



**INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS POR  
FUENTES ESTACIONARIAS PUNTUALES Y ESTACIONES  
DE SERVICIO DE COMBUSTIBLE EN EL ÁREA URBANA  
DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI – AÑO 2017**

**EMISSIONS INVENTORY OF ATMOSPHERIC  
POLLUTANTS FROM FIXED STATIONARY SOURCES  
AND FUEL SERVICE STATIONS IN THE URBAN AREA OF  
THE MUNICIPALITY OF SANTIAGO DE CALI - YEAR  
2017**

**NEFTALÍ JIMÉNEZ RESTREPO**

INGENIERO AMBIENTAL. Esp.

Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Química  
Manizales, Colombia  
Año 2019



**INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS POR  
FUENTES ESTACIONARIAS PUNTUALES Y ESTACIONES  
DE SERVICIO DE COMBUSTIBLE EN EL ÁREA URBANA  
DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI – AÑO BASE  
2017**

**NEFTALÍ JIMÉNEZ RESTREPO**

INGENIERO AMBIENTAL. Esp.

e-mail: nejimenezre@unal.edu.co; neftalijimenez@gmail.com

Trabajo de grado como requisito para optar al título de:

**Magister en Ingeniería Ambiental**

Director:

Ph.D. Carlos Mario González

Co-Directora:

Ph.D. Beatriz Helena Aristizábal Zuluaga

Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Química  
Manizales, Colombia

Año 2019

## Lista de Siglas y abreviaturas

Siglas y abreviaturas		Símbolos	
Término	Significado	Término	Significado
<i>DAGMA</i>	Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente	<i>IDEAM</i>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<i>AMVA</i>	Area Metropolitana del Valle de Aburrá	<i>PM</i>	Material Particulado
<i>CO</i>	Monóxido de carbono	<i>PM<sub>10</sub></i>	Material particulado menor a 10 micrómetros de diámetro
<i>CO<sub>2</sub></i>	Dióxido de carbono	<i>PM<sub>2.5</sub></i>	Material particulado menor a 2.5 micrómetros de diámetro
<i>CH<sub>4</sub></i>	Metano	<i>SO<sub>2</sub></i>	Dióxido de azufre
<i>C<sub>6</sub>H<sub>6</sub></i>	Benceno	<i>SO<sub>x</sub></i>	Óxidos de azufre
<i>HCT</i>	Hidrocarburos totales	<i>T</i>	Temperatura
<i>Hg</i>	Mercurio	<i>MAVDT</i>	Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. Actualmente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)
<i>H<sub>2</sub>O</i>	Agua	<i>TSP</i>	Partículas Suspensas Totales
<i>E</i>	Emission	<i>GN</i>	Gas Natural
<i>CONPES</i>	Consejo Nacional de Política Económica y Social	<i>OMS</i>	Organización Mundial de la Salud
<i>N<sub>2</sub></i>	Nitrógeno	<i>ppm</i>	Partes por millón
<i>NH<sub>3</sub></i>	Amonio	<i>SVCASC</i>	sistema de Vigilancia y Control de la calidad del aire de Santiago de Cali
<i>NO<sub>x</sub></i>	Óxidos de nitrógeno	<i>IDESC</i>	Infraestructura de Datos Espaciales de Santiago de Cali
<i>FE / EF</i>	Factor de emisión	<i>EDS</i>	Estación de Servicio de Combustible
<i>N<sub>2</sub>O</i>	Óxido nitroso	<i>COV</i>	Compuestos Orgánicos Volátiles
<i>FNL</i>	Final Analysis	<i>OPS</i>	Organización Panamericana de la Salud
<i>GEI</i>	Gases efecto invernadero	<i>THC</i>	Total Hydrocarbons
<i>O<sub>3</sub></i>	Ozono troposférico	<i>USA</i>	United States of America
<i>Pb</i>	Plomo	<i>POT</i>	Plan de Ordenamiento Territorial
<i>PCDD/Fs</i>	Dioxinas y Furanos	<i>SEMARNAT</i>	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<i>IE</i>	Inventario de emisiones		
<i>IE-1</i>	Informe de Emisiones		

---

# AGRADECIMIENTOS

---

Agradezco principalmente a Dios, por permitirme tener el privilegio de vivir y ser una herramienta para generar un cambio en este mundo.

A mis padres Hernán Jiménez Zapata y Margarita Lucía Restrepo Cano, pilares fundamentales en mi vida, a mis hermanos David H. Jiménez Restrepo y Patricia Jiménez Restrepo, por estar ahí siempre apoyándome y fortaleciendo mis ideas.

A Johanna Andrea Sastoque Gil, ya que por su amor, apoyo y confianza desde que inicie esta travesía, pude continuar aun cuando me veía sin ánimos y fuerzas.

A mi familia Restrepo, pues su amor, gracia, y alegría me hacen sentir siempre orgulloso de pertenecer a ellos.

A mi familia Jiménez (Gloria E. Escobar Jiménez y Julián Salazar), pues siempre me brindaron su apoyo incondicional en todo momento, haciendo mi estadía en su hogar la mejor de todas.

A la ingeniera Marlyn Olave Guapi, por su paciencia, consejos y sobre todo por esa humildad que siempre emana.

Al equipo de Gestión Ambiental Empresarial del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente – DAGMA, por el compromiso en el desarrollo de los operativos al sector empresarial de Cali, como estrategia para la recolección de la información necesaria para la elaboración de este inventario de emisiones atmosféricas.

Al ingeniero Carlos Mario González, mi director del trabajo de grado, y la docente Beatriz Helena Aristizábal Zuluaga co-directora del mismo, pues el apoyo, conocimiento y disposición de ambos fueron fundamentales en la orientación de este proyecto.

A la docente Adela Londoño por animarme a dar un paso más después de mi título de especialista.

A mis amigos de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, por hacer de Manizales y las clases en la U lo mejor, en especial a Vanessa Catalina Díaz Poveda mi amiga querida.



---

## RESUMEN

---

De acuerdo con informe de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire del 2010, en Colombia la contaminación en la atmósfera es ocasionada principalmente por el uso de combustibles fósiles (líquidos, sólidos y gaseosos). Sumado a esto el crecimiento acelerado de la población en las principales ciudades demanda un crecimiento similar en el sector industrial y de servicios, lo que conlleva a hacer un mayor uso de éstos como insumo para el desarrollo de la nación. Con la aprobación de la ley 164 de 1994, en su Artículo 4, Colombia se compromete a elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar los inventarios nacionales de las emisiones antropogénicas por las fuentes; sin embargo, en el país las emisiones de contaminantes generadas a la atmósfera en su mayoría no son inventariadas. Tan solo 3 ciudades principales en el territorio nacional (Bogotá, Medellín y Cali) han elaborado y publicado sus inventarios de emisiones atmosféricas en el portal del Sistema de Información Ambiental de Colombia – SIAC permitiendo conocer el estado de las emisiones en sus territorios, lo que permite generar políticas en caminadas a la prevención y control en la calidad del aire.

Con el desarrollo de este trabajo se actualizó el inventario de emisiones atmosféricas por fuentes estacionarias puntuales y estaciones de servicio de combustible en el área urbana del municipio de Santiago de Cali – año base 2017, estableciéndose una herramienta dinámica (base de datos) que permitirá la actualización continua del inventario, estimando así las emisiones de contaminantes de gran importancia para la salud humana y el ambiente (gases de efecto invernadero y contaminantes criterio).

Como resultado de las estimaciones, se logró determinar que los contaminantes que más se emiten a la atmósfera por fuentes estacionarias puntuales son principalmente: CO<sub>2</sub> (152590,65 ton/año), COV (5163,7 ton/año), NO<sub>x</sub> (124,65 ton/año), CO (108,35 ton/año), SO<sub>x</sub> (39,08 ton/año) y PM<sub>10</sub> (29,03 ton/año). Asimismo, las fuentes difusas (EDS) emitieron a la atmósfera para el año 2017 un total de 84,6 toneladas de COV.

**Palabras claves:** inventarios de emisión; fuentes estacionarias puntuales; estación de servicio; factores de emisión, contaminantes criterio, gases de efecto invernadero.



---

## ABSTRACT

---

According to the 2010 Pollution Prevention and Control Policy report, pollution in the atmosphere in Colombia is mainly caused by the use of fossil fuels (liquid, solid and gaseous). Therefore, the accelerated growth of population in the main cities, demands a similar growth in the industrial and services sectors, which implies a greater energy consumption for the nation development. With the approval of the law 164 of 1994, in its Article 4, Colombia undertakes to prepare, periodically update, publish and facilitate national emission inventories of anthropogenic sources; however, the emissions of pollutants to the atmosphere in the country are mostly not reported. Only 3 main cities (Bogota, Medellín and Cali) in the country have prepared and published their atmospheric emission inventories in the portal of the Environmental Information System of Colombia - SIAC, allowing to know the status of the emissions in their territories and therefore to generate policies for prevention and control of air quality.

The aim of this work was to update the atmospheric emissions inventory from stationary sources and fuel service stations in the urban area of the municipality of Santiago de Cali – with 2017 as base year; establishing a dynamic tool (database) that will allow the continuous updating of the inventory, and the estimation of pollutant fluxes of great importance for human health and the environment (criteria pollutants, greenhouse gases, and volatile compounds).

As a result of the estimations, it was determined that the pollutants most frequently emitted to the atmosphere by stationary sources are mainly CO<sub>2</sub> (152590.65 ton / year), VOC (5163.7 ton / year), NO<sub>x</sub> (124.65). ton / year), CO (108.35 tons / year), SO<sub>x</sub> (39.08 tons / year) and PM<sub>10</sub> (29.03 tons / year). Likewise, the diffuse sources (EDS) emitted to the atmosphere a total of 84.6 tons of VOC for the year 2017.

**Keywords:** emission inventories; stationary point sources; service station; emission factors, criteria pollutants, greenhouse gases.



---

# TABLA DE CONTENIDO

---

<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
<b>ESTRUCTURA DE LA TESIS.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO 2 - METODOLOGÍA.....</b>	<b>26</b>
2.1    Planeación del Inventario.....	27
2.2    Identificación de las fuentes estacionarias puntuales .....	28
2.3    Recopilación de la información .....	29
2.4    Técnicas de estimación de las emisiones .....	33
<b>CAPÍTULO 3 - RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>41</b>
3.1    Diseño de la Base de Datos .....	41
3.2    Establecimientos y fuentes inventariadas .....	43
3.3    Emisiones Estimadas para el Sector Industrial y de Servicios.....	50
3.4    Emisiones estimadas para las estaciones de servicio de combustible – EDS .....	61
3.5    Comparación de emisiones de COV entre fuentes estacionarias puntuales y DIFUSAS (EDS) 65	
<b>CAPÍTULO 4 - CONCLUSIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>73</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>86</b>



---

## LISTADO DE FIGURAS

---

Figura 1-1. Distribución de las 22 Comunas de Santiago de Cali.....	24
Figura 2-1. Etapas metodológicas para la elaboración del inventario de emisiones .....	26
Figura 2-2. Fuentes de información utilizadas en la elaboración del inventario.....	30
Figura 2-3. Métodos de llenado de los tanques subterráneos de almacenamiento de combustible..	39
Figura 3-1. Cobertura establecida para la elaboración del inventario de emisiones con la ubicación de las empresas objeto de estudio. ....	44
Figura 3-2. Distribución porcentual por tipo de fuentes estacionarias puntuales – año base 2017..	45
Figura 3-3. Aporte porcentual de fuentes estacionarias puntuales por sector industrial al inventario - año base 2017 .....	46
Figura 3-4. Distribución de las estaciones de servicio de combustible en el área urbana del Municipio de Santiago de Cali – 2017.....	48
Figura 3-5. Distribución espacial de las fuentes difusas inventariadas en las 22 comunas del área urbana del municipio de Santiago de Cali, año base 2017.....	49
Figura 3-6. Aporte porcentual a las emisiones según el tipo de industria.....	51
Figura 3-7. Aporte porcentual de cada comuna al total de las emisiones generadas por fuentes estacionarias puntuales del municipio de Santiago de Cali - 2017 .....	54
Figura 3-8. Aporte porcentual de cada actividad industrial al total de las emisiones generadas por fuentes estacionarias puntuales del municipio de Santiago de Cali - 2017.....	54
Figura 3-9. Consumo de combustibles y sus emisiones de CO <sub>2</sub> por las fuentes estacionarias puntuales en el año 2017.....	55
Figura 3-10. Distribución espacial de las emisiones de PM <sub>10</sub> en las comunas de Santiago de Cali - año base 2017.....	58
Figura 3-11. Distribución espacial de las emisiones de CO en las comunas de Santiago de Cali - año base 2017.....	59
Figura 3-12. Distribución de las emisiones de CO <sub>2</sub> en las comunas de Santiago de Cali - año base 2017.....	60
Figura 3-13. Aporte de COV por comunas por venta de gasolina corriente - 2017.....	63
Figura 3-14. Aporte de COV por venta de combustible diésel-ACPM – 2017.....	63
Figura 3-15. Distribución espacial de las emisiones de COV por comuna en la ciudad de Santiago de Cali - año base 2017.....	64

---

Figura 3-16. Aporte de COV por fuentes estacionarias puntuales y difusas en el área urbana del municipio de Santiago de Cali – 2017. ....	65
---	----

---

## LISTADO DE TABLAS

---

Tabla 1-1. Resultados de los recientes inventarios de emisiones provenientes de fuentes estacionarias puntuales y móviles en Bogotá.....	19
Tabla 1-2: Resultados de los inventarios de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, años base 2011 y 2013.....	20
Tabla 1-3. Resultados del inventario de emisiones atmosféricas de Manizales – año base 2014. ...	21
Tabla 1-4. Inventarios de emisiones atmosféricas realizados en la ciudad de Santiago de Cali a 2017.....	22
Tabla 2-1. Características de los enfoques para la elaboración de inventarios de emisiones. ....	27
Tabla 2-2. Ficha técnica del inventario de emisiones atmosféricas. ....	28
Tabla 2-3. Información necesaria para la elaboración del inventario de emisiones.....	29
Tabla 2-4. Información de las encuestas para estaciones de servicio de combustible. ....	31
Tabla 2-5. Estructura de la base de datos para las fuentes estacionarias puntuales difusas. ....	32
Tabla 2-6: Factores de emisión utilizados para la elaboración del inventario de emisiones – año base 2017. ....	34
Tabla 2-7. Factores de emisión evaporativas de las operaciones de las estaciones de servicio de gasolina. Fuente (EPA, 2008). ....	39
Tabla 3-1. Descripción general de la conformación de la base de datos para fuentes estacionarias puntuales. ....	41
Tabla 3-2. Descripción general de la conformación de la base de datos para fuentes difusas (estaciones de servicio) .....	42
Tabla 3-3. Número de fuentes estacionarias puntuales por tipo de fuente - 2017. ....	43
Tabla 3-4. Características principales de los últimos inventarios oficiales desarrollados a la fecha para la ciudad de Santiago de Cali y el presente estudio académico. ....	46
Tabla 3-5. Número de EDS por comuna.....	47
Tabla 3-6. Consolidado de emisiones por fuentes estacionarias puntuales asociadas al tipo de industria en el municipio de Santiago de Cali – año base 2017 .....	50
Tabla 3-7. Resultados de los inventarios de emisiones atmosféricas de la ciudad de Santiago de Cali.....	52
Tabla 3-8. Consolidado de emisiones por fuentes estacionarias puntuales asociadas a las 22 comunas del municipio de Santiago de Cali – año base 2017. ....	53

---

Tabla 3-9. Aporte de contaminantes por tipo de combustibles en el presente estudio - año base 2017. ....	55
Tabla 3-10. Consolidado de consumo de combustibles por industria en el año 2017. ....	56
Tabla 3-11. Distribución de las fuentes estacionarias puntuales en las comunas de Santiago de Cali - año base 2017. ....	57
Tabla 3-12. Despacho de combustibles en Santiago de Cali – año 2017.....	61
Tabla 3-13. Aporte de COV por comunas – 2017. ....	62
Tabla 3-14. Comparación de las estimaciones de COV generadas por las EDS para los años 2011 y 2017 en Santiago de Cali. ....	66
Tabla 3-15. consolidado de resultados de los últimos inventarios nacionales y el presente estudio. ....	67

# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

---

Actualizar el inventario de emisiones atmosféricas por fuentes estacionarias puntuales y estaciones de servicio de combustible en el área urbana del municipio de Santiago de Cali – año base 2017.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

---

1. Establecer una herramienta dinámica (base de datos) que se articule con el Sistema de Vigilancia y Control de la Calidad del Aire de Santiago de Cali – SVCASC, permitiendo la estimación y consulta del inventario de emisiones propuesto y futuras actualizaciones del mismo.
2. Estimar las emisiones totales anuales de contaminantes criterio, compuestos orgánicos volátiles y gases de efecto invernadero, generados por las fuentes estacionarias puntuales y estaciones de servicio de combustible líquido en el área urbana del municipio de Santiago de Cali.

---

## ESTRUCTURA DE LA TESIS

---

La estructura de este trabajo académico está conformada por cuatro capítulos. El primero muestra la introducción general y planteamiento del problema propuesto, donde se detallan las inquietudes a las que se desea dar solución. En el segundo y tercer capítulo se incluyen aspectos técnicos como la metodología utilizada para la estimación de inventarios de emisiones y los resultados obtenidos para la ciudad de Santiago de Cali. Por último, en el cuarto capítulo se muestran las conclusiones del trabajo realizado, adicionalmente se establecen recomendaciones para trabajos futuros.

El desarrollo del trabajo académico tiene la finalidad de generar una herramienta dinámica para la estimación de los diferentes contaminantes que se emiten a la atmósfera por fuentes estacionarias asociadas tanto al consumo de combustibles fósiles, como los diferentes procesos productivos en los sectores de servicios, industria y comercio de la ciudad de Santiago de Cali. Las actividades o sectores evaluados fueron seleccionadas de acuerdo con los resultados que se presentaron en los dos inventarios de emisiones atmosféricas elaborados para la ciudad el primero en el año 2012, y el más actualizado presentado en el año 2018, (Alcaldía de Santiago de Cali & Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente [DAGMA], 2012) (Alcaldía de Santiago de Cali & Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente [DAGMA], 2018), asimismo incluir aquellos sectores que no fueron tenidos en cuenta en el desarrollo de dichos inventarios, como es el caso de las estaciones de servicio de combustibles, las cuales aportan una emisión de contaminantes a la atmósfera asociada a compuestos orgánicos volátiles - COV. Es importante mencionar que el sector automotor no fue tenido en cuenta para el desarrollo de este trabajo, debido a la alta complejidad en la toma y recepción de la información necesaria para realizar las estimaciones correspondientes de los contaminantes que se generan por esta actividad.

El resultado de este trabajo permitirá a la ciudad de Santiago de Cali contar con una herramienta dinámica que reflejará cual es el aporte de contaminación a la atmósfera que generan los sectores evaluados, con lo cual se podrán establecer políticas, por ejemplo, de reducción o cambio de combustibles actuales a combustibles o tecnologías más limpias, lo que garantizaría una mejora en la calidad del aire en la ciudad.

# CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

---

La necesidad de controlar e inventariar las emisiones de contaminantes a la atmósfera se remonta al año de 1979, año en el que se desarrolló el Convenio de Ginebra sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Gran Distancia. La contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia la define el convenio como: la liberación, directa o indirecta, de sustancias a la atmósfera producto de la actividad humana, que tienen efectos perjudiciales sobre la salud humana y el medio ambiente en otro país. Como resultado del Convenio de Ginebra todos los países miembros de la Unión Europea se comprometieron a trabajar en conjunto para limitar, reducir e impedir gradualmente las descargas de contaminantes atmosféricos, con el fin de combatir la contaminación transfronteriza resultante (EUR-Lex, 2016).

- Posterior al Convenio de Ginebra, se desarrollaron 8 protocolos en virtud de este, todos enmarcados en vigilar, evaluar, reducir y/o eliminar las emisiones de contaminantes a la atmósfera, a continuación, se menciona cada uno de estos:
- Protocolo de 1984 - sobre la financiación a largo plazo del Programa de cooperación para la vigilancia continua y la evaluación del transporte a gran distancia de contaminantes atmosféricos en Europa (EMEP);
- Protocolo de 1985 - sobre la reducción de las emisiones de azufre o sus flujos transfronterizos al menos un 30 %;
- Protocolo de 1988 relativo a la lucha contra las emisiones de óxidos de nitrógeno o sus flujos transfronterizos;
- Protocolo de 1991 sobre la lucha contra las emisiones de compuestos orgánicos volátiles o sus flujos transfronterizos;
- Protocolo de 1994 relativo a la reducción de las emisiones de azufre;
- Protocolo de 1998 en materia de metales pesados;
- Protocolo de 1998 sobre contaminantes orgánicos persistentes;
- Protocolo de 1999 para luchar contra la acidificación, la eutrofización y el ozono troposférico (también denominado el Protocolo de Gotemburgo).

El 22 de marzo de 1985 gracias a la formalización del Convenio de Viena sobre la Protección de la Capa de Ozono, se estableció un mecanismo de cooperación internacional dirigido a la toma de medidas para proteger la capa de ozono. De conformidad con las disposiciones del Convenio de Viena, en el mes de septiembre de 1987, se crea el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias

que agotan la capa de ozono. El objetivo principal se enmarcó en la protección de la capa de ozono mediante la toma de medidas para el control de la producción mundial y el consumo de sustancias que la agotan (Naciones Unidas, 2018).

Pero es solo con la entrada en vigor de lo propuesto en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) el 21 de marzo de 1994, que se propone como objetivo la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antrópicas peligrosas en el sistema climático. Éste exige a los países miembros de las Naciones Unidas, elaborar, actualizar, publicar y facilitar periódicamente, inventarios nacionales de las emisiones antrópicas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, (Naciones Unidas, 1992).

La Organización Panamericana de la Salud – OPS, afirma que las Américas es la región más urbanizada en el mundo, lo cual representa una demanda elevada de bienes y servicios (consumo de combustibles, transporte, movilidad), lo que conlleva a una mayor contaminación de aire. Por su parte la organización mundial de la salud – OMS, estima que una de cada nueve muertes a nivel mundial es resultado de dicha contaminación, siendo el material particulado ( $PM_{10}$  o menor) el contaminante más relevante para la salud. Los principales contaminantes atmosféricos regulados en la región son  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$ , Ozono y  $SO_2$  (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2019).

De acuerdo con lo establecido en las Guías para la Calidad del Aire desarrolladas por la OMS, las principales fuentes de emisiones en muchas ciudades de países en desarrollo son los vehículos viejos y las fuentes industriales como centrales eléctricas, ladrilleras, fábricas de cemento entre otras. Su contribución relativa a la contaminación del aire se podría determinar mediante inventarios de emisiones atmosféricas elaborados a partir de factores de emisión (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2004).

Uno de los ejemplos de estimación de emisiones por fuentes estacionarias en ciudades de Latinoamérica, es el inventario de emisiones de fuentes fijas en la cuenca atmosférica de la ciudad de Pisco- Perú. En el año 2005, la Dirección General de Salud Ambiental DIGESA, presentó los resultados del estudio que evaluó las fuentes puntuales y de área, arrojando como resultado que el contaminante más abundante en peso fueron las partículas totales en suspensión (PTS), con una cantidad emitida a la atmósfera de 7053 ton/año, debido a los procesos de combustión en la zona de estudio. Como segundo mayor contaminante emitido a la atmósfera en la ciudad de Pisco se liberaron al año un total de 6209 toneladas de dióxido de azufre ( $SO_2$ ) (Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA], 2005).

En el año de 1994 Colombia ratificó su compromiso con los objetivos establecidos en la “Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”, desarrollada en Nueva York el 9 de mayo de 1992, mediante la expedición de la Ley 164, la cual en su Artículo 4 establece:

- a) Elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar a la Conferencia de las Partes, de conformidad con el artículo 12, inventarios nacionales de las emisiones antropogénicas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, utilizando metodologías comparables que habrán de ser acordadas por la Conferencia de las Partes (Congreso de la Republica de Colombia, 1994).

En Colombia, la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire se orienta por los principios fundamentales consagrados en la Constitución Nacional en la Ley 99 de 1993; por lo anterior y con la entrada en vigencia del Decreto 948 de 1995 se fija el reglamento de protección y control de la calidad del aire, el cual estableció las normas y principios generales para la protección atmosférica, los mecanismos de prevención, control y atención de sucesos por contaminación del aire generada por fuentes contaminantes fijas (estacionarias, difusas y de área) o móviles, además de las directrices para la fijación de las normas de calidad del aire o niveles de inmisión y las normas básicas para la fijación de los estándares de emisión y descarga de contaminantes a la atmósfera (Ministerio del Medio Ambiente, 1995).

El artículo 2 del Decreto 948 de 1995, define lo siguiente:

- **EMISIÓN:** es la descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de éstos, proveniente de una fuente fija o móvil.
- **FUENTE FIJA:** es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.
- **FUENTE FIJA PUNTUAL:** es la fuente fija que emite contaminantes al aire por ductos o chimeneas.
- **FUENTE FIJA DISPERSA O DIFUSA:** es aquella en que los focos de emisión de una fuente fija se dispersan en un área, por razón del desplazamiento de la acción causante de la emisión, como en el caso de las quemas abiertas controladas en zonas rurales.
- **ÁREA-FUENTE:** es una determinada zona o región, urbana, suburbana o rural que, por albergar múltiples fuentes estacionarias puntuales de emisión, es considerada como un área especialmente generadora de sustancias contaminantes del 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. (Ministerio del Medio Ambiente, 1995, Art. 2)

Por lo anterior, para lograr controlar y prevenir las emisiones contaminantes a la atmósfera generadas por fuentes estacionarias y móviles, era importante para el país establecer y adoptar estándares de emisión admisibles de los contaminantes al aire, estableciendo procedimientos y especificaciones técnicas necesarias para su medición y monitoreo. Es por ello que años más adelante, el 05 de junio de 2008, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT - decreta la Resolución 909 de 2008, la cual estableció las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes estacionarias puntuales. No obstante, como complemento a lo dispuesto en el Decreto 948 de 1995, el MAVDT establecería la Resolución 610, el 24 de marzo de 2010, hoy derogada por la Resolución 2254 de 2017, la cual adopta en el territorio nacional la norma de calidad del aire, así como también los niveles máximos permisibles de los contaminantes criterio: material particulado ( $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$ ), dióxido de azufre ( $SO_2$ ), dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), ozono troposférico ( $O_3$ ) y monóxido de carbono (CO), así como los niveles máximos permisibles para seis (6) contaminantes no convencionales con efectos carcinogénicos. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2017).

Con la entrada en vigencia de la normatividad en calidad del aire y las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes estacionarias puntuales, el MAVDT como autoridad ambiental nacional, estipuló la necesidad de elaborar protocolos que garantizaran que la calidad de la información que empezaría a reportarse en el país fuera correcta y precisa, asociada tanto a calidad del aire (inmisión) como a los contaminantes que se emiten a la

atmósfera (emisión). Por tal razón, mediante la Resolución 650 de 2010 se reglamentó el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire en el territorio nacional y la Resolución 760 de 2010 reglamentó el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica generada por fuentes fijas, como herramientas para que las autoridades ambientales, diseñaran sistemas de vigilancia de calidad del aire y generaran programas de vigilancia, seguimiento y control al sector industrial, cumpliendo con los más altos estándares de calidad. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT], 2010)

El Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, en su Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, establece que los inventarios de emisiones atmosféricas son un instrumento para la gestión de la calidad del aire, que permite conocer las emisiones contaminantes y las fuentes emisoras en un área geográfica específica y un periodo de tiempo determinado (normalmente un año), identificando las principales fuentes de contaminación dentro de la zona de estudio. Para este proceso, el desarrollo de una base de datos es fundamental en la estructuración de un inventario de emisiones, lo anterior dependiendo de la cantidad de fuentes identificadas. La información contenida en un inventario de emisiones permite planificar los sistemas de gestión, vigilancia y control de la calidad del aire. De igual forma el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes estacionarias puntuales, precisa que la información de los estudios de emisiones atmosféricas es fundamental para evaluar la necesidad de la instalación de sistemas de control de emisiones, así como también para actualizar el inventario de emisiones por fuentes estacionarias puntuales. Dicha actualización se debe realizar periódicamente, ya que se pueden presentar cambios en el uso de combustibles y procesos, así como nuevas fuentes estacionarias puntuales a incluir en el inventario (MAVDT, 2010).

Por lo anterior, los inventarios de emisiones atmosféricas permiten conocer la cantidad y tipo de fuentes existentes, los contaminantes y la cantidad emitida, en un área geográfica y en un intervalo de tiempo determinados. Estos a su vez permiten a las autoridades ambientales generar estrategias para la prevención y control de la contaminación, y constituyen un insumo para el diseño de sistemas de monitoreo y control de emisiones como lo son los Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MINAMBIENTE], 2018).

El pasado 22 de julio de 2018, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible presentó la Guía para la elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas, documento de referencia para que las autoridades ambientales, entes territoriales y demás actores de interés, fortalezcan la capacidad en la toma de decisiones para la protección del medio ambiente. (MINAMBIENTE, 2018).

- **INVENTARIOS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS REPORTADOS A NIVEL NACIONAL**

El Sistema de Información Ambiental de Colombia SIAC, reporta en su página web oficial, que al año 2017 solo tres ciudades del territorio nacional (Bogotá, Medellín y Cali) han reportado sus inventarios de emisiones atmosféricas. Según el SIAC, el aporte de las emisiones de material particulado en las ciudades de Bogotá y Medellín provino de fuentes móviles principalmente con un 58% seguido de las fuentes estacionarias puntuales industriales con un 42% restante. Por otro lado la ciudad de Santiago de Cali, refleja un panorama distinto, con un aporte de material particulado del 41% por las fuentes móviles y un 59% por fuentes estacionarias puntuales a 2011, año base del inventario reportado (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia [MADS], 2019).

A nivel nacional se han desarrollado varios inventarios de emisiones atmosféricas, principalmente en los grandes centros urbanos como Bogotá, Cali y Medellín. En ciudades intermedias como Manizales, se destaca el inventario de emisiones por fuentes móviles y estacionarias puntuales realizado por González et al. (2017). Aspectos importantes de algunos inventarios realizados en ciudades de Colombia se resumen a continuación:

### Bogotá

Para el año 2009 en la ciudad de Bogotá, se elaboró como parte del convenio de ciencia y tecnología número 347 de 2006, entre la universidad de los Andes y la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá (SDA), el inventario de emisiones provenientes de fuentes estacionarias puntuales y móviles (Año base 2009), en el desarrollo del estudio solo se determinaron las emisiones de los contaminantes PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> por fuentes industriales. En el caso de las fuentes móviles, se evaluaron contaminantes como NO<sub>x</sub>, PM<sub>2,5</sub>, CO, CO<sub>2</sub> y THC. Los resultados se describen en la tabla 1-1. El inventario hizo parte del plan decenal de descontaminación de Bogotá ejecutado en el mismo año, cuyo objetivo fue la elaboración de estudios y planes que contribuyeran a la mejora en los procesos de monitoreo y mejoramiento de la calidad del aire en Bogotá, diseñando políticas encaminadas al control de los factores que generan contaminación a la atmósfera. (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2009).

Para el año 2017, la Universidad de la Salle en colaboración con la Universidad Piloto de Colombia, la Secretaría Distrital de Ambiente y la Universidad de Florida (USA), presento los resultados del inventario completo de emisiones atmosféricas para la modelación de la calidad del aire en la megaciudad de Bogotá – año base 2012, en el cual se evaluaron fuentes industriales, móviles, comerciales, biogénicas y polvo resuspendido. En este estudio se determinó que las fuentes móviles son las que mayor aporte generan de PM<sub>10</sub> (58%), CO<sub>2</sub> (80%), CO (99%), NO<sub>x</sub> (95%) y SO<sub>2</sub> (85%) del total de las emisiones estimadas, además se concluyó que el sector industrial y comercial generan en menor proporción emisiones de PM<sub>10</sub> (42%), CO<sub>2</sub> (20%), CO (1%), NO<sub>x</sub> (5%) y SO<sub>2</sub> (15%) (Pachón, et al., 2018) en la tabla 1-1 se describen los resultados obtenidos en dicho inventario.

**Tabla 0-1. Resultados de los recientes inventarios de emisiones provenientes de fuentes estacionarias puntuales y móviles en Bogotá**

contaminantes	Universidad de los andes – año base 2009 (ton/año)		Universidad de la Salle – año base 2012 (ton/año)		
	Fuentes estacionarias puntuales	Fuentes móviles	Fuentes estacionarias puntuales	Fuentes comerciales	Fuentes móviles
PM <sub>10</sub>	1400	-	992	115	1521
NO <sub>x</sub>	2600	30000	1612	60	51777
SO <sub>x</sub>	2200	-	1540	171	11982
PM <sub>2,5</sub>	-	1100	-	-	-
CO	-	450000	674	2276	661495
CO <sub>2</sub>	-	480000	862810	32415	7379087
THC	-	60000	-	-	-

Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2009), (Pachón, et al., 2018).

## Medellín

En el año 2013, El área metropolitana del valle de aburrá publicó el informe final - Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2011- gracias al convenio de asociación No. 243 de 2012 realizado con las universidades: Nacional De Colombia, Pontificia Bolivariana y Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. En dicho inventario se evaluaron las fuentes móviles y fijas de la zona que comprende el Valle de Aburrá, con el cual, se logró determinar que los principales contribuyentes de contaminantes criterio en la zona de estudio eran los camiones, ver tabla 1.2. Con respecto a los resultados de las emisiones generadas por fuentes estacionarias puntuales, se identificó gracias al inventario, que los municipios con mayor densidad industrial fueron: Medellín con un 39% e Itagüí con un 22%. De las 1.373 fuentes estacionarias puntuales evaluadas en el inventario, los contaminantes emitidos en mayor proporción son: el CO con un 31,6%, seguido por los SO<sub>x</sub> con un aporte del 23,7% y por último los NO<sub>x</sub> con un 23,6% del total de las emisiones estimadas, ver la tabla 1-2. (Área Metropolitana del Valle de Aburrá [AMVA], 2013).

Asimismo, para el año 2015, el área metropolitana del Valle de Aburrá en convenio de asociación con la Universidad Pontificia Bolivariana No. CA315 de 2014, presentó el inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2013. En esta nueva actualización del inventario (elaborado en el año 2012), se incluyó como parte del mismo las fuentes de área. Para esta nueva categoría se estimaron las emisiones de contaminantes provenientes de evaporaciones industriales por compuestos orgánicos volátiles (COV), así como también las generadas por las estaciones de servicio de combustible (EDS). La estimación se llevó a cabo haciendo uso de los factores de emisión de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos - US EPA. (Área Metropolitana del valle de Aburrá [AMVA], 2015).

**Tabla 0-2: Resultados de los inventarios de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, años base 2011 y 2013.**

Contaminantes Criterio	Año base 2011		Año base 2013		
	Fuentes Móviles (ton/año)	Fuentes Estacionarias Puntuales (ton/año)	Fuentes Móviles (ton/año)	Fuentes Estacionarias Puntuales (ton/año)	Fuentes Difusas (ton/año)
CO	134050	2917,1	151117	3330	-
NO <sub>x</sub>	16211	2174	13462	2843,8	-
SO <sub>x</sub>	279	2189,8	283	2981,3	-
PM <sub>10</sub>	-	722,2	-	688,8	-
PM <sub>2,5</sub>	1116	303,7	1159	306,5	-
COV	11783	901,8	13978	1236,1	1736

Fuente: (AMVA, 2013) (AMVA, 2015).

## Manizales

Para el año 2014, la Corporación Autónoma Regional de Caldas – CORPOCALDAS, en convenio No. 130-2014 con la Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales (Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental, GTAIHA), publicó el informe Apoyo y Fortalecimiento de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire en la Ciudad de Manizales y Cuantificación de Emisiones Atmosféricas por Fuentes Móviles. En la tabla 1.3 se muestran los resultados obtenidos en el inventario. Del total de los contaminantes emitidos en la ciudad de Manizales y sus alrededores, las fuentes móviles aportan: 43396 ton/año de CO, 765 ton/año de PM<sub>10</sub> y 26 ton/año de SO<sub>x</sub>. Por el contrario, las fuentes estacionarias puntuales aportan: 219.1 ton/año de CO, 37.2 ton/año de PM<sub>10</sub> y 113.5 ton/año de SO<sub>x</sub>. (Corporación Autónoma Regional de Caldas [CORPOCALDAS], 2014).

**Tabla 0-3. Resultados del inventario de emisiones atmosféricas de Manizales – año base 2014.**

Contaminantes Criterio	Fuentes Móviles (Ton)	Fuentes Estacionarias Puntuales (ton/año)
CO	43396	219,1
CO <sub>2</sub>	454441	64077
NO <sub>x</sub>	4890	89.5
SO <sub>x</sub>	26	113,5
PM <sub>10</sub>	765	37.2
TSP	-	120,1
COV	9646	4.38

Fuente: (CORPOCALDAS, 2014).

## Municipio de Santiago de Cali

El grupo de producción más limpia de la facultad de ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana sede Cali, elaboró en el año 2004 el inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos convencionales en la zona de Cali-Yumbo, emitidas por las fuentes antropogénicas (año base 1997). La metodología usada para la estimación de las emisiones se fundamentó en los factores de emisión, considerando tres tipos de fuentes precursoras de las emisiones como son: las fuentes móviles, de área y puntuales. Como resultado del inventario se concluyó que la zona evaluada de Cali-Yumbo, emite a la atmósfera un total de 461794 toneladas al año de contaminantes criterio (ver tabla 1-4), determinando que la principal fuente de emisión son las fuentes móviles con un aporte del 80,4%, seguida de las fuentes de área con un 12,4% y por último las fuentes puntuales con un 7,2% del aporte. (Jaramillo, Nuñez, Ocampo, Pérez, & Portilla, 2004).

En el año 2010, los docentes Carlos Hernán Aponte Coronado, Juan Pablo Silva Vinazco y Santiago Laínbeatove de la Universidad Autónoma de Occidente – UAO, presentaron los resultados del proyecto denominado “Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos primarios de fuentes fijas puntuales en la Comuna 4 de la ciudad de Cali” año 2006”. La estimación de contaminantes primarios como PST, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO y COV (ver tabla 1-4), se realizó por factores de emisión logrando establecer que el sector que más impacto ambiental produce por generación de emisiones es el de fibras y textiles con un aporte de material particulado (PST) de 96 ton/año, seguido del sector metalmecánico y de artes gráficas con un aporte al año de 165 toneladas de COV. (Aponte Coronado, Silva Vinazco, & Lain Beatove, 2010).

En el año 2012, la Alcaldía de Santiago de Cali publicó el informe final: Fortalecimiento Tecnológico de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire y Evaluación de la Contaminación Atmosférica de la Ciudad de Santiago de Cali; dicho informe tuvo como objetivo principal la elaboración del inventario de emisiones atmosféricas (año base 2011) de fuentes estacionarias puntuales, dispersas, móviles y naturales. En el inventario se estimaron las concentraciones de los contaminantes: material particulado (PST, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Como resultado final, el inventario logró determinar que, en la ciudad de Santiago de Cali, el contaminante que más se emite a la atmósfera es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) con una emisión aproximada de 2534599 ton/año, generadas principalmente por las fuentes móviles, el segundo contaminante que más se emite en la ciudad es el monóxido de carbono (CO) con un total de 374512 ton/año emitido también por fuentes móviles. (Alcaldía de Santiago de Cali & Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente [DAGMA], 2012).

En el año 2018, la Alcaldía de Santiago de Cali publicó el informe final de actualización del inventario de emisiones de Santiago de Cali (año base 2017). Uno de los objetivos principales del informe fue actualizar el inventario de emisiones atmosféricas desarrollado en el año 2012, dentro de esta actualización se evaluaron fuentes estacionarias puntuales y móviles, estimándose concentraciones de contaminantes como: material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). De acuerdo con las estimaciones realizadas en la actualización del inventario, se determinó que las fuentes móviles son las principales precursoras de la contaminación atmosférica en la ciudad. Los contaminantes que se emite en mayor cantidad a la atmósfera por las fuentes móviles son: el monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) con aportes del 99,8% del total de las emisiones estimadas (3783389 ton/año y 60810 ton/año respectivamente), así mismo las fuentes estacionarias puntuales emitieron a la atmósfera un total de 551,9 ton/año de CO y 112,5 ton/año de COV. (Alcaldía de Santiago de Cali & Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente [DAGMA], 2018)

A continuación, se muestra la tabla 1-4, en la cual se resumen los valores de algunos contaminantes de interés evaluados en los últimos inventarios de emisiones atmosféricas realizados en la ciudad de Santiago de Cali a 2017, los valores de la tabla están expresados en toneladas/año.

**Tabla 0-4. Inventarios de emisiones atmosféricas realizados en la ciudad de Santiago de Cali a 2017.**

Inventarios de emisiones atmosféricas realizados en la ciudad de Santiago de Cali a 2017				
Contaminantes evaluados	Pontificia Universidad Javeriana – 1997 (ton/año)*	Universidad Autónoma de Occidente – 2006 (ton/año)**	DAGMA (K2 Ing.) – 2011 (ton/año)***	DAGMA (FULECOL) – 2017 (ton/año)****
SO <sub>x</sub>	16384,7	37,09	124,68	97,668
NO <sub>x</sub>	3784,0	41,17	170,73	691,260
CO	1288,0	17,17	71,45	551,871
COV	116,4	-	8,49	112,453
PM <sub>10</sub>	11466,4	107,71	11,02	53,457
CO <sub>2</sub>	-	-	84	115014,256
COV (EDS)	-	-	447,98	-

(\*) 1997, Se inventariaron fuentes móviles, de área y puntuales en la zona de Cali-Yumbo.

(\*) 2006, Se inventariaron fuentes fijas puntuales de la Comuna 4.

(\*\*\*) 2011, Se inventariaron fuentes puntuales, dispersas, móviles y naturales.

(\*\*\*\*) 2017, Se inventariaron fuentes puntuales y móviles.

Fuente: (Jaramillo et al., 2004), (Aponte et al., 2010), (DAGMA, 2012), (DAGMA, 2018).

## **Características del municipio de Santiago de Cali**

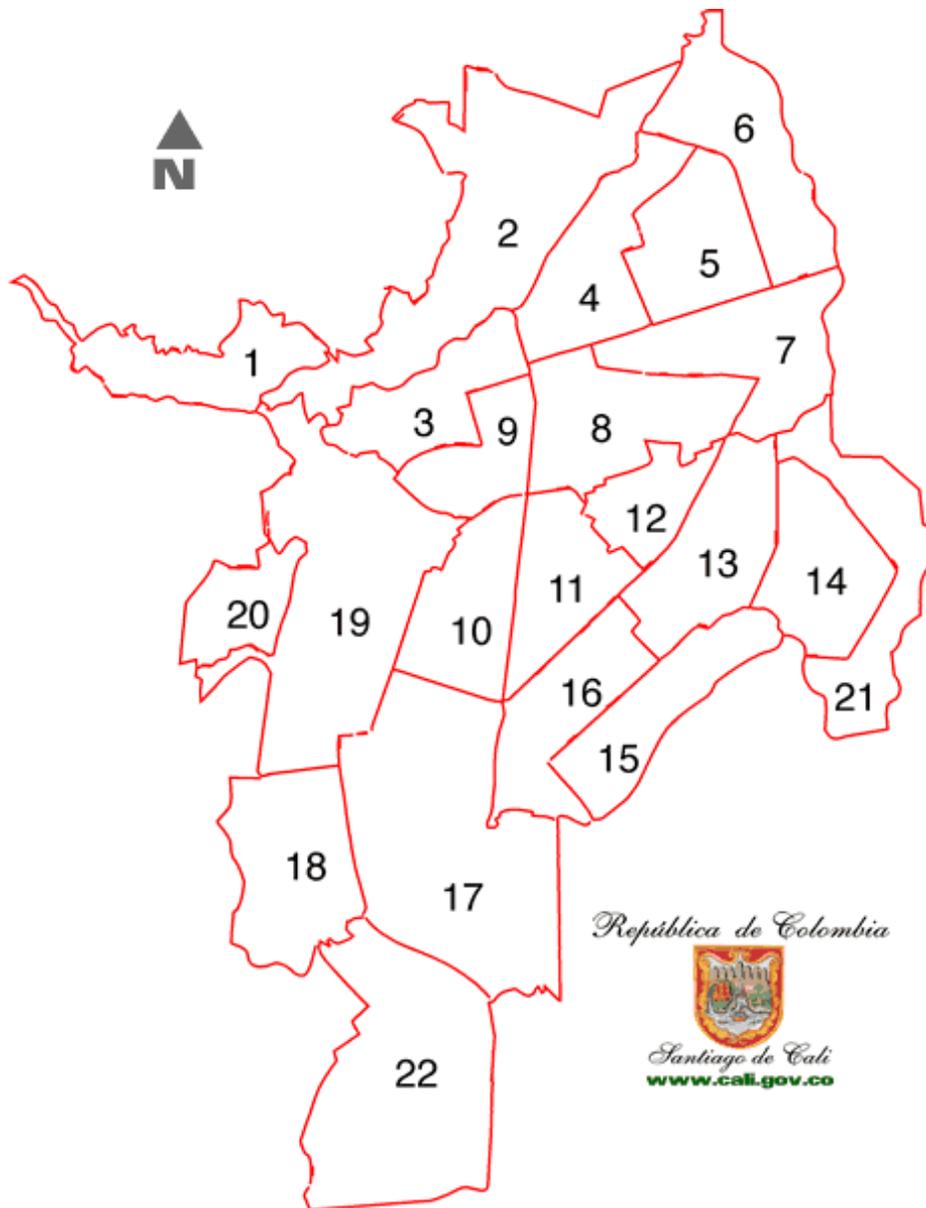
De acuerdo con lo reportado en el plan de ordenamiento territorial de Santiago de Cali – 2014, Cali es una de las capitales más contaminadas de Colombia en lo que respecta a la calidad del aire, por debajo de Bogotá, con condiciones similares a las reportadas en Medellín y superando a Barranquilla, Cartagena y Pereira (Alcaldía de Santiago de Cali - Plan de Ordenamiento Territorial [POT], 2014).

Por medio del Acuerdo 015 del 11 de agosto de 1988, se constituyó la sectorización del municipio de Santiago de Cali, donde se estableció que el área urbana de la ciudad la constituyen 20 comunas y el área rural 15 corregimientos. Sin embargo, el Acuerdo 010 del 10 de agosto de 1998, crea la Comuna 21. El Acuerdo 134 de agosto 10 de 2004 crea la Comuna 22 (POT, 2014). En la figura 1-1, se representa de la distribución espacial de las 22 comunas existentes en la ciudad de Santiago de Cali.

La ciudad de Santiago de Cali en el periodo comprendido entre los años 1990 – 1996, presentó 4 importantes grupos industriales: sector químico con un 22%, sector alimentos con el 19%, sector caucho con el 18% y por último el sector de imprentas y papel con el 9% del PIB municipal. La localización industrial tradicionalmente se ha concentrado en las comunas 4, 8, 9 y 10. Sin embargo, las pequeñas industrias se ubican en áreas residenciales, principalmente en las comunas 3, 4, 5 y 7. (Departamento Administrativo de Planeación Municipal - Cali, 2000)

En el año de 1999 el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente – DAGMA, realizó el diagnóstico ambiental del sector productivo de la ciudad de Santiago de Cali, donde informó que de las 22 comunas, la 3, 4 y 5 son las que presentan mayor número de fuentes estacionarias puntuales de emisiones atmosféricas. (Departamento Administrativo de Planeación Municipal - Cali, 2000)

A finales del año 2014, el municipio de Santiago de Cali presentó el nuevo Plan de Ordenamiento Territorial (Acuerdo No.0373 de 2014), en el cual establece que la contaminación emitida a la atmósfera es generada principalmente por fuentes estacionarias puntuales (industrias y residencias) y móviles (transporte automotor, aéreo, marítimo y fluvial), siendo el material particulado el contaminante local de mayor interés. De acuerdo con la información suministrada por el departamento administrativo de gestión del medio ambiente – DAGMA, las zonas con mayor concentración de emisiones se ubican en: la comuna 5 con un aporte del 83% por material particulado, la comuna 8 con un 72% por presencia de óxido de azufre y con un 53% de óxido de nitrógeno, contaminante que también se presenta en las comunas 4 y 5 (según los datos obtenidos del inventario de emisiones – año base 2011). Esta problemática se asocia a la presencia de sectores industriales dentro del perímetro urbano, impactando principalmente a las comunas mencionadas con anterioridad (POT, 2014).



**Figura 0-1. Distribución de las 22 Comunas de Santiago de Cali.**

Fuente: (Alcaldía de Santiago de Cali , s.f.)

Dando cumplimiento a lo establecido en el Plan de Acción de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire (MAVDT, 2010), el DAGMA publicó en el año 2013 su primer inventario oficial de emisiones a la atmósfera.

A la fecha, en el municipio de Santiago de Cali se han desarrollado tres inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos. El primero desarrollado en el año 2003, en este se estimaron las emisiones generadas por las fuentes móviles, de área y puntuales en la zona de Cali-Yumbo, en el segundo inventario elaborado en el año 2006, se inventariaron las fuentes estacionarias puntuales de la Comuna 4 y por último el año 2012 se estimaron las emisiones generadas por las fuentes estacionarias puntuales, dispersas, móviles y naturales de toda el área urbana de la ciudad, (Jaramillo et al., 2004), (Aponte et al., 2010), (DAGMA, 2012).

A pesar de que la ciudad cuenta con información de sus emisiones por fuentes estacionarias, se observa como estas no han sido actualizadas desde el año 2012. Sumado a esto, la autoridad ambiental DAGMA, no cuenta con una herramienta que le permita actualizar la estimación de las emisiones provenientes de fuentes estacionarias, y analizar los resultados comparando con inventarios de emisiones previos.

Es indispensable entonces que la ciudad cuente con un inventario de emisiones atmosféricas por fuentes estacionarias puntuales y difusas (EDS) de área, actualizado y administrado por la autoridad ambiental DAGMA. Éste permite tener la información detallada, organizada y cuantificada de las principales fuentes estacionarias que emiten contaminantes a la atmósfera, herramienta que aporta al fortalecimiento de los programas de vigilancia, seguimiento y control que lleva a cabo el DAGMA, autoridad ambiental de la ciudad de Santiago de Cali.

El desarrollo del presente trabajo tiene como objetivo actualizar el inventario de emisiones atmosféricas por fuentes estacionarias puntuales y estaciones de servicio de combustible – (EDS) en el área urbana del municipio de Santiago de Cali para el año base 2017, estimando las emisiones totales anuales de contaminantes criterio, compuestos orgánicos volátiles y gases de efecto invernadero. Para cumplir este objetivo se diseñó una herramienta dinámica (base de datos), que permita la estimación, consulta y futuras actualizaciones del mismo.

## CAPÍTULO 2 - METODOLOGÍA

Esta sección describe la metodología que se abordó para lograr la elaboración del inventario de emisiones atmosféricas por fuentes estacionarias puntuales y por estaciones de servicio de combustible (EDS) en el área urbana del municipio de Santiago de Cali. El procedimiento comprendió la creación de la base de datos y la estimación de las emisiones totales anuales haciendo uso de Factores de Emisión de la agencia para la protección del medio ambiente de los Estados Unidos, EPA por sus siglas en inglés, para los contaminantes: criterio, compuestos orgánicos volátiles y gases de efecto invernadero.

La metodología aplicada fue adoptada con base en dos guías desarrolladas para la elaboración de inventarios de emisiones:

- Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes estacionarias puntuales (primera edición), desarrollada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México en el año 2013 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2013).
- Guía para la Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas, desarrollada por la dirección de asuntos ambientales, sectorial y urbana del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS en el año 2017, publicada el 22 de julio de 2018. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2017a).

A continuación, se presenta en el esquema de la Figura 2-1, un resumen de las etapas metodológicas empleadas para alcanzar el desarrollo de los objetivos propuestos, dichas etapas fueron adoptadas de las dos guías antes mencionadas.

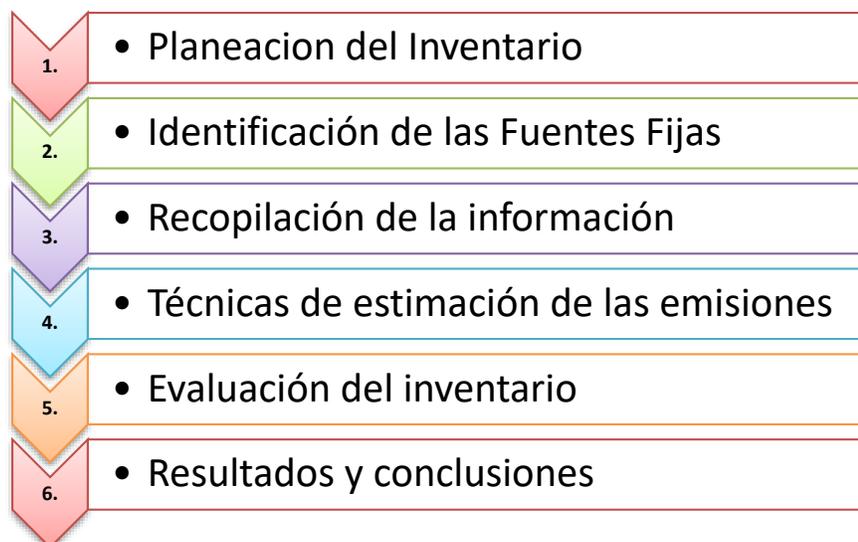


Figura 0-1. Etapas metodológicas para la elaboración del inventario de emisiones.

## 2.1 PLANEACIÓN DEL INVENTARIO

Un inventario de emisiones atmosféricas, es una herramienta que permite estimar las emisiones de una fuente de emisión (estacionaria, de área o móvil) en un periodo de tiempo determinado y un área de influencia establecida.

Según la Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes estacionarias puntuales, en la elaboración de inventarios de emisión existen dos enfoques o aproximaciones principales (ver tabla 2-1), que se relacionan con las escalas geográfica y temporal de la información disponible. Dichos enfoques son: arriba-abajo (top-down) y abajo-arriba (bottom-up). (SEMARNAT, 2013).

**Tabla 0-1. Características de los enfoques para la elaboración de inventarios de emisiones.**

Enfoques para la elaboración de inventarios de emisiones	
arriba-abajo (top-down)	abajo-arriba (bottom-up)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Información general (macro)</li> <li>• Nivel continente, país, departamento.</li> <li>• Consumos sectoriales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Información específica (micro)</li> <li>• Detallada: actividad industrial en un municipio, comuna o barrio.</li> <li>• Mediciones realizadas a las fuentes de emisión.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo anterior, para el desarrollo del inventario de emisiones atmosféricas por fuentes estacionarias puntuales y estaciones de servicio de combustible en el área urbana del municipio de Santiago de Cali, se utilizó el enfoque de abajo-arriba (bottom-up), ya que éste permite dividir la región de estudio en áreas geográficas más finas, como los territorios municipales (en este caso las 22 comunas de Santiago de Cali). En el proceso de este enfoque, la información específica se compila y se desarrolla para cada tipo de fuente de emisión (estacionarias, de área, móviles, etc.) considerando las distintas industrias, viviendas y vehículos, para finalmente obtener las estimaciones pertinentes de cada tipo de fuente de emisión evaluada. (SEMARNAT, 2013).

El propósito primordial en el desarrollo del inventario de emisiones, es conocer las tasas de emisión de los diferentes contaminantes al aire con sus respectivas fuentes emisoras, y de esta forma poder establecer desde la autoridad ambiental (DAGMA) políticas encaminadas a la prevención y control de la contaminación atmosférica en su territorio (Santiago de Cali).

En la elaboración de inventarios es importante establecer el periodo para el cual se desea calcular o estimar las emisiones, por esta razón se estableció como año base para su elaboración el periodo comprendido desde el 01 de enero hasta el 31 de diciembre del año 2017. Otro aspecto importante en el desarrollo de los inventarios de emisiones, es establecer la cobertura geográfica y la resolución espacial que tendrán, ya que con ello se busca delimitar el área de influencia donde se ubican las fuentes de emisión. Dicho lo anterior, el inventario se desarrolló en el área urbana del municipio de Santiago de Cali, la cual a su vez esta subdividida por 22 comunas (ver figura 1-1), siendo esta el área de jurisdicción del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente – DAGMA, quien actúa como autoridad ambiental de la ciudad. En la tabla 2-2 se detallan los principales componentes que se tuvieron en cuenta según el enfoque o aproximación seleccionada para elaborar el inventario (bottom-up).

La selección de los contaminantes se estableció de acuerdo con su impacto e importancia para el medio ambiente y la salud humana, teniendo en cuenta lo establecido en la Resolución 909 de 2008, la cual establece en sus artículos 4 y 6, los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire de acuerdo a la actividad industrial. Entre éstos se destacan los contaminantes criterio, los gases de efecto invernadero – GEI y los compuestos orgánicos volátiles – COV, este último por su papel en la generación de ozono troposférico.

**Tabla 0-2. Ficha técnica del inventario de emisiones atmosféricas.**

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
<b>Propósito</b>	Actualizar el inventario de emisiones atmosféricas como herramienta para la generación de políticas públicas encaminadas a la mejora de la calidad del aire en la ciudad
<b>Objetivos</b>	Elaborar una herramienta dinámica para la consolidación de la información y la estimación de las emisiones atmosféricas
<b>Cobertura geográfica</b>	Área urbana del municipio de Santiago de Cali
<b>Resolución espacial</b>	Las 22 comunas de la ciudad
<b>Resolución temporal</b>	Emisiones totales anuales, año base 2017
<b>Contaminantes evaluados</b>	Contaminantes criterio (CO, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub> ), compuestos orgánicos volátiles (COV) y gases de efecto invernadero (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O). Resolución 909 de 2008.
<b>Tipos de Fuentes</b>	Estacionarias puntuales y difusas (EDS)
<b>Técnica de estimación</b>	Factores de emisión y medición directa
<b>Registro</b>	Hoja de cálculo - Formato de Microsoft Excel

Fuente: Elaboración propia.

## 2.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES ESTACIONARIAS PUNTUALES

Las fuentes fijas que se incluyeron para la elaboración del inventario de emisiones atmosféricas fueron las fuentes estacionarias puntuales y las fuentes dispersas o difusas (estaciones de servicio). La importancia de estas fuentes radica en su número y distribución en el área de estudio.

Una de las maneras más sencillas y concretas de identificar las fuentes fijas que se incluyeron en el inventario fue haciendo uso de la legislación aplicable, para el caso de Colombia el Decreto 948 de 1995, así como también de la información reportada en el informe final que lleva por nombre: Fortalecimiento Tecnológico de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire y Evaluación de la Contaminación Atmosférica de la Ciudad de Santiago de Cali, cuyo objetivo principal fue la elaboración del inventario de emisiones atmosféricas (año base 2011), así como también lo establecido en el informe final de actualización del inventario de emisiones de Santiago de Cali (año base 2017), cuyo objetivo principal fue actualizar el inventario mencionado anteriormente.

Otro aspecto importante en la clasificación de las fuentes es la conducción o forma en cómo se emiten a la atmósfera los contaminantes, para las fuentes estacionarias puntuales se inventariaron solo las emisiones que son conducidas por ductos o chimeneas y para el caso de las fuentes difusas (EDS) se tuvieron en cuenta las emisiones generadas a la atmósfera producto de la evaporación de los combustibles en las estaciones de servicio, por las actividades tales como: el llenado de los

tanques de almacenamiento, almacenamiento permanente en los tanques y la venta de éstos a los vehículos automotores.

Lo anterior permite precisar esfuerzos en la manera como se recopila la información necesaria para la elaboración del inventario.

## 2.3 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

A continuación, se describe la manera como se abordó la recopilación y registro de la información necesaria para la elaboración del inventario y la estimación de las emisiones atmosféricas, garantizando que los datos y resultados obtenidos sean confiables.

La información a recolectar para la elaboración de un inventario de emisiones atmosféricas está condicionada al propósito de éste y los tipos de fuentes a evaluar. Si se diseña con fines administrativos (gestión de la calidad del aire), la información necesaria estará orientada a conocer los procesos generadores de las emisiones, así como también al tipo y uso de combustibles en dichos procesos. Por el contrario, si el propósito es para aplicarlo a modelos de calidad del aire, la información estará encaminada principalmente a conocer las características de la fuente emisora y su emisión. En la tabla 2-3 se describen las diferencias de información según el propósito del inventario:

**Tabla 0-3. Información necesaria para la elaboración del inventario de emisiones.**

Enfoque		De abajo hacia arriba		
Propósitos		Gestión de la calidad del aire		Aplicar a modelos de la calidad del aire
Tipo de fuentes estacionarias puntuales		Fuentes estacionarias puntuales	Fuentes difusas	Emisiones estacionarias (chimeneas)
Procesos		Combustión y no combustión	No combustión y fugitivas	
Datos de Identificación	Nombre o razón social	*	*	*
	Dirección	*	*	*
	NIT	*	*	*
Datos de la chimenea, combustibles y emisiones.	Código CIU	*	*	*(M)
	Tiempo de operación	*	*	*
	Consumo de combustible	*	*	*
	Numero de chimeneas	*		*
	Localización de las chimeneas	*		*
	Altura de la chimenea	*		*
	Diámetro de la chimenea	*		*
	Velocidad de salida del gas	*		*
	Temperatura de salida del gas	*		*
	Flujo volumétrico de salida del gas	*		*
	Concentración del contaminante	*		*
	Característica de los combustibles	*		*
Característica del equipo de	*		*	

Enfoque		De abajo hacia arriba		
Propósitos		Gestión de la calidad del aire		Aplicar a modelos de la calidad del aire
Tipo de fuentes estacionarias puntuales		Fuentes estacionarias puntuales	Fuentes difusas	Emisiones estacionarias (chimeneas)
Procesos		Combustión y no combustión	No combustión y fugitivas	
	combustión			
	Propiedades de las materias primas	* (A)	*(A)	
	Prácticas de operación	* (A)	* (A)	* (A)
	Eficiencia del equipo de control	*		*
	Información sobre procesos	*	*	*
	Uso de solventes	*	*	*
	Datos meteorológicos		*	*

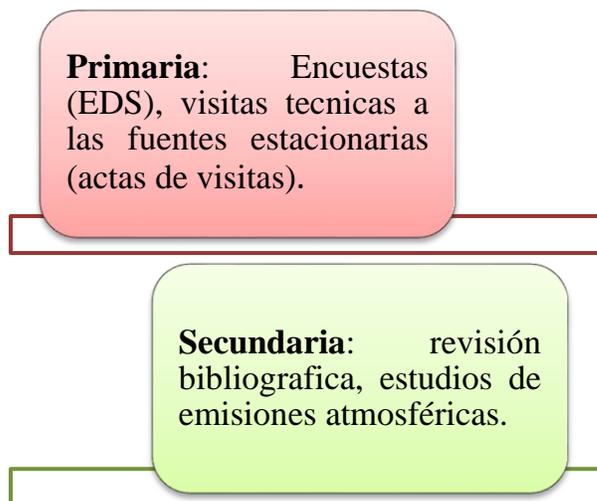
(\*): Dato indispensable para la elaboración del inventario.

(A): Dato adicional para mejorar la caracterización de la fuente y sus emisiones.

(M): Se requiere revisar en el geoportal de Infraestructura de Datos Espaciales de Santiago de Cali - IDESC.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la sección 2.3 de la guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas de Colombia, las fuentes de información utilizadas en la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas son PRIMARIAS (información que se obtiene a través de evidencia directa de las fuentes a inventariar) y SECUNDARIAS (información obtenida a través de estudios o documentos en los cuales se interpreta o ajusta la información primaria), la figura 2-2 muestra la información utilizada para la elaboración del presente inventario.



**Figura 0-2. Fuentes de información utilizadas en la elaboración del inventario.**

Fuente: elaboración propia.

Como fuente de información primaria se realizaron visitas en campo tanto a las fuentes estacionarias puntuales como a las fuentes difusas. En las visitas se recolectó información acerca de las fuentes de emisión (altura del ducto, tipo y consumo de combustible, proceso asociado a la

fuente de emisión, etc.), información que se registró en las actas de visita del DAGMA y cuestionarios de elaboración propia. La segunda fuente de información primaria aplicada fueron los cuestionarios, elaborados para realizar la recolección de la información correspondiente a las fuentes difusas (estaciones de servicio – EDS). En la Tabla 2-4 se detalla la información de las encuestas utilizadas para las estaciones de servicio de combustible.

**Tabla 0-4. Información de las encuestas para estaciones de servicio de combustible.**

COMPONENTES	
Nombre de la Estación De Servicio – EDS	
Nombre del administrador(a)	
Dirección de correspondencia	
Correo electrónico	
Número de teléfono	
Número de Identificación Tributaria – NIT	
¿Qué tipo de combustible vende?:	CORRIENTE
	EXTRA
	DIÉSEL
	GNV
¿Cuántas Islas de distribución posee?	
¿Cuántos tanques de almacenamiento de combustible posee?	
¿Cuál es la capacidad de los tanques (Galones), por favor describa si alguno de los tanques es bicompartido?	
¿Qué tipo y cuántos extintores posee la EDS?	
¿Posee KIT anti-derrame como herramienta del Plan de contingencia?	
¿Cuál fue la cantidad de combustible (Galones) comprado en la vigencia 2017?	CORRIENTE
	EXTRA
	DIÉSEL
¿Cuál fue la cantidad de combustible (Galones) vendido en la vigencia 2017?	CORRIENTE
	EXTRA
	DIÉSEL

Fuente: Elaboración propia.

Una fuente de información secundaria abordada, fueron los estudios de emisiones atmosféricas, los cuales según el Decreto 1076 de 2015 en su Artículo 2.2.5.1.10.2 establece: todo establecimiento de comercio o de servicios que cuente con una fuente fija de emisión, debe presentar su Informe de Estado de Emisiones IE-1, el cual deberá tener el estudio de emisiones atmosféricas correspondiente, con el cual se verificará el cumplimiento normativo al que haya lugar (Resolución 909 de 2008 y Resolución 760 de 2010).

Gran parte de la información necesaria para el desarrollo del inventario de emisiones atmosféricas fue obtenida a través de dichos estudios de emisiones atmosféricas que las empresas de industria, servicio y comercio en Colombia están obligadas a presentar ante la autoridad ambiental competente. Estos estudios se pueden considerar una fuente de información confiable, debido a que la información allí contenida es obtenida en gran parte por medio de una medición directa (estudio isocinetico) a la fuente generadora de la emisión. Es importante aclarar que los estudios de emisiones atmosféricas por medición directa solo se realizan a fuentes estacionarias puntuales. Este

tipo de información se considera como secundaria, debido a que es generada por un tercero (empresa consultora acreditada), todas las empresas incluidas dentro del presente estudio están actualmente en funcionamiento dentro del área urbana de Santiago de Cali, ya que hacen parte del programa de Inspección, Vigilancia y Control que desarrolla constantemente la autoridad ambiental de la ciudad de Santiago de Cali – DAGMA. Esto se verificó gracias a los datos registrados en las columnas D, E, F y G, de la hoja (Base de Datos - F.F.) del anexo A (Base de datos del inventario).

De otra parte, la información para la elaboración de la base de datos de las fuentes difusas, se obtuvo principalmente por medio de las encuestas realizadas a las estaciones de servicio (ver anexo B), actividad que se llevó a cabo el día 13 de septiembre del 2018, como parte del programa de Inspección, Vigilancia y Control que se lleva a cabo por parte del grupo de Gestión Ambiental Empresarial – GAE del DAGMA, seguido del reporte generado para el año 2017 por el Fondo de Protección Solidaria – SOLDICOM, del cual se obtuvieron los datos del total de estaciones de servicio (EDS) activas en la ciudad y las ventas totales (en millones de galones) de gasolina corriente y diésel en el año 2017 para la ciudad de Santiago de Cali. En la Tabla 2-5 se muestra la estructura de los campos de información general para las fuentes estacionarias puntuales y difusas.

**Tabla 0-5. Estructura de la base de datos para las fuentes estacionarias puntuales difusas.**

COMPONENTE		DESCRIPCIÓN
<b>Nombre comercial o razón social</b>		Nombre de la Estación de Servicio – EDS como aparece en Cámara de Comercio.
<b>NIT</b>		Número de Identificación Tributaria
<b>Código CIU</b>		Código de Identificación Industrial Universal
<b>Actividad económica</b>		Está relacionada con el código CIU
<b>Equipo fuente</b>		Tanque de almacenamiento e islas de distribución
<b>Latitud (N)</b>		Georreferenciación
<b>Longitud (W)</b>		
<b>Dirección</b>		Dirección comercial (de correspondencia) del establecimiento.
<b>Comuna</b>		Indica en cuál de las 22 comunas está ubicada la EDS
<b>Área de actividad</b>		Información relacionada con el Uso del Suelo (Industrial, Mixto, Residencial y de Equipamientos)
<b># de tanques</b>		Numero de tanques que posee la EDS
<b>Combustible</b>	<b>Corriente</b>	Se debe indicar que tipo de combustible vende la Estación de Servicio – EDS
	<b>Extra</b>	
	<b>Diésel</b>	
<b>Capacidad almacenamiento de</b>	<b>Corriente</b>	Debe indicar la capacidad de almacenamiento que posee cada uno de los tanques indicados en la pregunta anterior.
	<b>Extra</b>	
	<b>Diésel</b>	
<b>Galones vendidos en 2017</b>	<b>Corriente</b>	Se debe indicar el valor de los galones vendidos para cada uno de los combustibles que comercializa la EDS.
	<b>Extra</b>	
	<b>Diésel</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Es importante resaltar que el desarrollo de las actividades antes mencionadas, se logró gracias a que el estudiante autor del presente trabajo académico, labora actualmente como profesional en el

Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente – DAGMA, autoridad ambiental de la ciudad de Santiago de Cali.

## 2.4 TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES

Muchos de los contaminantes que son generados por fuentes estacionarias puntuales son evaluados y/o monitoreados por medio de estudios isocinéticos (mediciones directas). Sin embargo, para algunos de los contaminantes de interés en el inventario no se realiza su estimación por medición directa, teniendo en cuenta que cada industria solo debe reportar los flujos de cierto tipo de contaminantes según el equipo fuente o proceso asociado. Sumado a esto, no todas las emisiones generadas por fuentes fijas son conducidas por ductos (chimeneas), lo que imposibilita la realización de una medición directa en la fuente para conocer la concentración de la emisión, ejemplo de ello son las fuentes difusas. Por tal razón el Protocolo para el Control y la Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, establece en su Capítulo 1 varios procedimientos de estimación de emisiones atmosféricas (medición directa, balances de masa y factores de emisión), siendo el uso de factores de emisión uno de los métodos más usados en la elaboración de inventarios de emisiones.

### • FACTORES DE EMISIÓN – FE.

Según la agencia para la protección del medio ambiente de los Estados Unidos, EPA por sus siglas en inglés, un factor de emisión es un valor representativo que relaciona la cantidad de un contaminante liberado a la atmósfera con una actividad asociada con la liberación de ese contaminante. (United States Environmental Protection Agency [EPA], 2016). Éstos se convierten así en una herramienta que permite la estimación de las emisiones de gran variedad de fuentes de contaminación. Los factores de emisión utilizados en la elaboración del inventario de emisiones atmosféricas por fuentes estacionarias puntuales y estaciones de servicio de combustible en el área urbana del municipio de Santiago de Cali – año base 2017; son los establecidos por la Agencia para la Protección del Medio Ambiente – EPA, en el documento AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors (US-EPA, 1995a), el cual contiene factores de emisión para diferentes procesos. (La Resolución 760 de 2010 y la Resolución 2153 del 2010 adoptan el protocolo en mención).

El documento AP-42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, se ha publicado desde 1972 como la compilación principal de la información de los factores de emisión de la EPA. Contiene factores de emisiones e información de procesos para más de 200 categorías de fuentes de contaminación del aire. Una categoría de fuente es un sector industrial específico o un grupo de fuentes emisoras similares. Los factores de emisión se han desarrollado y compilado a partir de datos de pruebas de origen, estudios de balance de materiales y estimaciones de ingeniería. La Quinta Edición del AP-42 se publicó en enero de 1995.

• **FACTORES DE EMISIÓN PARA FUENTES ESTACIONARIAS PUNTUALES:**

La emisión de un contaminante se calcula teniendo en cuenta el uso de un combustible en particular y/o la actividad relacionada a la emisión, seguido del factor de emisión apropiado. Para la estimación de emisiones, la EPA establece la siguiente ecuación general:

$$E: A * EF * \left( \frac{1 - ER}{100} \right), \text{ (Ecuación 1.)}$$

Dónde:

**E** = emisiones;

**A** = tasa de actividad;

**EF** = factor de emisión, y

**ER** = eficiencia global de reducción de emisiones, %.

Los factores de emisión utilizados están asociados a las fuentes de combustión externa tales como calderas, hornos, plantas eléctricas entre otras, cada una de estas fuentes utiliza un combustible (gaseoso, líquido o sólido) como suministro de la energía necesaria para llevar a cabo un proceso o actividad.

Los siguientes factores de emisión relacionados en la tabla 2-6, fueron obtenidos de los capítulos 1, 3, 4, 5 y 6 de la quinta edición del AP-42, Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1: fuentes estacionarias puntuales estacionarias y de área. Éstos fueron escogidos de acuerdo con las fuentes estacionarias puntuales a inventariar, el tipo de combustible utilizado (gas natural, carbón, fueloil o diésel, madera, gas propano) y los procesos asociados a las emisiones.

**Tabla 0-6: Factores de emisión utilizados para la elaboración del inventario de emisiones – año base 2017.**

Factores de Emisión utilizados en las estimaciones						
Contaminante	Combustible asociado	Unidad utilizada en cálculo	Valor	EF rating	Tipo de fuente factor de emisión - Equipo específico	Fuente de Información y Tablas asociada
NO <sub>x</sub>	Gas Natural	kg/m <sup>3</sup> std	0,0016	B	Natural Gas Combustión	EPA-AP 42 Final section. Section 1.4 NG Comb. Tabla 1.4-1
CO		kg/m <sup>3</sup> std	0,001344	B		
CO <sub>2</sub>		kg/m <sup>3</sup> std	1,92	A		
N <sub>2</sub> O		kg/m <sup>3</sup> std	3,52E-05	E		EPA-AP 42 Final section. Section 1.4 NG Comb.
PM		kg/m <sup>3</sup> std	0,000122	D		
PM <sub>10</sub>		kg/m <sup>3</sup> std	9,12E-05	D		

Factores de Emisión utilizados en las estimaciones						
Contaminante	Combustible asociado	Unidad utilizada en cálculo	Valor	EF rating	Tipo de fuente factor de emisión - Equipo específico	Fuente de Información y Tablas asociada
PM <sub>2.5</sub>		kg/m <sup>3</sup> std	3,04E-05	B		Tabla 1.4-2
SO <sub>2</sub>		kg/m <sup>3</sup> std	9,6E-06	A		
TOC		kg/m <sup>3</sup> std	0,000176	B		
METANO		kg/m <sup>3</sup> std	3,68E-05	B		
COV		kg/m <sup>3</sup> std	0,000088	C		
Arsénico (As)		kg/m <sup>3</sup> std	3,20E-09	E		
Bario (Ba)		kg/m <sup>3</sup> std	7,04E-08	D		EPA-AP 42 Final section. Section 1.4 NG Comb. Tabla 1.4-4
Berilio (Be)		kg/m <sup>3</sup> std	1,92E-10	E		
Cadmio (Cd)		kg/m <sup>3</sup> std	1,76E-08	D		
Cromo (Cr)		kg/m <sup>3</sup> std	2,24E-08	D		
Cobalto (Co)		kg/m <sup>3</sup> std	1,34E-09	D		
Cobre (Cu)		kg/m <sup>3</sup> std	1,36E-08	C		
Manganeso (Mn)		kg/m <sup>3</sup> std	6,08E-09	D		
Mercurio (Hg)		kg/m <sup>3</sup> std	4,16E-09	D		
Molibdeno (Mo)		kg/m <sup>3</sup> std	1,76E-08	D		
Níquel (Ni)		kg/m <sup>3</sup> std	3,36E-08	C		
Plomo (Pb)		kg/m <sup>3</sup> std	8,00E-09	D		
Selenio (Se)		kg/m <sup>3</sup> std	3,84E-10	E		
Vanadio (V)		kg/m <sup>3</sup> std	3,68E-08	D		
Zinc (Zn)	kg/m <sup>3</sup> std	4,64E-07	E			
CO	Combustóleo (Fuel Oil No. 6).	kg/gal	0,002268	A	Boiler < 100 MBTU/h - Fuel oil No. 6	EPA-AP 42 Final section. Tabla 1.3-1
NO		kg/gal	0,024948	A		
SO <sub>2</sub>		kg/gal	0,109669	A		
SO <sub>3</sub>		kg/gal	0,001397	A		
TSP		kg/gal	0,00788	A		
PM <sub>10</sub>		kg/gal	0,006813	E	Uncontrolled Industrial boilers firing residual oil	EPA-AP 42 Final section. Tabla 1.3-5
PM <sub>2.5</sub>		kg/gal	0,004437	E		
PM <sub>1</sub>		kg/gal	0,002851	E		
COV		kg/gal	0,000127	A	Industrial boiler - Fuel oil No. 6	EPA-AP 42 Final section. Tabla 1.3-3
TOC		kg/gal	0,000581	A		
Arsénico (As)		kg/gal	2,50E-06	C	Uncontrolled Fuel oil No. 6 comb.	EPA-AP 42 Final section. Tabla 1.3-11
Bario (Ba)		kg/gal	1,17E-06	D		
Berilio (Be)		kg/gal	1,26E-08	C		
Cadmio (Cd)		kg/gal	1,81E-07	C		
Cromo (Cr)		kg/gal	3,83E-07	C		
Cobalto (Co)		kg/gal	2,73E-06	D		
Cobre (Cu)		kg/gal	7,98E-07	C		
Manganeso (Mn)		kg/gal	1,36E-06	C		
Mercurio (Hg)		kg/gal	5,13E-08	C		
Molibdeno (Mo)		kg/gal	3,57E-07	D		
Níquel (Ni)		kg/gal	3,83E-05	C		
Plomo (Pb)		kg/gal	6,85E-07	C		
Selenio (Se)		kg/gal	3,10E-07	C		
Vanadio (V)		kg/gal	1,44E-05	D		
Zinc (Zn)		kg/gal	1,32E-05	D		
CO <sub>2</sub>		kg/gal	11,33975	B	Liquid fuels - Fuel Oil No. 6	EPA-AP 42 Final section. Tabla 1.3-12
Methane (CH <sub>4</sub> )		kg/gal	0,000454	A		EPA-AP 42 Final section. Tabla 1.3-3
N <sub>2</sub> O		kg/gal	0,00024	B	Fuel oil comb. -	EPA-AP 42

Factores de Emisión utilizados en las estimaciones						
Contaminante	Combustible asociado	Unidad utilizada en cálculo	Valor	EF rating	Tipo de fuente factor de emisión - Equipo específico	Fuente de Información y Tablas asociada
POM		kg/gal	5,44E-07	E	No. 6 oil fired	Final section. Tabla 1.3-8
HCOH		kg/gal	1,93E-05	E		
CO	Carbón	kg/ton	2,26795	A	Spreader Stoker sub-bituminous	EPA-AP 42 Final section. Tabla 1.1-3
NO		kg/ton	2,634451	B		
NO <sub>2</sub>		kg/ton	1,357141	B		
SO <sub>2</sub>		kg/ton	8,731608	B		
TSP		kg/ton	29,93694	B		
PM <sub>10</sub>		kg/ton	5,987388	E	Spreader Stoker	EPA-AP 42 Final section. Tabla 1.1-4
PM <sub>2.5</sub>		kg/ton	2,086514	C		
PM <sub>1</sub>		kg/ton	1,496847	C		
COV		kg/ton	0,02268	B		
Arsénico (As)		kg/ton	0,000186	A	Controlled coal comb.	EPA-AP 42 Final section. Tabla 1.1-18
Berilio (Be)		kg/ton	9,53E-06	A		
Cadmio (Cd)		kg/ton	2,31E-05	A		
Cromo (Cr)		kg/ton	0,000118	A		
Cobalto (Co)		kg/ton	4,54E-05	A		
Manganeso (Mn)		kg/ton	0,00499	A		
Mercurio (Hg)	kg/ton	3,77E-05	A			
Níquel (Ni)	kg/ton	0,000127	A			
Plomo (Pb)	kg/ton	0,000191	A			
Selenio (Se)	kg/ton	0,00059	A			
CO <sub>2</sub>	kg/ton	1257,292	B	Ecuación pag 1.1-42 - sub-bituminous	EPA-AP 42 Final section. Tabla 1.1-20	
Methane (CH <sub>4</sub> )	kg/ton	0,027215	B	Spreader Stoker	EPA-AP 42 Final section. Tabla 1.1-19	
N <sub>2</sub> O	kg/ton	0,018144	D			
Dioxinas	kg/ton	3,02E-10	D	Controlled coal comb.	EPA-AP 42 Final section. Tabla 1.1-12	
Furanos	kg/ton	4,94E-10	D			
HCl	kg/ton	0,544308	B	Spreader Stoker	EPA-AP 42 Final section. Tabla 1.1-15	
HF	kg/ton	0,068039	B			
TSP	kg/ton	5,44308	A	Spreader stoker, with multiple cyclones, no reinjection	EPA-AP 42 Final section. Tabla 1.1-4	
PM <sub>10</sub>	kg/ton	3,538002	E			
PM <sub>2.5</sub>	kg/ton	1,451488	C	Spreader Stoker. Multiple Cyclones	EPA-AP 42 Final section. Tabla 1.1-9	
PM <sub>1</sub>	kg/ton	0,725744	C			
CO	GLP	kg/gal	0,00381	E	LPG Combustion. Butane emission. Industrial boiler	EPA-AP 42 Final section. Tabla 1.5-1
NO <sub>2</sub>		kg/gal	0,006804	E		
PM <sub>10</sub>		kg/gal	9,07E-05	E		
TOC		kg/gal	0,000499	E		
CO <sub>2</sub>		kg/gal	6,486337	C		
Metano (CH <sub>4</sub> )		kg/gal	9,07E-05	E		
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)		kg/gal	0,000408	E		
CO	Proceso - Incineración cadáveres.	kg/ton	1,338091	A	Controlled-Air Medical Waste Incineration -	EPA-AP 42 Final section. Tabla 2.3-1
NO <sub>x</sub>		kg/ton	1,655604	A		
SO <sub>2</sub>		kg/ton	0,98429	B		

Factores de Emisión utilizados en las estimaciones						
Contaminante	Combustible asociado	Unidad utilizada en cálculo	Valor	EF rating	Tipo de fuente factor de emisión - Equipo específico	Fuente de Información y Tablas asociada
TSP		kg/ton	2,118265	B	Uncontrolled	EPA-AP 42 Final section. Tabla 2.3-2
PM <sub>10</sub>		kg/ton	1,376872	B	Particle size distrib. Controlled-Air Medical Waste Incineration - Uncontrolled	EPA-AP 42 Final section. Tabla 2.3-15
PM <sub>2.5</sub>		kg/ton	0,917209	B		
PM <sub>1</sub>		kg/ton	0,749866	B		
TOC		kg/ton	0,135623	B	Controlled-Air Medical Waste Incineration - Uncontrolled	EPA-AP 42 Final section. Tabla 2.3-2
Arsénico (As)		kg/ton	0,00011	B		EPA-AP 42 Final section. Tabla 2.3-4
Bario (Ba)		kg/ton	0,00147	B		EPA-AP 42 Final section. Tabla 2.3-5
Berilio (Be)		kg/ton	2,84E-06	B		
Cadmio (Cd)		kg/ton	0,002486	B		EPA-AP 42 Final section. Tabla 2.3-6
Cromo (Cr)		kg/ton	0,000352	B		
Cobre (Cu)		kg/ton	0,00567	E		EPA-AP 42 Final section. Tabla 2.3-7
Manganeso (Mn)		kg/ton	0,000257	C		
Mercurio (Hg)		kg/ton	0,048534	C		EPA-AP 42 Final section. Tabla 2.3-2
Níquel (Ni)		kg/ton	0,000268	B		
Plomo (Pb)		kg/ton	0,033021	B		EPA-AP 42 Final section. Tabla 2.3-6
Hierro (Fe)		kg/ton	0,006532	C		
Dioxinas		kg/ton	9,66E-06	B		EPA-AP 42 Final section. Tabla 2.3-11
Furanos		kg/ton	3,24E-05	B	EPA-AP 42 Final section. Tabla 2.3-13	
HCl		kg/ton	15,19527	C	EPA-AP 42 Final section. Tabla 2.3-3	
HF	kg/ton	0,067585	D	EPA-AP 42 Final section. Tabla 2.3-10		
TSP	Proceso - Fundición de metales.	kg/ton	0,045359	E	Steel Foundries - Electric induction.	EPA-AP 42 Final section. Tabla 12.13-2
PM <sub>10</sub>		kg/ton	0,040823	E		
CO		kg/ton	0,816462	B	Mini mills - Electric arc furnace, ladle metallurgy, melt shop	EPA-AP 42 Final section. Tabla 12.5.1-5
NO <sub>x</sub>		kg/ton	0,09979	B		EPA-AP 42 Final section. Tabla 12.5.1-4
SO <sub>2</sub>		kg/ton	0,090718	C		EPA-AP 42 Final section. Tabla 12.5.1-6
TSP		kg/ton	0,009072	B		EPA-AP 42 Final section. Tabla 12.5.1-1

Factores de Emisión utilizados en las estimaciones						
Contaminante	Combustible asociado	Unidad utilizada en cálculo	Valor	EF rating	Tipo de fuente factor de emisión - Equipo específico	Fuente de Información y Tablas asociada
COV		kg/ton	0,010433	B		EPA-AP 42 Final section. Tabla 12.5.1-8
Arsénico (As)		kg/ton	2,81E-06	E		EPA-AP 42 Final section. Tabla 12.5.1-9
Berilio (Be)		kg/ton	1,27E-07	D		
Cadmio (Cd)		kg/ton	2,27E-06	E		
Cromo (Cr)		kg/ton	1,59E-06	E		
Manganeso (Mn)		kg/ton	0,000136	E		
Mercurio (Hg)		kg/ton	4,99E-05	D		
Níquel (Ni)		kg/ton	2,50E-06	E		
Plomo (Pb)		kg/ton	0,000254	C		
COV	Recubrimiento de Superficies	kg/vehicle	6,61	C	Solventborne spray	EPA-AP 42 Final section. Tabla 4.2.2.8

Fuente: Elaboración propia.

#### • FACTORES DE EMISIÓN PARA FUENTES DIFUSAS

De acuerdo con lo establecido en el AP-42 (Compilation of Air Pollutant Emissions Factors), en su capítulo 5 (industria del petróleo), sección 5.2 (transporte y comercialización de petroleros líquidos); una fuente importante de emisiones a la atmósfera de COV se genera por la evaporación de combustibles líquidos en las actividades desarrolladas por las estaciones de servicio de combustibles. Estas actividades son: el llenado de los tanques de almacenamiento subterráneo (el combustible se entrega generalmente en camiones tipo cisterna), contracción y expansión de los gases en los tanques subterráneos, el llenado de los vehículos automotores y los derrames de combustible.

Las emisiones se generan cuando los vapores de gasolina en el tanque de almacenamiento subterráneo son desplazados a la atmósfera por la gasolina que se carga en el tanque (ver figura 2-3). Al igual que con otras pérdidas de carga, la cantidad de pérdida en el llenado de tanque de las estaciones de servicio depende de distintas variables, incluyendo el método y velocidad de llenado, la configuración del tanque, así como la temperatura de la gasolina, presión de vapor y composición.

Una tasa media de emisión para el llenado sumergido es de 880 mg/L de la gasolina transferida (7,3 lb / 1000 gal), y la tasa de llenado no sumergido es 1380 mg/L de gasolina transferida (11,5 lb / 1000 gal) (ver Tabla 2-7). (EPA, 2008).

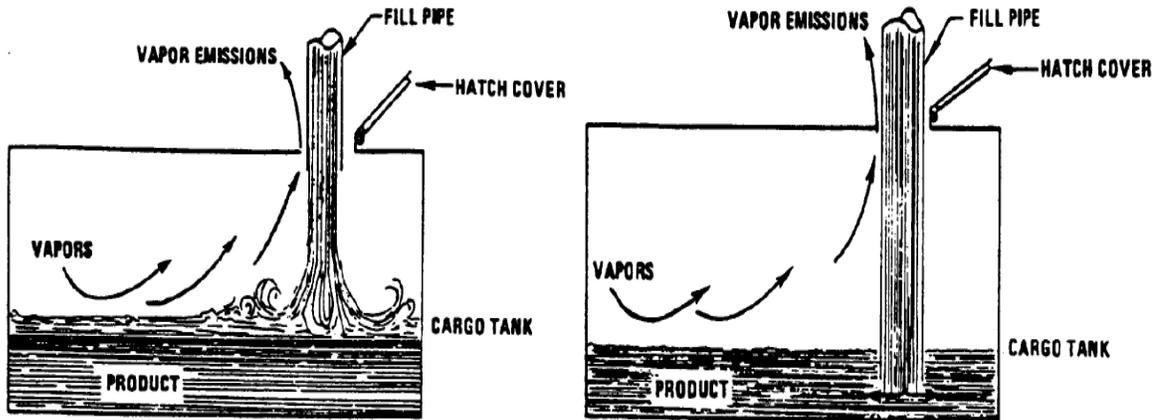


Figura 0-3. Métodos de llenado de los tanques subterráneos de almacenamiento de combustible. Fuente (EPA, 2008).

Tabla 0-7. Factores de emisión evaporativas de las operaciones de las estaciones de servicio de gasolina. Fuente (EPA, 2008).

Fuente de Emisión	Factor de Emisión (mg/l)
<b>Gasolina</b>	
<b>Llenado de tanque subterráneo</b>	
Tubería sumergida	880
Tubería no sumergida	<b>1380*</b>
Tubería sumergida y con control de emisiones	40
Contracción y expansión de los gases en el tanque subterráneo	<b>120*</b>
<b>Llenado de Vehículos</b>	
Emisiones sin control	<b>1320*</b>
Emisiones controladas	132
Derrames	<b>80</b>
<b>Diésel</b>	
Incluye el llenado de tanques subterráneos, el llenado de vehículos y la contracción y expansión de vapores en el tanque subterráneo.	<b>176*</b>

(\*) Factores de emisión utilizados en el presente estudio. Fuente: (EPA, 2008).

Una segunda fuente de emisiones de vapor en las estaciones de servicio es la respiración del tanque subterráneo. Pérdidas por respiración se producen a diario y son atribuibles a la evaporación de la gasolina y de los cambios de presión barométrica. La frecuencia con que la gasolina se retira del tanque, permite que el aire fresco se introduzca para mejorar la evaporación, también tiene un efecto importante en la cantidad de estas emisiones. Una tasa promedio de emisión de la respiración es 120 mg / L de rendimiento (1,0 lb / 1000 gal) (EPA, 2008).

La técnica para estimar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles se resume la ecuación 2; que relaciona las cantidades de los diferentes tipos de combustible vendidos en la región, su composición, prácticas de manejo y los tipos de control de emisiones empleados (US EPA, 2008).

$$E_i = (EF_i) * (V_i) * (10^{-6}), \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde,

**E<sub>i</sub>** = Emisión anual de COV debida al manejo del combustible, kg/año.

**EF<sub>i</sub>** = Factor de emisión del combustible i, mg/L.

**V<sub>i</sub>** = Ventas anuales del combustible, L/año.

Los factores de emisión para el cálculo de COV provenientes de la distribución de gasolina y diésel, fueron tomados del capítulo 5 del documento AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors (US-EPA, 1995a).

La utilización de los factores de emisión establecidos en la tabla 2-7 se determina básicamente por el tipo de llenado de los tanques de almacenamiento de combustible y el abastecimiento (llenado) de los vehículos en las estaciones de servicio.

# CAPÍTULO 3 - RESULTADOS Y ANÁLISIS

## 3.1 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS

Para el diseño de la base de datos se utilizó el software EXCEL de office, en el cual se registró la información primaria y secundaria obtenida en la revisión de los expedientes, encuestas y las visitas en campo. Se registró información de 63 industrias (alimentos, textiles, papel y cartón, química, entre otras) inventariadas, con un total de 153 registros de puntos de emisión para fuentes estacionarias puntuales y 147 registros para fuentes difusas. La información se organizó en dos secciones, la primera para fuentes estacionarias puntuales y la segunda para fuentes difusas (EDS), cada una de las secciones está compuesta por grupos que a su vez contienen subgrupos de información, los cuales permiten llevar una coherencia de inicio a fin durante el registro. Las tablas 3-1 y 3-2 muestran de manera resumida los campos que conforman la estructura principal de la base de datos del inventario de emisiones, a su vez en el Anexo A (digital) se muestra la base de datos terminada.

**Tabla 0-1. Descripción general de la conformación de la base de datos para fuentes estacionarias puntuales.**

CAMPOS DE GRUPO	CAMPOS DE SUBGRUPOS
<b>Información general</b>	N° F.F.
	N° INDUSTRIA
	Nombre Comercial O Razón Social
<b>Fecha de medición</b>	Año, Mes, Día
<b>Radicado DAGMA</b>	N°
<b>Descripción de la actividad económica</b>	NIT, Código CIU, Actividad Económica, Tipo de Producción.
<b>Información fuente de emisión</b>	Equipo Fuente, Descripción, Tiempo de Operación, Resolución 909 De 2008, Existencia
<b>Ubicación de la empresa y punto de emisión</b>	Altitud, Latitud, Longitud, Dirección, Comuna Área de Actividad, Municipio.
<b>Descripción específica del punto de emisión</b>	Altura, Diámetro, (Temperatura, Velocidad y Caudal de Salida Gases), Porcentaje De Oxígeno
<b>Datos de producción</b>	Producción Promedio
<b>Datos de combustible y materia prima</b>	Tipo de Combustible
	Consumo
<b>Frecuencias de consumo combustible</b>	Mes/Año, Día/Mes, hora/Día
<b>Control de emisiones</b>	Equipo, Reducción (%)

CAMPOS DE GRUPO	CAMPOS DE SUBGRUPOS
<b>Fuente de emisión</b>	Método de Obtención de Emisiones
	Factor De Emisión Usado
	Fuente de Emisión Según Combustible
	Proceso Específico Asociado
	Tipo de Fuente
<b>Emisiones estimadas de contaminantes</b>	Consumo Combustible
	Unidad de Consumo
	Contaminantes Criterio
	Compuestos Orgánicos
	Metales
	Gases Efecto Invernadero
<b>Información de los factores de emisión y constantes utilizadas</b>	Tipo de factor utilizado con su respectivo valor y fuente. Constantes y factores de conversión de unidades.
<b>Hojas de consulta rápida</b>	Tablas dinámicas

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 0-2. Descripción general de la conformación de la base de datos para fuentes difusas (estaciones de servicio)**

CAMPOS DE GRUPO	CAMPOS DE SUBGRUPOS
<b>Información general</b>	N°
	Nombre comercial o razón social
	Nombre Establecimiento
<b>Información de la actividad económica</b>	Nit
	Código CIU
	Actividad económica
<b>Información de la fuente de emisión</b>	Equipo fuente
	Latitud (N)
	Longitud (W)
	Dirección
	Comuna
	Área de actividad
	Municipio
	# de tanques
<b>Tipo de combustible</b>	Corriente
	Extra
	Diésel
<b>Capacidad de almacenamiento</b>	Almacenamiento expresado en galones
<b>Galones vendidos</b>	Corriente
	Extra
	Diésel
<b>Emisiones COV</b>	Corriente
	Diésel
<b>Corriente</b>	Factor asociado a cada EDS

CAMPOS DE GRUPO	CAMPOS DE SUBGRUPOS
Diésel	Factor asociado a cada EDS
Aporte de COV porcentual por EDS	Corriente
	Diésel

Fuente: Elaboración propia.

La información se registró en una base de datos creada en el software Excel, ya que este se articula con la mayoría de software que se utilizan en los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, que poseen los grandes centros urbanos en Colombia. Además, actualmente el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible no posee un formato de registro unificado para la elaboración de los inventarios de emisiones atmosféricas, lo que permite hacer uso de cualquier herramienta con la que se pueda dar alcance a las guías propuestas para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas.

### 3.2 ESTABLECIMIENTOS Y FUENTES INVENTARIADAS

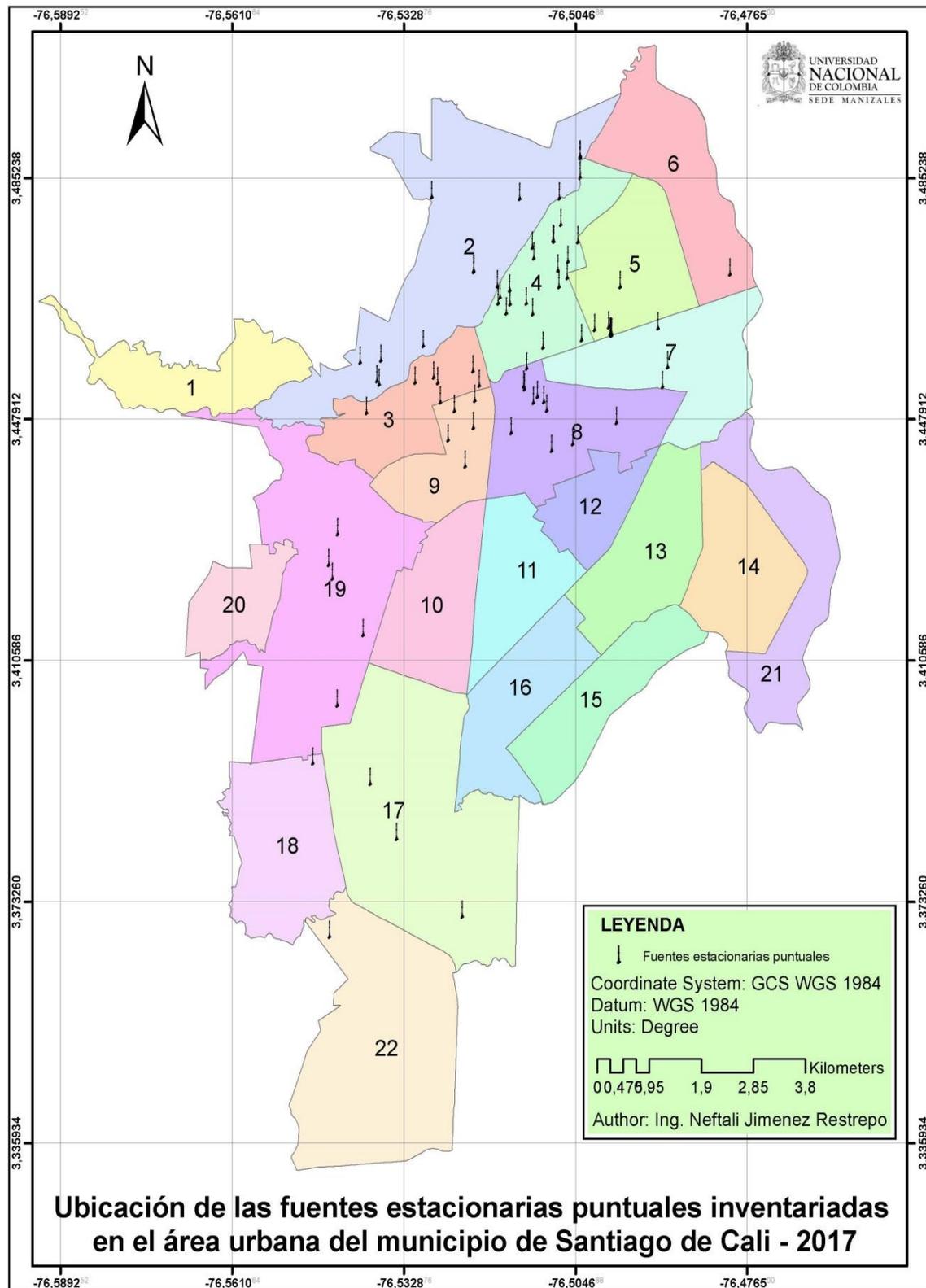
Durante el desarrollo de la actualización del inventario de emisiones atmosféricas por fuentes estacionarias puntuales y estaciones de servicio de combustible en el área urbana del municipio de Santiago de Cali – año base 2017, se obtuvieron los siguientes registros (características generales) de las fuentes inventariadas:

- **FUENTES ESTACIONARIAS PUNTUALES**

En el desarrollo del inventario se registraron un total de 63 empresas, de las cuales se obtuvo un total de 153 fuentes estacionarias puntuales (ver tabla 3-3 y la figura 3-2), distribuidas de la siguiente manera: 75 son calderas (49%), 24 cabinas de pintura (15,7%), 17 hornos (11,1%), 3 plantas eléctricas (2%) y 34 otros (22,2%), en la figura 3-1 se detalla la distribución espacial de las fuentes estacionarias puntuales inventariadas por comunas.

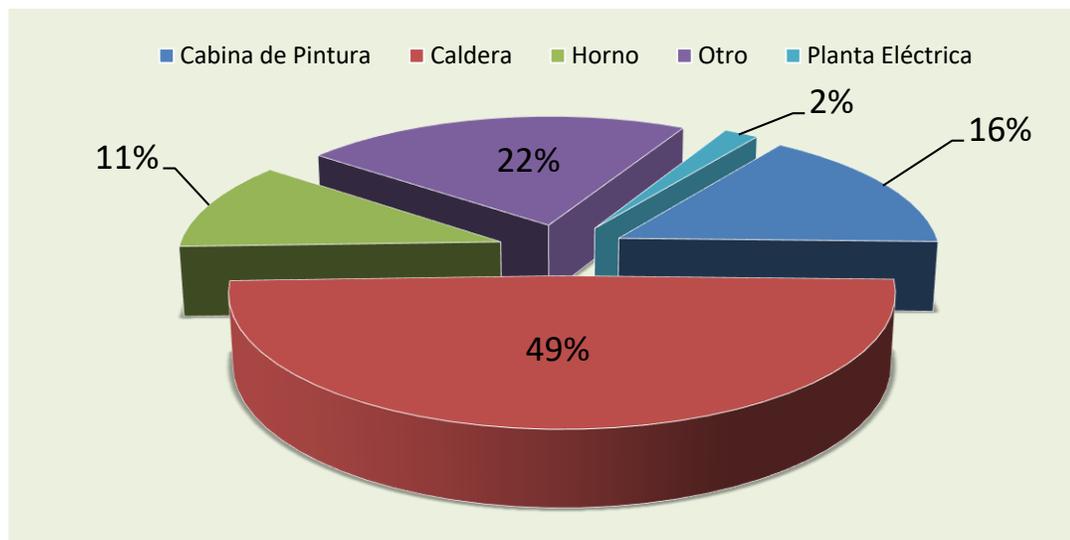
**Tabla 0-3. Número de fuentes estacionarias puntuales por tipo de fuente - 2017.**

Tipo de fuente puntual	Número de fuentes	Valor porcentual (%)
Cabinas de Pintura	24	15,7
Calderas	75	49,0
Hornos	17	11,1
Otros	34	22,2
Plantas Eléctricas	3	2,0
<b>Total general</b>	<b>153</b>	<b>100</b>



**Figura 0-1. Cobertura establecida para la elaboración del inventario de emisiones con la distribución espacial de las fuentes estacionarias puntuales inventariadas por comunas.**

Fuente: elaboración propia (ArcGis).

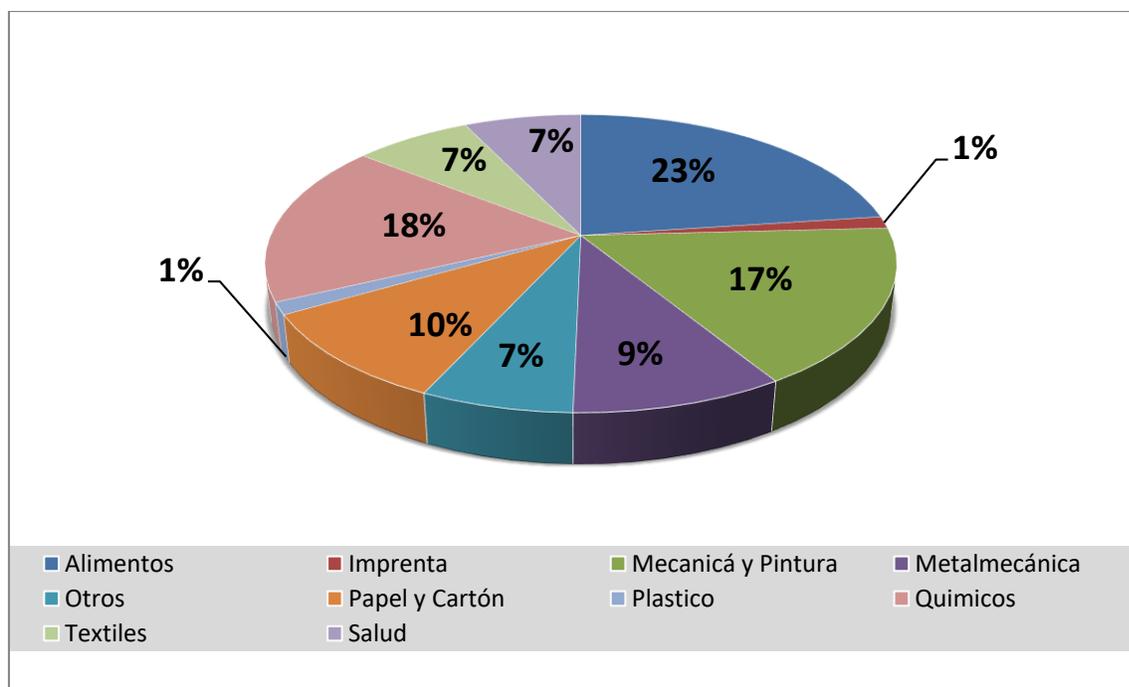


**Figura 0-2. Distribución porcentual por tipo de fuentes estacionarias puntuales – año base 2017.**

En términos de la clasificación realizada por sectores industriales, el sector que más fuentes estacionarias puntuales posee en el presente estudio es el de alimentos, con un aporte de 32 fuentes lo que representa un 23% del total de fuentes inventariadas, seguido por el sector químicos con un aporte de 27 fuentes (18%). A continuación, en la figura 3-3, se detalla el aporte porcentual de fuentes estacionarias puntuales de cada sector industrial al inventario de emisiones atmosféricas año base 2017.

El documento final del inventario de emisiones atmosféricas presentado por la autoridad ambiental de la ciudad de Santiago de Cali - DAGMA en el año 2012, no precisa el número de fuentes estacionarias puntuales, lo que no permitió realizar una comparación cuantitativa de éstas con los resultados obtenidos en la presente actualización del inventario de emisiones atmosféricas por fuentes estacionarias puntuales y estaciones de servicio de combustible en el área urbana del municipio de Santiago de Cali – año base 2017.

Por el contrario, en el informe final de actualización del inventario de emisiones de Santiago de Cali (año base 2017) presentado por la autoridad ambiental de la ciudad de Santiago de Cali - DAGMA en el año 2018, se precisa que se actualizó información de 93 empresas que se encontraban en el anterior inventario, y se agregó información de 115 nuevas empresas, para un total de 372 empresas inventariadas y actualizadas (DAGMA 2018). No se discriminan los tipos de fuentes fijas inventariadas (calderas, hornos, cabinas de pintura etc.) en el informe, sin embargo, si se presenta la información del número de fuentes fijas por comuna y por sectores productivos según la clasificación utilizada por el desarrollador.



**Figura 0-3. Aporte porcentual de fuentes estacionarias puntuales por sector industrial al inventario - año base 2017.**

En la tabla 3-4, se comparan las características principales de dos los inventarios desarrollados a la fecha para la ciudad de Santiago de Cali y las del presente estudio académico, se observa que las fuentes evaluadas varían en los tres estudios desarrollados, así como también el número de fuentes fijas y de empresas reportadas. Estos cambios se pueden presentar principalmente por: los tiempos de ejecución y desarrollo, el equipo técnico encargado (número de profesionales), las fuentes de información consultadas, entre otros. El método de estimación de las emisiones para las fuentes fijas en los tres estudios, se realizó principalmente por el uso de los factores de emisión propuestos por la EPA, método avalado a nivel nacional por el Protocolo para el Control y la Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas y la Guía para la Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas, documentos propuestos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MADS.

**Tabla 0-4. Características principales de los últimos inventarios oficiales desarrollados a la fecha para la ciudad de Santiago de Cali y el presente estudio académico.**

Características de los inventarios de Santiago de Cali	K2-Ingeniería (año base 2012)	FULECOL (año base 2017)	Presente estudio (año base 2017)
<b>Fuentes evaluadas</b>	Estacionarias puntuales, de área, móviles y naturales.	Estacionaria puntuales y móviles	Estacionarias puntuales y difusas (EDS)
<b># de fuentes estacionarias puntuales reportadas</b>	289	372	153
<b># de empresas inventariadas</b>	200	212	63
<b>Contaminantes evaluados (fuentes fijas)</b>	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , TSP, COV CO y CO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , MP, COV CO y CO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , COV, CO, CO <sub>2</sub> , METALES, CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O
<b>Método de estimación de las emisiones</b>	Factores de emisión EPA	Factores de emisión EPA	Factores de emisión EPA

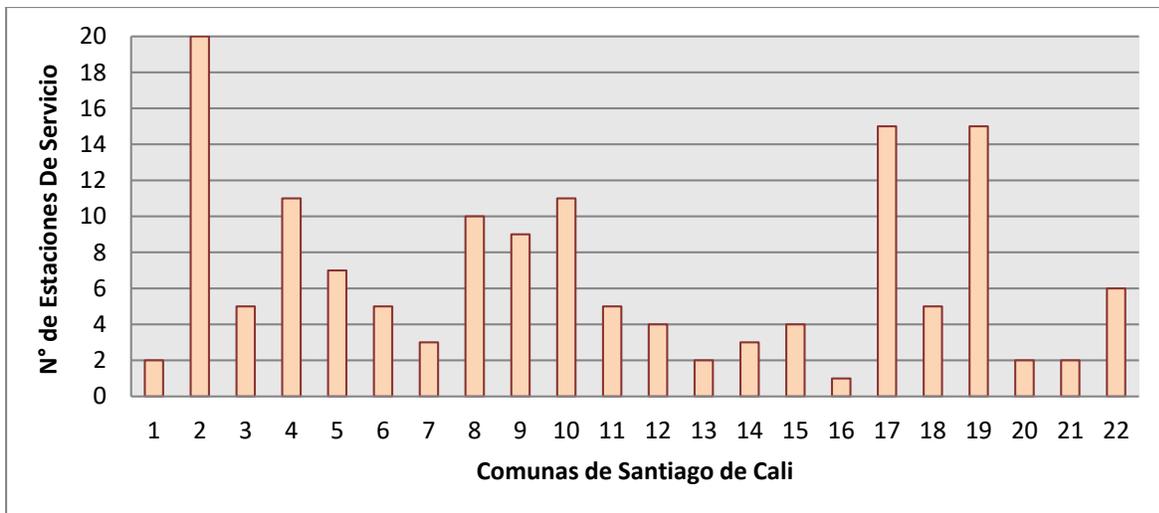
Características de los inventarios de Santiago de Cali	K2-Ingeniería (año base 2012)	FULECOL (año base 2017)	Presente estudio (año base 2017)
<b>Información utilizada</b>	Primaria (visitas de campo, encuestas), secundaria (estudios de emisiones, solicitudes a entes de control)	Secundaria (estudios de emisiones, solicitudes a entes de control)	Primaria (visitas de campo y encuestas), secundaria (estudios de emisiones, solicitudes a entes de control)

- **FUENTES DIFUSAS (ESTACIONES DE SERVICIO DE COMBUSTIBLE – EDS)**

Se registró un total de 147 Estaciones de Servicio de Combustible (fuentes difusas) en toda el área urbana de la ciudad (ver tabla 3-5, figuras 3-4 y 3-5). Las comunas que más EDS poseen son: comuna 2 (14) ubicada al norte de la ciudad, comunas 17 y 19 (10) ubicadas al sur de la ciudad y comunas 4, 8 y 10 (7) ubicadas en el centro de la ciudad, en la figura 3-3 se ilustra el número de EDS en cada una de las 22 comunas de la ciudad de Santiago de Cali.

**Tabla 0-5. Número de EDS por comuna**

Comuna	N° de Estaciones De Servicios	Valor porcentual
1	2	1
<b>2</b>	<b>20</b>	<b>14</b>
3	5	3
<b>4</b>	<b>11</b>	<b>7</b>
5	7	5
6	5	3
7	3	2
<b>8</b>	<b>10</b>	<b>7</b>
9	9	6
<b>10</b>	<b>11</b>	<b>7</b>
11	5	3
12	4	3
13	2	1
14	3	2
15	4	3
16	1	1
<b>17</b>	<b>15</b>	<b>10</b>
18	5	3
<b>19</b>	<b>15</b>	<b>10</b>
20	2	1
21	2	1
22	6	4
<b>Total general</b>	<b>147</b>	<b>100</b>



**Figura 0-4. Distribución de las estaciones de servicio de combustible en el área urbana del Municipio de Santiago de Cali – 2017.**

Al igual que con las fuentes estacionarias puntuales, en el documento final del inventario de emisiones atmosféricas presentado por la autoridad ambiental de la ciudad de Santiago de Cali - DAGMA en el año 2012, no se precisa el número de fuentes difusas evaluadas, lo que no permitió realizar una comparación cuantitativa de éstas con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Por otra parte, en el informe final de actualización del inventario de emisiones de Santiago de Cali (año base 2017) presentado por la autoridad ambiental de la ciudad de Santiago de Cali - DAGMA, no se incluyeron las fuentes difusas dentro del proceso de actualización.

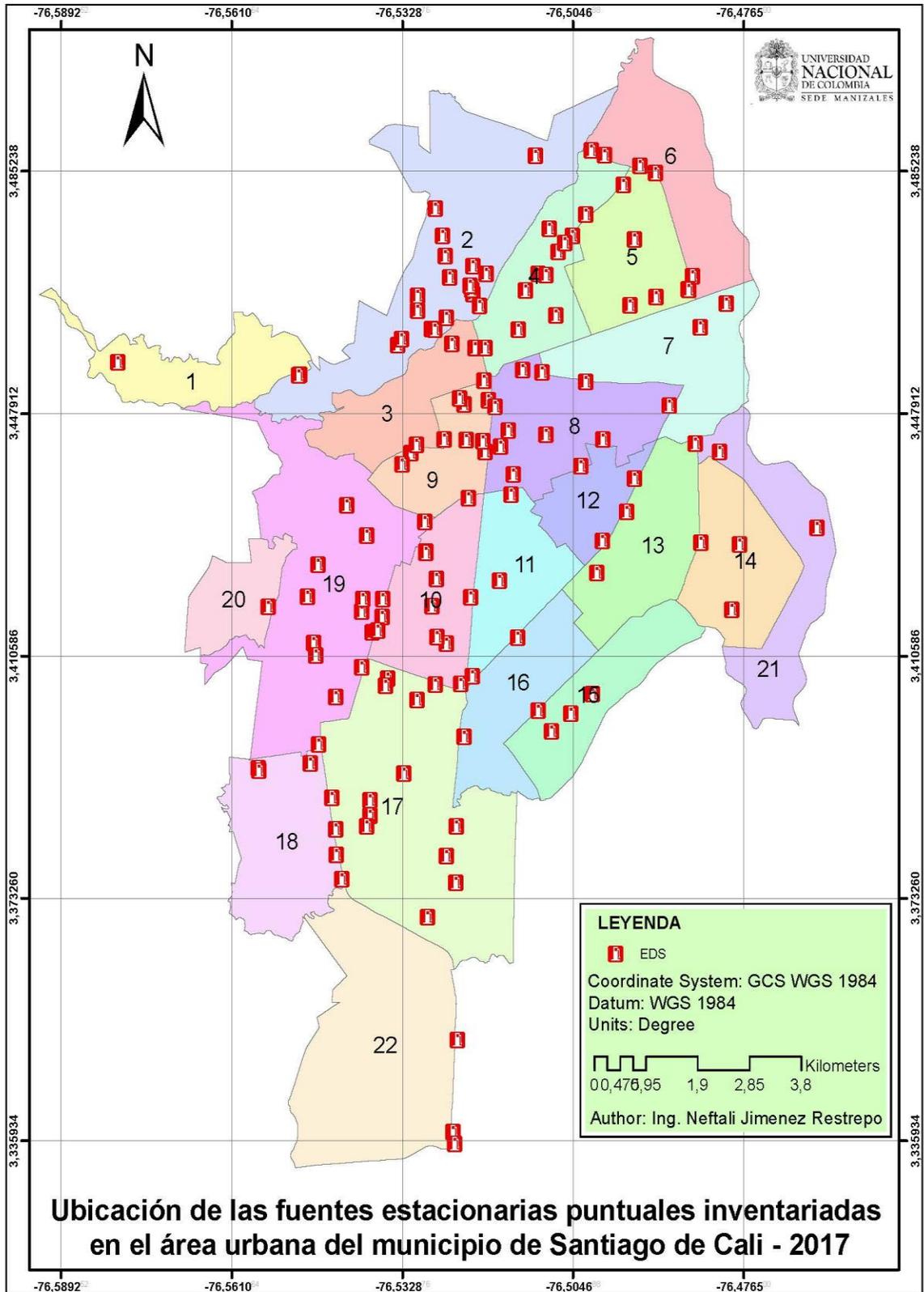


Figura 0-5. Distribución espacial de las fuentes difusas inventariadas en las 22 comunas del área urbana del municipio de Santiago de Cali, año base 2017.

Fuente: elaboración propia (ArcGis).

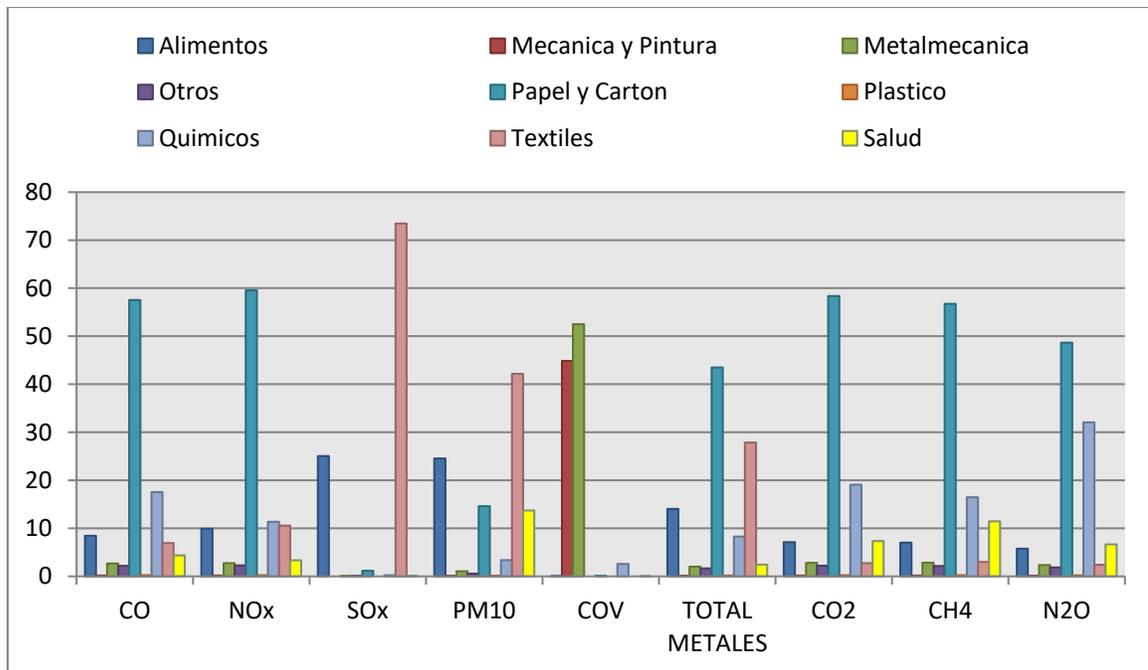
### 3.3 EMISIONES ESTIMADAS PARA EL SECTOR INDUSTRIAL Y DE SERVICIOS

De acuerdo con lo establecido en el capítulo 2, el alcance del inventario de emisiones se centró en el área urbana del municipio de Santiago de Cali, la cual se divide en 22 comunas. A continuación, se muestran los resultados obtenidos para los sectores industriales y de servicios que hacen parte de las 22 comunas establecidas en el área de estudio. En la figura 3-1 se detalla la cobertura establecida para la elaboración del inventario de emisiones con la ubicación de las empresas que hacen parte del IE, así mismo las tablas 3-6 y 3-7 muestran los resultados de las estimaciones de los diferentes contaminantes evaluados en el inventario.

Como se observa en la tabla 3-6, el contaminante que se emite a la atmósfera en mayor proporción es el dióxido de carbono con un aporte de 152590 (ton/año), seguido de los compuestos orgánicos volátiles (5163 ton/año) y los óxidos de nitrógeno (124 ton/año), el aporte de CO<sub>2</sub> se genera principalmente por el uso elevado de gas natural en las fuentes estacionarias puntuales inventariadas, ya que del 100% de los sectores evaluados el 70% consume gas natural, el 20% carbón y un 10% utiliza ACPM.

**Tabla 0-6. Consolidado de emisiones por fuentes estacionarias puntuales asociadas al tipo de industria en el municipio de Santiago de Cali – año base 2017**

	Emisión por Contaminante (ton/año) – 2017								
	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	COV	METALES	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
<b>Alimentos</b>	9,14	12,32	9,78	7,12	0,46	0,01	10840,85	0,21	0,19
<b>Mecánica y Pintura</b>	0,15	0,18	0,00	0,01	2315,84	0,00	214,94	0,00	0,00
<b>Metalmecánica</b>	2,90	3,40	0,02	0,30	2710,65	0,00	4267,36	0,09	0,08
<b>Otros</b>	2,37	2,82	0,02	0,16	0,15	0,00	3379,52	0,06	0,06
<b>Papel y Cartón</b>	62,35	74,23	0,45	4,23	4,08	0,03	89072,65	1,71	1,63
<b>Plástico</b>	0,23	0,27	0,00	0,02	0,01	0,00	325,64	0,01	0,01
<b>Químicos</b>	19,02	14,13	0,08	0,98	132,13	0,01	29121,71	0,50	1,08
<b>Textiles</b>	7,47	13,14	28,70	12,24	0,08	0,02	4159,41	0,09	0,08
<b>Salud</b>	4,74	4,16	0,02	3,97	0,30	0,00	11208,58	0,34	0,22
<b>Total general</b>	108,35	124,65	39,08	29,03	5163,70	0,07	152590,65	3,01	3,36



**Figura 0-6. Aporte porcentual a las emisiones según el tipo de industria.**

La figura 3-6, presenta el aporte porcentual a las emisiones según el tipo de industria, se observa que la industria de papel y cartón es la mayor aportante en las emisiones de CO (57,54%), NO<sub>x</sub> (57,54%) y metales (47,65%), así como también de gases de efecto invernadero - GEI con un aporte de CO<sub>2</sub> (58,37%), CH<sub>4</sub> (56,74%), N<sub>2</sub>O (48,64%). Estas contribuciones se deben principalmente al volumen elevado de gas natural que se utiliza como combustible para el desarrollo de sus procesos. De otra parte, la industria textil es la mayor aportante en los contaminantes SO<sub>x</sub> (73,45) y PM<sub>10</sub> (42,15), debido al uso de carbón como combustible para el desarrollo de sus actividades generadoras de emisiones. La industria metalmeccánica es la mayor aportante de compuestos orgánicos volátiles - COV (52,49), dicho aporte se debe principalmente al uso de solventes en las actividades de recubrimiento de superficies y reparación de partes automotores. En el anexo C se muestra el consolidado de aportes porcentuales a las emisiones por fuentes estacionarias puntuales asociadas al tipo de industria en el municipio de Santiago de Cali – 2017.

De acuerdo a los datos registrados en la tabla 3-7, las emisiones de los contaminantes SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> se redujeron en un 68,7% y 27% respectivamente en comparación con los resultados reportados en inventario de emisiones atmosféricas presentado por la autoridad ambiental de la ciudad de Santiago de Cali - DAGMA en el año 2012. Así mismo, contaminantes como: CO, PM<sub>10</sub> y CO<sub>2</sub> aumentaron sus emisiones para el año 2017 en 51.6%, 163,4% y 181555% respectivamente. Un factor determinante en el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> se debe al aumento en el uso de gas natural por el sector empresarial, datos reportados en los estudios de emisiones atmosféricas presentados en el periodo comprendido entre los años 2013 al 2017 por parte de las empresas que poseen fuentes estacionarias puntuales.

De igual forma, al comparar los resultados del presente estudio con las estimaciones publicadas por el DAGMA en el último informe de actualización del inventario de emisiones de Santiago de Cali en el año 2018, se observó que:

- En la actualización presentada por el DAGMA, solo 17 de las 22 comunas de la ciudad reportaron fuentes estacionarias puntuales, siendo las comunas: 2, 4, 8, 17 y 19 las que mayor número de fuentes reportaron; por el contrario, en el presente estudio solo 11 comunas poseen fuentes estacionarias puntuales, siendo las comunas 2, 3, 4, 5 y 8 las que presentan mayor número de fuentes.
- Los combustibles reportados tanto en el informe de actualización presentado por el DAGMA como en el presente informe coinciden entre sí, siendo estos: carbón, ACPM y gas natural. En el informe de actualización no se reportan los consumos reales para los combustibles evaluados.
- En los dos estudios en mención se evaluaron contaminantes similares tales como: SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, CO<sub>2</sub> y COV. Adicional a estos, en el presente estudio se incluyeron los contaminantes: CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.
- De los contaminantes evaluados en el informe presentado por el DAGMA en el año 2018, el CO<sub>2</sub> presentó el mayor aporte, seguido de los NO<sub>x</sub> y el CO; de igual forma en el presente estudio el CO<sub>2</sub> presentó el mayor aporte en cuanto a las emisiones generadas a la atmósfera, seguido de los COV y los NO<sub>x</sub>, ver tabla 3-7.
- En el último informe de actualización del inventario de emisiones presentado por el DAGMA, se clasificaron las actividades económicas de acuerdo a lo propuesto en el Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle de Aburrá, (año base 2013), por el contrario, en el presente estudio, las actividades económicas se clasificaron de acuerdo a la base de datos que se maneja en el Grupo de Gestión Ambiental Empresarial – GAE del DAGMA.

**Tabla 0-7. Resultados de los inventarios de emisiones atmosféricas de la ciudad de Santiago de Cali**

Contaminantes evaluados	DAGMA (K2 Ing.) – 2011 (ton/año)	DAGMA (FULECOL) – 2017 (ton/año)	PRESENTE ESTUDIO – 2017 (ton/año)
SO <sub>x</sub>	124,68	97,668	39,08
NO <sub>x</sub>	170,73	691,260	124,65
CO	71,45	551,871	108,35
COV	8,49	112,453	5163,7
PM <sub>10</sub>	11,02	53,457	29,03
CO <sub>2</sub>	84	115014,256	152590,65
COV (EDS)	447,98	-	84,6

Según los resultados obtenidos en el inventario de emisiones elaborado en el año 2012 para la ciudad de Santiago de Cali, las comunas que presentaron mayores emisiones de contaminantes a la atmósfera fueron la 4, 8, 2 y la 5, las cuales representan el 96.5% del total de emisiones generadas en Santiago de Cali (Alcaldía de Santiago de Cali & Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente [DAGMA], 2012).

De igual forma en el informe final de actualización de emisiones elaborado en el año 2018 para la ciudad de Santiago de Cali, se concluyó que las Comunas 3, 4, 8 y 19 son las de mayor aporte de contaminantes a la atmósfera, siendo además estas 5 comunas las que más fuentes fijas poseen en la ciudad (Alcaldía de Santiago de Cali & Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente [DAGMA], 2018).

Evaluando los resultados (ver tabla 3-8 y anexo D) del inventario de emisiones atmosféricas obtenido en la presente investigación, las comunas que generaron mayor emisión de contaminantes

a la atmósfera fueron: la comuna 2 con un 53,23%, seguida por la comuna 4 con un 23,07% y por último la comuna 3 con un 10,69%, aportando entre estas el 92% del total de las emisiones estimadas (ver figuras 3-7 y 3-8).

**Tabla 0-8. Consolidado de emisiones por fuentes estacionarias puntuales asociadas a las 22 comunas del municipio de Santiago de Cali – año base 2017.**

Emisión por Comuna (ton/año) – 2017									
Comunas	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	COV	METALES	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
2	58,23	69,32	0,42	3,95	820,49	0,03	83184,95	1,59	1,53
3	9,69	3,04	0,02	0,34	1079,55	0,00	15803,02	0,24	0,83
4	27,14	35,08	18,90	12,44	1861,02	0,03	34510,96	0,67	0,62
5	0,70	0,83	0,00	0,05	0,05	0,00	995,83	0,02	0,02
6	1,86	2,21	0,01	0,13	0,12	0,00	2654,21	0,05	0,05
7	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	42,14	0,00	0,00
8	6,87	11,05	19,70	8,20	685,49	0,02	5480,52	0,12	0,11
9	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	35,11	0,00	0,00
17	1,46	1,74	0,01	0,10	419,86	0,00	2083,83	0,04	0,04
18	0,05	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	68,68	0,00	0,00
19	2,30	1,26	0,01	3,81	297,11	0,00	7731,40	0,28	0,16
<b>Total general</b>	<b>108,35</b>	<b>124,65</b>	<b>39,08</b>	<b>29,03</b>	<b>5163,7</b>	<b>0,07</b>	<b>152590,65</b>	<b>3,01</b>	<b>3,36</b>

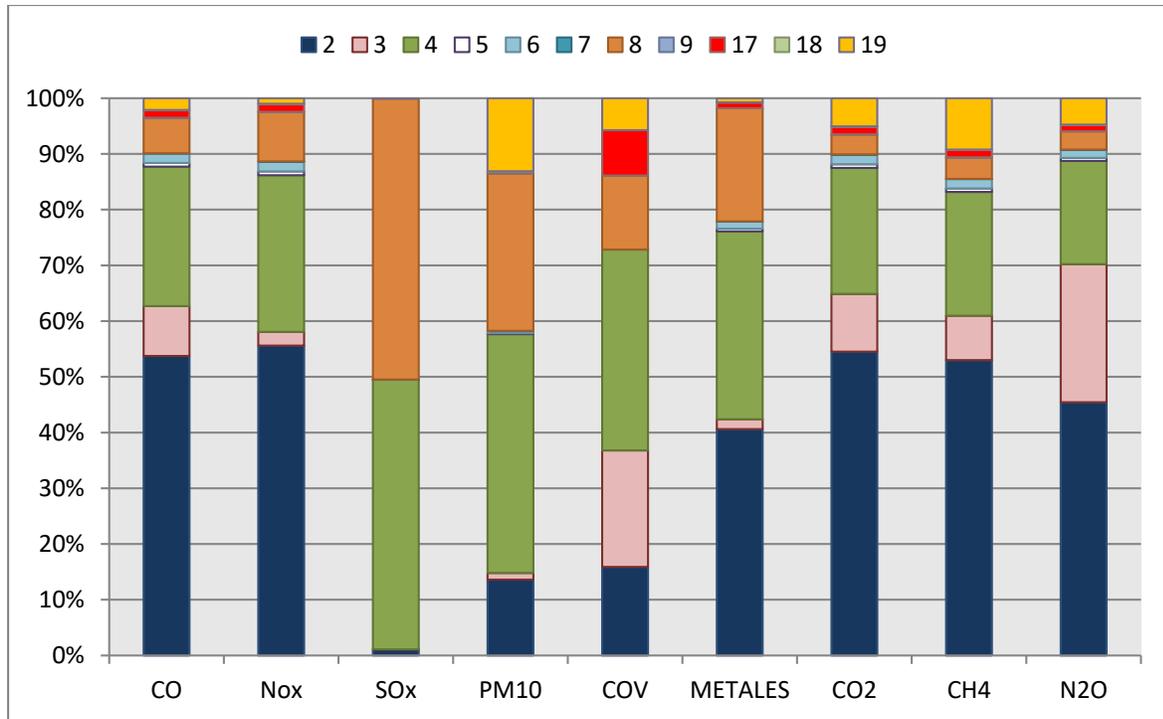


Figura 0-7. Aporte porcentual de cada comuna al total de las emisiones generadas por fuentes estacionarias puntuales del municipio de Santiago de Cali – 2017.

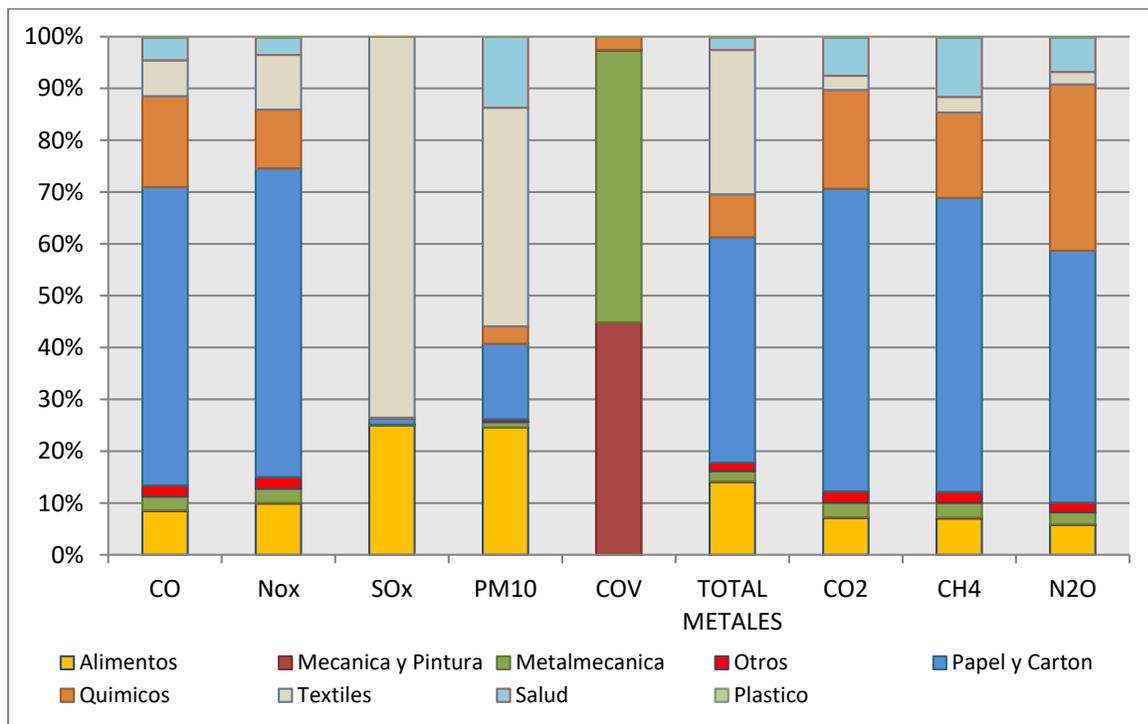


Figura 0-8. Aporte porcentual de cada actividad industrial al total de las emisiones generadas por fuentes estacionarias puntuales del municipio de Santiago de Cali – 2017.

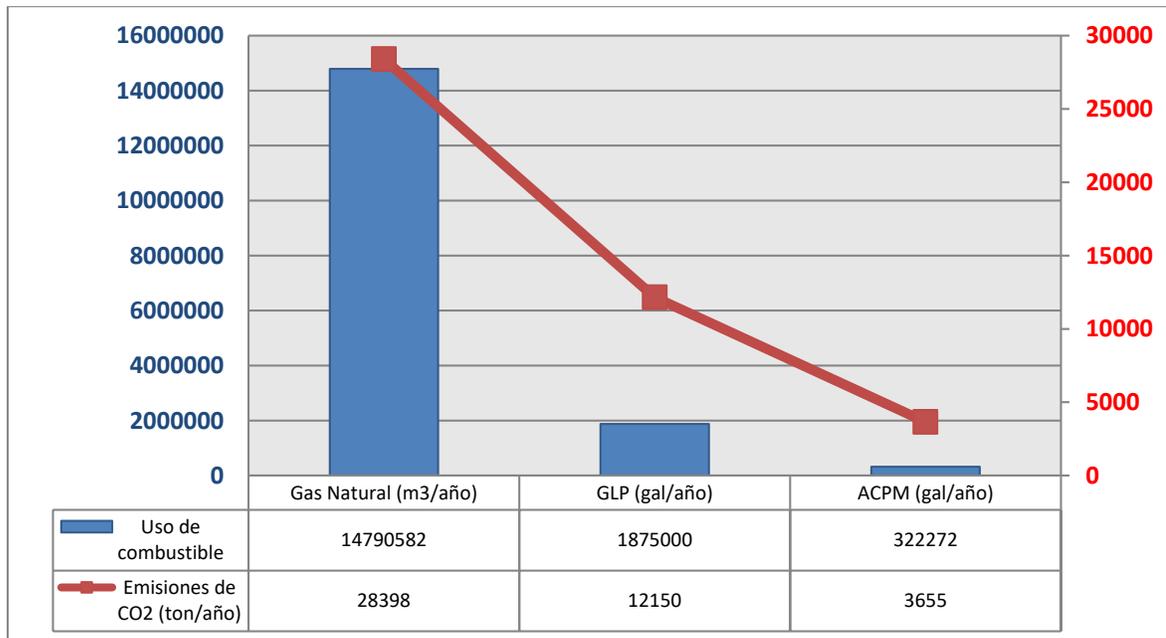
• **APORTE POR COMBUSTIBLE**

Según los datos obtenidos en el presente estudio, el gas natural es el combustible más utilizado (con un valor aproximado de 15 millones de m<sup>3</sup>/año) por el sector industrial de Santiago de Cali para el año 2017, emitiendo a la atmósfera contaminantes como CO, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, seguido del Gas Licuado de Petróleo – GLP con un valor de 1875000 gal/año emitiendo en mayor proporción CO<sub>2</sub>, por su parte el ACPM con un valor cercano a los 322272 gal/año genera la mayor emisión de SO<sub>x</sub> en la ciudad, por último el carbón con un consumo de 3616 ton/año genera la mayor emisión de PM<sub>10</sub>, como se muestra en las tablas 3-9 y 3-10. En la figura 3-9 se muestran los consumos (usos) de los combustibles por las fuentes estacionarias puntuales inventariadas y sus respectivos aportes de CO<sub>2</sub> para el año base 2017.

La mayor cantidad de las emisiones de dióxido de carbono se debe principalmente al consumo de gas natural (14790582,15 m<sup>3</sup>) asociado a un factor de emisión de 1,92 kg/m<sup>3</sup> de CO<sub>2</sub>, lo anterior comparado con los consumos de GLP (1875000) y ACPM de (322272 gal/año), cuyos factores de emisión son de 6,48 kg/gal de CO<sub>2</sub> y 11,34 kg/galón de CO<sub>2</sub> respectivamente

**Tabla 0-9. Aporte de contaminantes por tipo de combustibles en el presente estudio - año base 2017.**

Contaminantes estimados en el presente estudio (ton/año) - año base 2017									
Combustibles	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	COV	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
<b>ACPM</b>	1,28	-	61,91	2,50	3,85	0,07	6401,03	0,26	0,14
<b>Carbón mineral</b>	9,98	17,57	38,43	7,25	18,91	0,10	5534,23	0,12	0,10
<b>Gas natural</b>	89,95	107,08	0,64	2,03	6,10	5,89	128494,38	2,46	2,36
<b>GLP</b>	7,14	-	-	-	0,17	-	12161,02	0,17	0,77
<b>Total general</b>	<b>108,35</b>	<b>124,65</b>	<b>100,98</b>	<b>11,79</b>	<b>29,03</b>	<b>6,06</b>	<b>152590,65</b>	<b>3,01</b>	<b>3,36</b>



**Figura 0-9. Uso de combustibles y sus emisiones de CO<sub>2</sub> por las fuentes estacionarias puntuales en el año 2017.**

Como se observa en la tabla 3-10, la industria de papel y cartón es la que más gas natural consume con un 22.5%, seguido de la actividad de metalmecánica con un 10.2% del total de gas natural reportado en el inventario. De igual forma los consumos de GLP y ACPM se genera principalmente en los sectores de salud y químicos.

**Tabla 0-10. Consolidado de consumo de combustibles por industria en el año 2017.**

Industrias	Unidad (por año)	Gas Natural	Carbón Mineral	GLP	ACPM
Alimentos	m <sup>3</sup>	1166400	-	-	-
	toneladas	-	1115	-	-
Mecánica y Pintura	m <sup>3</sup>	111947	-	-	-
Metalmecánica	m <sup>3</sup>	1508026	-	-	-
Otros	m <sup>3</sup>	271954	-	-	-
Papel y Cartón	m <sup>3</sup>	3338064	-	-	-
Químicos	m <sup>3</sup>	7287840	-	-	-
	galones	-	-	1875000	-
Salud	galones	-	-	-	322272
	m <sup>3</sup>	1093392	-	-	-
Textiles	m <sup>3</sup>	12960	-	-	-
	toneladas	-	2502	-	-
<b>Total general</b>		<b>14790582</b>	<b>3617</b>	<b>1875000</b>	<b>322272</b>

## LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS EMISIONES GENERADAS POR LAS FUENTES ESTACIONARIAS PUNTALES

Como parte del desarrollo del inventario, se realizó una distribución espacial normalizada (ton/m<sup>2</sup>-año) de las emisiones estimadas para los contaminantes objeto de estudio de acuerdo con el área total de cada comuna. En las figuras 3-10, 3-11 y 3-12, se muestran los resultados de la distribución espacial para 3 contaminantes principales (PM<sub>10</sub>, CO y CO<sub>2</sub>). En la tabla 3-11 se detalla la distribución del número de fuentes estacionarias puntuales por comuna en Santiago de Cali.

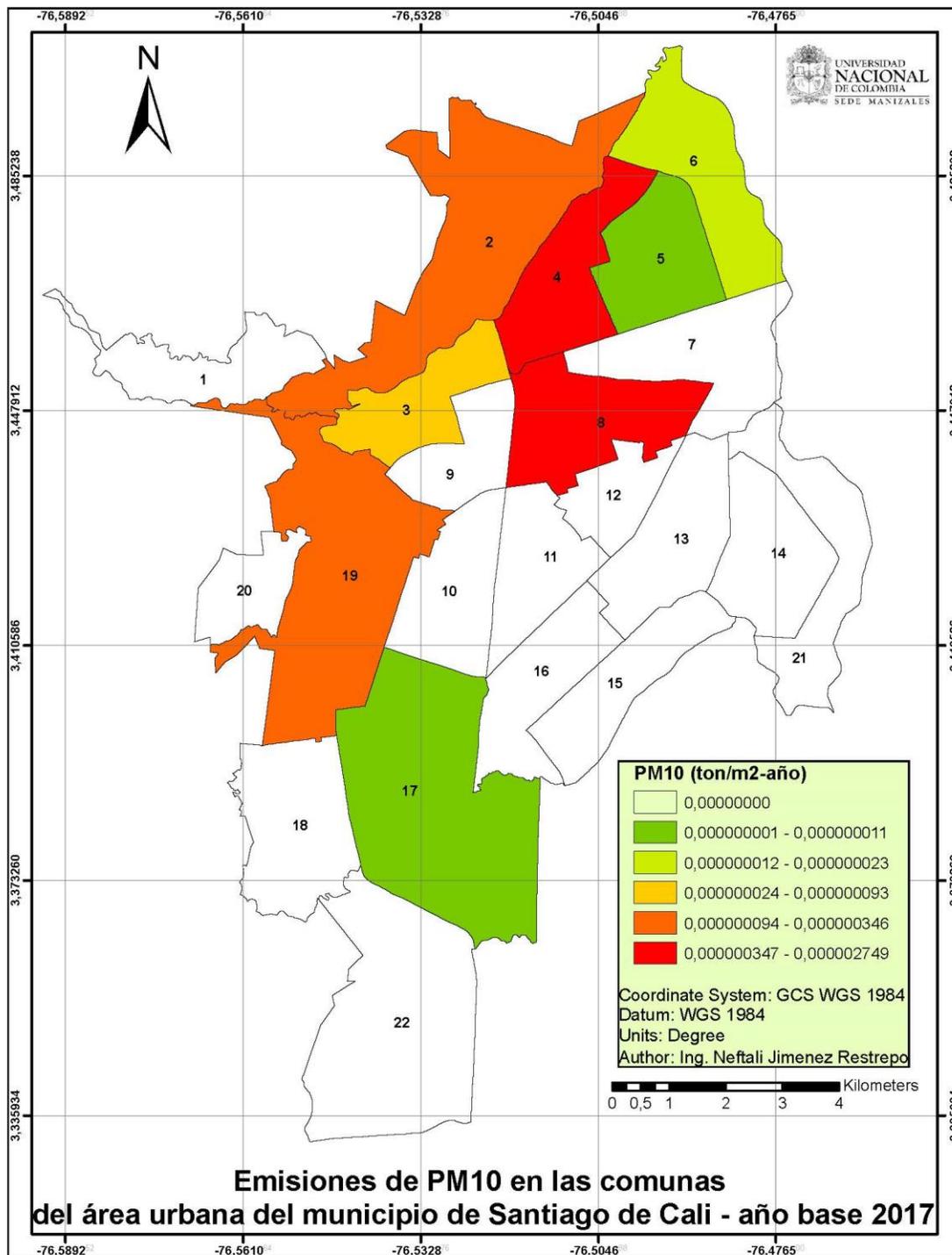
**Tabla 0-11. Distribución de las fuentes estacionarias puntuales en las comunas de Santiago de Cali - año base 2017.**

Fuentes estacionarias puntuales	COMUNAS											
	2	3	4	5	6	7	8	9	17	18	19	
<b>Total general</b>	16	15	61	15	1	4	20	3	8	1	9	<b>153</b>

De acuerdo a la figura 3-10, esta indica que la distribución espacial de las emisiones generadas de PM<sub>10</sub>, se localizaron principalmente en las comunas: 4 (ubicada al norte) y la 8 (en la parte nororiental de la ciudad de Santiago de Cali); En estas comunas se concentran la gran mayoría de las industrias en la ciudad (ver tabla 3-10).

A continuación se muestran los mapas de las distribuciones espaciales de las emisiones de PM<sub>10</sub>, CO y CO<sub>2</sub> en las comunas de Santiago de Cali (figuras 3-10, 3-11 y 3-12), se observa que las comunas: 2, 3, 4 y 8 son las de mayor impacto, esto debido al número de fuentes estacionarias evaluadas y al aporte que estas generan en cada una de las comunas; las comunas 2 y 3 registran 15 fuentes evaluadas cada una, de las cuales 8 y 14 son calderas respectivamente, la comuna 4 posee 61 fuentes evaluadas de las cuales 30 son calderas y por último la comuna 8 registra 18 fuentes evaluadas de las cuales 7 son calderas, en relación con lo anterior el combustible que se usa en mayor proporción en las comunas antes mencionadas es el gas natural, seguido del carbón el cual solo se usa en las comunas 4 y 8.

El cálculo de las distribuciones espaciales es un insumo importante para la autoridad ambiental de la ciudad de Santiago de Cali – DAGMA, ya que con éstos se pueden evidenciar las comunas que mayor afectación generan al recurso aire, generando así la necesidad de plantear políticas y/o planes encaminados a la reducción de las emisiones a la atmósfera en estas zonas.



**Figura 0-10. Distribución espacial de las emisiones de PM<sub>10</sub> en las comunas de Santiago de Cali - año base 2017.** Fuente: elaboración propia (ArcGis).

Con respecto a la distribución espacial de monóxido de carbono en la ciudad, se observa en la figura 3-11 que las comunas donde se localiza la mayor emisión de este contaminante son: la 2 (al Noroccidente de la ciudad), la 3 (centro de la ciudad) y por último la 4 (ubicada al norte); el CO es considerado uno de los contaminantes criterio de importancia por sus riesgos para la salud humana y al ambiente (estrucplan, 2019).

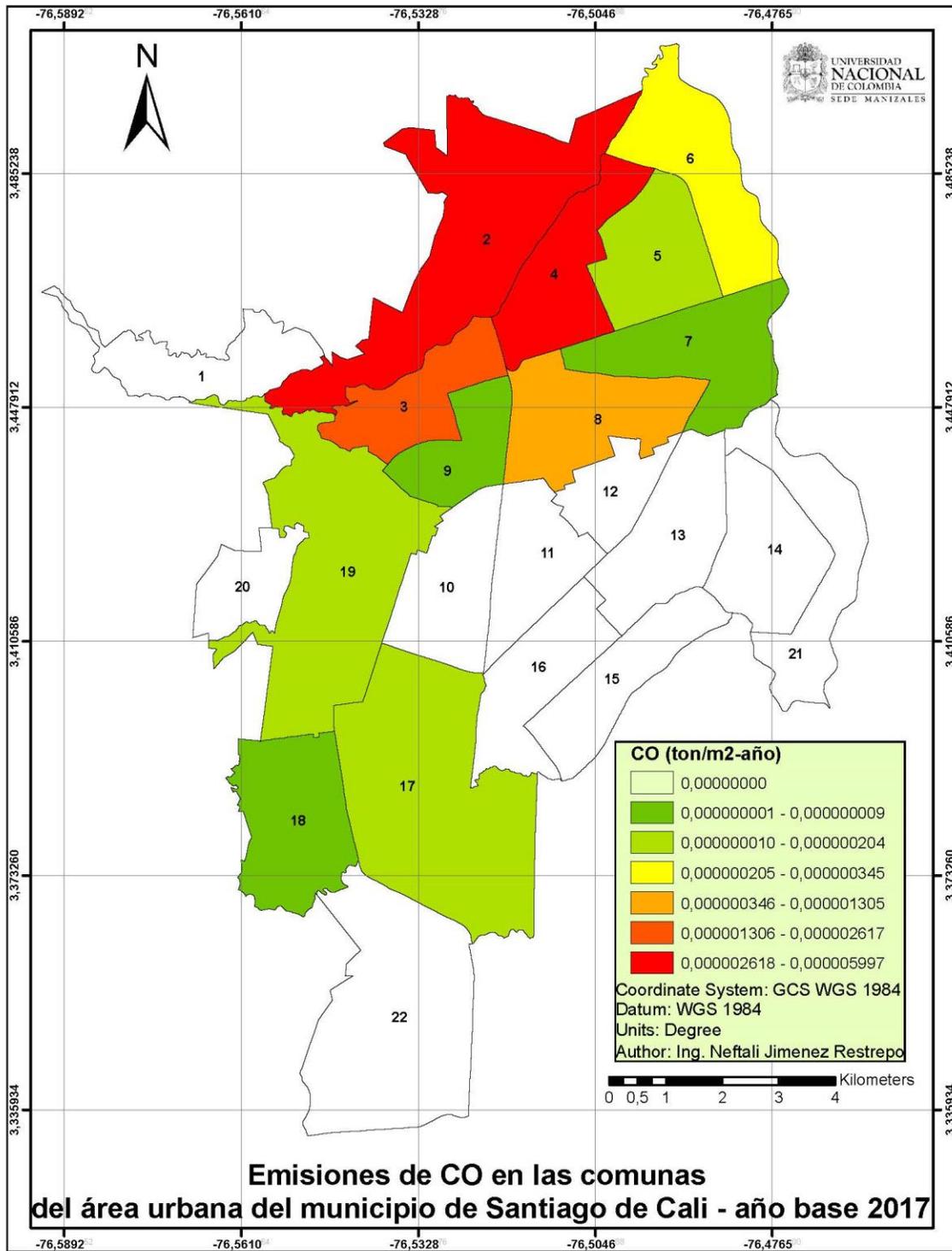
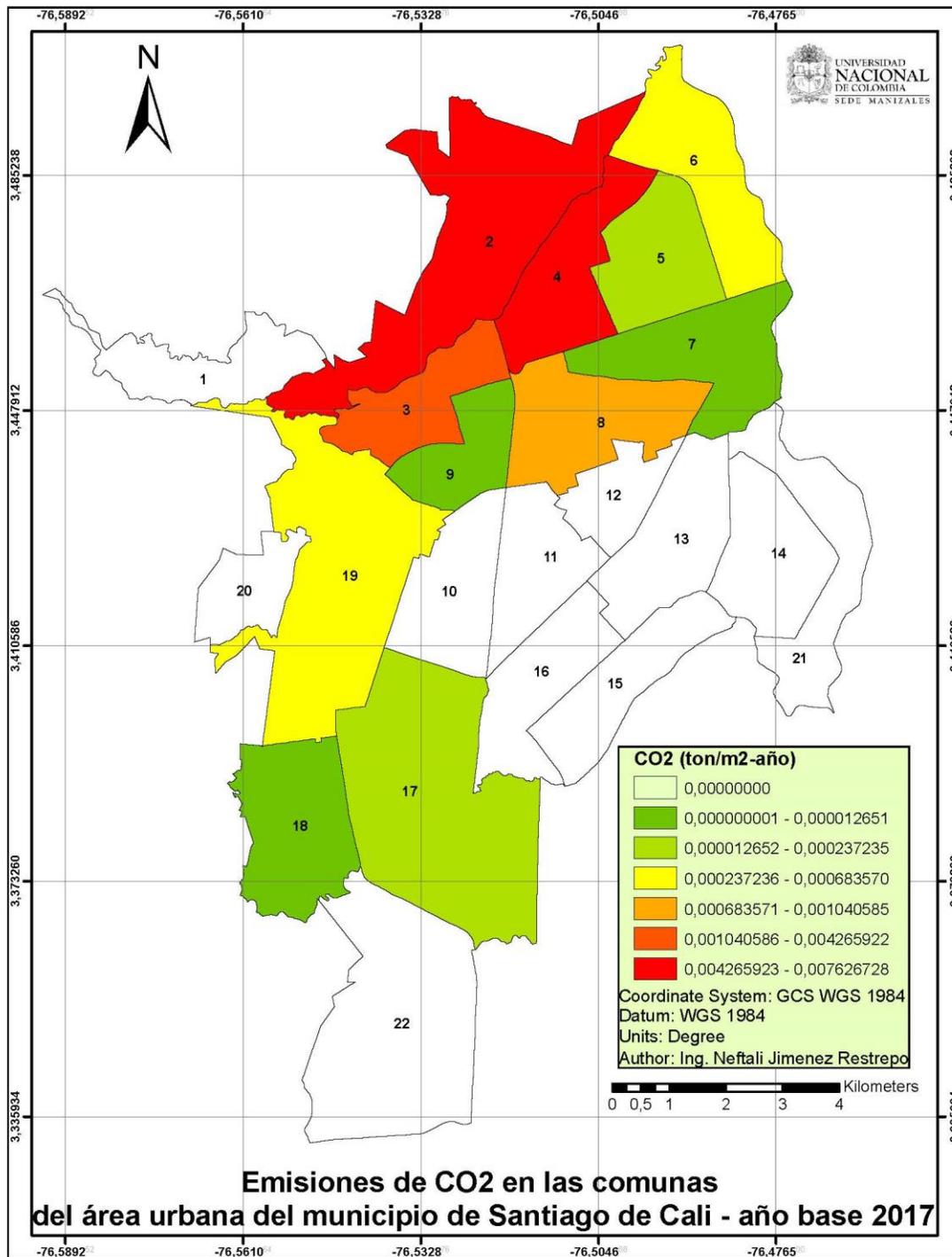


Figura 0-11. Distribución espacial de las emisiones de CO en las comunas de Santiago de Cali - año base 2017. Fuente: elaboración propia (ArcGis).

Como se observa en la figura 3-12, gran parte de la distribución espacial de las emisiones de dióxido de carbono se localiza en las comunas: 2 (al oeste de ciudad), 3 (centro de la ciudad) y 4 (al norte de la ciudad), como se detalla en la tabla 3-10 estas son las comunas con mayor número de fuentes estacionarias puntuales en el área urbana de la ciudad de Santiago de Cali.



**Figura 0-12. Distribución de las emisiones de CO<sub>2</sub> en las comunas de Santiago de Cali - año base 2017.**  
Fuente: elaboración propia (ArcGis).

En el anexo F, se muestran las figuras con la distribución de las emisiones de los contaminantes (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y COV) también evaluados en el inventario.

### 3.4 EMISIONES ESTIMADAS PARA LAS ESTACIONES DE SERVICIO DE COMBUSTIBLE – EDS

De acuerdo con lo reportado por el Fondo de Protección Solidaria SOLDICOM, en el Informe Estadístico de Distribución Minorista de Combustible – corte febrero 2018, para el año 2017 la ciudad de Santiago de Cali contó con 147 estaciones de servicio de combustible activas, distribuidas en el área urbana de la ciudad. Éstas reportan una venta total de combustible líquido de 123456 galones, discriminados de la siguiente manera: 107512917 galones para gasolina (corriente y extra) y 32928124 galones para ACPM (diésel) (ver tabla 3-12).

En las visitas que se desarrollaron en campo a las estaciones de servicio de combustible (EDS) ubicadas en el área urbana del municipio de Santiago de Cali, se diligenció la encuesta cuyo contenido se describe en la tabla 2-4. De las 147 EDS reportadas por SOLDICOM y que se encuentran activas en la ciudad, se encuestaron 107 (72,8%), de donde se obtuvo información de las ventas de combustibles líquidos (gasolina y ACPM) para el año 2017. De acuerdo con los datos obtenidos de las encuestas, en el año 2017 se comercializaron en Santiago de Cali un total de 100392561 galones de gasolina y 37596424 galones de ACPM.

En la figura 3-5 se detalla la distribución espacial de las fuentes difusas inventariadas en las 22 comunas del área urbana del municipio de Santiago de Cali, año base 2017.

A continuación, se presentan los valores de despacho mensual de combustible reportados por SOLDICOM para el año 2017 en la ciudad de Santiago de Cali (ver tabla 3-12). Se observa una tendencia al aumento en el despacho conforme van pasando los meses, siendo diciembre el mes de mayor comercialización de combustible.

**Tabla 0-12. Despacho de combustibles en Santiago de Cali – año 2017.**

Periodo	Despacho de combustibles (Galones)		
	Gasolina Corriente	Gasolina extra	Diésel - ACPM
	<b>2017</b>		
<b>Enero</b>	7917,43	248,23	2514,34
<b>Febrero</b>	8060,19	305,17	2560,15
<b>Marzo</b>	8663,89	284,92	2559,13
<b>Abril</b>	8349,06	263,90	2540,58
<b>Mayo</b>	8586,12	280,57	2785,07
<b>Junio</b>	8469,48	282,16	2747,55
<b>Julio</b>	8716,24	292,02	2724,57
<b>Agosto</b>	8909,59	294,62	2974,83
<b>Septiembre</b>	8911,55	284,91	2569,47
<b>Octubre</b>	8805,46	275,96	2938,24
<b>Noviembre</b>	8899,70	280,85	3002,97
<b>Diciembre</b>	9800,72	330,20	3011,23
<b>Total Santiago de Cali</b>	104089,42544	3423,49200	32928,12398
	<b>107512,917</b>		<b>32928,124</b>

Fuente: (Subdirección económica del Fondo SOLDICOM, 2018).

Los valores registrados en la tabla 3-12 corresponden a miles de millones.

Para determinar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles – COV generadas por las fuentes difusas, se utilizaron los valores consignados en la tabla 3-12, la información obtenida en las encuestas se utilizó para comparar los datos reportados por SOLDICOM y dar validez a los mismos, esta validación se llevó a cabo comparando el total de las ventas de combustibles consignadas en las encuestas con los valores reportados por SOLDICOM para cada combustible (gasolina y diésel), obteniendo un valor del 93% en la coincidencia de los datos.

Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles – COV para el año 2017 en la ciudad de Santiago de Cali fueron de 82,36 toneladas para el combustible gasolina corriente y 2,23 toneladas para el combustible diésel – ACPM, como se evidencia en la tabla 3-13. Las figuras 3-13 y 3-14, indican que las comunas que más aporte de COV generan por la evaporación de combustible (gasolina y diésel) en las estaciones de servicio en la ciudad son: comuna 2 (12,34%), comuna 17 (10,7%), comuna 10 (8,6) y comuna 19 (8,2). Dichos aportes se deben principalmente a que estas son las comunas que más EDS poseen como se indicó en la tabla 3-4.

**Tabla 0-13. Aporte de COV por comunas – 2017.**

COMUNAS	Aporte de COV (ton/año)	
	CORRIENTE	DIÉSEL
20	0,78	0,01
21	0,86	0,01
1	1,20	0,03
13	1,20	0,03
16	1,31	0,05
7	1,37	0,04
14	1,54	0,04
15	2,00	0,05
11	2,10	0,06
6	2,27	0,10
3	3,02	0,11
22	3,35	0,09
5	3,44	0,09
12	3,59	0,12
18	4,39	0,12
8	4,87	0,13
4	5,48	0,16
9	6,71	0,11
19	6,77	0,16
10	7,10	0,24
17	8,81	0,24
2	10,20	0,24
<b>Total general</b>	<b>82,36</b>	<b>2,23</b>

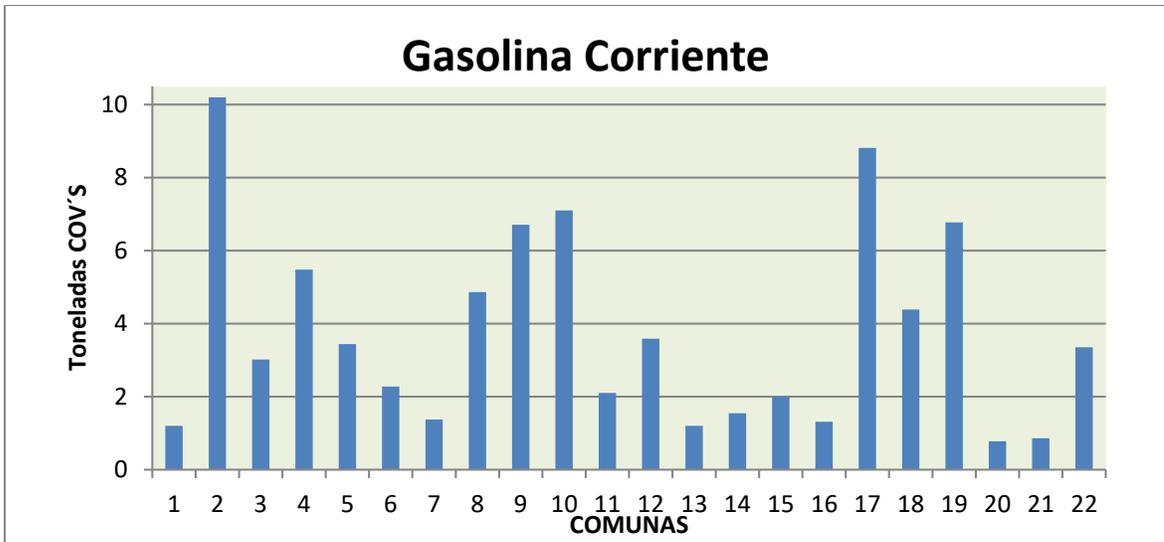


Figura 0-13. Aporte de COV por comunas por venta de gasolina corriente – 2017.

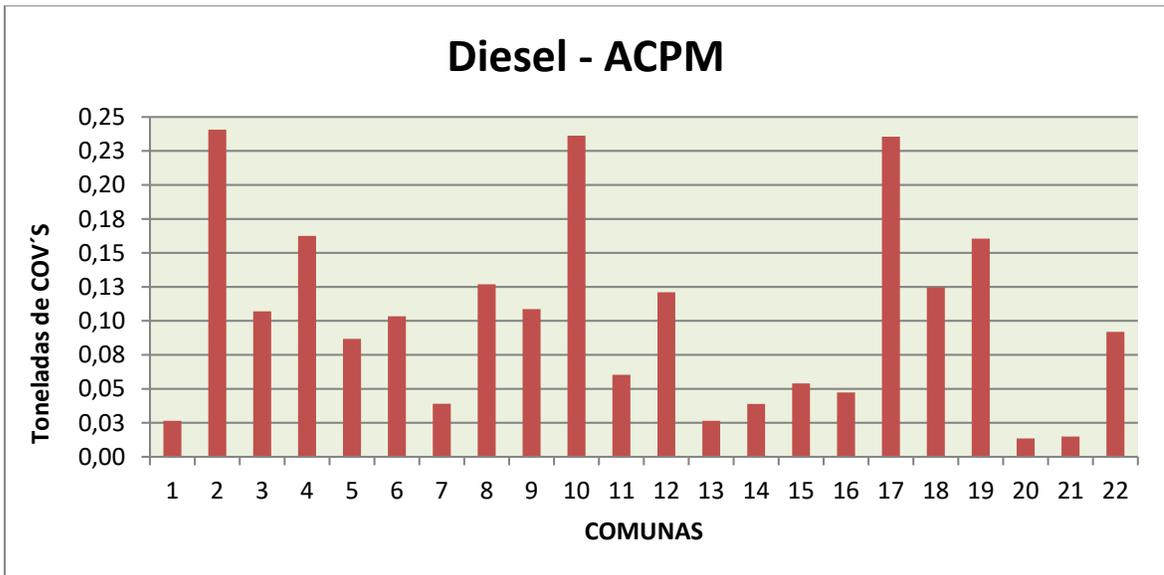


Figura 0-14. Aporte de COV por venta de combustible diésel-ACPM – 2017.

Como se observa en las figuras 3-13 y 3-14, los mayores aportes de COV por evaporación de combustible en las EDS del área urbana del municipio de Santiago de Cali se generan por el descargue (llenado de los tanques), almacenamiento y venta de gasolina, en comparación con diésel, ya que por cada tonelada de COV generada por la evaporación de diésel se generan 36 toneladas del mismo contaminante por la evaporación de gasolina (1/36). Las figuras 3-13 y 3-14 se muestran por separado debido a que la magnitud de los resultados de las emisiones de COV entre Gasolina y ACPM varía considerablemente.

## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS EMISIONES GENERADAS POR LAS FUENTES DIFUSAS (EDS)

Se realizó una distribución espacial normalizada ( $\text{ton}/\text{m}^2\text{-año}$ ) de las emisiones de COV generadas en las EDS de acuerdo con el área total de cada comuna de la ciudad de Santiago de Cali, en la figura 3-15, se detalla dicha distribución. Como se observa en la figura 3-15, según la distribución espacial de las emisiones de COV generadas por las EDS en Santiago de Cali, las comunas donde se localiza los mayores aportes de compuestos orgánicos volátiles son: la 4 (ubicada al norte de la ciudad), 9 (ubicada en el centro de la ciudad), 10 (ubicada al suroccidente de la ciudad) y la 12 (ubicada al suroriente de la ciudad).

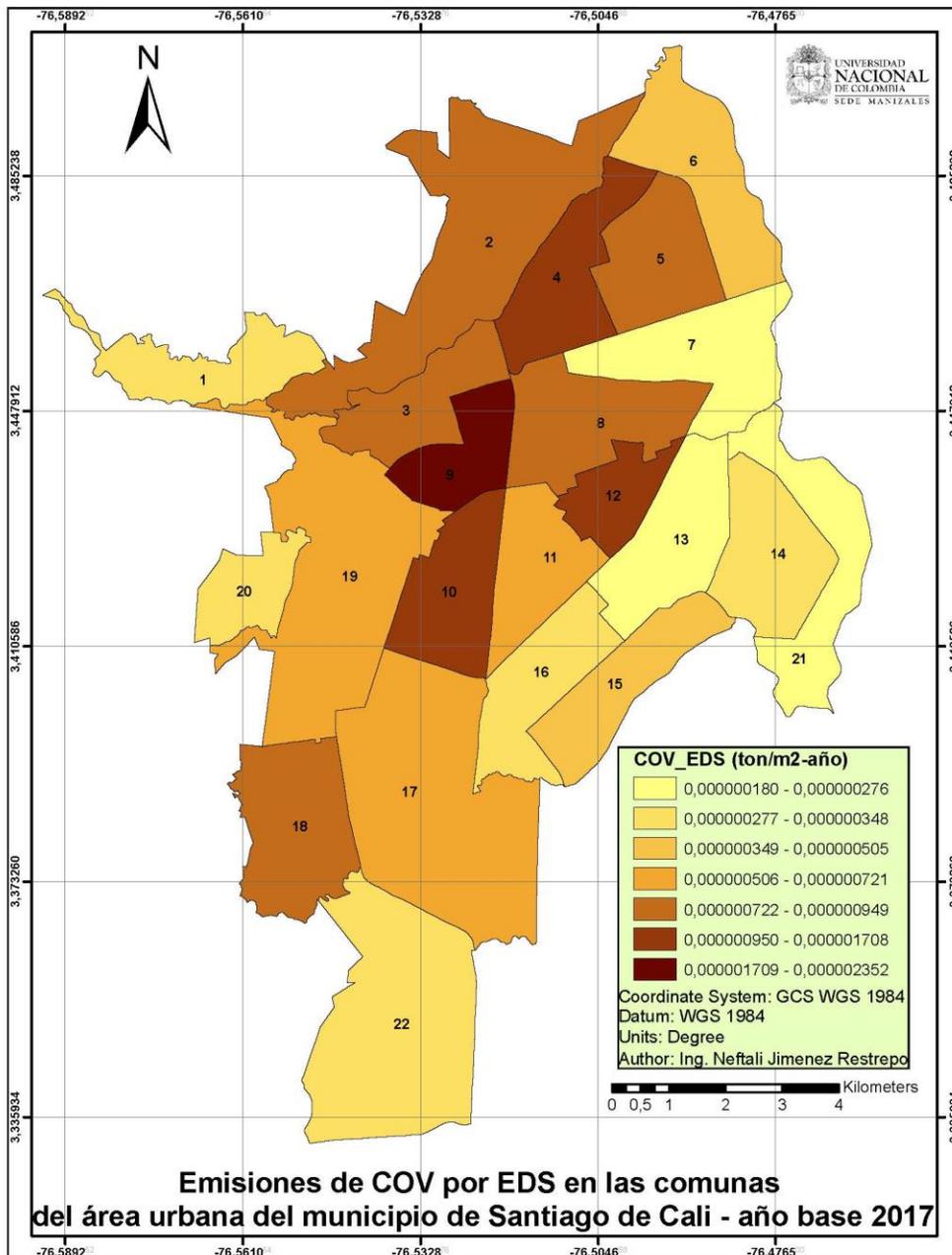


Figura 0-15. Distribución espacial de las emisiones de COV por comuna en la ciudad de Santiago de Cali - año base 2017. Fuente: elaboración propia (ArcGis).

### 3.5 COMPARACIÓN DE EMISIONES DE COV ENTRE FUENTES ESTACIONARIAS PUNTUALES Y DIFUSAS (EDS)

Son muchos los contaminantes que se emiten a la atmósfera por fuentes estacionarias puntuales que se generan principalmente por el uso de un combustible fósil (combustión), un proceso o una actividad en particular. Para el caso del inventario de emisiones atmosféricas por fuentes estacionarias puntuales y estaciones de servicio de combustible en el área urbana del municipio de Santiago de Cali, solo un contaminante es emitido a la atmósfera por las dos fuentes mencionadas, es el caso de los compuestos orgánicos volátiles – COV.

Según la Organización Mundial para la Salud (OMS), los COV al reaccionar con los óxidos de nitrógeno  $\text{NO}_x$  y la luz solar en la atmósfera, forman el ozono a nivel del suelo (troposférico), siendo éste uno de los principales componentes de la niebla tóxica y un contaminante de alta peligrosidad para la salud humana.

Las estimaciones de COV realizadas en el inventario del presente estudio, arrojaron como resultado que las fuentes estacionarias puntuales emitieron a la atmósfera un total de 5163,7 toneladas de COV. Por el contrario, las fuentes difusas (EDS) emitieron un total de 84,6 toneladas de COV. Estos resultados indican que, teniendo en cuenta las dos fuentes evaluadas en el inventario, del total de las emisiones por COV generadas en el área urbana del municipio de Santiago de Cali para el año base 2017, el 98,4% son emitidas por fuentes estacionarias puntuales y el 1,6% por fuentes difusas (EDS) (ver figura 3-16).

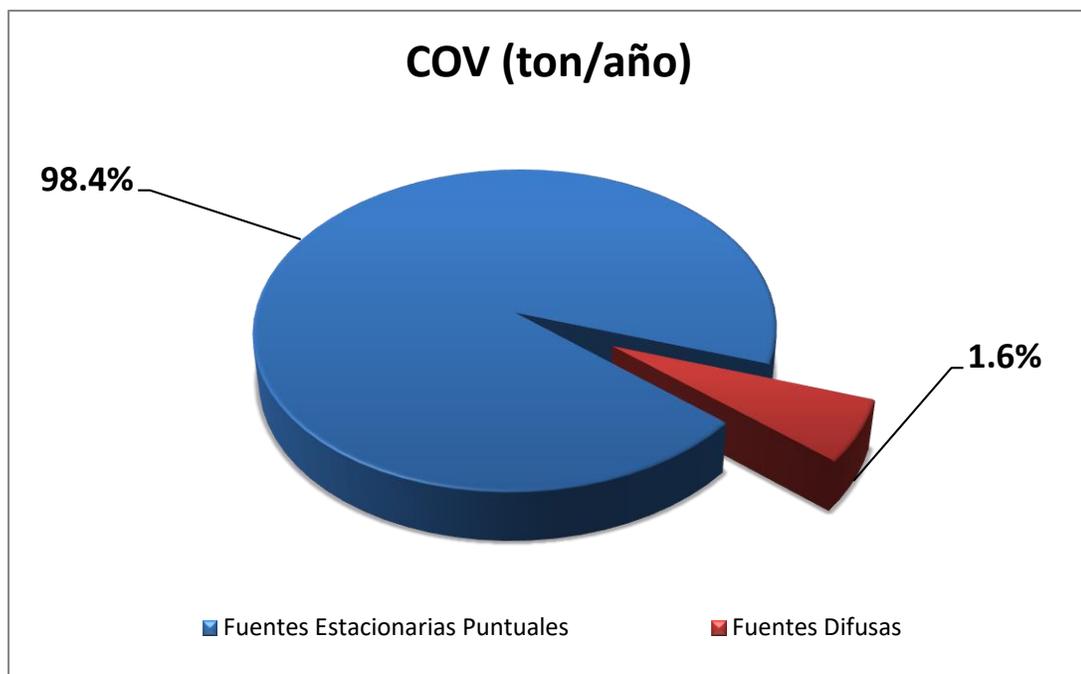


Figura 0-16. Aporte de COV por fuentes estacionarias puntuales y difusas en el área urbana del municipio de Santiago de Cali – 2017.

Comparando los resultados reportados en el inventario publicado por el DAGMA en el 2012 con los del presente estudio en cuanto a las estimaciones de COV generadas por la venta de combustibles líquidos en el área urbana del municipio de Santiago de Cali, se observa que la venta de los combustibles aumentó para el 2017 en un 45% para gasolina y un 6% para ACPM, lo que sugiere que las emisiones también debieron aumentar en la misma proporción. Sin embargo, esto no sucedió, ya que las estimaciones arrojaron valores muy por debajo para el año 2017 de los estimados en el inventario anterior, ver tabla 3-14.

Lo anterior se debe a que, en el inventario reportado por el DAGMA en el año 2012, se utilizaron todos los factores discriminados en la tabla 2-7, sin tener en cuenta que, en las estaciones de servicio de Santiago de Cali, no se llevan a cabo todas las actividades allí propuestas, ejemplo de ello, es el llenado de los vehículos con control de emisiones, esta actividad no se evidenció en las visitas de campo realizadas a las EDS.

Por el contrario, en el presente estudio se realizó un ajuste al método de estimación de las emisiones, de acuerdo con las actividades realizadas en campo, donde se eligieron los factores de emisión de la tabla 2-7, de acuerdo con las características de las EDS en cuando a: el tipo de llenado de los tanques (tubería no sumergida), la contracción y expansión de los gases en los tanques subterráneos, las emisiones sin control generadas en el momento del llenado de los vehículos y los posibles derrames que se puedan generar en alguna de las actividades antes mencionadas

**Tabla 0-14. Comparación de las estimaciones de COV generadas por las EDS para los años 2011 y 2017 en Santiago de Cali.**

	Venta de combustible (gal/año) y emisión de COV (ton/año)			
	DAGMA (K2 Ing.) – año base 2011		Presente estudio – año base 2017	
	Gasolina	ACPM	Gasolina	ACPM
<b>Galones vendidos</b>	73924583,7	30993000	107512917	32928124
<b>COV emitido</b>	424,97	23,01	82,36	2,23

De acuerdo con los resultados registrados en la tabla 3-14, se observa que en el presente estudio se reporta una disminución del 81,1% en las emisiones de COV (EDS) generadas por fuentes difusas con respecto a los resultados del inventario presentado por el DAGMA en el año 2012., esta disminución se presenta por lo mencionado anteriormente, pues en el presente estudio se usaron los factores de emisión de la tabla 2-7, de acuerdo con las actividades que se desarrolla en las EDS, por el contrario en el inventario presentado por el DAGMA en el año 2012, hicieron uso de todos los factores de emisión de la tabla 2-7 sin tener en cuenta el detalle en el funcionamiento de las EDS, facto clave para determinar cuáles son los factores a usar.

Es importante aclarar que no se realizaron comparaciones con los resultados publicados en el último inventario desarrollado por el DAGMA en el año 2018, ya que en dicho informe no se incluyeron las fuentes difusas como generadoras de emisiones de COV en las estaciones de servicio – EDS en Santiago de Cali.

### 3.6 COMPARACION DE LOS INVENTARIOS NACIONALES CON EL PRESENTE ESTUDIO

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio, la ciudad de Santiago de Cali en comparación con los resultados presentados en los inventarios de emisiones atmosféricas de ciudades como Bogotá, Medellín y Manizales, muestra similitudes en cuanto a los contaminantes evaluados y las fuentes generadoras de la contaminación en su territorio, se observó que contaminantes como: PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> y COV se evaluaron en las cuatro ciudades para sus respectivos años base, además se evidenció que las fuentes estacionarias puntuales se encuentran en cada uno de estos, seguidas de las fuentes móviles, las cuales no fueron tenidas en cuenta en el desarrollo del presente trabajo debido al alcance del mismo.

Los cuatro inventarios en mención reportan que los sectores de industria y comercio presentan similitudes en el uso de combustibles fósiles dentro de sus procesos, los combustibles más usados son: gas natural, ACPM, carbón y GLP; estos concluyen además que el ACPM y el carbón son los principales precursores de emisiones a la atmósfera de PM<sub>10</sub> y SO<sub>x</sub>, así mismo el gas natural es el principal generador de emisiones de NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. en la tabla 3-15, se presentan los resultados de las emisiones anuales para los contaminantes evaluados en cada uno de los inventarios.

**Tabla 0-15. consolidado de resultados de los últimos inventarios nacionales y el presente estudio.**

contaminantes evaluados	Fuentes Estacionarias Puntuales (ton/año)			
	Bogotá – año base 2012	Medellín - año base 2013	Manizales – año base 2014	PRESENTE ESTUDIO – año base 2017
PM <sub>10</sub>	992	688,8	37,2	29,03
PM <sub>2,5</sub>	-	306,5	120,1	-
NO <sub>x</sub>	1612	2843,8	89,5	124,65
SO <sub>x</sub>	1540	2981,3	113,5	39,08
CO	674	3330	219,1	108,35
CO <sub>2</sub>	862810	-	64077	152590,65
COV	-	1236,1	4,38	5163,7
COV (EDS)	-	1736	-	84,6



## CAPÍTULO 4 - CONCLUSIONES

En la actualización del inventario de emisiones atmosféricas por fuentes estacionarias puntuales y estaciones de servicio de combustible en el área urbana del municipio de Santiago de Cali – año base 2017, se registraron un total de 153 fuentes estacionarias puntuales y 147 fuentes difusas (EDS). La recopilación de información de las fuentes estacionarias puntuales se obtuvo gracias a los registros de los expedientes de cada una de las empresas que realizan el reporte de sus emisiones (estudio de emisiones atmosféricas) a la autoridad ambiental de Santiago de Cali – DAGMA. Por otra parte, el registro de las fuentes difusas (EDS) se logró gracias al trabajo de campo (diligenciamiento de encuestas) realizado por el grupo de Gestión Ambiental Empresarial del DAGMA, en el cual se visitaron un total de 107 de las 147 estaciones de servicio de combustible que actualmente posee la ciudad de Santiago de Cali dentro de su perímetro urbano y la información suministrada por el fondo de protección solidaria SOLDICOM.

De acuerdo con los resultados presentados en los inventarios de emisiones atmosféricas por fuentes fijas en ciudades como Bogotá, Medellín y Manizales, el presente estudio muestra similitudes en cuanto a los contaminantes evaluados y las fuentes generadoras de la contaminación, se observó que contaminantes como: PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> y COV se evaluaron tanto en las tres ciudades para sus respectivos años base como en el presente estudio, además se evidencio que de las fuentes evaluadas en los inventarios, las fuentes estacionarias puntuales se encuentran en cada uno de estos, seguidas de las fuentes móviles, las cuales no fueron tenidas en cuenta en el desarrollo del presente trabajo debido al alcance del mismo.

Los sectores de industria y comercio reportan en los cuatro inventarios en mención, similitudes en el uso de combustibles fósiles dentro de sus procesos, los combustibles más usados son: gas natural, ACPM, carbón y GLP; siendo el ACPM y el carbón los principales precursores de emisiones a la atmósfera de PM<sub>10</sub> y SO<sub>x</sub>, así como también el gas natural es el principal generador de emisiones de NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.

De acuerdo con las estimaciones realizadas en el inventario de emisiones atmosféricas por fuentes estacionarias puntuales y estaciones de servicio de combustible en el área urbana del municipio de Santiago de Cali – año base 2017, las fuentes estacionarias puntuales emiten a la atmósfera principalmente CO<sub>2</sub> (152590,65 ton/año), COV (5163,7 ton/año), NO<sub>x</sub> (124,65 ton/año), CO (108,35 ton/año), SO<sub>x</sub> (39,08 ton/año) y PM<sub>10</sub> (29,03 ton/año). Las fuentes difusas (EDS) emitieron a la atmósfera para el año 2017 un total de 84,6 toneladas de COV.

Se evidenciaron reducciones de contaminantes criterio como los SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y COV (EDS) en un 68,7%, 27% y 81,1% respectivamente en comparación al reporte del inventario de emisiones atmosféricas presentado por la autoridad ambiental de la ciudad de Santiago de Cali - DAGMA en el año 2012; de igual manera se generaron aumentos en los aportes de contaminantes como el CO, PM<sub>10</sub> y CO<sub>2</sub> en un 51,6%, 163,4% y 181555% respectivamente, el aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub> se presentó principalmente por el aumento en el uso de gas natural en los sectores industria y servicios..

Comparados los resultados del presente estudio con las estimaciones publicadas por el DAGMA en el último informe de actualización del inventario de emisiones de Santiago de Cali en el año 2018, se observaron reducción en los contaminantes: SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO y PM<sub>10</sub> en un 60%, 82%, 80,4% y 45,7% respectivamente. Así mismo, contaminantes como el CO<sub>2</sub> y COV aumentaron sus emisiones para el año 2017 en un 32,7% y 4490% respectivamente. No se comparan las emisiones estimadas de COV (EDS) generadas por fuentes difusas del presente estudio con el presentado por el DAGMA en el 2018, ya que en dicho informe no se incluyó esta fuente de emisión.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el sector textil es el principal precursor de PM<sub>10</sub> y SO<sub>x</sub> a la atmósfera en la ciudad, con porcentajes que oscilan alrededor del 42% y 73% respectivamente. De igual forma, la industria de papel y cartón emite a la atmósfera contaminantes como: CO, NO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub> en porcentajes del 57%, 59% y 58%. Por último, el sector de metalmecánica es el mayor emisor de COV a la atmósfera con un porcentaje del 52% del total de las emisiones estimadas para este contaminante.

Según los resultados obtenidos en el presente inventario de emisiones, las comunas que generan mayor emisión de contaminantes a la atmósfera son: la comuna 2 con un 53,23% ubicada al nororiente de la ciudad, seguida por la comuna 4 con un 23,07% ubicada al norte de la ciudad y por último la comuna 3 con un 10,7% ubicada al nororiente de la ciudad. Estas comunas aportan el 92% del total de las emisiones generadas.

De acuerdo con lo anterior y comparando los resultados con los inventarios de emisiones atmosféricas presentados por la autoridad ambiental de la ciudad de Santiago de Cali DAGMA en los años 2012 y 2018, se observa que las comunas 2 y 4 siguen estando entre las comunas que más contaminación generan en el área urbana del municipio de Santiago de Cali, debido principalmente a que en éstas se ubican en mayor proporción establecimientos de servicio y comercio como EDS, talleres automotrices así como también gran parte del sector industrial de la ciudad.

Las emisiones de COV asociadas a las fuentes difusas (EDS) inventariadas en el presente estudio, se generaron principalmente por la evaporación de los combustibles en las actividades el llenado y almacenamiento, así como también por la venta y distribución del mismo a los vehículos automotor. Los resultados obtenidos en el inventario de EDS mostraron que las comunas que generan una mayor emisión de COV a la atmósfera producto de la evaporación de combustibles fósiles son: la comuna 2 con un 12,4%, la comuna 17 con un 10,7%, la comuna 10 con un 8,6 % y la comuna 19 con un 8,2% del total de las emisiones generadas.

Las emisiones de COV (EDS) generadas por las fuentes difusas evaluadas en el presente estudio representan el 1,6% del total de COV estimados en el presente inventario, además estas reportan una disminución del 81,1% con respecto a los resultados del inventario presentado por el DAGMA en el año 2012.

De acuerdo a los mapas de las distribuciones espaciales de las emisiones de PM<sub>10</sub>, CO y CO<sub>2</sub> en las comunas de Santiago de Cali, se observa que las comunas: 2, 3, 4 y 8 son las de mayor impacto, debido al número de fuentes estacionarias evaluadas y al aporte que estas generan en cada; las comunas 2 y 3 registran 15 fuentes evaluadas cada una, de las cuales 8 y 14 son calderas respectivamente, la comuna 4 posee 61 fuentes evaluadas de las cuales 30 son calderas y por último la comuna 8 registra 18 fuentes evaluadas de las cuales 7 son calderas, en relación con lo anterior el combustible que se usa en mayor proporción en las comunas antes mencionadas es el gas natural, seguido del carbón el cual solo se usa en las comunas 4 y 8.

Los mapas de las distribuciones espaciales por contaminante en el área urbana del municipio de Santiago de Cali, permitirá a la autoridad ambiental DAGMA, establecer políticas y/o programas

encaminados al mejoramiento de la calidad del aire, reduciendo las emisiones en las zonas de la ciudad donde se evidencie una mayor contaminación del recurso aire.

Una de las dificultades en la elaboración del presente estudio, fue la recolección de información primaria en cuanto a visitas de verificación realizadas a las fuentes estacionarias puntuales. Por lo tanto, se recomienda para futuras actualizaciones del inventario, realizar un trabajo en campo más robusto en cuanto a la verificación de estas fuentes mediante visitas en campo, ya que esta permite tener un mayor nivel de confianza en cuanto a la información utilizada para la elaboración del inventario (cantidades de materias primas, tipos y consumos de combustibles, estado de la fuente, entre otros.).

Aunque el número de fuentes fijas evaluadas en el inventario fue significativo, es importante que desde la autoridad ambiental de la ciudad de Santiago de Cali - DAGMA, se sigan realizando actividades de inspección, vigilancia y control a los sectores de industria y comercio, con el objetivo de integrar al inventario aquellas fuentes fijas (estacionarias puntuales y difusas) que a la fecha nunca han sido inventariadas y evaluadas.

Es importante que la autoridad ambiental de la ciudad de Santiago de Cali - DAGMA, realice una articulación con entidades nacionales como SOLDICOM, ECOPEPETROL y FENDIPRETROLEO, ya que éstas son de suma importancia para la estimación de las emisiones a la atmósfera de COV que genera la evaporación de los combustibles fósiles durante los procesos de descargue, almacenamiento y venta de combustible en las estaciones de servicio.



---

# **ANEXOS**

## **ANEXO A - DIGITAL BASES DE DATOS DEL INVENTARIO**

---

## ANEXO B

# ENCUESTA REALIZADA A ESTACIONES DE SERVICIO DE COMBUSTIBLE

9/2/2019

Formulario de solicitud de información a Estaciones De Servicio - EDS

### Formulario de solicitud de información a Estaciones De Servicio - EDS

El DAGMA como autoridad ambiental de la zona urbana del Municipio de Santiago de Cali, viene fortaleciendo la gestión ambiental urbana, siendo una de nuestras prioridades el mejoramiento de los procesos en el sector industrial y de servicios, actualmente se está desarrollando la actualización del inventario de emisiones atmosféricas generadas por fuentes fijas y de área, dando alcance a lo establecido en la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire del 2010, por lo anterior solicitamos la información requerida en el siguiente formulario. Insumo necesario para la actualización del inventario.

\*Obligatorio



**1. Fecha del registro**

*Ejemplo: 15 de diciembre de 2012*

**2. Nombre de la Estación De Servicio - EDS**

\_\_\_\_\_

**3. Nombre del Administrador(a) \***

\_\_\_\_\_

**4. Dirección de correspondencia \***

\_\_\_\_\_

**5. Correo electrónico \***

\_\_\_\_\_

**6. Número de teléfono \***

\_\_\_\_\_

9/2/2019

Formulario de solicitud de información a Estaciones De Servicio - EDS

**7. Numero de Identificación Tributaria - NIT \*****Actividad Comercial**

El transporte y la comercialización de combustibles líquidos son una de las principales fuentes de emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles COV'S en los grandes centros urbanos, este proceso se debe a la evaporación del combustible, por lo anterior la información que a continuación se solicita es importante que sea suministrada con total veracidad, ya que es el insumo necesario para determinar la cantidad de Compuestos Orgánicos Volátiles que se generan en las Estaciones de Servicio de la ciudad de Santiago de Cali.

**8. Que tipo de combustible vende: \****Selecciona todos los que correspondan.*

- Gasolina Corriente
- Gasolina Extra
- Diesel
- Bio-Diesel
- GNV

**9. Cuantas Islas de distribución posee: \***

---

---

---

---

---

**10. Cantos tanques de almacenamiento de combustible posee: \****Marca solo un óvalo.*

- UNO
- DOS
- TRES
- CUATRO

**11. Cual es la capacidad de los tanques (Galones), por favor describa si alguno de los tanques es bicompartido: \***

---

---

---

---

---

9/2/2019

Formulario de solicitud de información a Estaciones De Servicio - EDS

**12. Que tipo y cuantos extintores posee la EDS**

---

---

---

---

---

**13. Posee KIT anti-derrame como herramienta del Plan de contingencia: \****Marca solo un óvalo.*

- Sí
- No

**14. Si su respuesta anterior fue positiva, describa que tipo de KIT posee: \***

---

---

---

---

---

**15. Cual fue la cantidad de combustible (Galones) comprado en la Vigencia 2017: \***

---

**16. Cual fue la cantidad de combustible (Galones) vendido en la vigencia 2017: \***

---

**Componente Ambiental****17. La estación de servicio - EDS, posee pozos de monitoreo: \****Marca solo un óvalo.*

- Sí
- No

**18. Si su respuesta anterior fue positiva, indique cuantos pozos posee la EDS: \****Marca solo un óvalo.*

- UNO
- DOS
- TRES
- CUATRO

9/2/2019

Formulario de solicitud de información a Estaciones De Servicio - EDS

**19. La EDS cuenta con Sistema de Pretratamiento de Agua Residuales - STAR: \****Marca solo un óvalo.*

- Sí  
 No

**20. La EDS posee Pozo para la captación de agua subterránea***Marca solo un óvalo.*

- Sí  
 No

**21. Si la respuesta anterior fue positiva, indique la resolución (vigencia) que autoriza el uso de esté:**

---

---

---

---

---

**22. La EDS realiza la actividad de lavado de vehículos automotores***Marca solo un óvalo.*

- Sí  
 No

**23. La EDS realiza la actividad de SERVITECA***Marca solo un óvalo.*

- Sí  
 No

**24. Si su repuesta anterior es positiva, describa los residuos generados (RESPEL)**

---

---

---

---

---

**25. La EDS posee restaurante:***Marca solo un óvalo.*

- Sí  
 No

9/2/2019

Formulario de solicitud de información a Estaciones De Servicio - EDS

**26. La EDS posee equipos generadores de ruido:**

---

---

---

---

---

**27. La EDS posee transformadores:***Selecciona todos los que correspondan.*

- LIQUIDOS
- GASEOSO
- No posee

**28. si la respuesta anterior fue positiva, esta inscrito en el aplicativo de PCB:***Marca solo un óvalo.*

- Sí
- No

**29. Firmas***Marca solo un óvalo.*

- Persona quien atiende la visita: \_\_\_\_\_
- Funcionario  
DAGMA: \_\_\_\_\_

Con la tecnología de  
 Google Forms

**ANEXO C**  
**CONSOLIDADO DE APORTES PORCENTUALES A LAS**  
**EMISIONES POR FUENTES ESTACIONARIAS**  
**PUNTUALES ASOCIADAS AL TIPO DE INDUSTRIA EN EL**  
**MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI – 2017.**

Emisión Porcentual por Contaminante – 2017									
	Alimentos	Mecánica y Pintura	Metalmecánica	Otros	Papel y Cartón	Plástico	Químicos	Textiles	Salud
CO	8,43	0,14	2,67	2,18	57,54	0,21	17,55	6,90	4,37
NOx	9,88	0,14	2,73	2,26	59,55	0,22	11,34	10,54	3,34
SOx	25,03	0,00	0,05	0,04	1,14	0,00	0,22	73,45	0,06
PM <sub>10</sub>	24,53	0,04	1,05	0,55	14,58	0,05	3,36	42,15	13,69
COV	0,01	44,85	52,49	0,00	0,08	0,00	2,56	0,00	0,01
total metales	14,04	0,10	1,99	1,65	43,49	0,16	8,28	27,84	2,44
CO <sub>2</sub>	7,10	0,14	2,80	2,21	58,37	0,21	19,08	2,73	7,35
CH <sub>4</sub>	7,02	0,14	2,84	2,15	56,74	0,21	16,46	2,99	11,45
N <sub>2</sub> O	5,76	0,12	2,35	1,85	48,64	0,18	32,06	2,40	6,65

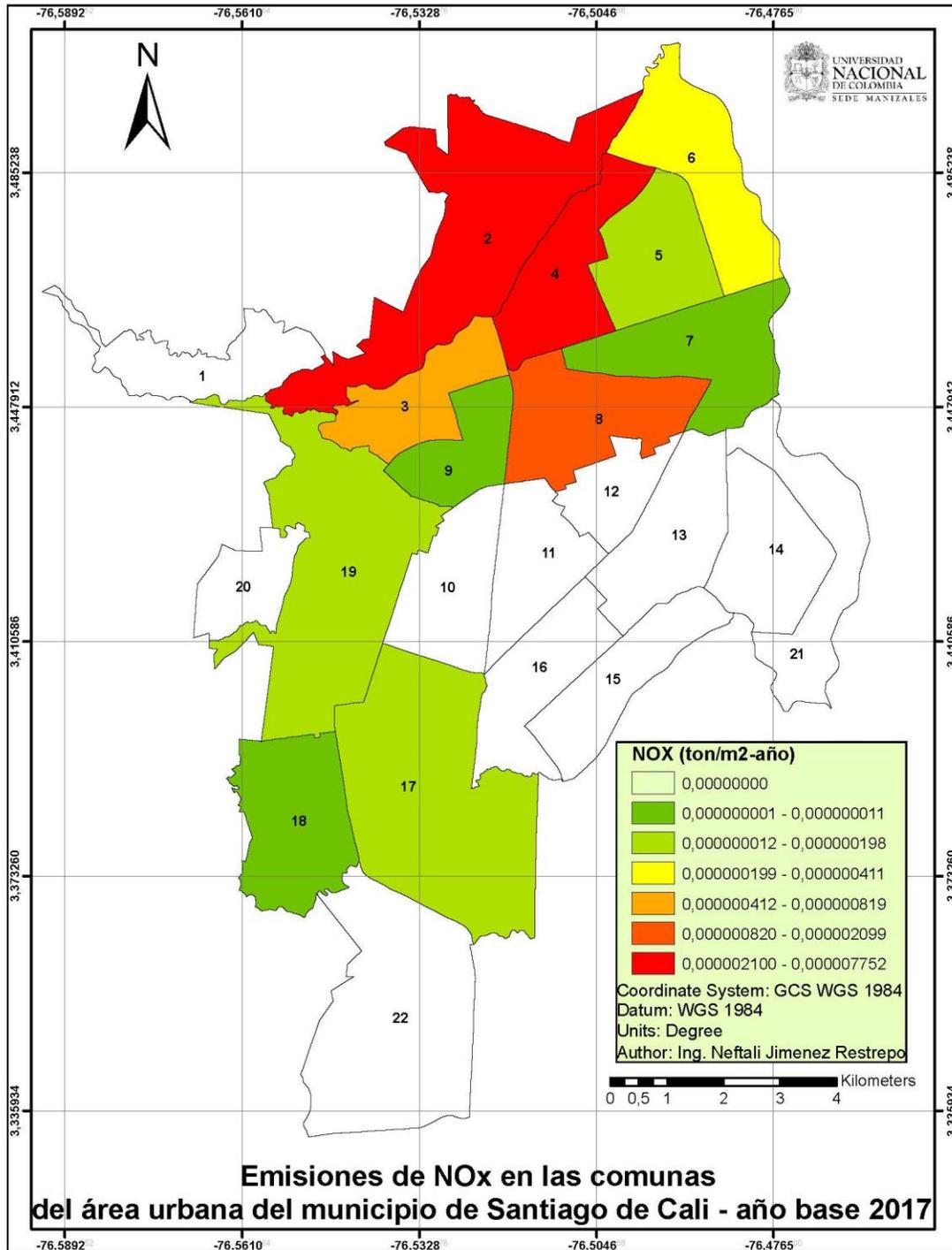
**ANEXO D**

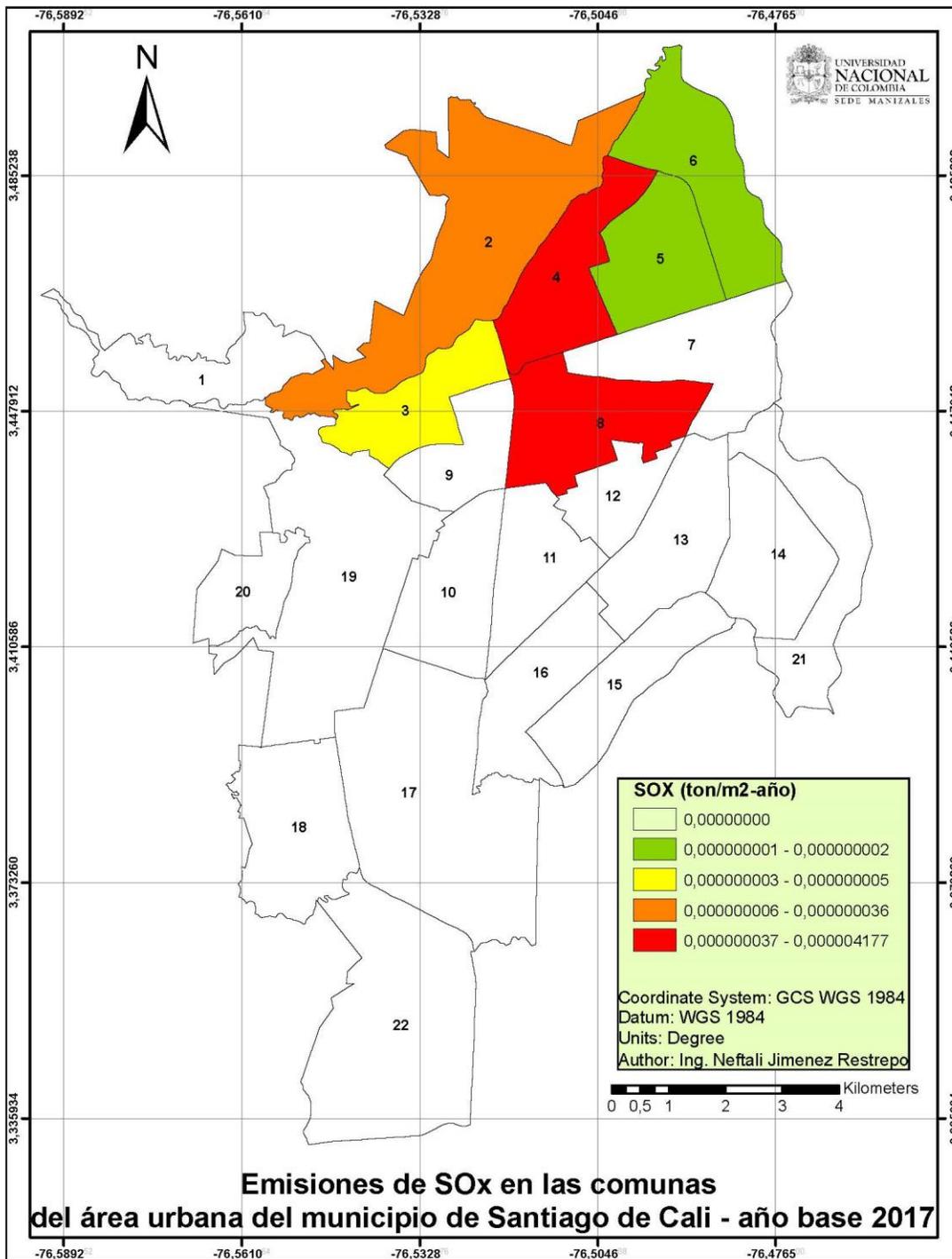
**CONSOLIDADO DE EMISIONES PORCENTUALES POR  
COMUNA DEL MUNICIPIO DE SANTIAGO DE CALI –  
AÑO BASE 2017**

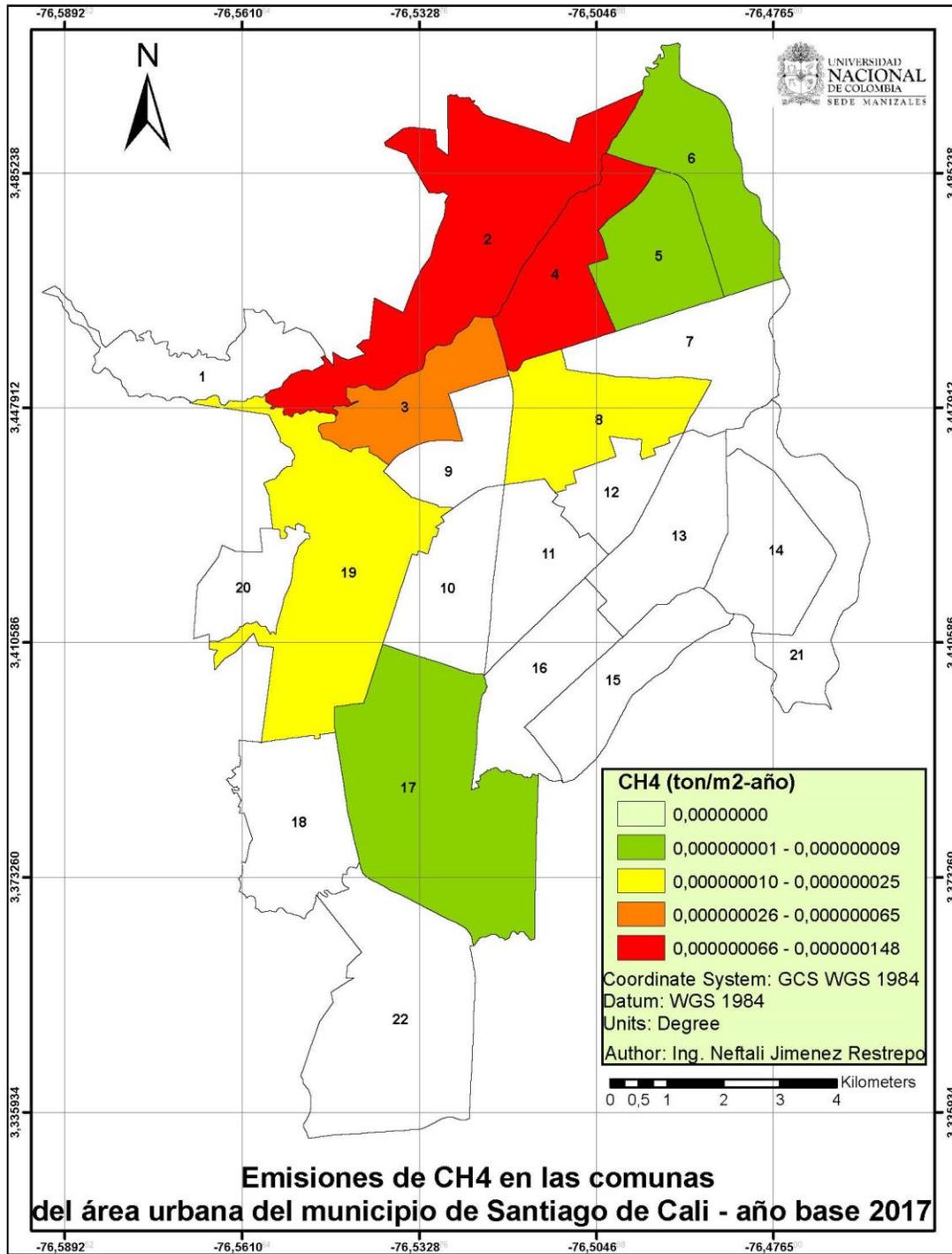
Emisión porcentual por comuna – 2017											
Comunas	2	3	4	5	6	7	8	9	17	18	19
<b>CO</b>	53,74	8,95	25,04	0,64	1,71	0,03	6,34	0,02	1,35	0,04	2,13
<b>NOx</b>	55,61	2,43	28,14	0,67	1,77	0,03	8,87	0,02	1,39	0,05	1,01
<b>SOx</b>	1,06	0,05	48,37	0,01	0,03	0,00	50,42	0,00	0,03	0,00	0,02
<b>PM<sub>10</sub></b>	13,61	1,18	42,86	0,16	0,43	0,01	28,27	0,01	0,34	0,01	13,12
<b>COV</b>	15,89	20,91	36,04	0,00	0,00	0,00	13,28	0,00	8,13	0,00	5,75
<b>METALES</b>	40,61	1,78	33,71	0,49	1,30	0,02	20,29	0,02	1,02	0,03	0,74
<b>CO<sub>2</sub></b>	54,52	10,36	22,62	0,65	1,74	0,03	3,59	0,02	1,37	0,05	5,07
<b>CH<sub>4</sub></b>	52,99	7,97	22,21	0,63	1,69	0,03	3,85	0,02	1,33	0,04	9,23
<b>N<sub>2</sub>O</b>	45,43	24,79	18,53	0,54	1,45	0,02	3,29	0,02	1,14	0,04	4,75

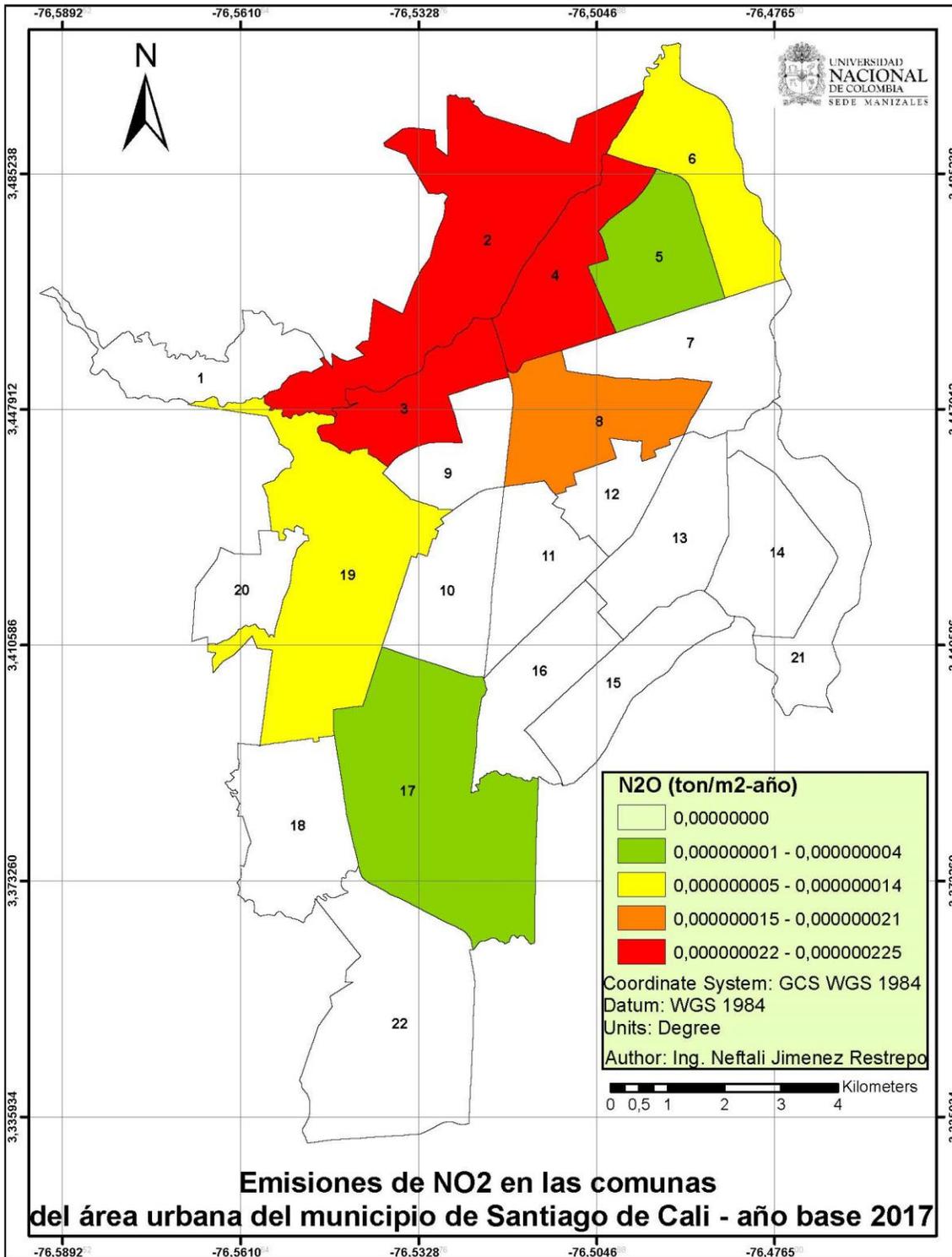
## ANEXO E

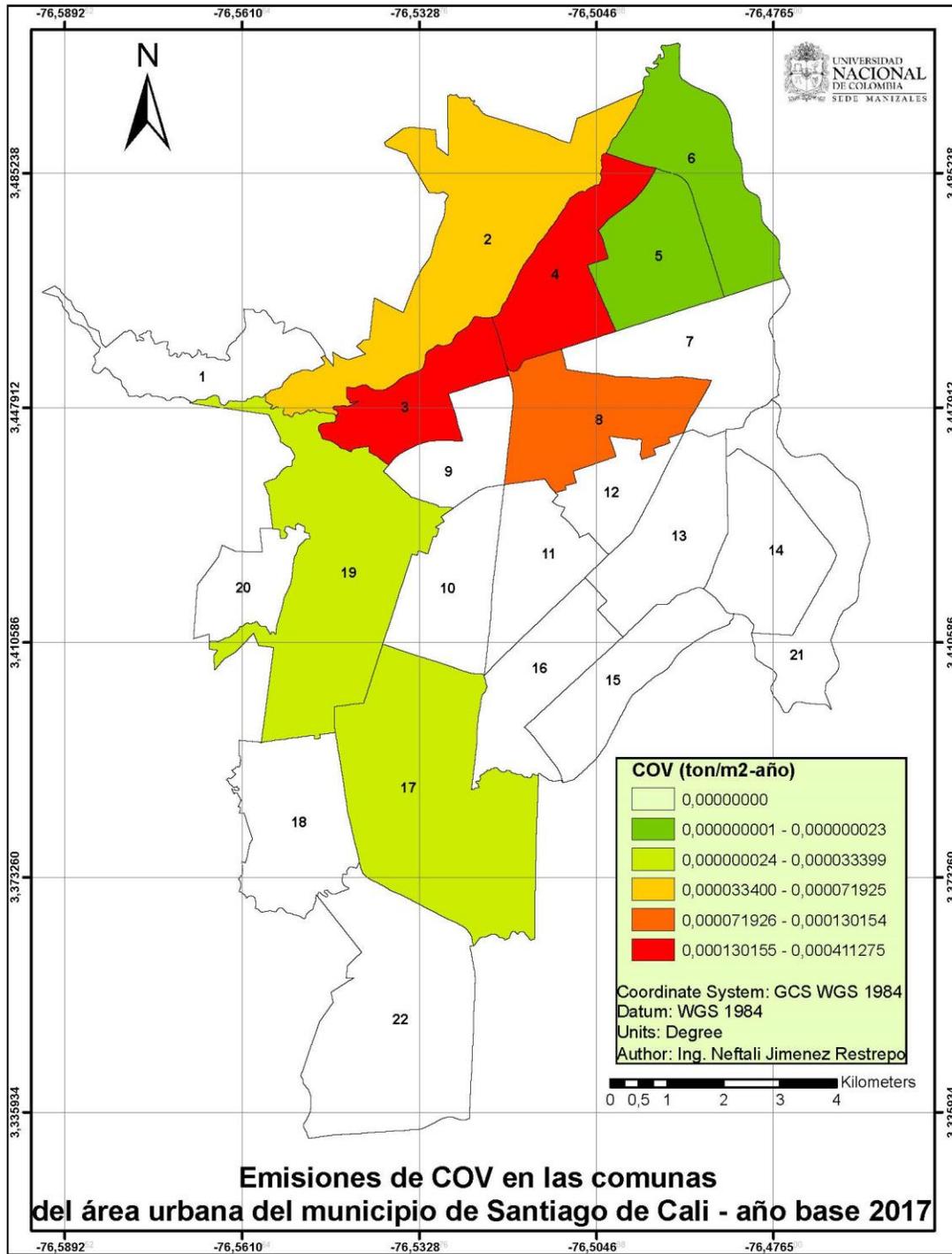
### DISTRIBUCIÓN DE LAS EMISIONES DE LOS CONTAMINANTES (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O Y COV)











---

## REFERENCIAS

---

- Alcaldía de Santiago de Cali - Plan de Ordenamiento Territorial [POT]. (2014). *Revisión ordinaria del plan de ordenamiento territorial de Santiago de Cali*. Santiago de Cali: Subdirección del POT y Servicios Públicos.
- Alcaldía de Santiago de Cali . (s.f.). *Ubicación de las comunas de la ciudad de Santiago de Cali*. Obtenido de <http://www.cali.gov.co/publico2/mapas/mapcomunasbaja.htm>
- Alcaldía de Santiago de Cali & Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente [DAGMA]. (2012). *Fortalecimiento tecnológico de la red de monitoreo de calidad del aire y evaluación de la contaminación atmosférica de la ciudad de santiago de Cali*. Santiago de Cali: K2 Ingeniería.
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (15 de abril de 2009). *Parte 2: Inventario de Emisiones Provenientes de Fuentes Fijas y Móviles*. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes.
- Aponte Coronado, C. H., Silva Vinazco, J. P., & Lain Beative, S. (2010). Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos primarios de fuentes fijas puntuales en la Comuna 4 de la ciudad de Cali. *EL HOMBRE Y LA MAQUINA*, 9.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá [AMVA]. (2013). *Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2011*. Medellín.
- Área Metropolitana del valle de Aburrá [AMVA]. (2015). *Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2013*. Medellín.
- Congreso de la Republica de Colombia. (28 de Octubre de 1994). Ley 164 de 1994. *Por medio de la cual se aprueba la "Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", hecha en Nueva York el 9 de mayo de 1992*. Bogotá, Colombia.
- Corporación Autónoma Regional de Caldas [CORPOCALDAS]. (2014). *Apoyo y fortalecimiento de la red de monitoreo de calidad del aire en la ciudad de Manizales y cuantificación de emisiones atmosféricas por fuentes móviles*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.
- Departamento Administrativo de Planeación Municipal - Cali. (2000). *Plan de ordenamiento territorial*. Cali.
- Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA]. (2005). *Inventario de emisiones de fuentes fijas cuenca atmosférica de la ciudad de Pisco*. Pisco, Perú.
- EPA, U. S. (2008). *Transportation and Marketing of Petroleum Liquids*. Washington D.C.: United States Environmental Protection Agency.

EUR-Lex. (08 de diciembre de 2016). *Convenio de Ginebra sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia*. Obtenido de <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=LEGISSUM:l28162>

Fuentes metodológicas. (s.f.). Obtenido de <https://cursospaíses.campusvirtualsp.org/mod/page/view.php?id=40144>

González, C. G. (2017). Relative impact of on-road vehicular and point-source industrial emissions of air pollutants in a medium-sized Andean city. *Elsevier*, 11.

*Informe estadístico*. (s.f.). Obtenido de <https://elsotano.com.co/soldicom/informe-estadistico/>

Jaramillo, M., Nuñez, M. E., Ocampo, W., Pérez, D., & Portilla, G. (2004). Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos convencionales en la zona de Cali-Yumbo. *Facultad de Ingeniería No.31*, 11.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]. (27 de Septiembre de 2017). *Emisiones Atmosféricas Contaminantes*. Obtenido de Emisiones Atmosféricas Contaminantes: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/gestion-del-aire/emisiones-contaminantes#normativa-fuentes-fijas>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]. (2017a). Guía para la elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MINAMBIENTE]. (22 de julio de 2018). *Minambiente presentó la guía para la elaboración de inventario de emisiones atmosféricas*. Recuperado el 28 de 11 de 2018, de MINAMBIENTE: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/4038-minambiente-presento-la-guia-para-la-elaboracion-de-inventarios-de-emisiones-atmosfericas>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia [MADS]. (11 de febrero de 2019). *SISTEMA DE INFORMACION AMBIENTAL DE COLOMBIA - SIAC*. Obtenido de SISTEMA DE INFORMACION AMBIENTAL DE COLOMBIA: <http://181.225.72.78/Portal-SIAC-web/faces/Dashboard/Aire/Estado/Emisiones/estadoAireEmisiones.xhtml>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial [MAVDT]. (2010). *Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire*. Bogotá D.C., Colombia.

Ministerio del Medio Ambiente. (05 de junio de 1995). Decreto 948 de 1995. *Reglamento de protección y control de la calidad del aire*. Santafé de Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

Naciones Unidas. (1992). *Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. New York: United Nations Framework Convention on Climate Change.

Naciones Unidas. (01 de 06 de 2018). *Día Internacional de la Preservación de la Capa de Ozono, 16 de septiembre*. Recuperado el 2018 de 06 de 01, de Día Internacional de la Preservación de la Capa de Ozono, 16 de septiembre: <http://www.un.org/es/events/ozoneday/background.shtml>

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2004). *Guías para la calidad del aire*. Lima, Perú.

Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (25 de 01 de 2019). *Contaminación del aire ambiental*. Recuperado el 25 de 01 de 2019, de

[https://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es](https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es)

Pachón, J. E., Galvis, B., Lombana, O., Carmona, L. G., Fajardo, S., Rincón, A., . . . B., H. (2018). Development and Evaluation of a Comprehensive Atmospheric Emission Inventory for Air Quality Modeling in the Megacity of Bogotá. *atmosphere*, 17.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2013). *Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (inecc-semarnat), Blvd. Adolfo Ruiz Cortines 4209. Col. Jardines de la Montaña. Tlalpan, Mexico: LDG Maya Campos Farfan. Obtenido de [www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)

United States Environmental Protection Agency [EPA]. (27 de 09 de 2016). *Basic Information of Air Emissions Factors and Quantification*. Recuperado el 30 de 11 de 2018, de Basic Information of Air Emissions Factors and Quantification: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/basic-information-air-emissions-factors-and-quantification#About%20Emissions%20Factors>