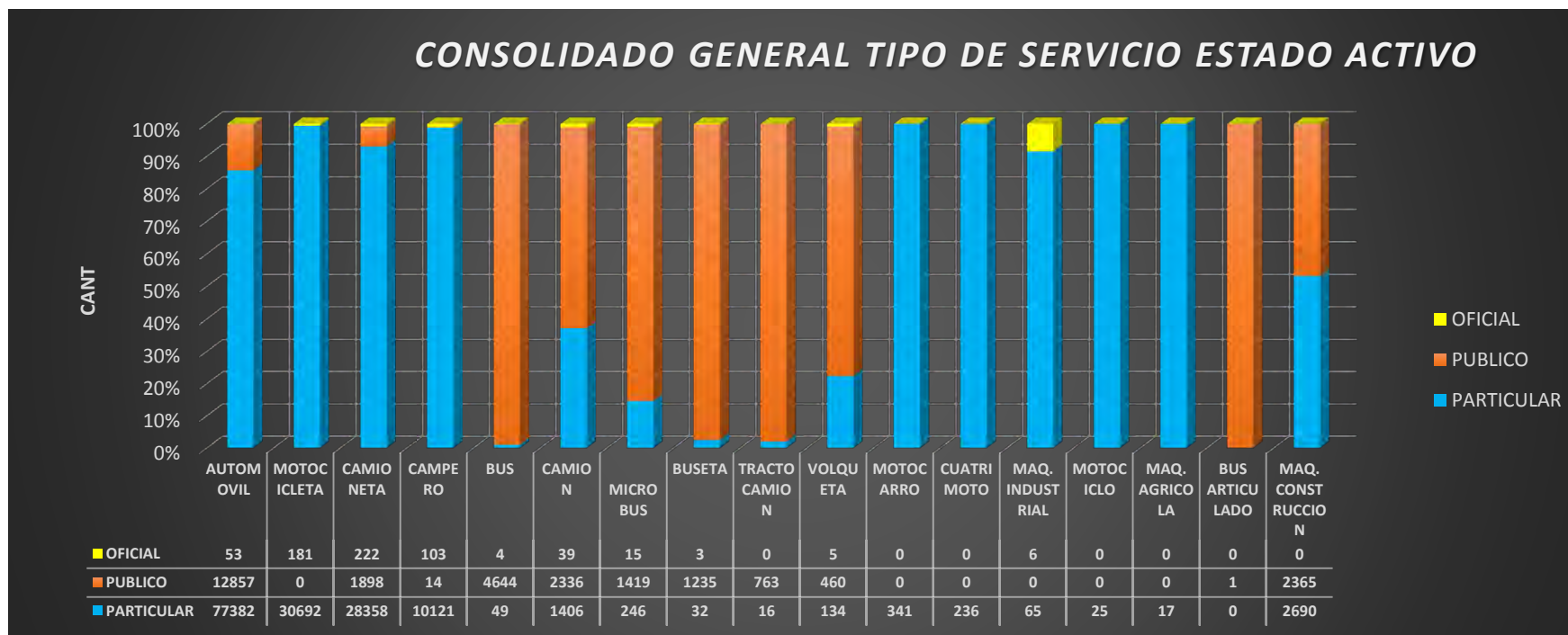
## **15. ANEXOS**

- Anexo 1. Distribución y análisis de los datos (Anexo Digital).
- Anexo 2. Memorias De Cálculo (Anexo Digital).
- Anexo 3. Road transport hot EFs Annex 2018 ajustado al estudio (Anexo Digital).
- Anexo 4. Factores de emisión EMEP/EEA/CORINAIR.
- Anexo 5. Aforos Vehiculares en el área urbana del Distrito.
- Anexo 6. Gráficos de las tabulaciones de los aforos vehiculares.



ANEXO #1.

DISTRIBUCION Y ANALISIS DE LOS DATOS

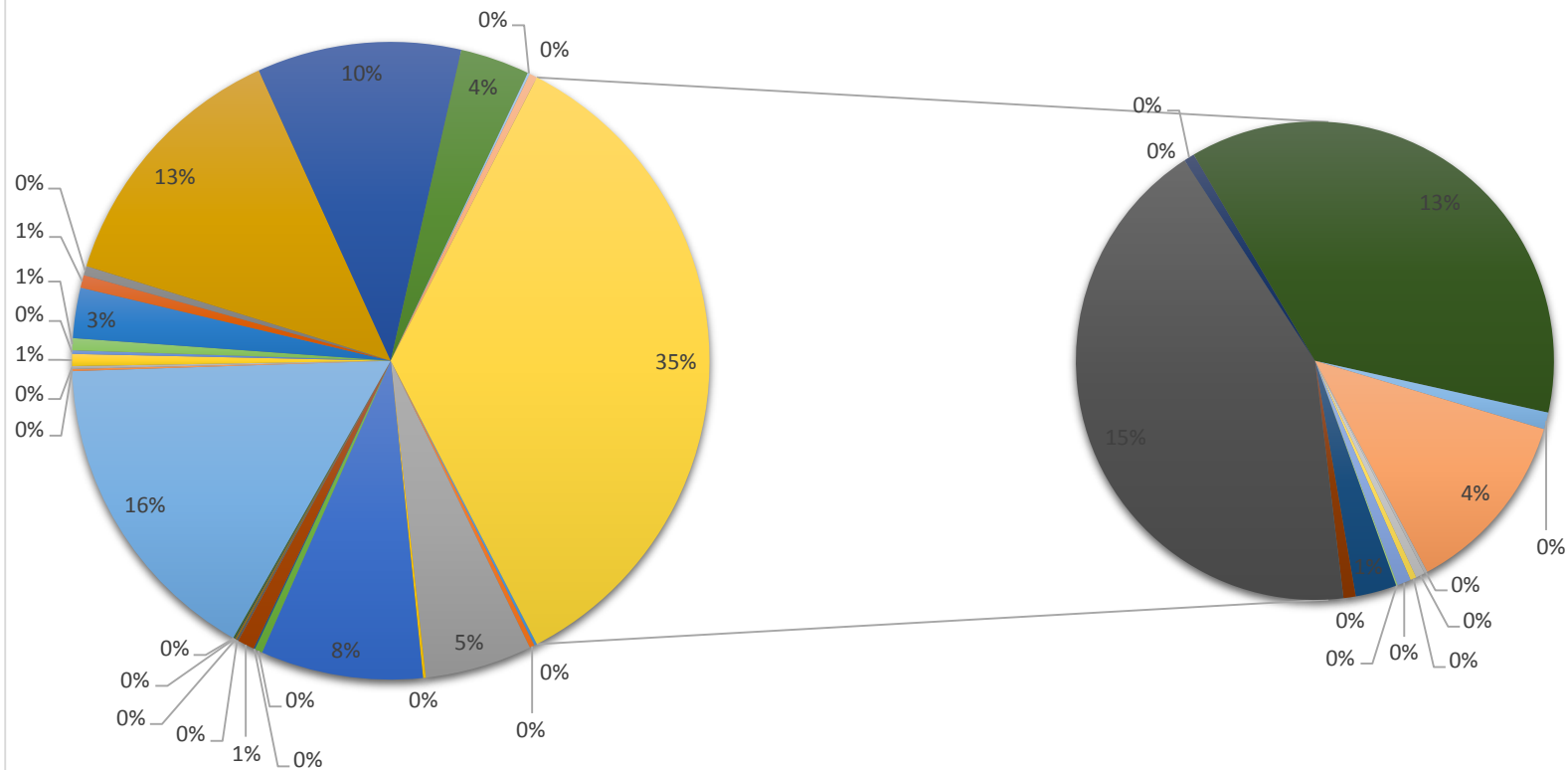


DESGLOSE ESTADO ACTIVO POR CATEGORIAS		
<b>CATEGORÍA</b>	<b>AUTOMOVILES (PARTICULAR)</b>	<b>115.861</b>
•	AUTOMOVILES	77382
•	CAMIONETAS	28358
•	CAMPERO	10121
<b>CATEGORÍA</b>	<b>TAXIS (PÚBLICO- OFICIAL)</b>	<b>15.147</b>
•	AUTOMOVILES	12910
•	CAMIONETAS	2120
•	CAMPERO	117
<b>CATEGORÍA</b>	<b>MAQUINARIA</b>	<b>5.143</b>
•	APILADOR	4
•	AUTOHORMIGONERA	7
•	BULDOZER	151
•	CAMBIADORA DE RIEL	4
•	CARGADOR	229
•	CARGADORA FRONTAL	11
•	CARRETILLA ELEVADORA	2
•	COMPACTADORA	24
•	COSECHADORA	3
•	CRIBAS	2
•	DRAGA	1
•	DUMPER VOLQUETA ARTICULADA	2
•	EXCAVADORA	452
•	FINICHER	3
•	FRESADORA	4
•	GRUA	17
•	MANIPULADOR TELESCOPICO	5
•	MAQUINARIA AGRICOLA	17
•	MAQUINARIA INDUSTRIAL	71
•	MINI EXCAVADORA	18
•	MINI RETROEXCAVADORA	13
•	MINICARGADOR	373
•	MONTACARGAS	288
•	MOTONIVELADORA	98
•	MOTOTRAILLA	3
•	PAVIMENTADORA	11
•	PERFORADORA	6
•	PILOTEADORA	4
•	PLATAFORMA DE ELEVACION	9
•	RECICLADORA	1

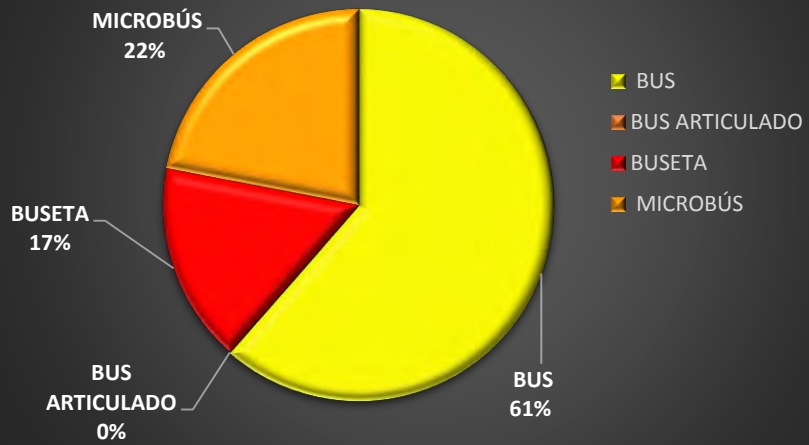
•	REMOLQUE	27
•	RETROCARGADOR	8
•	RETROEXCAVADORA	414
•	SEMIREMOLQUE	2361
•	TALADRO	7
•	TRACTOR	358
•	TRACTOR SOBRE ORUGA	11
•	VIBROCOMPACTADORA	122
•	ZANJADORA	2
<b>CATEGORÍA</b>	<b>BUS</b>	<b>7.648</b>
•	BUS	4697
•	BUS ARTICULADO	1
•	BUSETA	1270
•	MICROBÚS	1680
<b>CATEGORÍA</b>	<b>CAMION</b>	<b>5.159</b>
•	CAMION	3594
•	CAMION (RNMA)	187
•	TRACTO/CAMION	779
•	VOLQUETA	598
•	VOLQUETA SOBRE ORUGA	1
<b>CATEGORÍA</b>	<b>MOTOCICLETA</b>	<b>31.475</b>
•	CUATRIMOTO	236
•	MOTOCARRO	341
•	MOTOCICLETA	30873
•	MOTOCICLO	25
<b>TOTAL</b>	<b>180.433</b>	

## CATEGORÍA MAQUINARIA

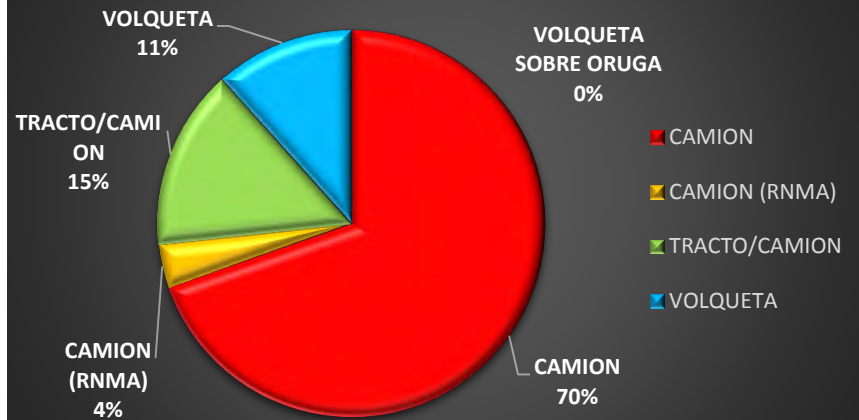
- APILADOR
- BULDOZER
- CARGADOR
- CARRETILLA ELEVADORA
- COSECHADORA
- DRAGA
- EXCAVADORA
- AUTOHORMIGONERA
- CAMBIADORA DE RIEL
- CARGADORA FRONTAL
- COMPACTADORA
- CRIBAS
- DUMPER VOLQUETA ARTICULADA
- FINISHER



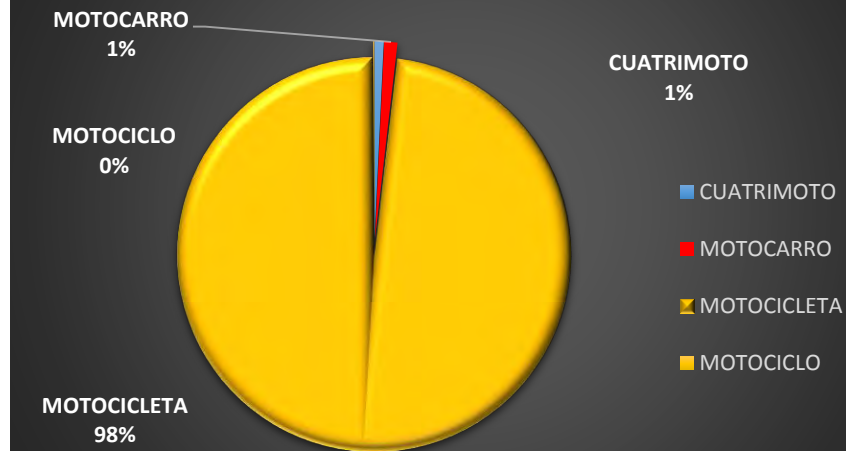
### CATEGORIA BUS



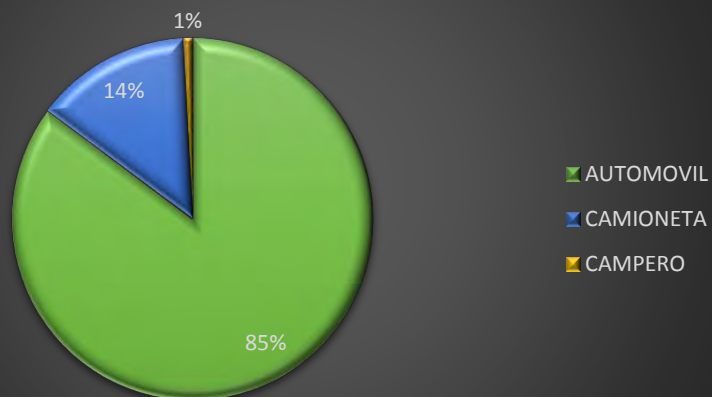
### CATEGORIA CAMIÓN



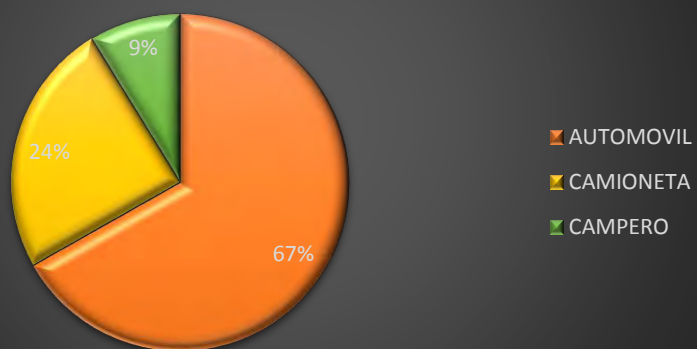
### CATEGORIA MOTOCICLETA



### CATEGORIA TAXIS PÚBLICOS



### CATEGORÍA AUTOMÓVILES PARTICULARES



ANEXO #4.

FACTORES DE EMISIONN CORINAIR.

EMISSION FACTORS										
average speed	technology	Model of Vehicle	type of Vehicle	Vehicle category	Fuel Type	CO	NOx	COVs	PM EXHAUST	
20 (km/h)	PRE ECE	R1(1900-1971)	Automoviles y taxis	<b>Passenger Cars</b>	Cilindraje < 1.4 L	Gasoline	42,36010	1,56700	3,80548	0,00322
			Automoviles y taxis		Cilindraje 1.4 – 2.0 L		42,36010	1,77800	3,80548	0,00322
			Automoviles		Cilindraje > 2.0 L		42,36010	2,14000	3,80548	0,00322
			Camión de 2 ejes sencillo	<b>Heavy Duty Vehicles</b>	7.5-16t (M3 ≤ a 6000cm³ N2 ≥ a 6000cm³ N3 < a 6200cm³ M3 > a 6000cm³)	Diesel	10,02174	43,47631	2,70612	1,40607
			Camión de 2, 3 y 4, 2S1, 2S2, 3S1 ejes sencillo y tandem		16-32t(N3 ≥ a 6200cm³)		8,03857	68,44243	1,60637	1,80434
			Camiones de 4, 2S3, 3S2, 3S3 ejes sencillos tandem y tridem		> 32 t(N3 ≥ a 12000cm³)		8,03090	74,59947	1,69278	1,92019
			Bus y Buseta ejes sencillos		Urban Bus (M2 < a 6000cm³ M3 ≤ a 6000cm³)		12,48288	26,74647	4,05108	1,83859
			Mopeds and Motorcycles	<b>Two stroke</b>	< 50 cm³	Gasoline	14,70000	0,05600	8,40000	0,17600
			Motorcycles	<b>Two stroke</b>	> 50 cm³		18,76393	0,02343	14,48489	0,20000

EMISSION FACTORS										
average speed	technology	Model of Vehicle	type of Vehicle		Vehicle category	Fuel Type	CO	NOx	COVs	PM EXHAUST
20 (km/h)	ECE 15 00 & 01	R1(1972-1977)	Automoviles y taxis	<b>Passenger Cars</b>	Cilindraje < 1.4 L	Gasoline	32,27283	1,56700	2,99813	0,00322
			Automoviles y taxis		Cilindraje 1.4 – 2.0 L		32,27283	1,77800	2,99813	0,00322
			Automoviles		Cilindraje > 2.0 L		32,27283	2,14000	2,99813	0,00322
			Camión de 2 ejes sencillo	<b>Heavy Duty Vehicles</b>	7.5-16t (M3 ≤ a 6000cm <sup>3</sup> N2 ≥ a 6000cm <sup>3</sup> N3 < a 6200cm <sup>3</sup> M3 > a 6000cm <sup>3</sup> )	Diesel	10,02174	43,47631	2,70612	1,40607
			Camión de 2, 3 y 4, 2S1, 2S2, 3S1 ejes sencillo y tandem		16-32t(N3 ≥ a 6200cm <sup>3</sup> )		8,03857	68,44243	1,60637	1,80434
			Camiones de 4, 2S3, 3S2, 3S3 ejes sencillos tandem y tridem		> 32 t(N3 ≥ a 12000cm <sup>3</sup> )		8,03090	74,59947	1,69278	1,92019
			Bus y Buseta ejes sencillos		Urban Bus (M2 < a 6000cm <sup>3</sup> M3 ≤ a 6000cm <sup>3</sup> )		12,48288	26,74647	4,05108	1,83859
			Mopeds and Motorcycles	<b>Two stroke</b>	< 50 cm <sup>3</sup>	Gasoline	14,70000	0,05600	8,40000	0,17600
			Motorcycles	<b>Two stroke</b>	> 50 cm <sup>3</sup>		18,76393	0,02343	14,48489	0,20000



EMISSION FACTORS										
average speed	technology	Model of Vehicle	type of Vehicle	Vehicle category	Fuel Type	CO	NOx	COVs	PM EXHAUST	
20 (km/h)	ECE 15 02	R1(1978-1980)	Automoviles y taxis	Passenger Cars	Cilindraje < 1.4 L	Gasoline	27,62754	1,47700	3,00059	0,00322
			Automoviles y taxis		Cilindraje 1.4 – 2.0 L		27,62754	1,66700	3,00059	0,00322
			Automoviles		Cilindraje > 2.0 L		27,62754	1,88000	3,00059	0,00322
			Camión de 2 ejes sencillo	Heavy Duty Vehicles	7.5-16t (M3 ≤ a 6000cm <sup>3</sup> N2 ≥ a 6000cm <sup>3</sup> N3 < a 6200cm <sup>3</sup> M3 > a 6000cm <sup>3</sup> )	Diesel	10,02174	43,47631	2,70612	1,40607
			Camión de 2, 3 y 4, 2S1, 2S2, 3S1 ejes sencillo y tandem		16-32t(N3 ≥ a 6200cm <sup>3</sup> )		8,03857	68,44243	1,60637	1,80434
			Camiones de 4, 2S3, 3S2, 3S3 ejes sencillos tandem y tridem		> 32 t(N3 ≥ a 12000cm <sup>3</sup> )		8,03090	74,59947	1,69278	1,92019
			Bus y Buseta ejes sencillos		Urban Bus (M2 < a 6000cm <sup>3</sup> M3 ≤ a 6000cm <sup>3</sup> )		12,48288	26,74647	4,05108	1,83859
			Mopeds and Motorcycles	Two stroke	< 50 cm <sup>3</sup>	Gasoline	14,70000	0,05600	8,40000	0,17600
			Motorcycles	Two stroke	> 50 cm <sup>3</sup>		18,76393	0,02343	14,48489	0,20000

EMISSION FACTORS

average speed	technology	Model of Vehicle	type of Vehicle		Vehicle category	Fuel Type	CO	NOx	COVs	PM EXHAUST
20 (km/h)	ECE 15 03	R1(1981-1985)	Automoviles y taxis	<b>Passenger Cars</b>	Cilindraje < 1.4 L	Gasoline	29,38501	1,54800	3,00059	0,00322
			Automoviles y taxis		Cilindraje 1.4 – 2.0 L		29,38501	1,57247	3,00059	0,00322
			Automoviles		Cilindraje > 2.0 L		29,38501	2,67760	3,00059	0,00322
			Camión de 2 ejes sencillo	<b>Heavy Duty Vehicles</b>	7.5-16t (M3 ≤ a 6000cm <sup>3</sup> N2 ≥ a 6000cm <sup>3</sup> N3 < a 6200cm <sup>3</sup> M3 > a 6000cm <sup>3</sup> )	Diesel	10,02174	43,47631	2,70612	1,40607
			Camión de 2, 3 y 4, 2S1, 2S2, 3S1 ejes sencillo y tandem		16-32t(N3 ≥ a 6200cm <sup>3</sup> )		8,03857	68,44243	1,60637	1,80434
			Camiones de 4, 2S3, 3S2, 3S3 ejes sencillos tandem y tridem		> 32 t(N3 ≥ a 12000cm <sup>3</sup> )		8,03090	74,59947	1,69278	1,92019
			Bus y Buseta ejes sencillos		Urban Bus (M2 < a 6000cm <sup>3</sup> M3 ≤ a 6000cm <sup>3</sup> )		12,48288	26,74647	4,05108	1,83859
			Mopeds and Motorcycles	<b>Two stroke</b>	< 50 cm <sup>3</sup>	Gasoline	14,70000	0,05600	8,40000	0,17600
			Motorcycles	<b>Two stroke</b>	> 50 cm <sup>3</sup>		18,76393	0,02343	14,48489	0,20000

**EMISSION FACTORS**

average speed	technology	Model of Vehicle	type of Vehicle	Vehicle category	Fuel Type	CO	NOx	COVs	PM EXHAUST	
20 (km/h)	ECE 15 04	R1(1985-1992)	Automoviles y taxis	<b>Passenger Cars</b>	Cilindraje < 1.4 L	Gasoline	17,09696	1,52280	2,38357	0,00322
			Automoviles y taxis		Cilindraje 1.4 – 2.0 L		17,09696	1,77360	2,38357	0,00322
			Automoviles		Cilindraje > 2.0 L		17,09696	2,25340	2,38357	0,00322
			Camión de 2 ejes sencillo	<b>Heavy Duty Vehicles</b>	7.5-16t (M3 ≤ a 6000cm <sup>3</sup> N2 ≥ a 6000cm <sup>3</sup> N3 < a 6200cm <sup>3</sup> M3 > a 6000cm <sup>3</sup> )	Diesel	10,02174	43,47631	2,70612	1,40607
			Camión de 2, 3 y 4, 2S1, 2S2, 3S1 ejes sencillo y tandem		16-32t(N3 ≥ a 6200cm <sup>3</sup> )		8,03857	68,44243	1,60637	1,80434
			Camiones de 4, 2S3, 3S2, 3S3 ejes sencillos tandem y tridem		> 32 t(N3 ≥ a 12000cm <sup>3</sup> )		8,03090	74,59947	1,69278	1,92019
			Bus y Buseta ejes sencillos		Urban Bus (M2 < a 6000cm <sup>3</sup> M3 ≤ a 6000cm <sup>3</sup> )		12,48288	26,74647	4,05108	1,83859
			Mopeds and Motorcycles	<b>Two stroke</b>	< 50 cm <sup>3</sup>	Gasoline	14,70000	0,05600	8,40000	0,17600
			Motorcycles	<b>Two stroke</b>	> 50 cm <sup>3</sup>		18,76393	0,02343	14,48489	0,20000

**EMISSION FACTORS**

average speed	technology	Model of Vehicle	type of Vehicle	Vehicle category	Fuel Type	CO	NOx	COVs	PM EXHAUST	
20 (km/h)	Euro 1	R1(1992-1996)	Automoviles y taxis	<b>Passenger Cars</b>	Cilindraje < 1.4 L	Gasoline	2,94029	0,36218	0,29976	0,00322
			Automoviles y taxis		Cilindraje 1.4 – 2.0 L		2,94029	0,36218	0,29976	0,00322
			Automoviles		Cilindraje > 2.0 L		2,94029	0,36218	0,29976	0,00322
			Camión de 2 ejes sencillo	<b>Heavy Duty Vehicles</b>	7.5-16t (M3 ≤ a 6000cm³ N2 ≥ a 6000cm³ N3 < a 6200cm³ M3 > a 6000cm³)	Diesel	4,40490	26,22191	1,26161	0,81158
			Camión de 2, 3 y 4, 2S1, 2S2, 3S1 ejes sencillo y tandem		16-32t(N3 ≥ a 6200cm³)		9,05170	46,53785	1,72196	1,46274
			Camiones de 4, 2S3, 3S2, 3S3 ejes sencillos tandem y tridem		> 32 t(N3 ≥ a 12000cm³)		7,77239	49,70978	1,99179	1,63400
			Bus y Buseta ejes sencillos		Urban Bus (M2 < a 6000cm³ M3 ≤ a 6000cm³)		4,59441	20,68829	0,82430	0,66817
			Mopeds and Motorcycles	<b>Two stroke</b>	< 50 cm³	Gasoline	4,60000	0,18000	3,40000	0,04500
			Motorcycles	<b>Two stroke</b>	> 50 cm³		12,37900	0,03899	4,62122	0,08000

EMISSION FACTORS										
average speed	technology	Model of Vehicle	type of Vehicle		Vehicle category	Fuel Type	CO	NOx	COVs	PM EXHAUST
20 (km/h)	Euro 2	R1(1996-2000)	Automoviles y taxis	<b>Passenger Cars</b>	Cilindraje < 1.4 L	Gasoline	1,04262	0,21906	0,13125	0,00322
			Automoviles y taxis		Cilindraje 1.4 – 2.0 L		1,04262	0,21906	0,13125	0,00322
			Automoviles		Cilindraje > 2.0 L		1,04262	0,21906	0,13125	0,00322
			Camión de 2 ejes sencillo	<b>Heavy Duty Vehicles</b>	7.5-16t (M3 ≤ a 6000cm <sup>3</sup> N2 ≥ a 6000cm <sup>3</sup> N3 < a 6200cm <sup>3</sup> M3 > a 6000cm <sup>3</sup> )	Diesel	3,50322	27,20495	0,82156	0,41398
			Camión de 2, 3 y 4, 2S1, 2S2, 3S1 ejes sencillo y tandem		16-32t(N3 ≥ a 6200cm <sup>3</sup> )		6,04005	46,08780	1,17390	0,72424
			Camiones de 4, 2S3, 3S2, 3S3 ejes sencillos tandem y tridem		> 32 t(N3 ≥ a 12000cm <sup>3</sup> )		5,73684	49,89080	1,27749	0,75523
			Bus y Buseta ejes sencillos		Urban Bus (M2 < a 6000cm <sup>3</sup> M3 ≤ a 6000cm <sup>3</sup> )		4,73257	21,20401	0,58054	0,37391
			Mopeds and Motorcycles	<b>Two stroke</b>	< 50 cm <sup>3</sup>	Gasoline	2,80000	0,17000	2,60000	0,02600
				<b>Four stroke</b>			4,20000	0,17000	0,79000	0,00700
			Motorcycles	<b>Two stroke</b>	50 cm <sup>3</sup> –750 cm <sup>3</sup>	9,79366	0,04244	2,45514	0,04000	
				<b>Four stroke</b>		2,70335	0,21795	0,39610	0,00500	
				<b>Four stroke</b>		> 750 cm <sup>3</sup>	2,32271	0,07659	0,46241	0,00500

**EMISSION FACTORS**

average speed	technology	Model of Vehicle	type of Vehicle	Vehicle category	Fuel Type	CO	NOx	COVs	PM EXHAUST		
20 (km/h)	Euro 3	R1(2000-2005)	Automoviles y taxis	<b>Passenger Cars</b>	Cilindraje < 1.4 L	Gasoline	0,49280	0,08520	0,02338	0,00128	
			Automoviles y taxis		Cilindraje 1.4 – 2.0 L		0,49280	0,08520	0,02338	0,00128	
			Automoviles		Cilindraje > 2.0 L		0,49280	0,08520	0,02338	0,00128	
			Camión de 2 ejes sencillo	<b>Heavy Duty Vehicles</b>	7.5-16t (M3 ≤ a 6000cm³ N2 ≥ a 6000cm³ N3 < a 6200cm³ M3 > a 6000cm³)	Diesel	3,52918	21,28788	0,72489	0,33084	
			Camión de 2, 3 y 4, 2S1, 2S2, 3S1 ejes sencillo y tandem		16-32t(N3 ≥ a 6200cm³)		5,78339	37,24244	0,99426	0,57027	
			Camiones de 4, 2S3, 3S2, 3S3 ejes sencillos tandem y tridem		> 32 t(N3 ≥ a 12000cm³)		5,60192	39,56795	1,08311	0,60428	
			Bus y Buseta ejes sencillos		Urban Bus (M2 < a 6000cm³ M3 ≤ a 6000cm³)		4,55159	18,48818	0,50452	0,26621	
			Mopeds and Motorcycles	<b>Two stroke</b>	< 50 cm³	Gasoline	1,80000	0,17000	1,80000	0,01800	
				<b>Four stroke</b>			2,70000	0,17000	0,54000	0,00400	
			Motorcycles	<b>Two stroke</b>	50 cm³–750 cm³	Gasoline	5,40404	0,01750	1,52968	0,01200	
							<b>Four stroke</b>	2,70335	0,21795	0,39610	0,00500
							<b>Four stroke</b>	2,32271	0,07659	0,46241	0,00500

EMISSION FACTORS										
average speed	technology	Model of Vehicle	type of Vehicle		Vehicle category	Fuel Type	CO	NOx	COVs	PM EXHAUST
20 (km/h)	Euro 4	R1(2005-2007)	Automoviles y taxis	<b>Passenger Cars</b>	Cilindraje < 1.4 L	Gasoline	0,16047	0,07756	0,01146	0,00128
			Automoviles y taxis		Cilindraje 1.4 – 2.0 L		0,16047	0,07756	0,01146	0,00128
			Automoviles		Cilindraje > 2.0 L		0,16047	0,07756	0,01146	0,00128
			Camión de 2 ejes sencillo	<b>Heavy Duty Vehicles</b>	7.5-16t (M3 ≤ a 6000cm <sup>3</sup> N2 ≥ a 6000cm <sup>3</sup> N3 < a 6200cm <sup>3</sup> M3 > a 6000cm <sup>3</sup> )	Diesel	2,30257	14,74797	0,14553	0,10249
			Camión de 2, 3 y 4, 2S1, 2S2, 3S1 ejes sencillo y tandem		16-32t(N3 ≥ a 6200cm <sup>3</sup> )		3,69927	26,29554	0,21280	0,14256
			Camiones de 4, 2S3, 3S2, 3S3 ejes sencillos tandem y tridem		> 32 t(N3 ≥ a 12000cm <sup>3</sup> )		3,88847	27,17585	0,21269	0,14104
			Bus y Busetas ejes sencillos		Urban Bus (M2 < a 6000cm <sup>3</sup> M3 ≤ a 6000cm <sup>3</sup> )		2,22630	13,16777	0,11654	0,09481
			Mopeds and Motorcycles	<b>Two stroke</b>	< 50 cm <sup>3</sup>	Gasoline	1,80000	0,17000	1,80000	0,01800
				<b>Four stroke</b>			2,70000	0,17000	0,54000	0,00400
			Motorcycles	<b>Two stroke</b>	50 cm <sup>3</sup> –750 cm <sup>3</sup>		5,40404	0,01750	1,52968	0,01200
				<b>Four stroke</b>			2,70335	0,21795	0,39610	0,00500
				<b>Four stroke</b>			> 750 cm <sup>3</sup>	2,32271	0,07659	0,46241

**EMISSION FACTORS**

average speed	technology	Model of Vehicle	type of Vehicle	Vehicle category	Fuel Type	CO	NOx	COVs	PM	
20 (km/h)	Euro 5	R1(2007-2016)	Automoviles y taxis	<b>Passenger Cars</b>	Cilindraje < 1.4 L	Gasoline	0,24883	0,03937	0,00780	0,00178
			Automoviles y taxis		Cilindraje 1.4 – 2.0 L		0,24883	0,03937	0,00780	0,00178
			Automoviles		Cilindraje > 2.0 L		0,24883	0,03937	0,00780	0,00178
			Camión de 2 ejes sencillo	<b>Heavy Duty Vehicles</b>	7.5-16t (M3 ≤ a 6000cm <sup>3</sup> N2 ≥ a 6000cm <sup>3</sup> N3 < a 6200cm <sup>3</sup> M3 > a 6000cm <sup>3</sup> )	Diesel	1,36593	11,37792	0,25738	0,11978
			Camión de 2, 3 y 4, 2S1, 2S2, 3S1 ejes sencillo y tandem		16-32t(N3 ≥ a 6200cm <sup>3</sup> )		1,93610	17,96898	0,36537	0,18061
			Camiones de 4, 2S3, 3S2, 3S3 ejes sencillos tandem y tridem		> 32 t(N3 ≥ a 12000cm <sup>3</sup> )		1,93126	19,27962	0,38389	0,19777
			Bus y Buseta ejes sencillos		Urban Bus (M2 < a 6000cm <sup>3</sup> M3 ≤ a 6000cm <sup>3</sup> )		2,02184	9,63175	0,18568	0,08206
			Mopeds and Motorcycles	<b>Two stroke</b> <b>Four stroke</b>	< 50 cm <sup>3</sup>	Gasoline	1,80000	0,17000	1,80000	0,01800
			Motorcycles				2,70000	0,17000	0,54000	0,00400
							50 cm <sup>3</sup> –750 cm <sup>3</sup>	5,40404	0,01750	1,52968
				> 750 cm <sup>3</sup>	2,70335	0,21795	0,39610	0,00500		
							2,32271	0,07659	0,46241	0,00500



ANEXO #6.

AFOROS VEHICUALRES TRAMO 1, 2, 3, 4 Y 5.

**FORMULARIO Nº 1**

**ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR**

<b>TRAMO DE LA CARRETERA</b>	CARRERA 47 ENTRE 75 Y 76	<b>HORA</b>	6:30 pm - 7:00pm
<b>SENTIDO</b>	ORIENTE - OCCIDENTE	<b>INTERVALOS</b>	30 MINUTOS
<b>UBICACIÓN</b>	BARRANQUILLA	<b>DIA</b>	MARTES
		<b>FECHA</b>	27/11/2018

TIPO DE VEHICULO	NUMERO DE VEHICULOS	REGISTRO PLACA	NUMERO DE VEHICULOS
Auto particular	124	Barranquilla	124
Auto particular	18	Bogota	18
Auto particular	28	Puerto Colombia	28
Auto particular	4	Bucaramanga	4
Auto particular	1	Sabaneta	1
Auto particular	4	Turbaco	4
Auto particular	2	Cartagena	2
Auto particular	1	Medellin	1
Auto particular	1	Pasto	1
Auto particular	1	cali	1
Auto particular	1	Cucuta	1
Auto particular	1	Rio Negro	1

201

Numero de Vehiculos Distrito 277  
Numero de Vehiculos Foraneos 111

388

67

455

Auto particular	1	Cota	1
Auto particular	1	Ibague	1
Auto particular	1	Arjona	1
Auto particular	3	Envigado	3
Auto particular	2	Valledupar	2
Auto particular	1	La Calera	1
Auto particular	5	Soledad	5
Auto particular	1	Piñon	1
Auto publico	109	Barranquilla	109
Auto publico	26	Soledad	26
Auto publico	2	Puerto Colombia	2
Auto publico	1	Galapa	1
Bus	43	Barranquilla	43
Bus	1	Puerto Colombia	1
Motos	67	Colombia	67
Camion	2	Bogota	2
Camion	1	Santa Marta	1
Camion	1	La Calera	1
Camion	1	Barranquilla	1
<b>TOTAL</b>	<b>455</b>		<b>455</b>

138

44

67

5

FORMULARIO N° 2

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

TRAMO DE LA CARRETERA	CALLE 85 ENTRE 45 Y 44	ESTACION		INTERVALOS	30 MINUTOS
SENTIDO	NORTE - SUR	DIA	JUEVES		
UBICACIÓN	BARRANQUILLA	FECHA	22/11/2018	HORA	12:30 pm - 1:00pm

TIPO DE VEHICULO	NUMERO DE VEHICULOS	REGISTRO PLACA	NUMERO DE VEHICULOS
Auto particular	276	Barranquilla	276
Auto particular	49	Bogota	49
Auto particular	21	Puerto Colombia	21
Auto particular	3	Bucaramanga	3
Auto particular	1	Tunja	1
Auto particular	1	Turbaco	1
Auto particular	6	Cartagena	6
Auto particular	5	Medellin	5
Auto particular	1	Monteria	1
Auto particular	3	cali	3
Auto particular	1	Cucuta	1
Auto particular	1	Rioacha	1
Auto particular	3	Sabanagrande	3
Auto particular	1	Buga	1
Auto particular	1	Arjona	1
Auto particular	3	Envigado	3
Auto particular	2	Valledupar	2

393

Numero de Vehiculos Distrito 335  
 Numero de Vehiculos Foraneos 167  
 502  
 72  
 574

Auto particular	4	Santa Marta	4
Auto particular	5	Soledad	5
Auto particular	1	Monteria	1
Auto particular	1	Arjona	1
Auto particular	2	Cienaga	2
Auto particular	1	Sabaneta	1
Auto particular	1	Manizales	1
Auto publico	52	Barranquilla	52
Auto publico	38	Soledad	38
Auto publico	1	Puerto Colombia	1
Auto publico	1	Baranoa	1
Auto publico	1	Galapa	1
Bus	7	Barranquilla	7
Bus	1	Soledad	1
Motos	72	Colombia	72
Camion	1	Monteria	1
Camion	1	Galapa	1
Camion	1	Funza	1
Camion	2	La calera	2
Camion	1	Sabanagrande	1
Camion	1	Puerto Colombia	1
Camion	1	Bello	1
<b>TOTAL</b>	<b>574</b>		<b>574</b>

93

8

72

8

FORMULARIO Nº 3

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

TRAMO DE LA CARRETERA	CARRERA 45 ENTRE 56 Y 57	ESTACION		INTERVALOS	30 MINUTOS
SENTIDO	OCCIDENTE - ORIENTE	DIA	Sabado		
UBICACIÓN	BARRANQUILLA	FECHA	24/11/2018	HORA	12:00 pm - 12:30pm

TIPO DE VEHICULO	NUMERO DE VEHICULOS	REGISTRO PLACA	NUMERO DE VEHICULOS
Auto particular	211	Barranquilla	211
Auto particular	21	Bogota	21
Auto particular	8	Puerto Colombia	8
Auto particular	3	Bucaramanga	3
Auto particular	1	Tunja	1
Auto particular	1	Turbaco	1
Auto particular	4	Cartagena	4
Auto particular	3	Medellin	3
Auto particular	1	Monteria	1
Auto particular	3	cali	3
Auto particular	1	Floridablanca	1
Auto particular	1	Rioacha	1
Auto particular	3	Sabanagrande	3
Auto particular	2	Funza	2
	2	Fundacion	2
Auto particular	1	Envigado	1
Auto particular	1	Valledupar	1

279

Numero de Vehiculos Distrito 286  
 Numero de Vehiculos Foraneos 102  
 388  
 59  
 447

Auto particular	5	Santa Marta	5
Auto particular	6	Soledad	6
Auto particular	1	Monteria	1
Auto publico	43	Barranquilla	43
Auto publico	26	Soledad	26
Auto publico	1	Galapa	1
Bus	26	Barranquilla	26
Bus	2	Soledad	2
Motos	59	Colombia	59
Camion	1	Funza	1
Camion	1	Galapa	1
Camion	6	Barranquilla	6
Camion	1	Cerete	1
Camion	2	Sabanagrande	2
<b>TOTAL</b>	<b>447</b>		<b>447</b>

70

28

59

11

FORMULARIO Nº 4

**ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR**

TRAMO DE LA CARRETERA	VIA 40	ESTACION		INTERVALOS	30 MINUTOS
SENTIDO	OCCIDENTE - ORIENTE	DIA	viernes		
UBICACIÓN	BARRANQUILLA	FECHA	25/01/2019	HORA	11:00 pm - 11:30pm

TIPO DE VEHICULO	NUMERO DE VEHICULOS	REGISTRO PLACA	NUMERO DE VEHICULOS
Auto particular	211	Barranquilla	308
Auto particular	21	Bogota	24
Auto particular	8	Puerto Colombia	5
Auto particular	3	Bucaramanga	3
Auto particular	1	Tunja	1
Auto particular	1	itawi	1
Auto particular	4	Cartagena	4
Auto particular	3	plato	2
Auto particular	1	neiva	1
Auto particular	3	turbo	4
Auto particular	1	sahagun	2
Auto particular	1	Rioacha	3
Auto particular	3	Sabanagrande	3
Auto particular	2	ibague	2
Auto particular	2	buenaventura	1
Auto particular	1	sogamoso	2
Auto particular	1	Valledupar	8

392

Numero de Vehiculos Distrito 405  
 Numero de Vehiculos Foraneos 149  
 554  
 59  
 613

Auto particular	5	Santa Marta	9
Auto particular	6	Soledad	8
Auto particular	1	cucuta	1
Auto publico	43	Barranquilla	52
Auto publico	26	Soledad	32
Bus	26	Barranquilla	39
Bus	2	Soledad	11
Motos	59	Colombia	118
Camion		chia	2
Camion		turbaco	3
Camion		honda	4
Camion	1	la calera	1
Camion	1	Galapa	3
Camion	6	Barranquilla	6
Camion	1	Cerete	4
Camion	2	Sabaneta	2
Camion		facatativa	1
Camion		plato	2
<b>TOTAL</b>	446		672

84

28

59

16



FORMULARIO Nº 5

**ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR**

<b>TRAMO DE LA CARRETERA</b>	VIA CIRCUNVALAR	<b>ESTACION</b>		<b>INTERVALOS</b>	30 MINUTOS
<b>SENTIDO</b>	OCCIDENTE - ORIENTE	<b>DIA</b>	sabado		
<b>UBICACIÓN</b>	BARRANQUILLA	<b>FECHA</b>	26/01/2019	<b>HORA</b>	1:00 pm -1:30pm

TIPO DE VEHICULO	NUMERO DE VEHICULOS	REGISTRO PLACA	NUMERO DE VEHICULOS
Auto particular	295	Barranquilla	295
Auto particular	39	Bogota	39
Auto particular	12	Puerto Colombia	12
Auto particular	2	Bucaramanga	2
Auto particular	1	Tunja	1
Auto particular	3	Turbaco	3
Auto particular	6	Cartagena	6
Auto particular	2	Medellin	2
Auto particular	4	Monteria	4
Auto particular	5	cali	5
Auto particular	2	miraflores	2
Auto particular	1	Rioacha	1
Auto particular	3	Sabanagrande	3
Auto particular	2	Funza	2
Auto particular	2	Fundacion	2
Auto particular	1	Envigado	1
Auto particular	1	Valledupar	1
Auto particular	5	Santa Marta	5
Auto particular	6	Soledad	6
Auto particular	2	Monteria	2

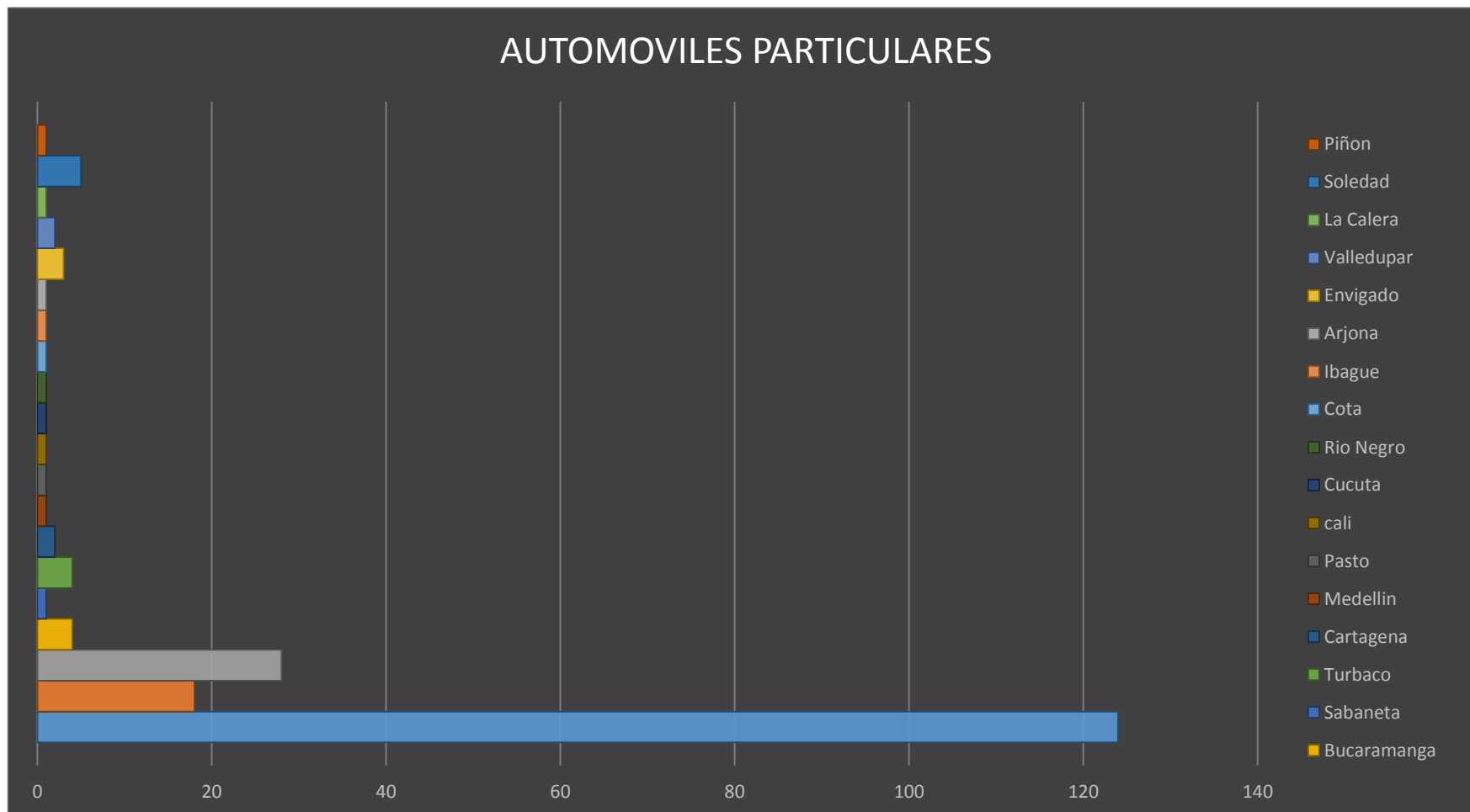
394

Numero de Vehiculos	
Distrito	369
Numero de Vehiculos	
Foraneos	167
	536
	59
	595

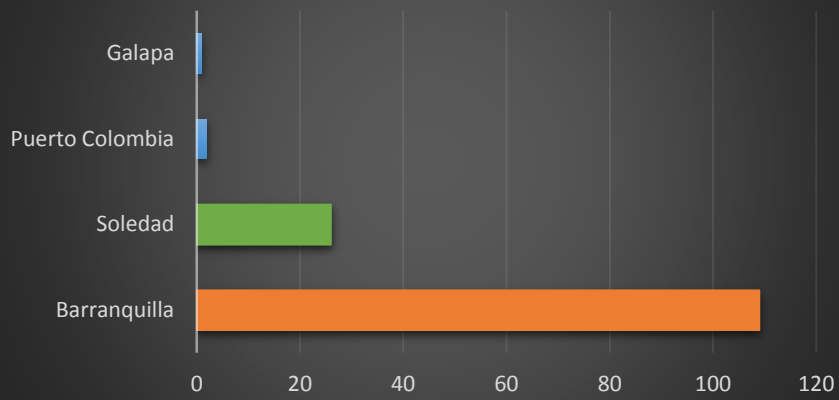
Auto publico	41	Barranquilla	41	78
Auto publico	29	Soledad	29	
Auto publico	8	malambo	8	
Bus	26	Barranquilla	26	28
Bus	15	Soledad	15	
Motos	59	Colombia	59	59
Camion	3	bello	3	
Camion	1	fusagasuga	1	
Camion	3	soacha	3	23
Camion	5	Galapa	5	
Camion	7	Barranquilla	7	
Camion	2	Cerete	2	
Camion	2	yopal	2	
<b>TOTAL</b>	<b>595</b>		<b>595</b>	

ANEXO #6.

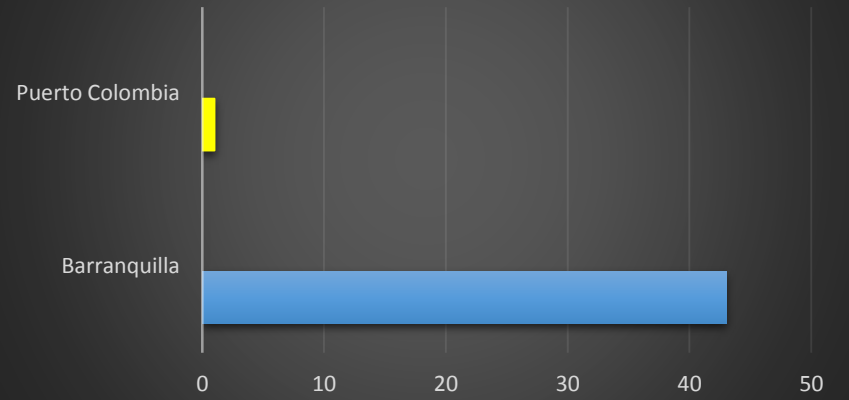
GRAFICAS TABULACION TRAMO 1.



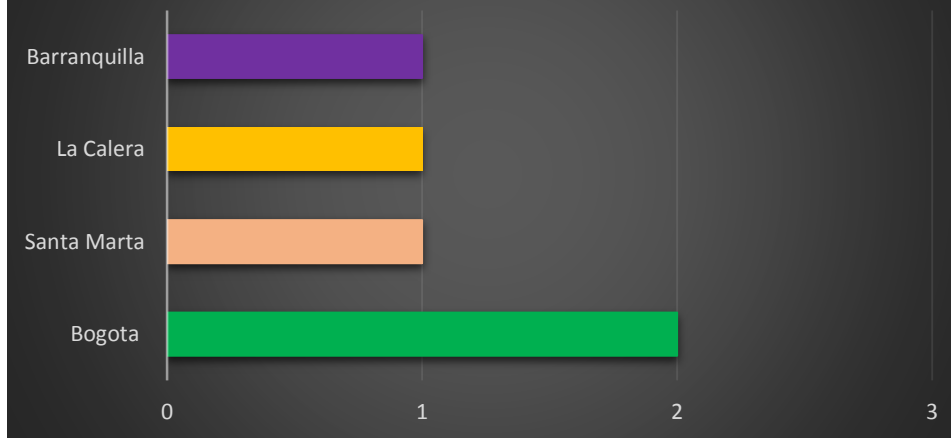
### AUTOMOVILES PUBLICOS



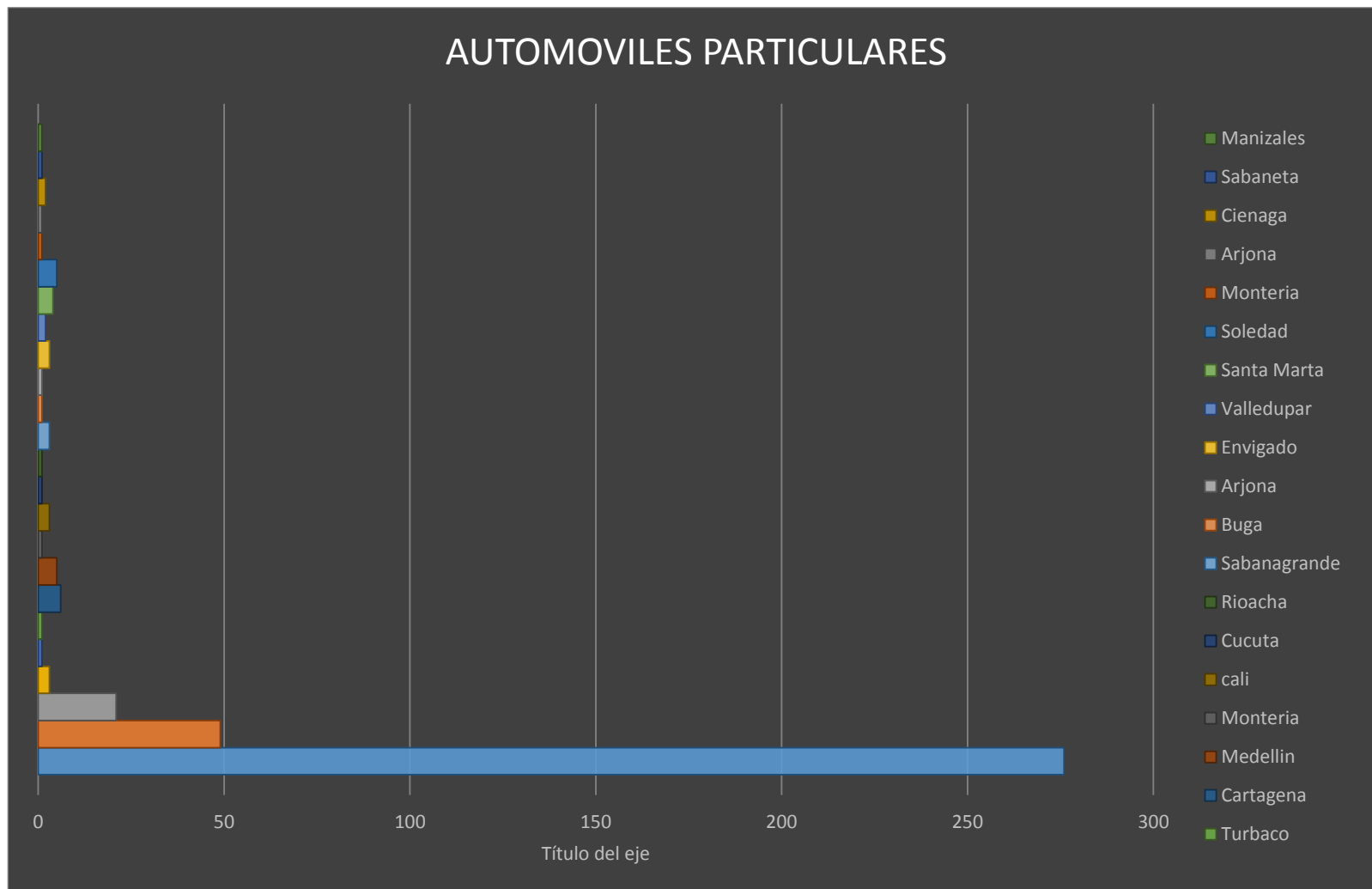
### BUSES



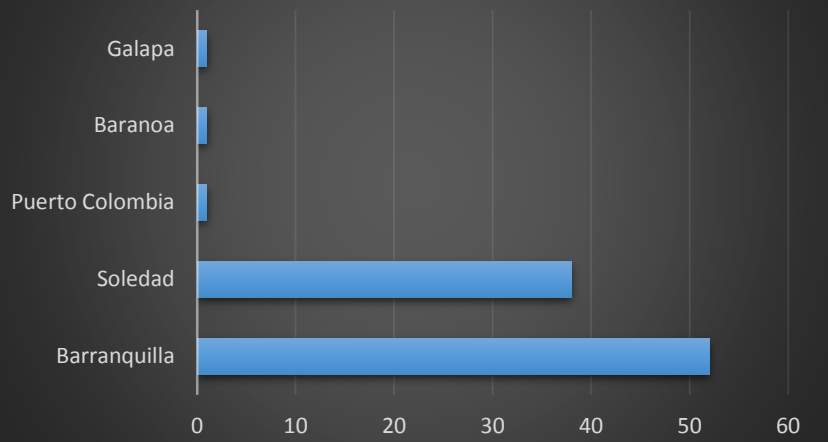
### CAMIONES



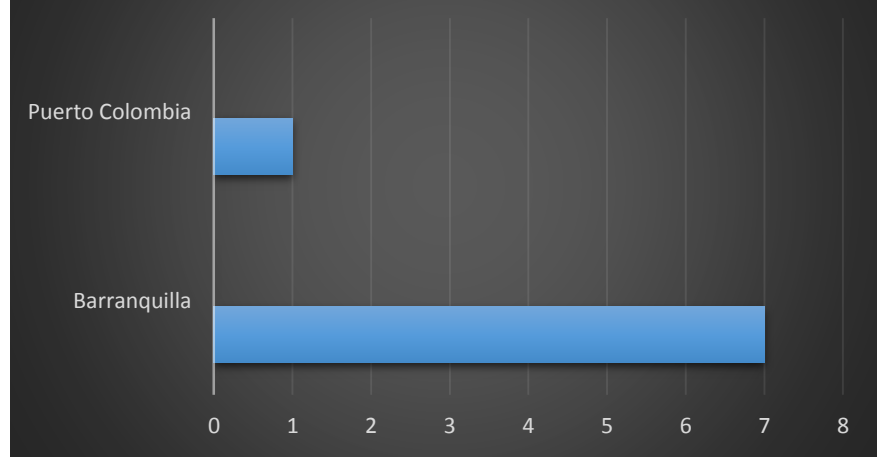
GRAFICAS TABULACION TRAMO 2.



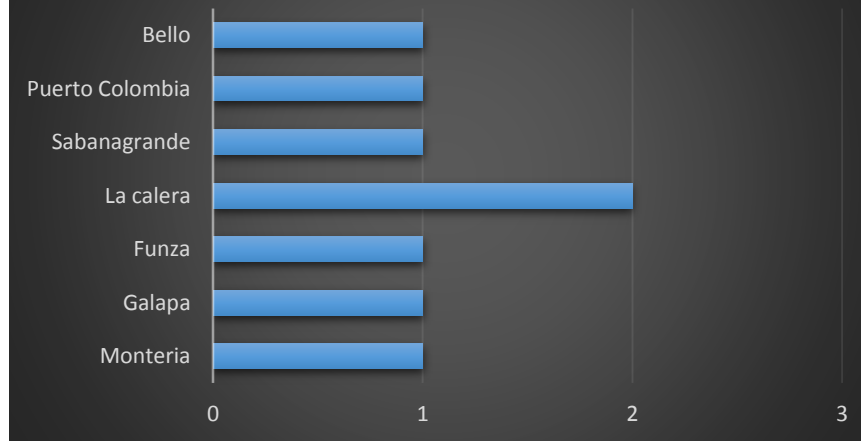
### AUTOMOVILES PUBLICOS

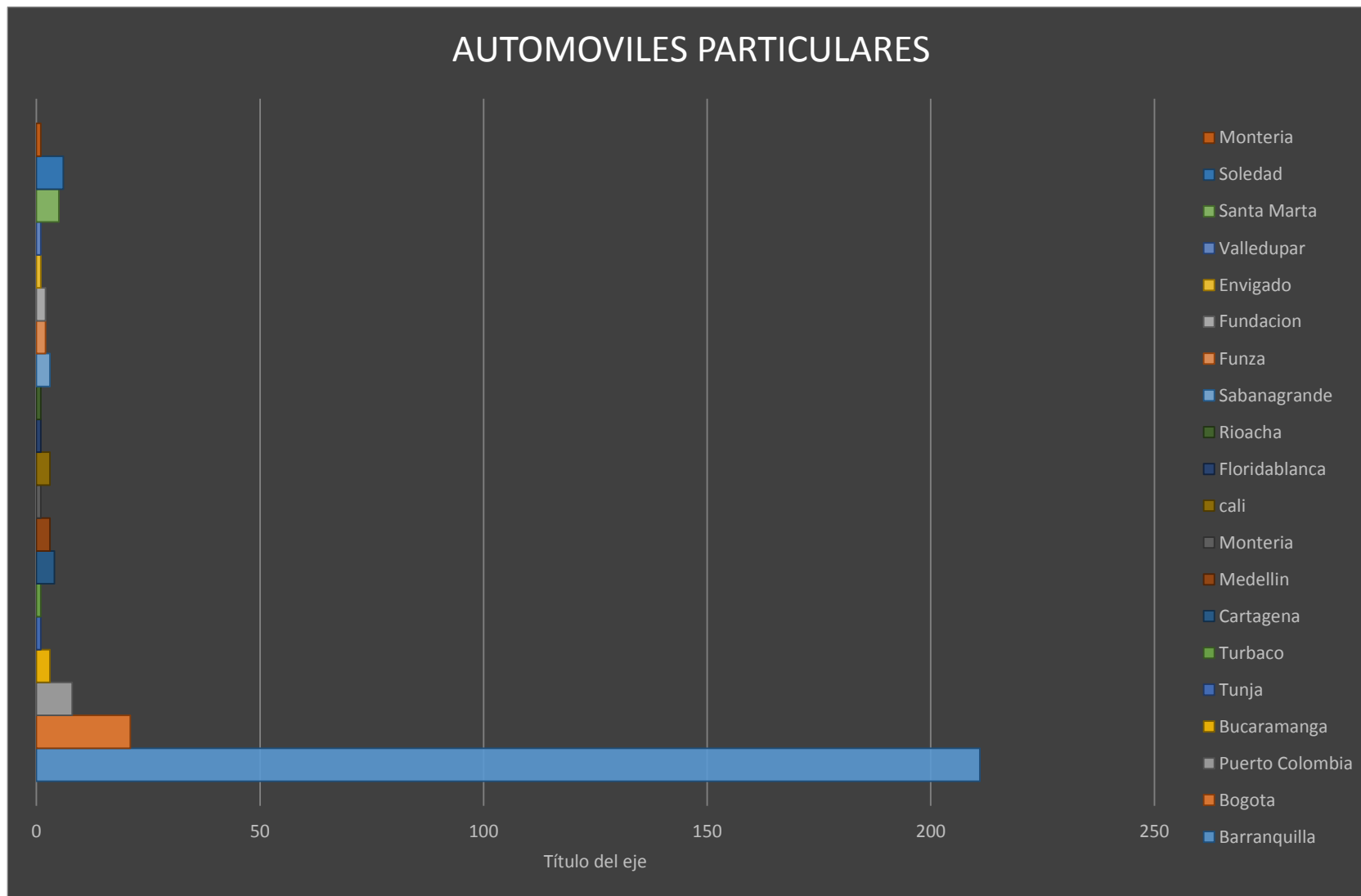


### BUSES

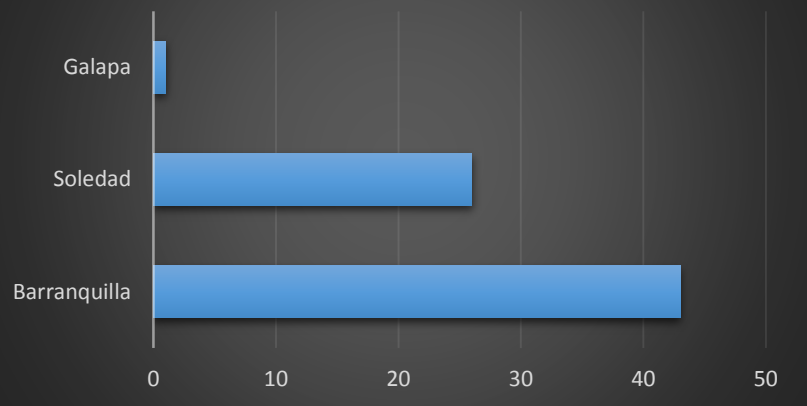


### CAMIONES

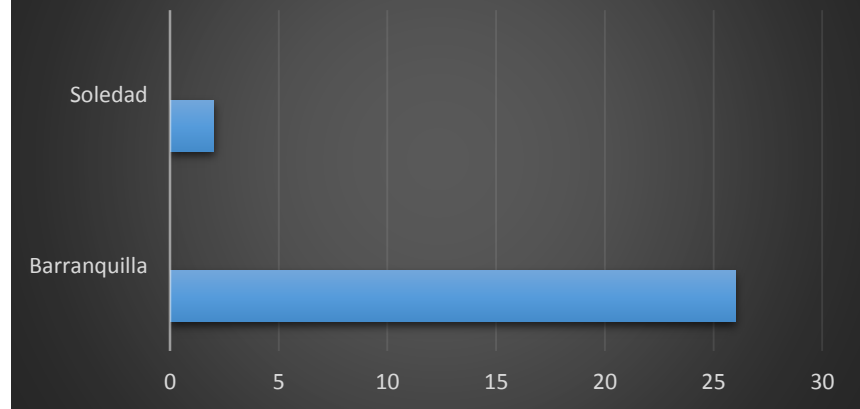




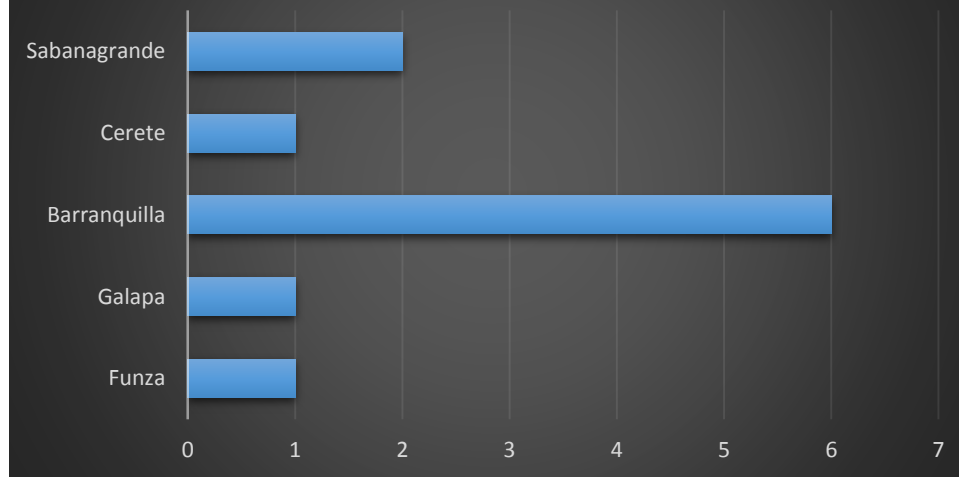
### AUTOMOVILES PUBLICOS



### BUSES

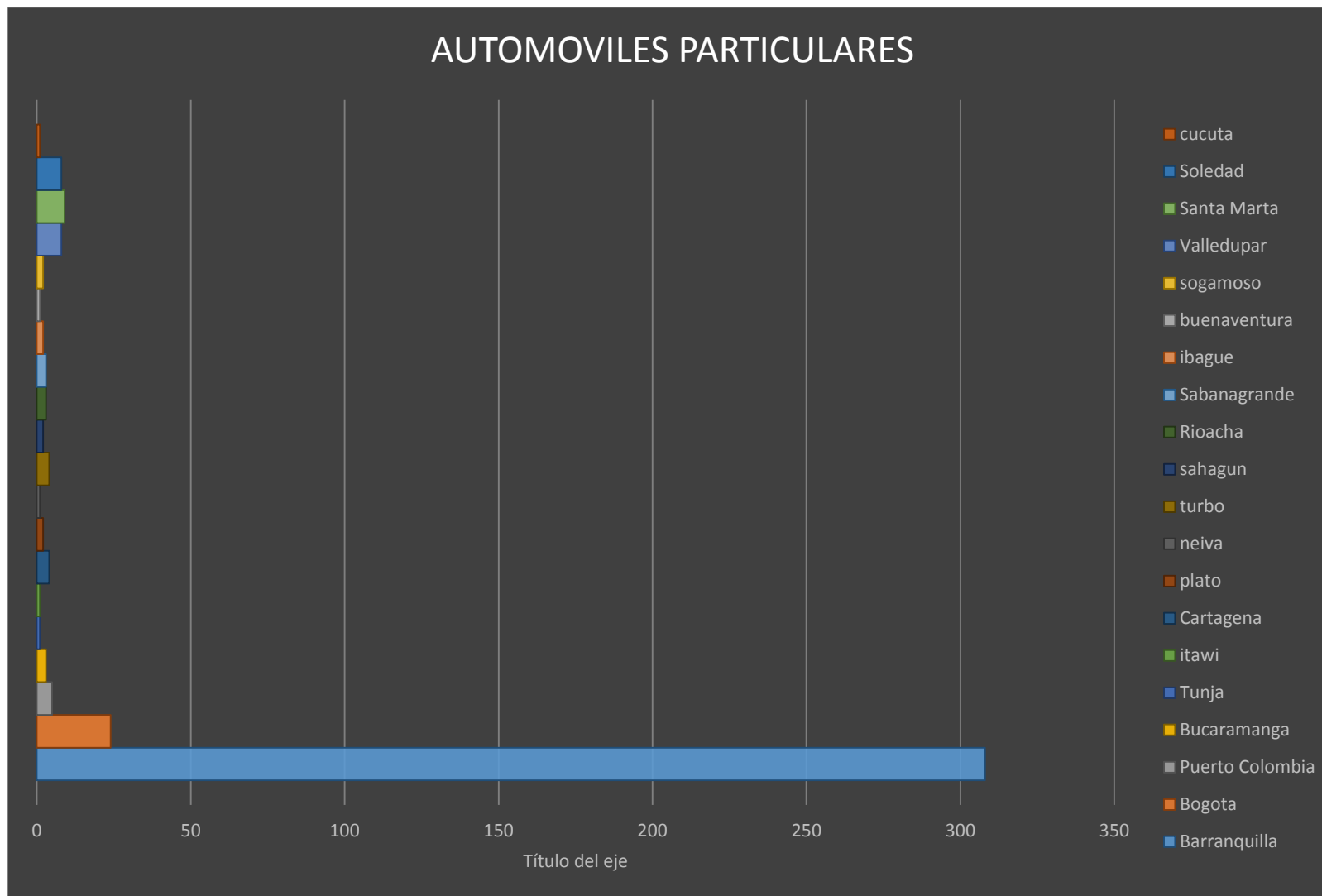


### CAMIONES

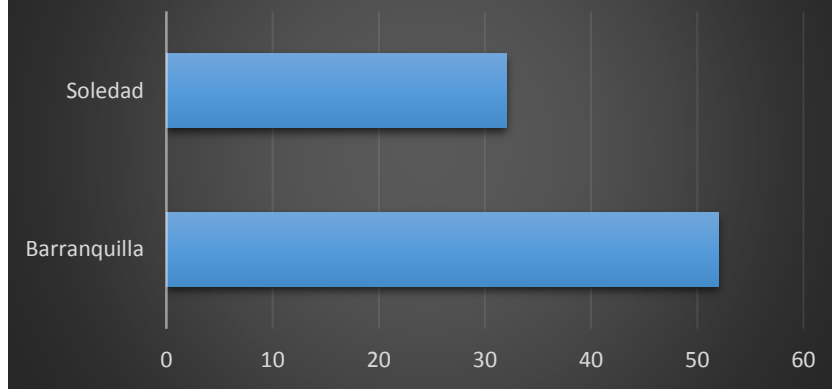




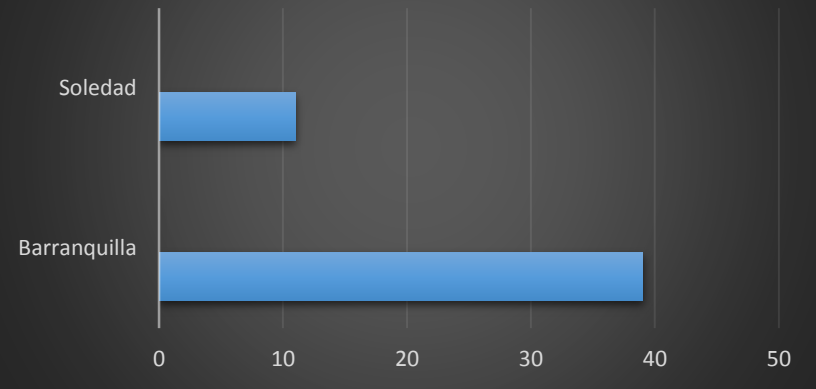
GRAFICAS TABULACION TRAMO 4.



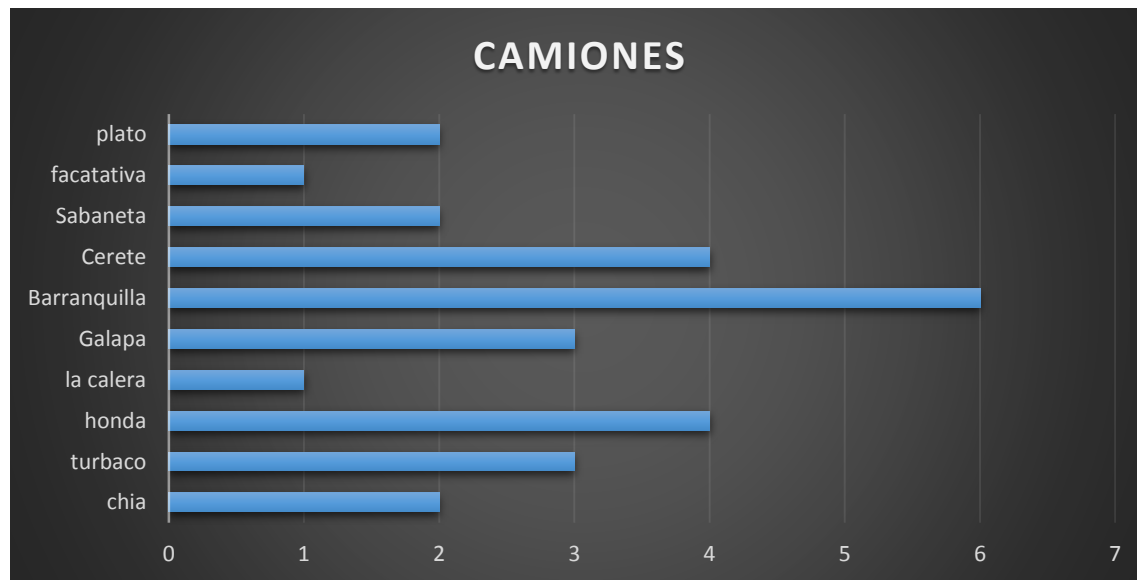
## AUTOMOVILES PUBLICOS



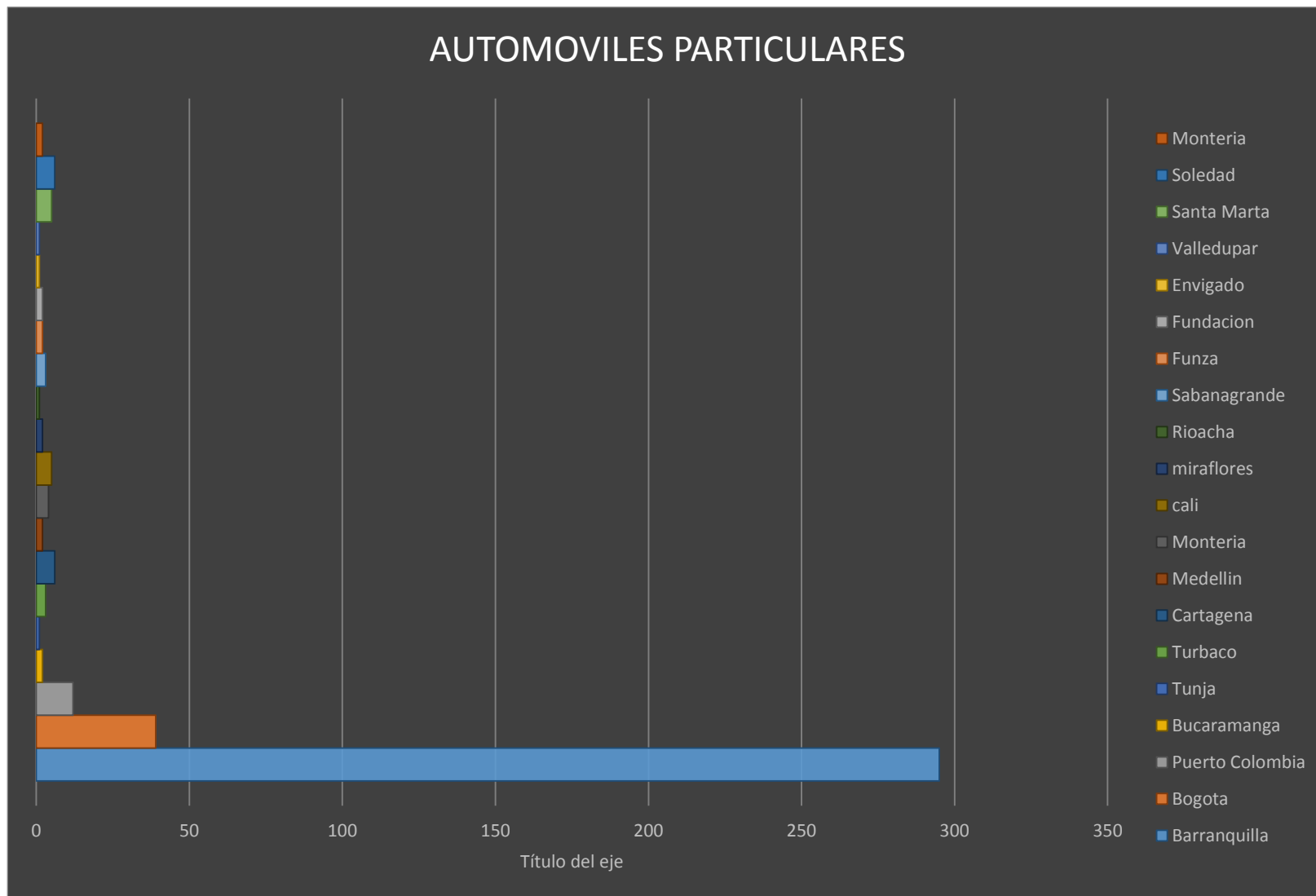
## BUSES



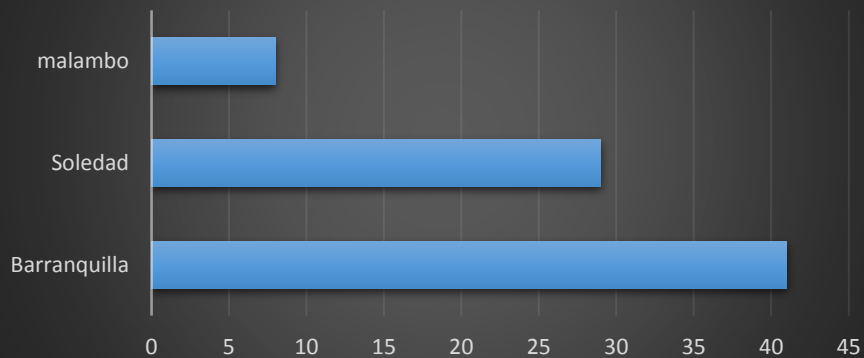
## CAMIONES



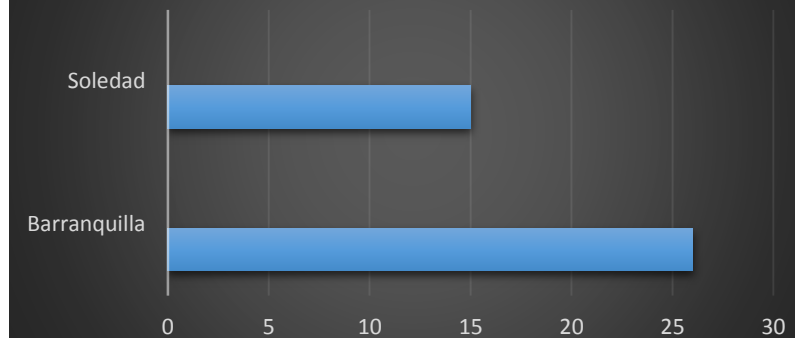
GRAFICAS TABULACION TRAMO 5.



### AUTOMOVILES PUBLICOS



### BUSES



### CAMIONES

