



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

INVENTARIO DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA POR FUENTES FIJAS PARA EL MUNICIPIO DE PALMIRA – AÑO BASE 2021

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO No. 036 DE 2021 CVC-UNAL

**INVENTARIO DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA POR
FUENTES FIJAS PARA EL MUNICIPIO DE PALMIRA – AÑO
BASE 2021**

INFORME FINAL

PROYECTO 4001 RESULTADO 1 ACTIVIDAD 16

**CONVENIO INTERADMINISTRATIVO CVC No. 036 DE 2021
CELEBRADO ENTRE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA
REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA -CVC- Y LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA-
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
MARZO DE 2022**

EQUIPO DE TRABAJO UNAL

Germán Rueda Saa
Director del Proyecto

Rodrigo Jiménez Pizarro
Director Científico

Néstor Yezid Rojas
Asesor Inventario de Emisiones

Sonia C. Mangones M
Asesora de movilidad y tráfico vehicular

Liseth González Delgado
Coordinadora General

PROFESIONALES

Andrés Ardila Ardila
Ingeniero Ambiental

Ángela C Vargas Burbano
Ingeniera ambiental

David Fernando García
Ingeniero Químico

Diego Andrés Arias Arana
Físico

Jennifer Marín Ospina
Ingeniera ambiental

Luis David López Buitrago
Ingeniero civil

Pablo Gutiérrez Espada
Ingeniero ambiental

EQUIPO DE TRABAJO CVC

COMITÉ TÉCNICO:

Nubia Madeleine Bastidas Bonilla
Supervisora

Marleni Marín Ocampo
DAR Suroccidente

Alexander Barona Serrano
Profesional DGA

Sigifredo Salgado Echeverri
Ingeniero Agrónomo
Profesional especializado, DGA

PROFESIONALES DE APOYO:

Carlos Fernando De Jesús Murillo
Profesional Contratista, DTA

Ever Alonso Ríos Sosa
Ingeniero Sanitario
Profesional Contratista, DAR Suroccidente

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	9
INTRODUCCIÓN.....	10
OBJETIVO GENERAL.....	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
1. ASPECTOS GENERALES	13
1.1 Área de estudio	13
2. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES POR FUENTES FIJAS	14
2.1 Recopilación de información secundaria	16
2.2 Revisión, análisis y depuración de información.....	16
2.3 Construcción de la base de datos.....	16
2.4 Diseño y ejecución del empadronamiento.....	17
2.5 Revisión y selección de factores de emisión.....	17
2.6 Consolidación del inventario de emisiones por fuentes fijas.....	18
3. FUENTES FIJAS PRIORIZADAS EN EL INVENTARIO	19
3.1 Fuentes fijas industriales con expedientes CVC	19
3.2 Fuentes fijas industriales RUA manufacturero.	20
3.3 Fuentes fijas pequeños establecimientos.....	21
3.4 Estaciones de servicio de combustible.	22
3.5 Sector de ladrilleras.....	23
4. CONSOLIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL INVENTARIO	24
4.1 Revisión y validación de información de muestreos isocinéticos.....	24
4.1.1. Verificación del tipo y unidades de consumo reportadas.....	25
4.1.2. Determinación de la composición elemental del combustible y estimación de gases de combustión por estequiometría.....	27
4.1.3. Cálculo de flujo volumétrico a condiciones de referencia.....	28
4.1.4. Correcciones por temperatura y presión de salida de los gases.....	29
4.1.5. Determinación de factores de emisión por combustión, poder comburívoro y poder fumígeno de los combustibles utilizados en Palmira.	29
4.1.5.1. Poder comburívoro	30
4.1.5.2. Poder fumígeno.....	32
4.1.5.3. Factor de emisión de productos de combustión (CO ₂ , H ₂ O y SO ₂).....	33

4.2	Diseño del plan de empadronamiento.....	33
4.2.1	Sector industrial.....	34
4.2.2	Pequeños establecimientos.....	37
4.2.3	Estaciones de servicio - EDS.....	37
4.3	Desarrollo del empadronamiento.....	38
4.3.1	Sector industrial.....	38
4.3.2	Empadronamiento de pequeños establecimientos comerciales.....	42
4.3.3	Estaciones de servicio de combustible.....	43
4.4	Diseño y estructuración de la base de datos del inventario.....	44
5.	ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR FUENTES FIJAS.....	46
5.1	Cálculo de las emisiones.....	46
5.1.1	Factores de emisión.....	48
5.2	Emisiones del sector industrial.....	55
5.3	Estimación de emisiones de pequeños establecimientos.....	58
5.4	Estimación de emisiones de estaciones de servicio de combustibles - EDS.....	58
5.5	Estimación de emisiones en ladrilleras.....	58
6.	INVENTARIO DE EMISIONES POR FUENTES FIJAS EN EL MUNICIPIO DE PALMIRA.....	59
6.1	Emisiones por tipo de industria.....	59
6.2	Emisiones por zonas geográficas.....	65
6.2.1	Emisiones Zona Industrial - La Dolores.....	66
6.2.2	Emisiones Recta Cali-Palmira y Palmira-Cali.....	68
6.2.3	Emisiones zona rural.....	70
6.2.4	Emisiones Zona Urbana.....	72
6.2.5	Emisiones Zona Franca.....	74
6.3	Emisiones por tipo de combustible.....	77
6.4	Emisiones pequeños establecimientos (asaderos y panaderías).....	81
6.5	Emisiones estaciones de servicio (COVs).....	83
6.6	Emisiones del sector de las ladrilleras.....	85
6.7	Base de datos del inventario.....	87
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
	BIBLIOGRAFÍA.....	90
	ANEXOS.....	92

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Número de empresas y fuentes de emisión en Palmira.	19
Tabla 2. Número de establecimientos de ladrilleras y hornos por sector	23
Tabla 3. Reacciones de combustión elementales.	27
Tabla 4. Gases de combustión por 1 Kg de combustible.	29
Tabla 5. Volumen de gases de combustión por 1 Kg de combustible.	30
Tabla 6. Factores de Emisión de Volumen aire consumido por Unidad de combustible (Poder comburivo).	31
Tabla 7. Factores de emisión de gases de combustión generados por unidad de combustible (Poder fumígeno).	32
Tabla 8. Factores de emisión de productos de combustión.	33
Tabla 9. Campos de información incorporados al formato de empadronamiento.	35
Tabla 10. Campos de información que fueron incluidos en el formato de recolección de información de los pequeños establecimientos.	37
Tabla 11. Campos de información que fueron incluidos en el formato de recolección de información de las EDS.	38
Tabla 12. Consolidado de industrias del inventario	40
Tabla 13. Campos de información incluidos en la base de datos de fuentes fijas.	44
Tabla 14. Factores de emisión del AP-42 utilizados para la estimación de emisiones contaminantes del sector industrial.	49
Tabla 15. Factores de emisión para la estimación de emisiones contaminantes de los pequeños establecimientos.	54
Tabla 16. Factores de emisión para estimar emisiones fugitivas de COV en las EDS.	54
Tabla 17. Factores de emisión para la estimación de emisiones contaminantes de las ladrilleras.	55
Tabla 18. Ecuaciones establecidas para corrección de emisiones por fuentes estacionarias puntuales a condiciones de referencia y locales.	56
Tabla 19. Emisiones (ton/año) de contaminantes atmosféricos por sector industrial del municipio de Palmira	59
Tabla 20. Emisiones Zona Industrial La Dolores (ton/año)	67
Tabla 21. Emisiones (ton/año) de contaminantes atmosféricos Recta Cali-Palmira	69
Tabla 22. Emisiones (ton/año) de contaminantes atmosféricos Zona Rural	71
Tabla 23. Emisiones (ton/año) de contaminantes atmosféricos Zona Urbana	73
Tabla 24. Emisiones (ton/año) de contaminantes atmosféricos Zona Franca.	76
Tabla 25. Emisiones anuales en pequeños establecimientos.	81
Tabla 26. Emisiones (ton/año) de VOC por estaciones de servicio de combustible en el municipio de Palmira	83
Tabla 27. Emisiones anuales en ladrilleras por sector	85
Tabla 28. Emisiones atmosféricas totales de fuentes fijas en el municipio de Palmira.	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del municipio de Palmira, Valle del Cauca.....	13
Figura 2. Esquema general para la estimación del IEA por fuentes fijas - año base 2021.	15
Figura 3. Priorización de fuentes a través de Software GIS	21
Figura 4. Procedimiento para el tratamiento de datos de Cámara y Comercio.....	22
Figura 5. Esquema general de proceso de combustión.....	24
Figura 6. Esquema metodológico para la estimación de emisiones atmosféricas con base en el consumo de combustible.....	26
Figura 7. Volumen de gases de combustión generados por Kg de Combustible.....	31
Figura 8. Fases para la ejecución del empadronamiento.....	34
Figura 9. Procedimiento realizado para el empadronamiento del sector industrial.....	39
Figura 10. Localización de las industrias del municipio de Palmira.....	41
Figura 11. Distribución de sectores industriales en Palmira.....	42
Figura 12. Distribución de los equipos empleados en las industrias evaluadas en Palmira.	43
Figura 13. Metodología de cálculo de emisiones totales anuales para fuentes fijas.....	47
Figura 14. Metodología de cálculo para estimar emisiones por factores de emisión en el sector industrial.....	57
Figura 15. Emisiones anuales por sector industrial.....	63
Figura 16. Aporte porcentual de contaminantes atmosféricos por sector industrial en el municipio de Palmira.....	64
Figura 17. Aporte porcentual de contaminantes atmosféricos por sectores (zonas) en el municipio de Palmira.....	66
Figura 18. Establecimientos emisores sector La Dolores	67
Figura 19. Emisiones anuales Zona industrial La Dolores.....	68
Figura 20. Establecimientos emisores Recta Cali-Palmira y Palmira-Cali.....	69
Figura 21. Emisiones anuales Recta Cali-Palmira y Palmira-Cali	70
Figura 22. Establecimientos emisores Zona Rural.....	71
Figura 23. Emisiones anuales Zona Rural.....	72
Figura 24. Establecimientos emisores Zona Urbana.....	73
Figura 25. Emisiones anuales Zona Urbana	74
Figura 26. Establecimientos emisores Zona Franca	75
Figura 27. Emisiones anuales Zona Franca	76
Figura 28. Distribución de las fuentes de emisión según su uso de combustible en el municipio de Palmira.....	77
Figura 29. Distribución de los tipos de combustibles utilizados por las fuentes evaluadas.	78
Figura 30. Distribución porcentual de las emisiones totales en función del tipo de combustible empleado - Palmira.....	79
Figura 31. Distribución del combustible utilizado según el tipo de fuente de emisión – Palmira.....	80
Figura 32. Emisiones anuales obtenidas por contaminante en pequeños establecimientos	82

Figura 33. Aporte de COV (ton/año) por barrios de acuerdo con las ventas de gasolina. .	84
Figura 34. Aporte de COV (ton/año) por barrios de acuerdo con las ventas de ACPM.	85
Figura 35. Emisiones anuales obtenidas por contaminante en ladrilleras	86

SIGLAS

DAR	Dirección ambiental regional
DTA	Dirección técnica ambiental
PST	Partículas suspendidas totales
COV	Compuestos orgánicos volátiles
COVNM	Compuestos orgánicos volátiles no metánicos
RUA	Registro único ambiental
EDS	Estaciones de servicio
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
IEA	Inventario de Emisiones Atmosféricas
EEA	Estándar de Emisión Admisible
EPA	Environmental Protection Agency

RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe contiene la descripción y análisis de resultados para el municipio de Palmira de acuerdo con los alcances establecidos en la vigencia 2021 de la Actividad 016 “Inventario de emisiones a la atmósfera”, asociada al Proyecto 4001 “Caracterización de la calidad del aire y residuos, y formulación de alternativas de promoción para su gestión ambiental”, Resultado 1 “Residuos y emisiones caracterizados y evaluados” en el marco del Convenio Interadministrativo 036 de 2021 CVC-UNAL.

En el capítulo 1 se describen aspectos generales del área de estudio. En el capítulo 2, se presenta la metodología necesaria para la elaboración del inventario de emisiones por fuentes fijas, incluye la recolección de información secundaria en industrias generadoras de emisiones en el municipio de Palmira, el diseño de la base de datos para el inventario de fuentes fijas, la gestión y consolidación de la base de datos de emisiones por fuentes fijas, así como la revisión, análisis y depuración de información de expedientes ambientales, conceptos técnicos y otros documentos necesarios para desarrollar el inventario de emisiones.

Con la información disponible de fuentes fijas en el Municipio de Palmira, en el capítulo 3 se detalla el proceso de consolidación, revisión y validación de información asociada a los muestreos isocinéticos. En el capítulo 4 se observan los resultados del cálculo de las emisiones por sector industrial, estaciones de servicio, pequeños establecimientos y como asaderos y panaderías, y ladrilleras. Así mismo, se describen los resultados obtenidos de acuerdo con los sectores productivos, las zonas geográficas estudiadas y el uso de combustibles.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la contaminación del aire representa uno de los mayores riesgos para la salud humana, y en el año 2017, de acuerdo con el informe “State of Global Air/2019”, fue la quinta causa de mortalidad con 4,9 millones muertes, siendo el material particulado fino (PM2.5), el contaminante criterio que causó mayores pérdidas de vida con 2.9 millones. Los principales efectos negativos en la salud de las personas están relacionados con la disminución de la función pulmonar y afectación del sistema cardiovascular y los más afectados son los receptores sensibles (niños y adultos mayores) que han estado expuestos por periodos prolongados a concentraciones que exceden los límites máximos permisibles en el aire, con periodos prolongados de exposición (HEI – IHME, 2019).

La Organización Mundial de la Salud – OMS con el fin de reducir a nivel mundial los efectos en la salud humana por la exposición a respirar material particulado, estableció como directriz de calidad del aire el valor de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como el nivel máximo de PM2.5 con el cual se ha demostrado (95% de confianza) una gran disminución de la mortalidad total, específicamente el cáncer de pulmón y afectación cardiopulmonar (OMS, 2005), sin embargo, en el año 2017 a nivel mundial, el 95% de la población vive en ciudades con concentraciones de PM2.5 mayores a este nivel (HEI – IHME, 2019).

En el año 2017, en el marco de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire en Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, presentó la “*Guía para la Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas*”, como un documento de referencia que incluye los criterios técnicos para determinar las emisiones asociadas a diferentes tipos de fuentes en un área geográfica y en un intervalo de tiempo. El resultado del inventario de emisiones atmosféricas (IEA) constituye un conjunto de datos que caracterizan las emisiones y consolidan la sumatoria de los contaminantes (ton/año) de acuerdo con el tipo de fuente.

En el Valle del Cauca, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC además de realizar el monitoreo de la calidad del aire en áreas priorizadas industriales y urbanas de algunos municipios a través de su Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA), en su Plan de Acción de la CVC 2020-2023, priorizó la elaboración de un inventario detallado de las emisiones contaminantes al aire en el municipio de Palmira. El desarrollo de estos inventarios además de contribuir con la Gestión de la Calidad del Aire en el departamento, se constituyen en una herramienta técnica que permitirá la definición de estrategias de reducción de las emisiones contaminantes.

En este sentido, mediante Convenio Interadministrativo CVC-UNAL 036 de 2021, cuyo objeto contractual es “aunar esfuerzos técnicos, y recursos económicos para contribuir a la gestión y planificación del recurso aire en el Departamento del Valle del Cauca, orientado a la prevención, reducción y control de la contaminación del aire en centros poblados ubicados en el área de jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC”, específicamente el Proyecto 4001 Resultado 1 Actividad 16 se orientará al desarrollo de los Inventarios de emisiones a la atmósfera (fuentes fijas y móviles) en los municipios de Palmira y Yumbo.

Este documento presenta el “Inventario de Emisiones a la Atmósfera por Fuentes Fijas para el Municipio de Palmira – Año Base 2021” desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia. Se incluyen los resultados de las emisiones calculadas para las fuentes fijas ubicadas en la zona urbana y zona rural del municipio de Palmira. Las fuentes fijas incluidas en el inventario fueron el resultado de la revisión rigurosa de información disponible en informes de muestreos isocinéticos de chimeneas (2016-2020), industrias incluidas en el RUA manufacturero e industrias generadoras de emisiones y registradas en Cámara de Comercio. De igual forma, se programaron y realizaron jornadas de empadronamiento en industrias con el fin de consolidar el inventario de fuentes fijas y estimar las emisiones para los contaminantes incluidos en el inventario.

El desarrollo del proyecto se enmarca en los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL

Elaborar el inventario de emisiones a la atmósfera por fuentes fijas para el Municipio de Palmira – Año Base 2021, incluye contaminantes criterio y gases de efecto invernadero (GEI)

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar el inventario de emisiones por fuentes fijas en el municipio de Palmira, incluye el corregimiento de la Dolores y otras zonas priorizadas.
- Estimar las emisiones al aire de contaminantes para los diferentes procesos industriales en el municipio de Palmira, incluye pequeños establecimientos, Estaciones de Servicio (EDS) y ladrilleras.

A continuación, se describe brevemente el alcance del presente inventario de emisiones por fuentes fijas:

FICHA TÉCNICA DEL INVENTARIO DE EMISIONES POR FUENTES FIJAS

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
PROPÓSITO	Inventario general de emisiones atmosféricas por fuentes fijas en el municipio de Palmira
ALCANCE	Elaboración del inventario de emisiones por fuentes fijas
DOMINIO	Municipio de Palmira – incluye el corregimiento de la Dolores y otras áreas rurales
AÑO BASE DEL INVENTARIO	2021
RESOLUCIÓN DEL INVENTARIO	Anual
CONTAMINANTES	Material Particulado (PM) Óxidos de azufre (SO ₂) Óxidos de Nitrógeno (NO ₂) Monóxido de Carbono (CO) Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) Metales Gases de efecto Invernadero (GEI) <ul style="list-style-type: none"> • Dióxido de Carbono (CO₂) • Metano (CH₄) • Óxido nitroso (N₂O)

2. METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES POR FUENTES FIJAS

La determinación de los contaminantes que llegan a la atmósfera proveniente de fuentes para fuentes fijas de emisión, se realizó bajo el enfoque Bottom-up (de abajo hacia arriba) en dos etapas. La primera etapa utilizó la información de muestreos isocinéticos en industrias que son objeto de seguimiento y control por parte de la CVC y que cuentan con expedientes ambientales (periodo 2016 – 2020), se complementó con información disponible en el Registro Único Ambiental Manufacturero (RUA) y Cámara de Comercio; en el análisis se incluyeron las emisiones generados por pequeños establecimientos (asaderos y panaderías), EDS y ladrilleras. En la segunda etapa, se consolidó el inventario de emisiones a partir de los datos de mediciones directas (validación de isocinéticos) y la estimación de las emisiones utilizando los factores de emisión de la EPA AP-42, la Agencia Ambiental Europea (EEA) y fuentes de información adicionales, para aquellas fuentes de emisión de los cuales no se dispone de estudios de emisiones.

Para el estudio se definieron los siguientes contaminantes atmosféricos: contaminantes criterio (CO, NO_x, SO₂, PM), compuestos orgánicos volátiles (COV), gases de efecto invernadero - GEI (CO₂, CH₄ y N₂O) y metales. Estos contaminantes están incluidos en la Resolución 909 de 2008 (MADS), que establece los estándares de emisión admisibles (EEA) por contaminante según el tipo de actividad industrial.

Para el inventario se tomó como año base el año 2021, sin embargo, no todas las empresas reportan muestreos isocinéticos para este año, por lo que se decidió analizar la información de los muestreos en el periodo 2016-2020.

En la **Figura 2** se presenta el esquema metodológico para el IEA por fuentes fijas.

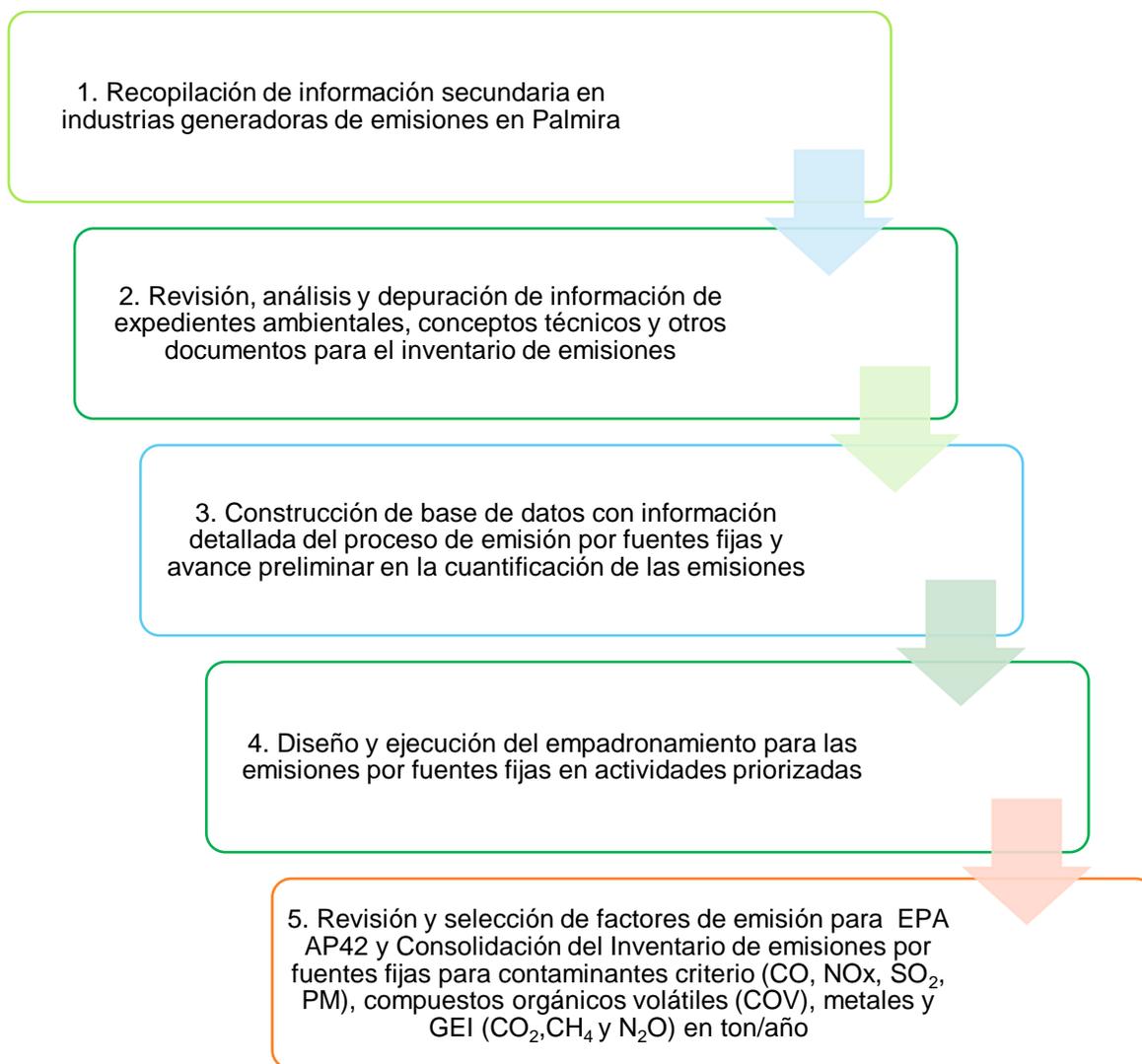


Figura 2. Esquema general para la estimación del IEA por fuentes fijas - año base 2021.

Fuente: Elaboración propia.

2.1 Recopilación de información secundaria

Para el desarrollo del inventario se recopiló información primaria y secundaria. Inicialmente se revisó información relacionada con expedientes ambientales de industrias generadoras de emisiones del municipio de Palmira, con el fin de analizar los resultados de los estudios de emisiones atmosféricas (muestreos isocinéticos de chimeneas). Posteriormente, se procedió a revisar la información contenida en las bases de datos o sábanas del RUA, donde se registra la información de aquellas industrias que generan emisiones en sus procesos productivos, pero no están obligadas a tener un permiso de emisiones atmosféricas, esto con el fin de complementar la información de industrias generadoras de emisiones al aire y generar una base de datos con un inventario detallado a nivel urbano y rural en el municipio de Palmira. La información del RUA también permitió complementar datos puntuales que no se reportaron en los expedientes ambientales (estudios de emisiones) para algunas empresas.

Seguidamente, se realizó una depuración a las bases de datos de Cámara de Comercio del municipio de Palmira, con el fin de extraer los nombres o razones sociales de aquellos establecimientos, que por sus actividades podían ser potenciales emisores, y posteriormente se consolidó la información en la fase de empadronamiento (información primaria).

Por otro lado, en cuanto a los establecimientos de ladrilleras, la información fue obtenida por medio de la Corporación, a partir de informes de visitas y un listado detallado en formato Excel donde se especifica la información de cada establecimiento, el número de quemas realizadas en un periodo de tiempo determinado y las unidades de producción por quema.

2.2 Revisión, análisis y depuración de información.

Para el aseguramiento de la calidad de la información de emisiones en las diferentes industrias, todos los informes de emisiones atmosféricas fueron revisados, analizados y validados (Sección 4.1).

Para las actividades de revisión y análisis de la información, fueron diseñados 10 criterios de validación enfocados en la congruencia de los datos claves reportados en los documentos, tales como los consumos y características de combustible, los flujos de contaminantes, las condiciones en las cuales se realizaron las tomas de datos, y de manera general en todas aquellas variables que están asociadas a la determinación de las emisiones contaminantes.

2.3 Construcción de la base de datos

El diseño y consolidación de la base de datos de emisiones asociadas a fuentes fijas, se realizó con el fin de registrar la información obtenida a partir de la revisión de i) los expedientes ambientales que contienen isocinéticos y conceptos técnicos, ii) las sábanas del RUA Manufacturero (2017-2018) y iii) el empadronamiento (encuestas y visitas realizadas). En la base de datos del inventario de fuentes fijas se registró información de emisiones para el sector industrial, los pequeños establecimientos, las EDS y establecimientos de ladrilleras del municipio de Palmira.

Para la recopilación de la información, se identificaron datos generales de las empresas como nombre, actividad productiva, código CIU, dirección e información de contacto. Adicionalmente, se priorizaron datos correspondientes al tipo de fuente, proceso productivo, consumo de combustible, frecuencia de operación (jornadas de trabajo), así como las variables de medición reportadas en los muestreos isocinéticos como temperatura, velocidad, caudal, presión y concentraciones de los gases.

2.4 Diseño y ejecución del empadronamiento

El empadronamiento permitió complementar información de fuentes fijas industriales que no son objeto de control y seguimiento por parte de la CVC, adicionalmente, se complementó con información de pequeños establecimientos y estaciones de servicio – EDS. El empadronamiento permitió recolectar información primaria a partir de la realización de visitas en campo, llamadas telefónicas y encuestas virtuales.

En el caso de las industrias, se desarrollaron actividades que se detallan en la sección 4.3.1, estas permitieron la recolección de información relacionada con las fuentes de emisión (diámetro y altura del ducto, tipo y consumo de combustible, proceso asociado a la fuente de emisión, tiempos de operación, etc.), posteriormente la información obtenida fue registrada en formatos de elaboración propia (Sección 4.2.1).

Adicionalmente, se elaboraron formatos específicos (sección 4.2.2 y 4.2.3) para recolectar la información correspondiente a los pequeños establecimientos (panaderías y asaderos) y EDS. En las panaderías y asaderos se obtuvo información relacionada con el consumo de combustible y el tiempo de operación de los equipos y para las EDS se recolectó información referente a los tanques de almacenamiento y las ventas de combustible.

Por la naturaleza de los establecimientos, las EDS, así como las panaderías y asaderos fueron empadronadas a través de actividades específicas, estas se describen a mayor detalle en la sección 4.3.2. y 4.3.3.

2.5 Revisión y selección de factores de emisión

Teniendo en cuenta que los conceptos técnicos y expedientes ambientales no incluyen el análisis de la emisión de otros contaminantes de interés ambiental. Para el cálculo de las emisiones de estos contaminantes se utilizaron factores de emisión, los cuales fueron seleccionados a partir de una revisión detallada del documento del AP-42 de la EPA teniendo en cuenta el tipo de fuentes fijas de emisión caracterizadas en las industrias del municipio de Palmira. Los factores de emisión fueron consultados en la página oficial de la EPA: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>.

Adicionalmente, se consultó la página de la Agencia Ambiental Europea (EAA) con el fin de complementar los factores de emisión que no fueron encontrados en la EPA, el acceso se realizó vía internet: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/>. Otras fuentes de información sobre factores de emisión fueron el IPCC (<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>), la UNITAR

(https://cwm.unitar.org/publications/publications/cbl/prtr/pdf/cat5/Australia_boilers.pdf) y la UPME (http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html).

Para la selección de los factores de emisión se tuvo en cuenta la clasificación de la fuente, es decir, si realiza combustión o si se asocia a otro tipo de proceso. Para el caso de emisiones por combustión es necesario tener en cuenta: i) capacidad del equipo de combustión, ii) el tipo de combustible utilizado, iii) los sistemas de control y su eficiencia (en caso de que utilice). Mientras que, para las emisiones asociadas a otros procesos, se requiere conocer: i) tipo de actividad productiva, ii) tipo de materia prima, iii) los sistemas de control y su eficiencia (en caso de que utilice).

Luego de seleccionar los factores de emisión, se procedió a realizar la conversión de unidades inglesas a unidades del sistema internacional, ya que el consumo de combustible de la fuente de emisión generalmente es reportado con unidades del sistema internacional para Colombia.

2.6 Consolidación del inventario de emisiones por fuentes fijas

La consolidación del inventario de emisiones por fuentes fijas incluye la verificación de los flujos máxicos y concentraciones locales, lo que permitió incorporar en el análisis emisiones al aire valores revisados y validados, mediante la evaluación de la consistencia de la información reportada en CVC. Para el desarrollo del inventario de emisiones por fuentes fijas se revisaron, analizaron y validaron los informes de muestreos isocinéticos en fuentes fijas (mediciones directas) realizados en el periodo 2016-2020 (disponibles en la CVC) y se incorporaron las emisiones anuales de estas fuentes al inventario. Para los contaminantes que no tuvieron medición directa y que se incluyeron en el inventario, se estimaron las emisiones a partir de factores de emisión de acuerdo con el tipo de actividad asociada a la emisión de contaminantes utilizando los factores de emisión de la EPA AP42 y la información de la actividad de las fuentes fijas (combustión o producción).

3. FUENTES FIJAS PRIORIZADAS EN EL INVENTARIO

3.1 Fuentes fijas industriales con expedientes CVC

En esta etapa se realizó la consulta de los estudios de emisiones atmosféricas (isocinéticos) que se encuentran en los expedientes ambientales de las empresas de Palmira disponibles en la DAR Suroriente de la CVC. De igual forma se analizaron los conceptos técnicos reportados por la autoridad ambiental, en los cuales se resume la información de los muestreos isocinéticos, para ello se solicitó permiso a la CVC para acceder a la información. La revisión de los expedientes se desarrolló directamente en las instalaciones de las DAR Suroriente en el municipio de Palmira y en la DTA en Cali.

Los estudios de emisiones atmosféricas contienen información fundamental para el desarrollo del inventario, estos estudios son presentados por las empresas como requisito obligatorio ante la autoridad ambiental. Los muestreos son realizados por empresas consultoras acreditadas por el IDEAM tanto para la toma de la muestra como para la determinación de los contaminantes, siguiendo metodologías estándar de la EPA adaptadas para Colombia por el IDEAM. Se aclara que este tipo de estudios de muestreo de emisiones se realiza solo para fuentes fijas en la industria.

A partir de la información suministrada por la CVC, se realizó la revisión y análisis de la información de 11 conceptos técnicos y 11 expedientes ambientales; adicionalmente, la CVC suministró los informes de contra muestreo realizados por el Laboratorio Ambiental de la Dirección Técnica Ambiental – DTA, donde realizan mediciones directas para cuantificar emisiones de contaminantes atmosféricos. En los informes enviados por la Corporación para el municipio de Palmira se anexaron 5 informes que corresponden a empresas distintas a las reportadas en los conceptos técnicos y en los expedientes ambientales, para un total de 27 empresas que cuentan con estudios de emisiones para el municipio de Palmira con 91 fuentes de emisión (**Tabla 1 y Anexo F**).

Tabla 1. Número de empresas y fuentes de emisión en Palmira.

Adquisición de información	No. Empresas consultadas
Conceptos técnicos	11
Expedientes ambientales	11
Informes CVC	5
Total, de empresas	27
Total, puntos de emisión	90

Fuente: Elaboración Propia.

3.2 Fuentes fijas industriales RUA manufacturero.

En la búsqueda de información adicional que permitiera identificar nuevas fuentes fijas con potencial emisor en el municipio, se consultaron las bases de datos del RUA Manufacturero, específicamente los capítulos IV de Energía y V de Emisiones, correspondientes al año 2017 y 2018. En estas sábanas de información se registran aquellas empresas de importancia que no están obligadas a tener un permiso de emisiones por parte de la autoridad ambiental, pero que, de igual manera tienen un potencial emisor. En estos listados se reporta información referente al número de fuentes de emisión por cada empresa, características específicas como: marca, modelo (en algunos casos), diámetro y altura de chimenea, tipo y consumo anual de combustible, producción, tiempos de operación anuales, entre otros datos. Como resultado de esta revisión, fueron identificados inicialmente 28 establecimientos (industrias principalmente) con potencial emisor, y que no se encontraban registrados en la documentación ambiental revisada en la CVC (**Anexo F**).

Luego de esta identificación, los establecimientos fueron clasificados en dos categorías de acuerdo con la información que tuviesen disponible, esto debido a que no todos los establecimientos contaban con información completa. Por un lado, fueron agrupados los establecimientos que contaban con los datos necesarios para calcular las emisiones (consumo de combustible, producción y tiempos de operación), quienes fueron clasificados con prioridad baja de empadronamiento, así mismo, aquellos establecimientos que no tenían completa la información mencionada, fueron clasificados como prioridad alta, por lo que se priorizó su visita en la etapa de empadronamiento, como resultado de este proceso, 12 establecimientos fueron clasificados como prioridad baja y 16 como prioridad alta.

Posteriormente, se realizó un análisis haciendo uso de software GIS, así como también de imágenes satelitales y la función Street view de Google Earth (**Figura 3**), en donde se analizaron las características físicas como tamaño de la empresa y presencia de posibles chimeneas de cada uno de los establecimientos con prioridad alta, definiendo así aquellos que serían incluidos en el empadronamiento.

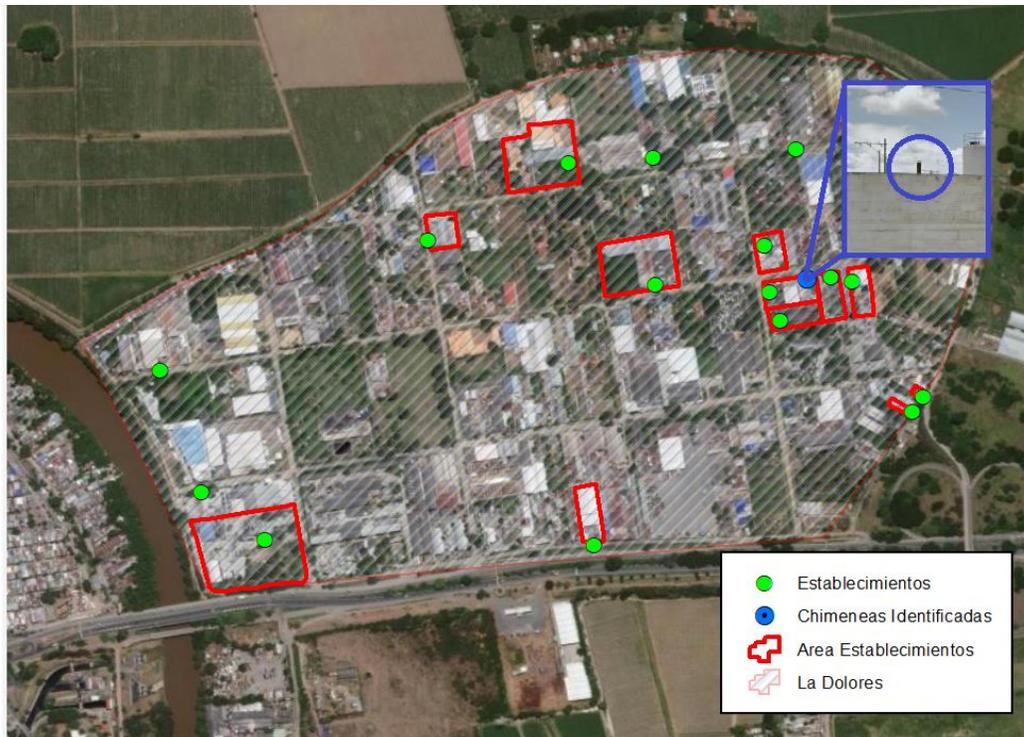


Figura 3. Priorización de fuentes a través de Software GIS

Fuente: Elaboración Propia

3.3 Fuentes fijas pequeños establecimientos.

A partir de las bases de datos obtenidas de Cámara de Comercio, se realizó una depuración (**Figura 4**) con el fin de identificar establecimientos comerciales que no se encuentran registrados en el RUA Manufacturero, ni en la documentación ambiental revisada en la Corporación, pero que era necesario adicionar al empadronamiento debido a su potencial emisor asociado a sus actividades productivas.

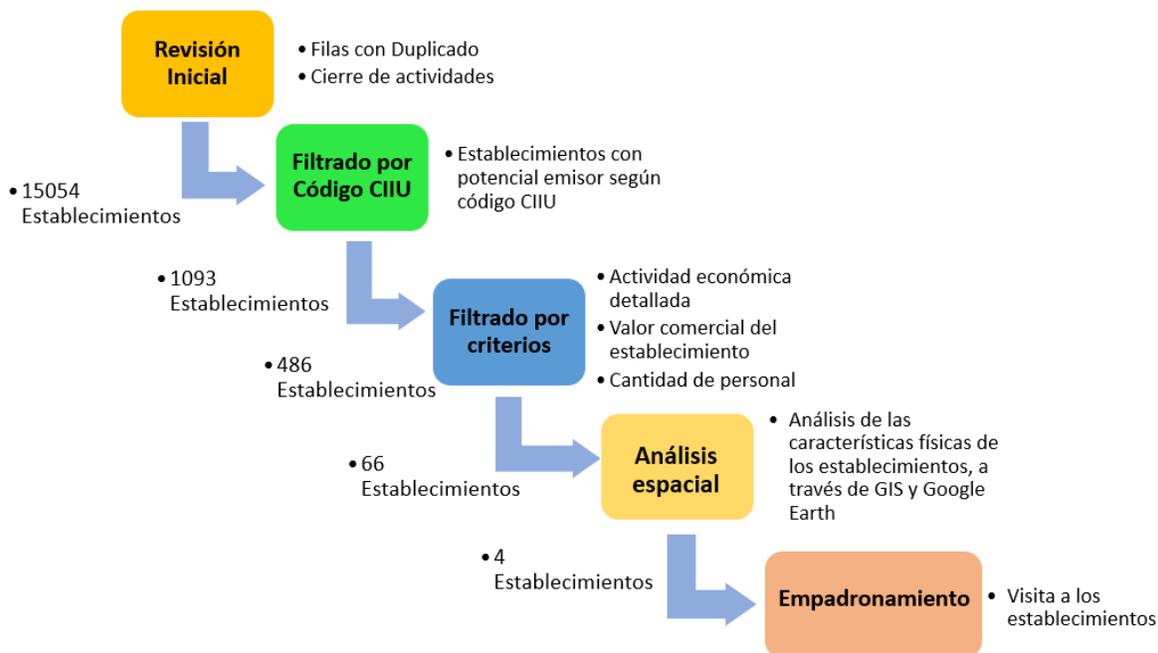


Figura 4. Procedimiento para el tratamiento de datos de Cámara y Comercio.

Fuente: Elaboración propia.

La base de datos suministrada por la Cámara de Comercio de Palmira cuenta con 15,054 filas de información de los establecimientos comerciales registrados en el municipio, inicialmente se realizó una revisión en donde se identificaron y eliminaron filas con información duplicada, así como también filas con establecimientos que se encontraban en proceso de liquidación o que directamente reportaban una fecha de cierre o cese de actividades comerciales. A continuación, se filtraron los establecimientos que se dedican a actividades relacionadas a 32 códigos CIU asociados a actividades comerciales con potencial emisor (**Anexo H**), posteriormente se desarrolló una selección por criterios, donde se hizo uso de la información disponible que puede relacionarse con el tamaño y producción de la empresa (personal y valor comercial del establecimiento).

3.4 Estaciones de servicio de combustible.

Para la identificación de las estaciones de servicio (EDS) en la zona urbana, se realizó una búsqueda en la base de datos de Cámara de Comercio, a través de un filtrado de los establecimientos que se encuentran registrados bajo el código CIU asociado a las actividades que se desarrollan en las estaciones de servicio, dando como resultado 52 establecimientos identificados. Sin embargo, posterior a una depuración de establecimientos que no eran estaciones de servicio como tal y de aquellos que registraron cierre de actividades, se obtuvo un listado de 19 establecimientos que fue complementado con información anecdótica y recorridos realizados dentro del casco urbano del municipio de Palmira, para consolidar así el listado final de 30 establecimientos a empadronar. De este listado final lograron empadronarse 25 establecimientos en total, ya que los 5 restantes no están operando actualmente.

3.5 Sector de ladrilleras

Con base en la información otorgada por la Corporación, se realizó la revisión de un listado en formato Excel con la información consolidada de cada establecimiento (ladrilleras) y la cantidad de hornos que dispone cada uno. En total se obtuvo la información de 52 establecimientos con 62 hornos, donde 46 establecimientos se encuentran ubicados en el sector de Coronado, y 6 establecimientos están en la vía hacia Tienda Nueva (**Tabla 2**). Para ver en mayor detalle la información de cada establecimiento diríjase al **Anexo A**, específicamente a la pestaña de “Cálculos E. Ladrilleras”.

Tabla 2. Número de establecimientos de ladrilleras y hornos por sector

Establecimientos /hornos	Coronado	Vía a Tienda Nueva	Total
No. Establecimientos (ladrilleras)	46	6	52
No. Hornos	54	8	62

Fuente: Elaboración propia

4. CONSOLIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL INVENTARIO

4.1 Revisión y validación de información de muestreos isocinéticos

Se establece como parte fundamental del proyecto incluir una herramienta de validación de los parámetros y resultados reportados en las mediciones y estudios de emisiones atmosféricas, tomando como punto de partida la verificación de la congruencia de parámetros clave y la estimación del caudal de salida de los gases de combustión generados en cada fuente de emisión. Esta variable es directamente proporcional al flujo del contaminante, lo que permite, no solamente validar el caudal reportado en los muestreos isocinéticos, sino también los flujos y concentraciones locales.

La estimación se realiza por estequiometría, teniendo en cuenta las variables de entrada que corresponden al tipo, composición química y consumo de combustible que utiliza cada una de las fuentes de emisión. Con el valor reportado en el estudio isocinético sobre el oxígeno en chimenea se ajusta el % de oxígeno en exceso para el método estequiométrico, eliminando sesgos de las condiciones de operación del equipo. A partir de este cálculo se pudo analizar la discrepancia existente entre el valor reportado en el estudio isocinético y el valor estimado, un valor superior o inferior al 50% sugiere una revisión más detallada. El proceso general de combustión de un compuesto orgánico se detalla en la **Figura 5**.

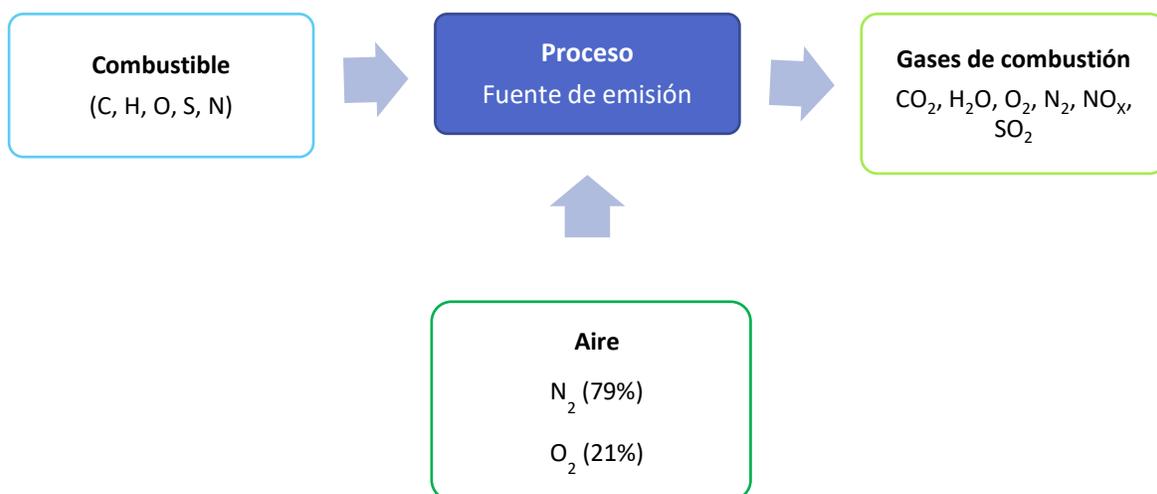


Figura 5. Esquema general de proceso de combustión.

Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de estimar los caudales de emisiones de cada fuente y compararlos con los resultados reportados en los muestreos isocinéticos, se estableció la metodología que se resume en la

Figura 6.

4.1.1. Verificación del tipo y unidades de consumo reportadas.

Los combustibles utilizados en los procesos de combustión en el municipio de Palmira son: Gas natural, carbón, GLP, aceite tratado, diésel (Fuel Oil No. 2), biodiésel, madera, bagazo. Las fuentes puntuales que no utilizan combustible para su funcionamiento o que utilizan energía eléctrica, no fueron incluidas dentro de esta validación.

Posteriormente se evalúa el combustible utilizado por la fuente de emisión y las unidades de consumo reportadas en el informe isocinético. Se establecieron unidades primigenias o comunes para cada combustible (ej, G.N. [m^3/h], GLP, licor negro y Fuel Oil [GPH], madera, carbón, bagazo [kg/h]), Cuando las unidades de consumo reportadas en el isocinético no eran acordes al combustible reportados, se realizaba conversión de unidades a sus unidades primigenias, para estimar correctamente el caudal de salida de los gases.

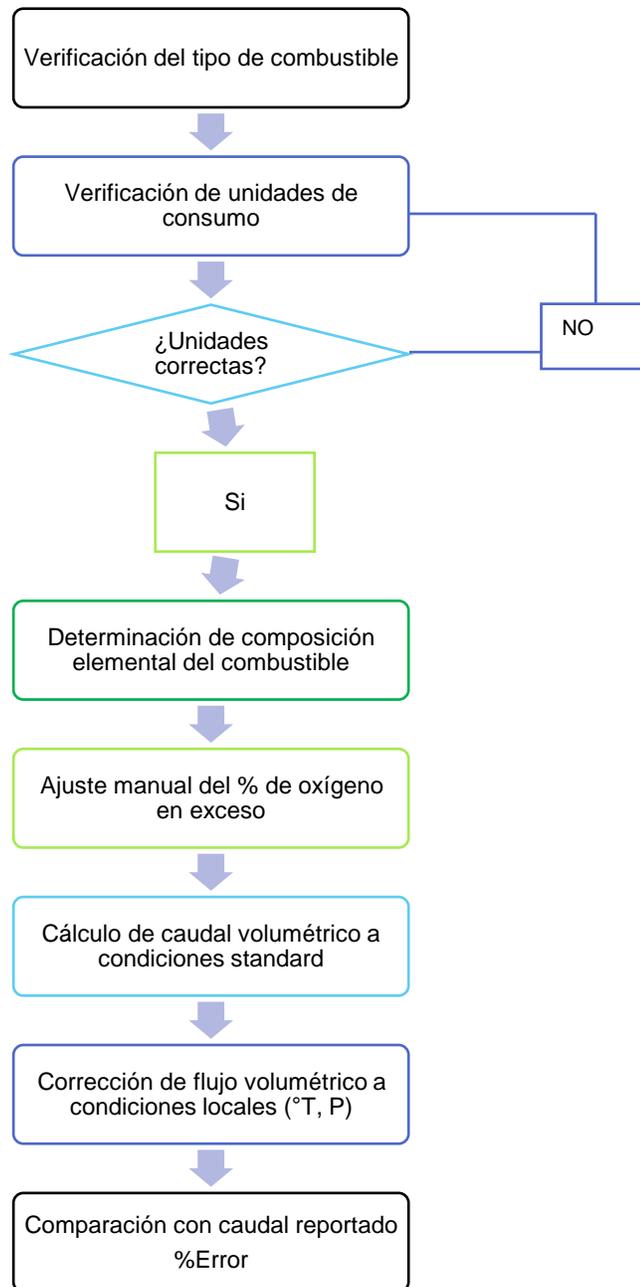


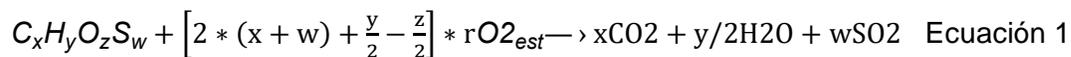
Figura 6. Esquema metodológico para la estimación de emisiones atmosféricas con base en el consumo de combustible.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Determinación de la composición elemental del combustible y estimación de gases de combustión por estequiometría.

Con el fin de determinar los productos de combustión, es necesario conocer la composición elemental del combustible, para lo cual se tomaron los valores de composición másica reportados por la UPME. Para el gas natural, su composición está referenciada como mezcla de gases (metano, etano, propano, butano), por lo cual, se deben realizar los cálculos de productos para cada componente con su respectiva estequiometría de combustión.

Se realiza el cálculo másico de productos de combustión por estequiometría, de acuerdo con la siguiente ecuación general:



Donde:

x, y, z, w, r: son coeficientes de la ecuación de combustión para el respectivo elemento.

Los cálculos por estequiometría se realizan de la forma en la que se describe en la **Tabla 3** para cada elemento.

Tabla 3. Reacciones de combustión elementales.

$C + C_2 \rightarrow CO_2$	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$	$S + O_2 \rightarrow SO_2$
$12 \left[\frac{g}{mol} \right] + 32 \left[\frac{g}{mol} \right] \rightarrow 44 \left[\frac{g}{mol} \right]$ Dividiendo por 12 [g/mol]: $1 + \frac{32}{12} \rightarrow \frac{44}{12}$ $1 + 2.67 \rightarrow 3.67$	$4 \left[\frac{g}{mol} \right] + 32 \left[\frac{g}{mol} \right] \rightarrow 36 \left[\frac{g}{mol} \right]$ Dividiendo por 4 [g/mol]: $1 + \frac{32}{4} \rightarrow \frac{36}{4}$ $1 + 8 \rightarrow 9$	$32 \left[\frac{g}{mol} \right] + 32 \left[\frac{g}{mol} \right] \rightarrow 64 \left[\frac{g}{mol} \right]$ Dividiendo por 32 [g/mol]: $1 + \frac{32}{32} \rightarrow \frac{64}{32}$ $1 + 1 \rightarrow 2$

Fuente: Elaboración propia.

Para simplificación de los cálculos se asume una combustión completa (sin producción de CO), no se contempla humedad del aire de combustión, sin generación de óxidos de nitrógeno (NOx) u otros compuestos presentes a niveles de trazas.

Se establece el porcentaje de aire en exceso asumiendo un valor que permita estimar un %O₂ de exceso al que se reporta en los isocinéticos, aplicando las siguientes ecuaciones.

$$\% \text{ en exceso de } O_2 = \frac{\text{Oxígeno total} - \text{Oxígeno teórico}}{\text{Oxígeno total}} * 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\text{Oxígeno en Exceso} = O_2 \text{ total} - O_2 \text{ Teórico} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$O_{2Total} = O_{2estequimetrico} * (1 + e) \text{ Ecuación 4}$$

$$N_{2Total} = O_{2Total} * \frac{79}{21} \text{ Ecuación 5}$$

Por lo tanto, se tiene que el caudal másico total de gases de combustión es igual a:

$$m_{GS} \left[\frac{\text{Kg (GS)}}{\text{Kg (Comb)}} \right] = m_{CO2} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{Kg (Comb)}} \right] + m_{H2O} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{Kg (Comb)}} \right] + m_{SO2} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{Kg (Comb)}} \right] + m_{O2exc} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{Kg (Comb)}} \right] + m_{N2} \left[\frac{\text{Kg}}{\text{Kg (Comb)}} \right]$$

Ecuación 6

Donde:

m_{GS} es el flujo másico de gases.

m_i es el flujo másico del i-eximo compuesto.

4.1.3. Cálculo de flujo volumétrico a condiciones de referencia.

De acuerdo con la Ley de Amagat de los volúmenes aditivos; se establece que el volumen de una mezcla de gas es igual a la suma de los volúmenes que cada gas ocuparía si existiera solo a la temperatura y presión de la mezcla (Ecuación 7). De esta forma se estima el volumen de cada componente del gas con su densidad a condiciones de referencia [25°C, 760mmHg] (Ecuación 8 y Ecuación 9)

$$V_t = V_{CO2} + V_{H2O} + V_{O2exc} + V_{N2} + V_{SO2} = \sum V_i \quad \text{Ecuación 7}$$

$$V_i = \frac{N_i * R_u * T}{P} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$V_t = \frac{N_t * R_t * T}{P} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

V_t , es el volumen Total (m^3).

V_i , es el volumen del i-esimo componente (m^3).

N_i , Moles de compuesto i.

T, Temperatura (°C).

P, Presión.

4.1.4. Correcciones por temperatura y presión de salida de los gases.

El caudal total estimado a condiciones de referencia [25°C, 760mmHg] se corrige a condiciones de chimenea para estimar el caudal a condiciones locales de operación y así poderse comparar con el caudal reportado en el informe isocinético.

$$Q_s = Q_{ref} * \frac{P_{ref} * T_s}{P_s * T_{ref}} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

Q_s , es el flujo volumétrico estimado a condiciones de chimenea (m³/min).

Q_{ref} , es el flujo volumétrico a condiciones de referencia (m³/min)

P_{ref} , es la presión a condiciones de referencia (mm Hg)

P_s , es la presión de salida de los gases (mm Hg)

T_{ref} , es la temperatura a condiciones de referencia (K)

T_s , es la temperatura de salida de los gases (K)

4.1.5. Determinación de factores de emisión por combustión, poder comburívoro y poder fumígeno de los combustibles utilizados en Palmira.

La determinación de los diferentes factores se desarrolló de acuerdo con el procedimiento anterior tomando como base de cálculo 1 Kg de combustible (**Tabla 4**).

Al realizar los cálculos máxicos para la estequiometria de combustión de cada combustible, de acuerdo con la Ecuación 1, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4. Gases de combustión por 1 Kg de combustible.

Balace Másico	Base Cálculo Combustible (1 Kg)	O2 estq (Kg)	CO2 (Kg)	H2O (Kg)	SO2 (Kg)	N2 (Kg)	O2 Exc (Kg)	AIRE (Kg)
Acetileno	1.00	3.43	3.14	1.29	0.00	12.90	0.00	16.33
Butano	1.00	3.59	3.03	1.55	0.00	13.49	0.00	17.08
Etano	1.00	3.73	2.93	1.80	0.00	14.04	0.00	17.78
Metano	1.00	4.00	2.75	2.25	0.00	15.05	0.00	19.05
Propano	1.00	3.64	3.00	1.64	0.00	13.68	0.00	17.32
Carbono	1.00	2.67	3.67	0.00	0.00	10.03	0.00	12.70
Hidrogeno	1.00	8.00	0.00	9.00	0.00	30.10	0.00	38.10
Azufre	1.00	1.00	0.00	0.00	2.00	3.75	0.00	4.75
Gas Natural	1.00	4.19	2.54	2.73	0.00	15.74	0.00	19.93
(Fuel oíl No. 2)	1.00	3.34	3.15	1.18	0.00	12.56	0.00	15.90
GLP	1.00	3.56	3.05	1.51	0.00	13.39	0.00	16.95

Balance Másico	Base Cálculo Combustible (1 Kg)	O2 estq (Kg)	CO2 (Kg)	H2O (Kg)	SO2 (Kg)	N2 (Kg)	O2 Exc (Kg)	AIRE (Kg)
Carbón	1.00	2.37	2.51	0.45	0.31	8.90	0.00	11.27
Bagazo	1.00	1.31	1.67	0.55	0.00	4.93	0.00	6.24
Madera	1.00	1.59	1.96	0.62	0.00	5.98	0.00	7.56

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Volumen de gases de combustión por 1 Kg de combustible.

Balance Volumétrico	Base Cálculo Combustible (1 Kg)	CO ₂ (m ³)	H ₂ O (m ³)	SO ₂ (m ³)	N ₂ (m ³)	O ₂ (m ³)	Productos de combustión (m ³)	Aire Consumido (m ³)
Acetileno	1.00	1.74	2.26	0.00	11.26	0.00	3.99	13.88
Butano	1.00	1.68	2.72	0.00	11.78	0.00	4.40	14.52
Etano	1.00	1.62	3.16	0.00	12.26	0.00	4.78	15.11
Metano	1.00	1.52	3.95	0.00	13.14	0.00	5.47	16.19
Propano	1.00	1.66	2.87	0.00	11.94	0.00	4.53	14.72
Carbono	1.00	2.02	0.00	0.00	8.76	0.00	2.02	10.80
Hidrogeno	1.00	0.00	15.79	0.00	26.27	0.00	15.79	32.39
Azufre	1.00	0.00	0.00	0.89	3.28	0.00	0.89	4.04
Gas Natural	1.00	1.40	4.80	0.00	13.74	0.00	6.20	16.94
(Fuel oíl No. 2)	1.00	1.74	2.07	0.00	10.96	0.00	3.81	13.52
GLP	1.00	1.69	2.64	0.00	11.69	0.00	4.33	14.41
Carbón	1.00	1.39	0.78	0.14	7.77	0.00	2.31	9.58
Bagazo	1.00	0.92	0.96	0.00	4.30	0.00	1.88	5.30
Madera	1.00	1.08	1.09	0.00	5.22	0.00	2.17	6.43

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5.1. Poder comburívoro

Es la cantidad de aire seco, medida en condiciones normales ($T^{\circ}=20^{\circ}\text{C}$ y $P=1\text{atm}$), mínima necesaria para la combustión completa y estequiometria de la unidad de combustible. Unidades habituales: Nm^3/kg Combustible, $\text{Nm}^3/\text{Nm}^3\text{Combustible}$. Es un parámetro característico de la composición del combustible (**Tabla 6**).

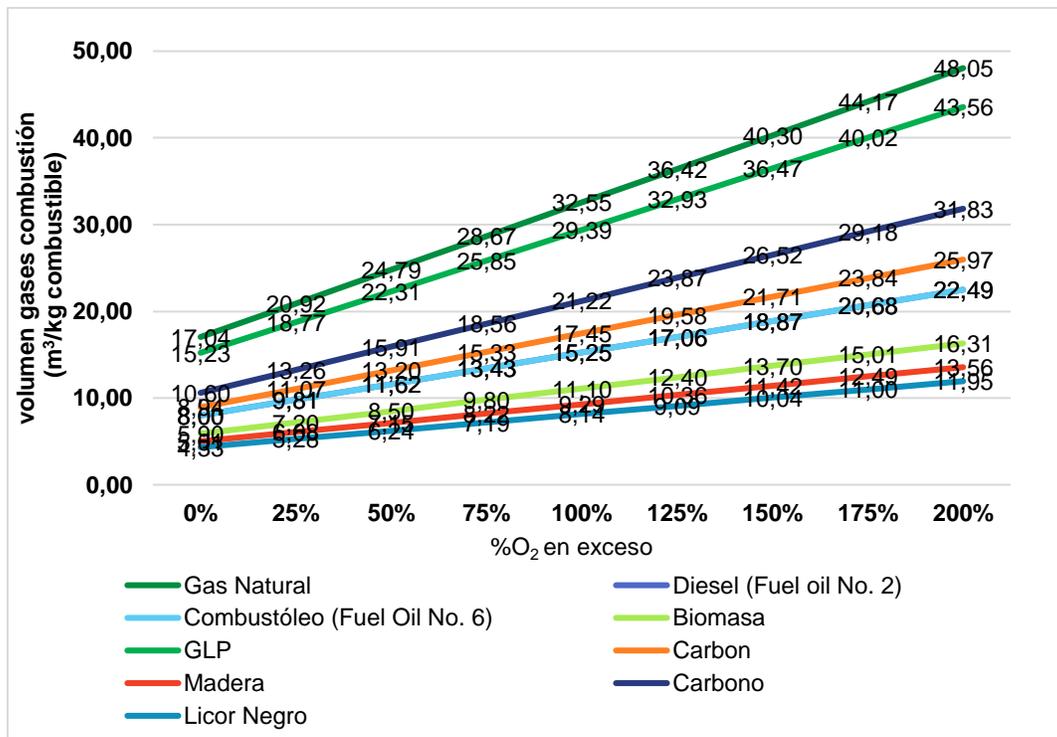


Figura 7. Volumen de gases de combustión generados por Kg de Combustible.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Factores de Emisión de Volumen aire consumido por Unidad de combustible (Poder comburivoro).

FACTORES DE EMISIÓN	PODER COMBURIVORO	
	Nm ³ (Aire seco) /kg Comb	Nm ³ (Aire seco) /Nm ³ Comb
Acetileno	13.88	15.16
Butano	14.52	36.14
Etano	15.11	19.10
Metano	16.19	10.82
Propano	14.72	27.71
Carbono	10.80	NA
Hidrogeno	32.39	2.91
Azufre	4.04	NA
Gas Natural (Fuel oil No. 2)	16.94	11.32
GLP	14.41	27.12
Carbón	9.58	NA
Bagazo	5.30	NA
Madera	6.43	NA

Fuente: Elaboración propia.

Como referencia de estos factores se encontraron para el Propano: 12.8 Nm³ (A.S.)/Kg Propano y 24.61 Nm³ (A.S.)/Nm³ Propano, Para el gas natural 10.34 Nm³/Nm³ y para el Fuel Oil _No 2 10.29 Nm³ A.S./Kg Comb del documento Combustión y combustibles García, 2001.

4.1.5.2. Poder fumígeno

Es la cantidad de productos de la combustión (Nm³) que se producen en la combustión estequiometria de la unidad de combustible, en función de considerar o no el vapor de agua existente en los productos de la combustión, se tienen poderes fumígenos húmedo y seco, respectivamente.

Tabla 7. Factores de emisión de gases de combustión generados por unidad de combustible (Poder fumígeno).

FACTORES DE EMISIÓN	PODER Fumígeno Nm ³ (gases comb) /Kg comb	
	Nm ³ (G.C) /Kg comb	Nm ³ (G.C.) /Nm ³ Comb
Acetileno	15.25	16.65
Butano	16.18	40.26
Etano	17.04	21.54
Metano	18.60	12.43
Propano	16.47	31.00
Carbono	10.78	NA
Hidrogeno	42.06	3.79
Azufre	4.7	NA
Gas Natural	19.94	13.32
(Fuel oil No. 2)	14.77	NA
GLP	16.02	30.14
Carbón Valle	10.08	NA
Bagazo	6.19	NA
Madera	7.39	NA

Fuente: Elaboración propia.

Como referencia de estos factores se encontraron para el gas natural:11,42 Nm³ (G.C.)/Nm³Comb y para el Fuel Oil _No 2 10,34 Nm³ (G.C.)/Kg Combustible (García, 2001).

Este factor permite estimar los volúmenes de gases generados a condiciones estándar para compararlo con el valor reportado en los estudios de emisiones.

4.1.5.3. Factor de emisión de productos de combustión (CO₂, H₂O y SO₂)

Para estimar las emisiones de CO₂, se estima el factor de emisión de CO₂ por tonelada consumida de cada combustible. En la siguiente tabla (**Tabla 8**) se encuentran los factores calculados en condiciones de referencia:

Tabla 8. Factores de emisión de productos de combustión.

FACTORES EMISIÓN	FACTORES DE EMISIÓN			REFERENCIAS FACTORES DE EMISIÓN
	KgCO ₂ /Tn Comb	KgH ₂ O /Tn Comb	KgSO ₂ /Tn Comb	KgCO ₂ /Tn Comb UPME
Acetileno	3142.9	1285.7	0.00	
Butano	3034.5	1551.7	0.00	
Etano	2933.3	1800.0	0.00	
Metano	2750.0	2250.0	0.00	
Propano	3000.0	1636.4	0.00	
Carbono	3666.7	0.0	0.00	
Hidrogeno	0.0	9000.0	0.00	
Azufre	0.0	0.0	1998.00	
Gas Natural	2535.5	2734.7	2.00	2972.59
(Fuel oil No. 2)	3149.3	1178.1	0.13	3156.55
GLP	3053.2	1505.7	0.00	3051.20
Carbon Valle	2509.1	445.5	312.29	2507.63
Bagazo	1666.1	549.0	0.70	1664.92
Madera	1959.5	619.2	0.32	1958.42

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Diseño del plan de empadronamiento.

El empadronamiento se realizó en cuatro fases o etapas: la primera fase (1) consistió en la priorización de las industrias registradas en el RUA, las industrias que fueron incluidas por la Corporación y las industrias sin estudios de emisiones; finalmente se cruzaron con la depuración de industrias en la base de datos de Cámara de Comercio de Palmira. Adicionalmente se realizaron recorridos por sectores industriales como el sector del Corregimiento de La Dolores, seguido del sector urbano y finalizando con algunas industrias ubicadas en el sector de la Zona Franca, la Recta Cali-Palmira y la zona rural. Esta primera fase permitió realizar una identificación inicial de industrias en la zona de estudio, complementar el listado de industrias del inventario y obtener acercamientos iniciales con las empresas.

Para la fase 2 se aplicaron los criterios de validación para los estudios isocinéticos, con el fin de generar un control y aseguramiento de calidad de la información de las emisiones del inventario. Para esta fase se diseñaron en total 10 criterios de validación, que permitieron analizar la información de los muestreos isocinéticos o en su defecto realizar el empadronamiento. El análisis detallado de los criterios de validación de los muestreos isocinéticos se presentan en el **Anexo E**.

Las fases 3 y 4, corresponden a la inclusión en el inventario de los pequeños establecimientos generadores de emisiones (panaderías y asaderos) y el aporte de emisiones fugitivas en las estaciones de servicio (EDS), respectivamente. Para el desarrollo del empadronamiento se realizaron visitas in situ con la finalidad de obtener información necesaria para la estimación del inventario de emisiones por estas fuentes. En la **Figura 8** se presenta de manera breve el procedimiento llevado a cabo por fases para el empadronamiento.



Figura 8. Fases para la ejecución del empadronamiento.

Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Sector industrial

Se diseñaron formatos de empadronamiento para la recolección de información en procesos industriales (combustión / proceso), suficiente y de calidad, que permitiera estimar las emisiones de contaminantes en fuentes fijas. Adicionalmente, se generó el listado inicial de las empresas a empadronar con información de contacto obtenida principalmente de la base de datos de Cámara de Comercio, complementada con otras fuentes de información (página web) en la cual se registra datos de contacto actualizados de cada industria; también se complementó información a través de internet .

A continuación, se presentan los campos y la descripción detallada de cada uno de los ítems incluidos en el formato de registro de industrias (**Tabla 9**). En el **Anexo B** se presenta el formato completo.

Tabla 9. Campos de información incorporados al formato de empadronamiento.

Ítems	Subítems	Descripción
Nombre encuestador y fecha	Encuestador	Se debe indicar el nombre de la persona que realiza la encuesta
	Fecha	Fecha en la que se realiza la visita
I. Datos Generales	Nombre de la empresa	Se debe incluir el nombre de la empresa a la que se le está realizando el empadronamiento
	Teléfono	Teléfono de las empresas
	Persona encuestada	Persona de la empresa con el que se realizó el diligenciamiento de la información
	Cargo	Cargo de la persona encuestada
	NIT	NIT de la empresa
	Correo	Correo electrónico de la empresa
	CIIU	Código de clasificación de actividades económicas al que pertenece la empresa
	Sector Industrial	Sector en el que se encuentra ubicada la empresa
	Coordenadas	Coordenadas geográficas en grados, minutos y segundos
Actividad económica	Actividad económica a la que se dedica la empresa	
II. Información Fuente	Número de equipos de combustión	Especificar si tiene más de una fuente de emisión
	No. fuente	Se relaciona con el número de la fuente a la que se le está diligenciando la información
	Identificación del equipo	Se debe especificar si el equipo corresponde a una caldera, horno, cabina, etc. Debe describirse el equipo en detalle
	Diámetro de la chimenea (m)	Diámetro del ducto de salida de los gases, en metros
	Altura de Chimenea (m)	Altura del ducto de salida de los gases, en metros
	Equipo de control de emisiones	Indicar si el equipo cuenta con un equipo adicional para controlar las emisiones atmosféricas
	% eficiencia control emisiones	Especificar el porcentaje de eficiencia del equipo de control de emisiones

Ítems	Subítems	Descripción
III. Información Actividad	Tipo de combustible	Especificar si utiliza carbón, gas natural, GLP, Diésel, entre otros, o si se asocia a algún proceso
	Estado (sólido, líquido, gaseoso)	Estado en el que se encuentra el combustible utilizado por el equipo
	Consumo (kg/h, m ³ /h, GPH)	Consumo de combustible del equipo, preferiblemente reportarse en las unidades en las que se especifica
	Producción / Capacidad	Se debe diligenciar el dato de producción (unidades de producto terminado por unidad de tiempo)
	Frecuencia de operación (h/día) / (día/mes) / (mes/año)	Jornada de trabajo en la que opera el equipo, en lo preferible reportarla en h/día y día/mes o día/año
	Tipo y frecuencia de mantenimiento	Describir el tipo de mantenimiento que se le realiza al equipo y la frecuencia con la que es realizado
V. Información adicional	¿Se han realizado cambios de equipos en los últimos 3 años?	Se debe especificar si se han realizado cambios de equipos en los últimos 3 años, con el fin de identificar si para el año base (2018) se contaba con los mismos equipos que se tienen actualmente
	¿Se han realizado cambios de combustible en las fuentes fijas?	Se debe especificar si los equipos han cambiado en algún momento el tipo de combustible, o si trabajan con un combustible principal y uno secundario. Mencionar cuáles y reportar su consumo en lo posible
	¿Ha variado el consumo de combustible en los últimos 3 años?	Especificar si el consumo de combustible ha variado en los 3 años anteriores.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Pequeños establecimientos

En la **Tabla 10** se muestran los campos de información incluidos dentro del formato de empadronamiento de los pequeños establecimientos. En el **Anexo B** se presenta el formato completo.

Tabla 10. Campos de información que fueron incluidos en el formato de recolección de información de los pequeños establecimientos.

ITEM	OBSERVACIONES
Nombre del establecimiento	Nombre en el que aparece registrado en Cámara de Comercio
Persona encuestada	Persona a la que se le realice la encuesta
Cargo	Cargo que posee la persona encuestada
NIT	NIT del establecimiento
CIIU	Código de Identificación industrial universal
Dirección	Dirección del establecimiento
Sector industrial	Sector en el que se encuentra ubicado el establecimiento
Horarios del establecimiento	Horarios definidos por el establecimiento para prestar el servicio
No. fuentes de emisión	Cantidad de equipos generadores de emisiones utilizados en sus actividades
Tipo de combustible	Seleccionar si es gas natural, GLP, carbón, u otro
Consumo de combustible, unidades	Consumo de combustible y unidades
Tiempos de operación	Tiempo en el que se encuentra funcionando el equipo durante el desarrollo de actividades
Mantenimiento de los equipos	Especificar si se realiza algún tipo de mantenimiento a los equipos y la frecuencia.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.3 Estaciones de servicio - EDS

La información fue recolectada a partir de un formato diseñado por el equipo de trabajo, en la que se relacionan datos importantes como número de los tanques y su capacidad, tipo de combustible que comercializan, y la cantidad de galones por combustible comprados y vendidos. En la **Tabla 11** se muestran los campos de información incluidos dentro del formato de las EDS. En el **Anexo B** se presenta el formato completo.

Tabla 11. Campos de información que fueron incluidos en el formato de recolección de información de las EDS.

ITEM	OBSERVACIONES
Nombre de la estación de servicio –EDS	Nombre del establecimiento, este aparece en las oficinas administrativas de la EDS.
Persona encuestada, cargo	Persona a quien se le solicitó la información requerida
NIT	NIT de la EDS
Correo	Correo electrónico de la persona encuestada
CIU	Código de Identificación industrial universal
Dirección	Dirección de la EDS
Sector industrial	Sector en el que se encuentra ubicada la EDS
Coordenadas	Ubicación de la EDS
Horarios que funciona el establecimiento	Horarios definidos por la EDS para prestar el servicio
Tipo de combustible: corriente, extra, diésel	Debe indicarse el tipo de combustible que se comercializa en la EDS
Número de tanques	Cantidad de tanques que presenta la EDS para almacenar el combustible
Capacidad de almacenamiento: corriente, extra, diésel	Indicar la capacidad de almacenamiento de cada tanque que presenta la EDS
Galones comprados	Galones comprados de cada combustible que tenga la EDS
Galones vendidos	Galones vendidos de cada combustible que tenga la EDS

Fuente: Elaboración Propia.

Luego de obtener la información requerida para el inventario de emisiones, esta se registró en la base de datos del **Anexo A**, en una pestaña adicional llamada “Cálculos E. EDS” donde se relaciona la información de cada EDS, y se realiza la estimación de las emisiones de COV junto con su aporte porcentual.

4.3 Desarrollo del empadronamiento

4.3.1 Sector industrial

Los formatos de empadronamiento permitieron adquirir la información necesaria para la estimación de emisiones atmosféricas en las industrias del municipio de Palmira. A partir del listado de industrias priorizadas, se establecieron los primeros contactos con las empresas por medio de llamadas telefónicas y/o correos electrónicos. Se generaron oficios con la solicitud formal de información con apoyo de la CVC, lo cual generó mayor credibilidad en el inventario. Se planearon recorridos iniciales con el fin de tener un mayor contacto de acercamiento con las industrias y así mismo, verificar la existencia de las mismas, finalmente, se realiza el empadronamiento por sectores, de acuerdo a las visitas

que fueron agendadas por cada empresa. A continuación, se presenta el procedimiento realizado para llevar a cabo el empadronamiento para el sector industrial (**Figura 9**).

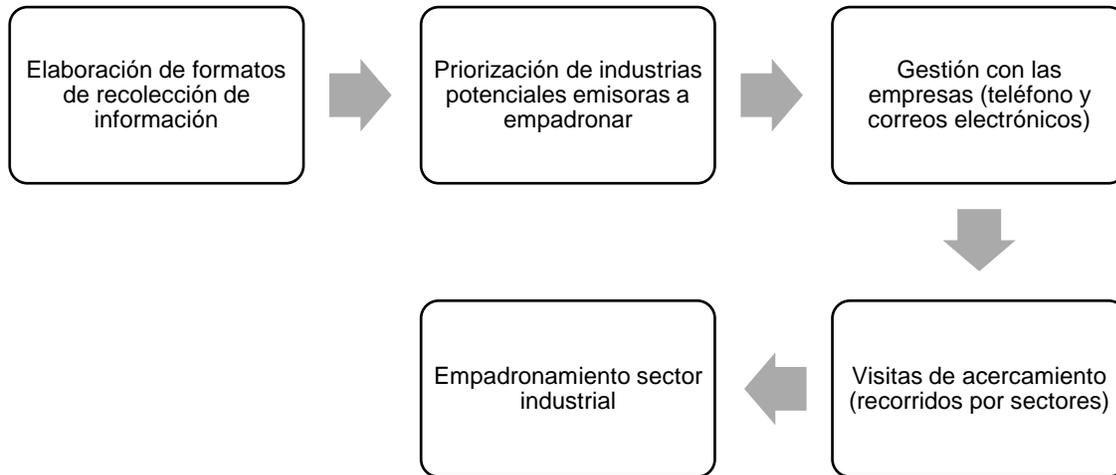


Figura 9. Procedimiento realizado para el empadronamiento del sector industrial.

Fuente: Elaboración propia.

- **Visitas de acercamiento a los sectores de interés.**

Se plantearon recorridos por sectores, comenzando en el Corregimiento de la La Dolores, seguido del sector urbano y finalizando con la Zona Franca, Recta y la zona rural. Por medio de estos recorridos, se logró determinar el estado en que se encontraban las industrias, es decir, cuáles estaban activas, suspendidas o inexistentes.

Esta actividad permitió generar un consolidado de industrias, que permitieron consolidar la información. De acuerdo con la información recolectada en los recorridos por sectores y en las llamadas telefónicas, se encontraron 7 industrias que ya habían terminado sus operaciones desde el año 2018 (3 estaban en el RUA 2017, 1 del RUA 2018, y 3 en el listado de CVC adicional), adicionalmente, 2 industrias de los informes de muestreo isocinéticos que fueron revisados inicialmente en la DAR, cuyas operaciones finalizaron en el año 2018 y 2019, y una industria (crematorio) que apenas iniciará sus actividades en el presente año. Adicionalmente, fueron descartadas 3 empresas más del RUA debido a que sus actividades no generan emisiones atmosféricas. Estas industrias no harán parte de este inventario; para ver en detalle el nombre de las industrias diríjase al **ANEXO F**.

Posterior a esto, se definieron unos niveles de priorización de empadronamiento (alta, media y baja). Esto permitió identificar aquellas empresas que no tenían registrada información suficiente, y por lo tanto, debían ser objeto de empadronamiento. Aquellas que fueron definidas con el nivel de prioridad alta, no contenían la información suficiente para realizar la estimación de emisiones atmosféricas, por lo tanto, se debía recolectar la

información a partir de visita presencial o de forma virtual, de acuerdo con la disponibilidad de la empresa. Las empresas clasificadas con prioridad baja contaban con la información completa para la estimación de las emisiones por factores de emisión, o no presentaban emisiones atmosféricas representativas (7 empresas), de estas, 3 corresponden a las reportadas del RUA en el año 2018, 2 de la información adicional dada por CVC y 2 de Cámara de Comercio.

De las definidas como prioridad alta (11 empresas), se realizaron recorridos adicionales para obtener la información faltante, ya que estas empresas son de gran importancia para el inventario. De estas, solamente 1 empresa quedó pendiente por obtenerse la información, por lo que para el presente inventario no fue incluida.

- **Fuentes inventariadas.**

El número de industrias incluidas en el inventario de emisiones por fuentes fijas en el municipio de Palmira fue de 64 con 177 fuentes de emisión. En total fueron incluidas las 27 industrias cuya información proviene de los expedientes ambientales y los conceptos técnicos de la CVC y 37 industrias con información de RUA, información adicional de CVC y nuevas empresas encontradas en los recorridos por sectores (**Tabla 12**). En el **Anexo A** se presenta la base de datos del inventario.

Tabla 12. Consolidado de industrias del inventario

Tipo de información	No. Industrias
Expedientes y conceptos técnicos	27
RUA 2017-2018	20
Información adicional otorgada por CVC	11
Cámara de Comercio	3
Nuevas empresas de importancia encontradas	3
Total empresas Palmira	64
Fuentes de emisión	177

Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 10** se detalla la distribución espacial de las industrias incluidas en el inventario de emisiones por fuentes fijas en el municipio de Palmira.

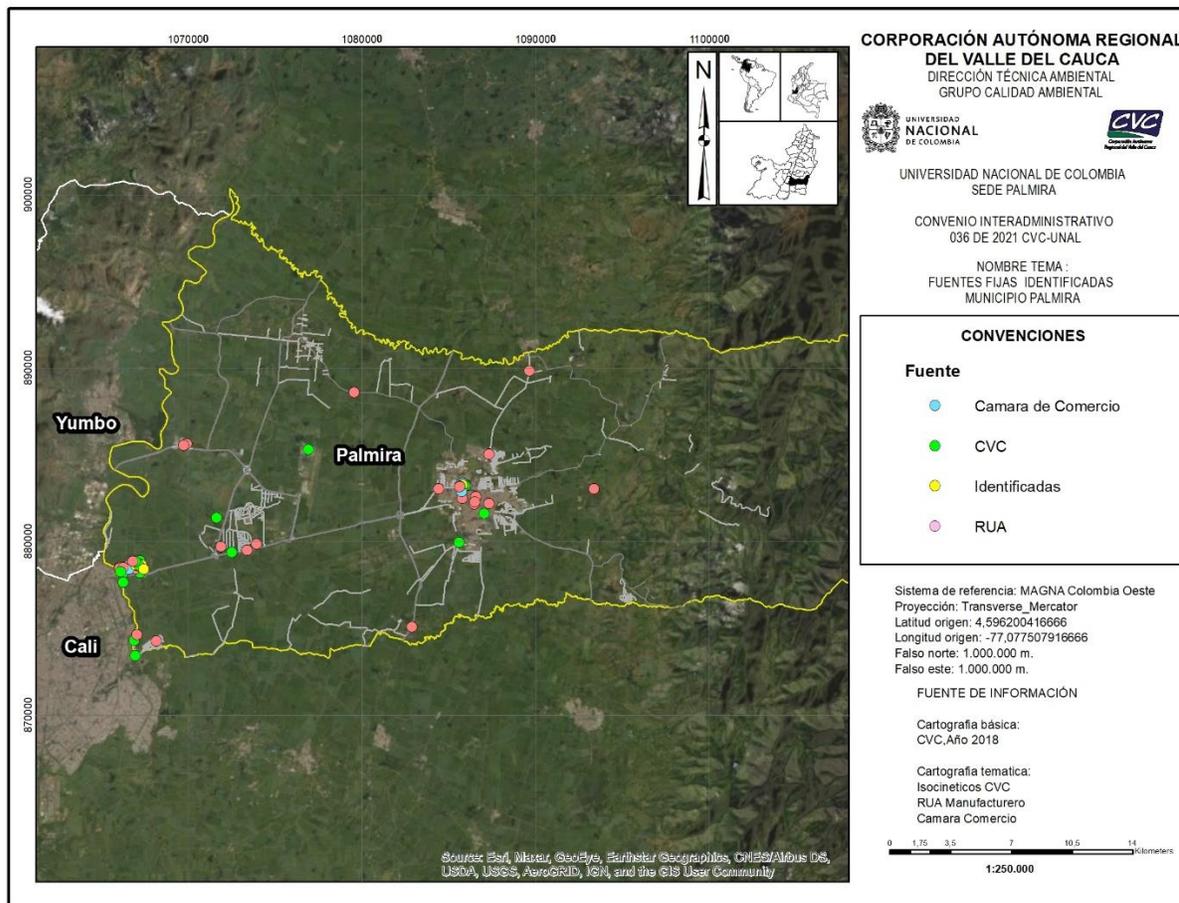
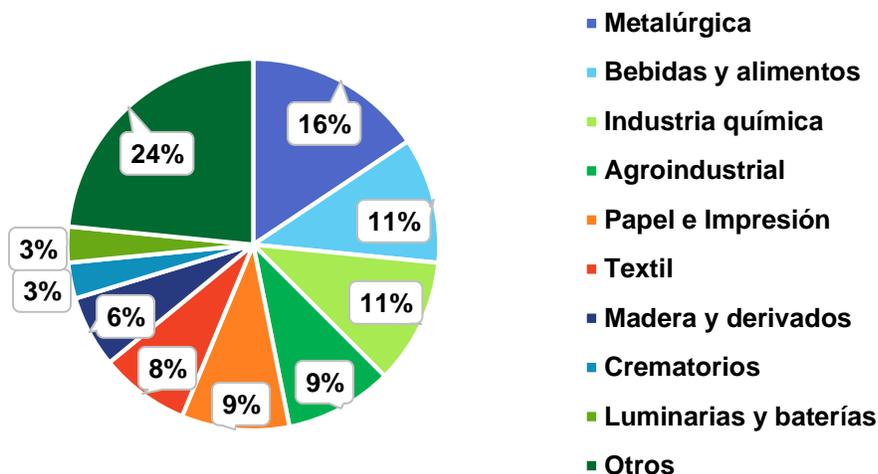


Figura 10. Localización de las industrias del municipio de Palmira.

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo con la **Figura 11**, los sectores industriales más representativos en el municipio de Palmira corresponden a la industria metalúrgica con un 16%, seguido por el sector de bebidas y alimentos con un 11%, y el sector de la industria química con un 11%.



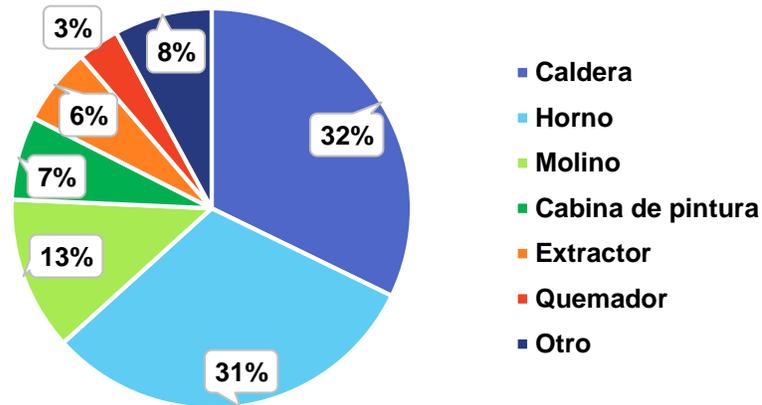
Sector Productivo	No. de industrias	Porcentaje
Metalúrgica	10	16%
Bebidas y alimentos	7	11%
Industria química	7	11%
Agroindustrial	6	9%
Papel e impresión	6	9%
Textil	5	8%
Madera y derivados	4	6%
Crematorios	2	3%
Luminarias y baterías	2	3%
Otros	15	24%
Total general	64	100%

Figura 11. Distribución de sectores industriales en Palmira.
Fuente: Elaboración Propia.

Por otro lado, de las 177 fuentes de emisión reportadas, el 32% corresponden a calderas, 31% a hornos, 13% a molinos, 7% cabinas de pintura, 6% extractores, 3% quemadores y 8% a otros equipos (Figura 12).

4.3.1 Empadronamiento de pequeños establecimientos comerciales.

Como resultado de este proceso se empadronaron en total 22 asaderos y 40 panaderías; para ver en detalle los establecimientos de panaderías y asaderos incluidos, diríjase al **Anexo A**, específicamente en las pestañas que llevan por nombre “Cálculos E. Panaderías” y “Cálculos E. Asaderos”.



Tipo de equipo	No. Fuentes	Porcentaje
Caldera	57	32%
Horno	55	31%
Molino	22	13%
Cabina de pintura	12	7%
Extractor	11	6%
Quemador	6	3%
Otro	14	8%

Figura 12. Distribución de los equipos empleados en las industrias evaluadas en Palmira.

Fuente: Elaboración Propia.

4.3.2 Estaciones de servicio de combustible.

En cuanto a las estaciones de servicio, la información para alimentar la base de datos de estas fuentes emisoras se obtuvo a partir de encuestas realizadas a los administradores de las estaciones de servicio, realizando visitas in situ.

Para el presente inventario se realizaron visitas in situ a 30 estaciones de servicio, donde se empadronaron en total 25 EDS; las 5 restantes no coincidían con la ubicación reportada (3) o no estaban operando actualmente (2). A partir de las EDS que fueron empadronadas se realizaron los cálculos de emisiones fugitivas de COV. Para ver en detalle las estaciones de servicio incluidas, diríjase al **Anexo A**, específicamente a la estaña “Cálculos E. EDS”.

4.4 Diseño y estructuración de la base de datos del inventario

Con el fin de facilitar la recolección de información, se diseñó una base de datos, donde se consolidó la información (necesaria y suficiente) para realizar la estimación de emisiones por fuentes fijas. Los campos de información que fueron incluidos para la base de datos fueron seleccionados teniendo en cuenta la información específica reportada en los estudios isocinéticos e información general adicional que permita a la CVC la identificación de las cargas de emisiones contaminantes asociada a las actividades (combustión y proceso).

Inicialmente, se consideraron los contaminantes reportados a partir de estudios isocinéticos y que hacen parte de los expedientes ambientales de la CVC. De acuerdo con el tipo de proceso industrial, la Resolución 909 de 2008 define los contaminantes que deben monitorearse; de igual forma la Resolución 619 de 1997 establece las actividades que requieren permiso de emisiones atmosféricas por parte de la autoridad ambiental. Posteriormente se incluyeron campos en la base de datos para realizar la estimación de otros contaminantes de interés ambiental en el inventario, incluyendo algunos GEI. Estas estimaciones usando factores de emisión se consolidaron a partir de información secundaria que incluye: actividad económica, materias primas consumidas, unidades de producción, consumo de combustible y tiempos de operación del equipo fuente (frecuencias de trabajo). La **Tabla 13** resume los campos de información que fueron incluidos en la base de datos de fuentes fijas.

Tabla 13. Campos de información incluidos en la base de datos de fuentes fijas.

Ítem	Campos incluidos	Observaciones
Información general de la empresa	Número de identificación de la industria	Información reportada dentro de los expedientes ambientales y conceptos técnicos
	Número de identificación de la fuente de emisión	
	Número de identificación de expediente ambiental	
	NIT de la empresa	
	Razón social	
	Nombre comercial de la empresa y sedes	
Información de consulta y medición	Correo electrónico y teléfono	Información reportada en el estudio isocinético
	Fecha de consulta del expediente	
	Fecha de reporte de emisiones	
Obtención de la información	Fecha del monitoreo isocinético	Entidad que otorgó la información, encuestas, etc.
	Fuente de información	
	Tipo de informe	
	Tipo de permiso	Describe si la empresa cuenta con permiso de emisiones, licencia ambiental o si únicamente está obligada a

Ítem	Campos incluidos	Observaciones
		reportar sus emisiones.
Descripción de la actividad económica	Sector económico	Información reportada en el expediente ambiental o concepto técnico.
	Código CIIU	
	Tipo de producción	
Información de ubicación de la empresa	Altura y coordenadas de la empresa, dirección, zona industrial, municipio, tipo de suelo	Información reportada en el expediente ambiental o concepto técnico.
Fuente de emisión	Equipo, descripción del equipo, coordenadas del equipo	Equipo fuente, generador de emisiones. Se incluye información reportada en el estudio isocinético.
Descripción específica del punto de emisión	Altura, diámetro, temperatura, velocidad y caudal de salida de los gases, porcentaje de oxígeno	
Dato de producción	Producción/ capacidad instalada	Información importante para realizar la estimación de emisiones atmosféricas por factores de emisión.
Combustible y materia prima	Tipo de combustible, estado de combustible	Reportado en el estudio isocinético. Importante para realizar la estimación de emisiones atmosféricas por el método de factores de emisión.
	Consumo de combustible y unidades de consumo	
Frecuencias	Frecuencias de consumo de combustible (jornadas de trabajo, mes/año, día/mes, hora/día)	El dato de frecuencia es fundamental para la estimación de emisiones por método directo y factores de emisión.
Control de emisiones	Equipo de reducción de emisiones y porcentaje	Información reportada en el estudio isocinético.
Información sobre estimación y fuente de emisión	Método de obtención de emisiones	Corresponde a si esta fue a partir de las mediciones directas, o por factores de emisión.
	Fuente de emisión según combustible	Combustión, combustión por proceso productivo, no combustión.
	Proceso específico de emisión	Proceso al que se involucra el equipo fuente.
	Tipo de fuente (puntual o de área)	Clasificación del punto de emisión. Para este análisis solo se incluyeron fuentes puntuales
Información sobre emisiones estimadas	Emisiones de contaminantes criterio: CO, NOX (NO, NO ₂) SOX (SO ₂ , SO ₃), PM (PM ₁ , PM _{2.5} , PM ₁₀ , PM)	Emisiones reportadas en unidades de ton/año
	Emisiones de VOC	
	Emisiones de gases efecto invernadero (CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O)	
Información sobre factores de emisión utilizados	Tipo de factor, valor y fuente	EPA AP-42, factores de la EEA, entre otros.
	Constantes y factores de conversión	
Consolidado de emisiones	Tabla consolidada de emisiones atmosféricas	Emisiones reportadas en unidades de ton/año

Fuente: Elaboración propia.

5. ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR FUENTES FIJAS

5.1 Cálculo de las emisiones

En Colombia, la Resolución 909 de 2008 define los estándares de emisión admisibles en diferentes procesos de combustión y producción que impactan la calidad del aire, principalmente por contaminantes criterio como el material particulado (PM), dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x).

Esta regulación incluye las actividades industriales que de acuerdo con el Sistema Nacional Ambiental aportan la mayor carga contaminante al aire y tienen la responsabilidad de cumplir con las normas de emisión. Sin embargo, en esta normatividad no se incluyen pequeños procesos emisores que individualmente emiten cantidades bajas de contaminantes criterio, pero en conjunto pueden significar cargas importantes al aire, tal es el caso de asaderos, panaderías, etc.

En este sentido, para el desarrollo del inventario de emisiones por fuentes fijas se incluyeron las industrias identificadas y priorizadas a partir de la revisión de información reportada por la Cámara de Comercio, el Registro Único Ambiental – RUA y el listado de industrias generadores de emisiones que registra la CVC en los municipios priorizados. La metodología para el cálculo de las emisiones por fuentes fijas se presenta en la **Figura 13**.

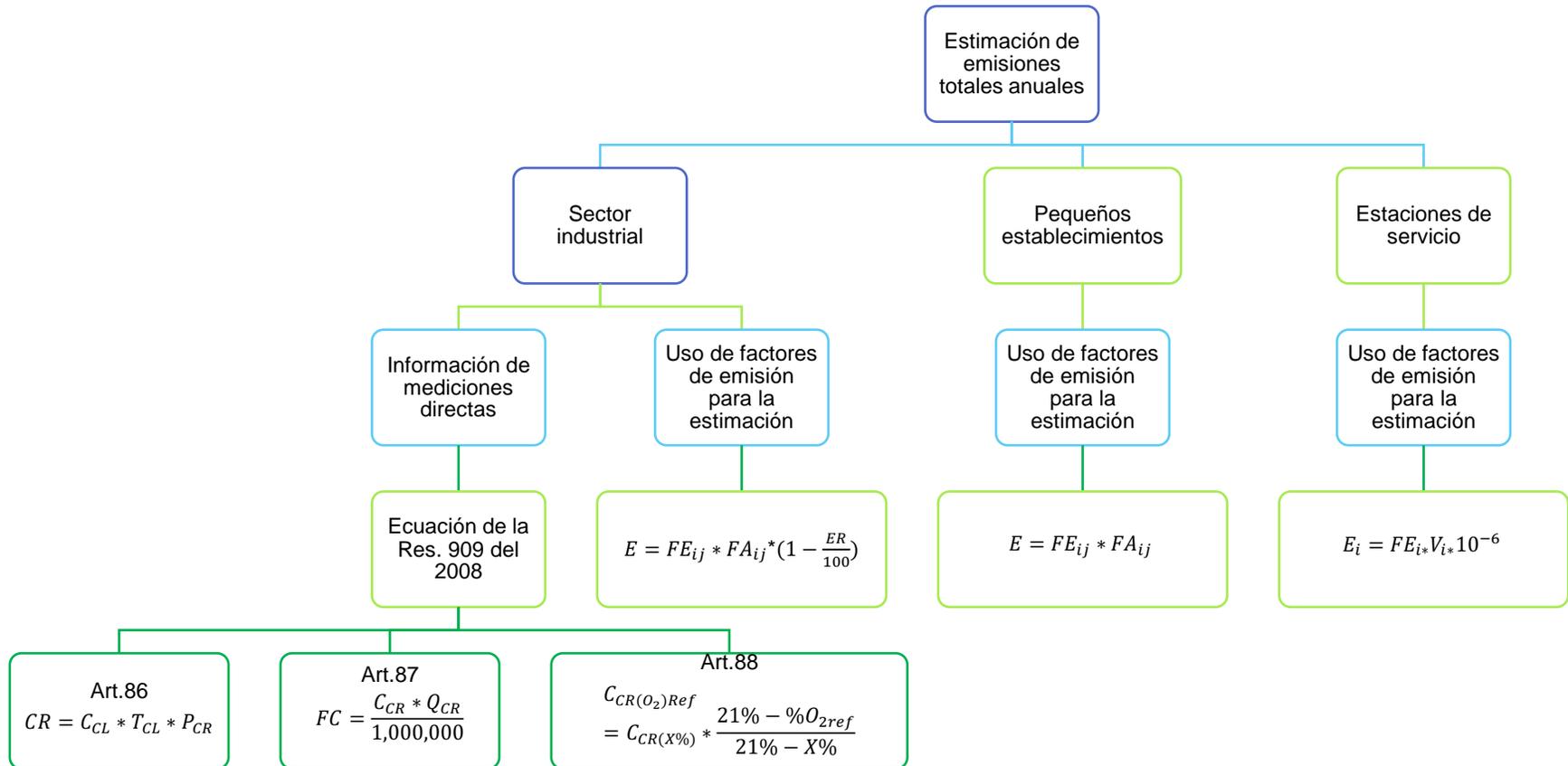


Figura 13. Metodología de cálculo de emisiones totales anuales para fuentes fijas.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1 Factores de emisión

- **Factores de emisión seleccionados para el sector industrial**

Para la selección de los factores de emisión se tuvo en cuenta la información que fue recopilada de los expedientes ambientales, el RUA manufacturero y el empadronamiento, por medio de la cual se realizó una clasificación de las fuentes en dos categorías: aquellas que realizan combustión (utilizan combustible como fuente de energía para su funcionamiento) y aquellas que se relacionan con un proceso productivo.

En el caso de las fuentes de combustión, se debe tener información relacionada con el tipo de fuente, el tipo de combustible que utiliza y su consumo, las jornadas de operación del equipo (frecuencias de trabajo), los equipos de control (si aplica) y su eficiencia de remoción. Por otro lado, para las fuentes asociadas a un proceso productivo se debe tener información relacionada con la actividad productiva, la materia prima consumida, y los sistemas de control y su eficiencia.

Luego de seleccionar los factores de emisión, se realizó la conversión de unidades inglesas a unidades del Sistema Internacional, ya que el consumo de combustible de la fuente de emisión generalmente es reportado con unidades del Sistema Internacional.

Los factores de emisión listados en la **Tabla 14**, fueron obtenidos principalmente de la quinta edición del AP-42 Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, Volume 1 de la EPA, contenidos dentro de los capítulos 1, 2, 3, 4, 6, 9, 10, 11 y 12.

De igual manera se emplean, para algunas actividades industriales, los FE de la Agencia Ambiental Europea (EEA) que se encuentran en la Guía de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos de EMEP/EEA – 2016, especialmente las secciones 2.D.3.d, 1A 2b 3.-11, 5.C.1.b.v. También se utilizaron los factores de emisión del IPCC y la UPME para complementar los contaminantes de CO₂, CH₄, y N₂O. Para ver en mayor detalle cada factor de emisión, diríjase al Anexo A, específicamente a la pestaña “Base de datos EFs”.

Tabla 14. Factores de emisión del AP-42 utilizados para la estimación de emisiones contaminantes del sector industrial.

Combustible/ Proceso asociado	Tipo de fuente factor de emisión - Equipo específico	CO	NO _x	SO ₂	PM	PM10	PM2.5	VOC	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Gas Natural kg/m³std	NG Combustion	0.00134	0.00160	0.00005	0.00012	0.00012	0.00012	0.00009	1.92000	0.00004	0.00004
Carbón kg/ton	Spreader Stoker, bituminous	2.50000	5.50000	54.15000	33.00000	6.60000	2.30000	0.02500	1467.24600	0.03000	0.02000
	Spreader Stoker, sub- bituminous	2.50000	4.40000	24.85000	33.00000			0.02500	1467.24600	0.03000	0.02000
	Underfeed stoker	5.50000	4.75000	7.75000				0.02500	1467.24600	0.03000	0.02000
	Cyclone furnace				2.80000	0.36400	0.15400				
	Spreader stoker, with multiple cyclones, no reinjection				6.00000	3.90000	1.60000				
	Spreader stoker. Baghouse control syst.				0.06000	0.03600	0.01600				
Diesel (Fuel oil No. 2) kg/gal	Boiler < 100 MBTU/h - Distillate oil fired	0.00227	0.00907	0.00032	0.00091	0.00045	0.00011	0.00009	10.11506	0.00002	0.00012
GLP kg/gal	LPG Combustion. Butane emission. Industrial boiler	0.00381	0.00908 ¹	7.6E-07 ¹	0.00036	0.00036	0.00036	0.00025 ¹	6.48634	0.00009	0.00041
Bagazo kg/ton	Uncontrolled	2.64000 ¹	0.60000	1.38000 ⁵	7.80000	4.10000 ⁵	2.60000 ⁵		780.00000	0.44229 ²	0.05897 ²
	Controlled Mechanical Collector	2.64000 ¹	0.60000	0.29000 ¹	4.20000	2.20000 ⁵	1.40000 ⁵		780.00000	0.44229 ²	0.05897 ²
	Controlled Wet Scrubber	2.64000 ¹	0.60000	0.29000 ¹	0.70000	0.68000	0.23000 ⁵		780.00000	0.44229 ²	0.05897 ²

Equipos de combustión interna kg/m³std	Natural Gas-Fired Turbines	0.00134	0.00522	0.00006	0.00011	0.00008	0.00003	0.00003	1.79520	0.00014	0.00005
Equipos de combustión interna kg/gal	Uncontrolled gasoline and diesel industrial engines	0.05750	0.26693	0.01755		0.01876			9.92660		
Madera kg/ton	Dry wood-fired boilers	5.08939	4.15633	0.21206	3.39293	3.05363	2.62952	0.14420	1654.05240	0.50937 ²	0.11027
Aceite tratado kg/gal	Waste oil combustors - Small Boilers	0.00227	0.00862	0.01200	0.00871	0.00694	0.00443	0.00012	9.97898	0.00045	0.00024
Operaciones Secundarias Aluminio kg/ton	Smelting reverberatory Uncontrolled		0.413 ³	0.285 ³	2.15000	1.17933	0.97975				0.00061 ⁴
	Smelting reverberatory BagHouse		0.413 ³	0.285 ³	0.65000						0.00061 ⁴
	Smelting reverberatory Electrostatic Precipitator		0.413 ³	0.285 ³	0.65000						0.00061 ⁴
Fundición secundaria Cobre kg/ton	Reverbetory Frunace whitout Control equipment	4.69000 ³	0.40000 ³	1.23000 ³	2.60000	2.50000					
	Reverbetory Frunace whit Baghouse	4.69000 ³	0.40000 ³	1.23000 ³	0.20000	ND					
	Electric Arc Furnace whitout Control equipment	4.69000 ³	0.40000 ³	1.23000 ³	2.50000	2.50000					
	Electric Arc Furnace whit Baghouse	4.69000 ³	0.40000 ³	1.23000 ³	0.50000	ND					
	Electric Induction whitout Control equipment	4.69000 ³	0.40000 ³	1.23000 ³	3.50000	3.50000					

	Electric Induction whit Baghouse	4.69000 ³	0.40000 ³	1.23000 ³	0.25000	ND					
Fundición secundaria Plomo kg/ton	Reverberatory smelting Uncontrolled		0.18600 ³	40.00000	162.00000				0.20000 ⁴	0.00020 ⁴	0.00034 ⁴
	Reverberatory smelting Controlled		0.18600 ³		0.50000				0.20000 ⁴	0.00020 ⁴	0.00034 ⁴
Proceso - Incineración cadavers kg/ton	Controlled-Air Medical Waste Incineration - Uncontrolled	1.33809	1.61478	0.98429	2.11827	1.37687	0.91721	0.16250 ³			
Proceso - Incineración hospitalarios kg/ton	Rotary Kiln Medical Waste Incineration - SD/Carbon Injection/FF	0.02263	2.22713	0.13608	0.03429	0.02466	0.00093	7.40000 ³			
Proceso - Fundición de metals kg/ton	Steel Foundries - Electric induction				0.04536	0.04082					
	Mini mills - Electric arc furnace, ladle metallurgy, melt shop	0.81646	0.09979	0.09072	0.02676	0.00907		0.01043	0.08000 ⁴		
Secondary copper smelting	Crucible and plot furnace (brass and bronze)				11.00000	6.20000					
Gray Iron Foundries	Cupola - Uncontrolled	73.00000	0.55000 ³	0.16000	6.26000	2.81000	2.63000				
Steel Foundries kg/ton	Electric Arc		0.10000		6.50000						
	Open Hearth		0.00500		5.50000						
	Open Harth Oxygen Lanced		0.00500		5.00000						

	Electric Induction				0.05000	0.04500					
Grain Processes Mills kg/ton	Grain Milling. Hammermill, Cyclone				0.03039						
	Grain Milling. Hammermill, BagHouse				0.00544						
	Grain Cleaning. Internal Vibration Cyclone				0.03402	0.00862	0.00145				
	Animal feed mills - Hammermill – Baghouse				0.00544	0.00544					
	Animal feed mills- Pelletizing Pellet cooler - Cyclone				0.16329	0.08165					
	Animal feed mills- Flaker - Cyclone				0.06804	0.03402					
Organic chemical process - soap and detergents kg/ton	Detergent spray drying - Wet scrubber				0.49441						
	Detergent spray drying - Uncontrolled				40.82310						
	Detergent spray drying - Fabric filter				0.49895						
Coating Application (g/kg)	Decorative coating applications							150.00000 ³			

	Decorative coating applications (Dispersion Emulsion, 2-3% Solvente, 39%abatement)							92.00000 ³			
	Industrial coating applications							400.00000 ³			
	Industrial coating applications (Dispersion Emulsion, 2-3% Solvente, 39%abatement)							244.00000 ³			
	Other Coating applications							200.00000 ³			
	Other coating applications (Dispersion Emulsion, 2-3% Solvente, 39%abatement)							122.00000 ³			
Coating Application (kg/h)	Small Waterborne							0.26000			
	Large Waterborne							23.00000			
Crushed stone processing and pulverized mineral processing (kg/ton)	Fines crushing (controlled)				0.00150	0.00060	0.00003				

¹ Factores de emisión National Pollutant Inventory (Australia), 2003

³ Factores de emisión EEA, 2016.

⁵ Factores de emisión estimados: Anexo I

² Factores de emisión UPME, 2016

⁴ Factores de emisión IPCC, 2006

- **Factores de emisión seleccionados para los pequeños establecimientos**

Para las panaderías se utilizó el factor de emisión reportado en la tabla 1.4-1 “Final section. Section 1.4 NG Comb.” de la sección del AP-42 del gas natural de combustión. Por otro lado, para los asaderos, se utilizó el factor Smoke Meat - Batch smoke House (carne ahumada) (**Tabla 15**) reportados en la tabla 9.5.2-2 del AP-42, ya que es el proceso más manejado en estos establecimientos, y para los cálculos de CO₂, CH₄, y N₂O se utilizó el factor de emisión reportado en la UPME.

Tabla 15. Factores de emisión para la estimación de emisiones contaminantes de los pequeños establecimientos.

Combustible/ Proceso asociado	Tipo de fuente	CO	NO _x	SO ₂	PM	VOC	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Gas Natural kg/m ³ std	NG Combustion	0.0013	0.0016	0.00005	0.0001	0.00009	1.92000	0.00004	0.00004
Smoke meat (kg/ton)	Batch Smoke House - Carbón				10.43257	19.95796	2,534.8*	0.0288*	0.0431*
	Batch Smoke House- Madera				10.43257	19.95796	1,521.3*	0.5098*	0.0680*

*Factores de emisión UPME (2016)

- **Factores de emisión seleccionados para las EDS**

La estimación de emisiones fugitivas de COV en las estaciones de servicio EDS, cuya actividad se relaciona con la venta de combustibles, se realizó a partir de factores de emisión, los cuales fueron tomados del Capítulo 5 del documento AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors (US-EPA, 1995a). Según lo reportado en el AP-42, las emisiones de COV por la evaporación de combustibles líquidos en las EDS, pueden considerarse, por tipo de almacenamiento y modo de transporte utilizado. Actividades como el llenado de los tanques y llenado de los vehículos automotores son generadoras importantes de COV. Los factores de emisión reportados en la **Tabla 16**, fueron utilizados de acuerdo con el tipo de llenado de los tanques y el llenado de los vehículos.

Tabla 16. Factores de emisión para estimar emisiones fugitivas de COV en las EDS.

Fuente de emisión	Factor de emisión (mg/L)	Factor de emisión (ton/gal)
Gasolina		
Llenado del tanque subterráneo		
Tubería sumergida	880	3.33116E-06
Tubería no sumergida	1380	5.22387E-06
Tubería sumergida y con control de emisiones	40	1.51417E-07
Contracción y expansión de los gases en el tanque subterráneo	120	4.5425E-07
Llenado de vehículos		
Emisión sin control	1320	4.99674E-06

Fuente de emisión	Factor de emisión (mg/L)	Factor de emisión (ton/gal)
Emisión controlada	132	4.99674E-07
Derrames	80	3.02833E-07
Diésel		
Incluye el llenado de tanques subterráneos, el llenado de los vehículos y la contracción y expansión de vapores en el tanque subterráneo.	176	6.66233E-07

Fuente: EPA, 2008.

- **Factores de emisión seleccionados para los establecimientos de ladrilleras**

En cuanto a las ladrilleras, las emisiones fueron estimadas a partir de factores de emisión reportados en el capítulo 11.3 del AP-42 “Brick and Structural Clay Product Manufacturing”, específicamente los valores reportados en la tabla 11.3-2, 11.3-3 y 11.3-5. Los factores de emisión seleccionados vienen expresados en unidad másica del contaminante por unidad productiva (ladrillo terminado), teniendo en cuenta que la combustión es realizada con combustible sólido de madera (Sawdust fired kiln and sawdust dryer). Los factores de emisión utilizados se describen en la **Tabla 17**.

Tabla 17. Factores de emisión para la estimación de emisiones contaminantes de las ladrilleras

Combustible/ Proceso asociado	Tipo de fuente	CO	NO _x	SO ₂	PM	PM10	VOC	CO ₂	CH ₄
Brick manufacturing operations (kg/ton de arcilla producida)	Sawdust- fired kiln and sawdust dryer	0.8	0.185	0.335	0.7	0.155	0.09	245	0.01

5.2 EMISIONES DEL SECTOR INDUSTRIAL

Para la determinación de emisiones por fuentes fijas del sector industrial se obtuvieron a partir de mediciones directas o estimadas utilizando los factores de emisión de la EPA, según fuera el caso. En ese sentido, las industrias que contaban con información proveniente de mediciones directas se les aplicó las ecuaciones de corrección de emisiones (**Tabla 18**) de los artículos 86, 87 y 88 de la resolución 909 de 2008, con el fin de evaluar la consistencia y calidad de la información reportada en los informes de muestreos isocinéticos. Adicionalmente, para el cálculo de las emisiones anuales se incluyó el tiempo de operación de cada fuente como factor de actividad. Para ver en mayor detalle el procedimiento llevado a cabo diríjase al **Anexo J** y a la pestaña README del **Anexo A**.

Tabla 18. Ecuaciones establecidas para corrección de emisiones por fuentes estacionarias puntuales a condiciones de referencia y locales

Artículo	Ecuación	Descripción de variables
86	$C_{CR} = C_{CL} \times \frac{T_{CL} \times P_{CR}}{T_{CR} \times P_{CL}}$	<p>C_{CR}: Concentración del contaminante a condiciones de referencia (T: 298.15°K, P: 760 mm Hg) en mg/m³</p> <p>C_{CL}: Concentración del contaminante a condiciones locales en mg/m³</p> <p>T_{CL}: Temperatura de los gases a la salida del ducto en °K</p> <p>P_{CR}: Presión a condiciones de referencia en mm Hg</p> <p>P_{CL}: Presión de los gases a la salida del ducto en mm Hg</p> <p>T_{CR}: Temperatura a condiciones de referencia en °K</p>
87	$FC = \frac{C_{CR} \times Q_{CR}}{1000000}$	<p>FC: Flujo del contaminante en kg/h</p> <p>C_{CR}: Concentración del contaminante a condiciones de referencia (T: 298.15°K, P: 760 mm Hg) en mg/m³</p> <p>Q_{CR}: Caudal del contaminante a condiciones de referencia (298.15°K, 760 mm Hg) en m³/h</p>
88	$C_{CR(O_2)ref} = C_{CR(X\%)} \times \frac{21\% - \%O_{2ref}}{21\% - X\%}$	<p>C_{CR (O₂ref)}: Concentración del contaminante a condiciones de referencia con la corrección de oxígeno, basado en el oxígeno de referencia de conformidad con lo establecido en la Res. 909 de 2008</p> <p>C_{CR (%)}: Concentración del contaminante a condiciones de referencia en mg/m³</p> <p>%O_{2ref}: Oxígeno de referencia de la medición, de conformidad con lo establecido en la Res. 909 de 2008 (%)</p> <p>X%: Oxígeno medido a la salida de los gases (%).</p>

Fuente: Resolución 909 de 2008.

Por otro lado, las industrias que fueron empadronadas y que en los expedientes ambientales y conceptos técnicos no se hubiese estimado alguno de los contaminantes de interés en este estudio, sus emisiones fueron calculadas a partir de los factores de emisión (Ecuación 11, **Tabla 14**)

$$E = FE_{i,j} \times FA_{jt} \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde;

E: hace referencia a la emisión del contaminante en ton/año

FE_{i,j}: es el factor de emisión del contaminante (j) para la actividad (i) el cual es seleccionado de acuerdo con el tipo de combustible y la categoría en la que se clasifica la fuente de emisión, en unidades de kg/ton, kg/m³, o kg/gal dependiendo del estado del combustible (sólido, líquido o gaseoso, respectivamente).

FA_{jt} : corresponde al factor de actividad de la actividad (i) durante el tiempo (t), en kg/h, m³/h o GPH, dependiendo del combustible utilizado o proceso asociado.

No obstante, se debe tener especial cuidado a la hora de realizar la estimación de las emisiones cuando la fuente de emisión cuenta con equipos de control, ya que, en algunos combustibles y procesos, se incluyen las eficiencias dentro del factor, por lo que a la hora de realizar la estimación no debe incluirse el porcentaje de remoción (**Tabla 14**). Adicionalmente, aquellas fuentes que no cuenten con un equipo de control, la eficiencia debe ser asumida como cero. Con el fin de dar mayor claridad con respecto al proceso de cálculo de emisiones por factores de emisión se presenta el siguiente esquema (**Figura 14**).

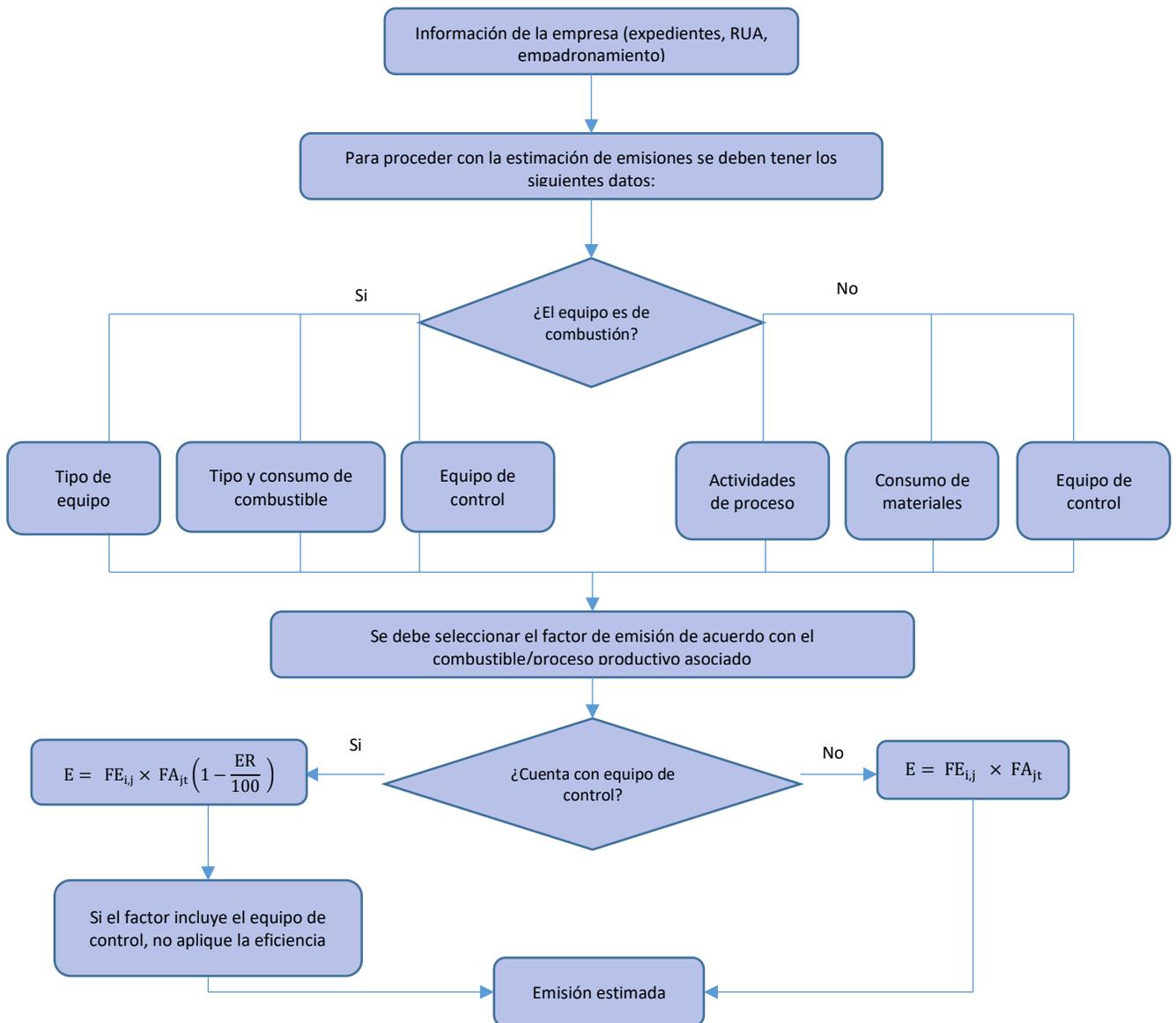


Figura 14. Metodología de cálculo para estimar emisiones por factores de emisión en el sector industrial

Fuente: Adaptado de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018

5.3 ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE PEQUEÑOS ESTABLECIMIENTOS

En el caso de los pequeños establecimientos, se determinaron las emisiones por medio de factores de emisión establecidos en los documentos AP-42 de la EPA, adaptando la ecuación (Ecuación 11) ya que en estos establecimientos no se cuenta con equipos de control de emisiones, obteniendo así la Ecuación 12.

$$E = FE_{i,j} \times FA_{jt} \text{ Ecuación 12}$$

Donde;

E : hace referencia a la emisión del contaminante en kg/año

$FE_{i,j}$: es el factor de emisión del contaminante (j) para la actividad (i).

FA_{jt} : corresponde al factor de actividad de la actividad (i) durante el tiempo (t).

5.4 ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE ESTACIONES DE SERVICIO DE COMBUSTIBLES - EDS

La estimación de emisiones fugitivas de COV para EDS se realizó a partir de la Ecuación 13 en la cual se tienen en cuenta las cantidades de los diferentes tipos de combustible vendidos en las EDS, su composición, las prácticas de manejo y los tipos de control de emisiones empleados (US EPA, 2008).

$$Ei = EFi * Vi * 10^{-6} \text{ Ecuación 13}$$

Donde;

Ei : Es la emisión anual de COV (ton/año) asociada al manejo de combustible i en las EDS

EFi : Es el factor de emisión asociado al combustible i (mg/L)

Vi : Son las ventas anuales de combustible (L/año)

5.5 ESTIMACIÓN DE EMISIONES EN LADRILLERAS

Para la estimación de emisiones atmosféricas producidas en las actividades realizadas en las ladrilleras, se aplicó la Ecuación 12, tal como para los pequeños establecimientos. Esto teniendo en cuenta que los hornos utilizados para la fabricación de ladrillo no cuentan con un equipo de control de emisiones. Para el cálculo de emisiones se debe contar con información como: las unidades de ladrillos producidos en una quema, el peso promedio en kg de un ladrillo y el número de quemadas realizadas por semana o en su defecto, por mes. A partir de estos datos se realiza la estimación las emisiones anuales en toneladas.

6. INVENTARIO DE EMISIONES POR FUENTES FIJAS EN EL MUNICIPIO DE PALMIRA

6.1 Emisiones por tipo de industria

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los sectores industriales que hacen parte del municipio de Palmira. La **Tabla 19** resume los resultados obtenidos de las emisiones del sector industrial (ton/año) asociadas a las fuentes fijas industriales. En términos de emisiones totales anuales, las fuentes fijas emiten predominantemente CO₂ (1,286,516.19 ton/año), seguido de CO (2,592.29 ton/año), SO₂ (1,640.19 ton/año), NO_x (1,432.63 ton/año), PM (810.20 ton/año), CH₄ (375.31 ton/año), PM10 (312.63 ton/año), PM2.5 (164.67 ton/año), N₂O (61.42 ton/año), VOC (50.63 ton/año), y metales (0.72 ton/año). La contribución de CO₂ está influenciada por el consumo representativo de gas natural en las fuentes fijas que fueron incluidas en este inventario, debido a que el 38% utiliza gas natural, adicionalmente, el bagazo también es un gran aportante a las emisiones de CO₂.

Tabla 19. Emisiones (ton/año) de contaminantes atmosféricos por sector industrial del municipio de Palmira

Tipo de industria	Emisión (ton/año)										
	CO	NO _x	SO ₂	PM	PM10	PM2.5	VOC	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Metales
Agroindustrial	2040.97	595.48	1228.41	631.09	238.32	123.80	0.19	605927.71	339.66	45.38	0.04
Combustión	2040.97	595.48	1228.41	629.80	237.63	123.80	0.19	605927.71	339.66	45.38	0.04
No combustión				1.29	0.69						
Bebidas y alimentos	18.51	43.93	143.80	48.23	16.04	6.45	0.25	11905.47	0.24	0.17	0.05
Combustión	18.51	43.93	143.80	25.91	14.40	5.97	0.25	11904.86	0.24	0.17	0.05
Combustión - Proceso productivo	4.E-04	5.E-04	2.E-05	4.E-05	4.E-05	4.E-05	3.E-05	6.E-01	1.E-05	1.E-05	2.E-07
No combustión				22.32	1.64	0.48					
Crematorios	0.90	0.57	0.10	0.66	0.18	0.14	0.05	854.48	0.01	0.05	0.005
Combustión - Proceso productivo	0.90	0.57	0.10	0.66	0.18	0.14	0.05	854.48	0.01	0.05	0.005
Industria química	35.48	33.06	1.28	11.76	3.21	3.21	2.32	50807.57	0.97	0.93	0.02

Tipo de industria	Emisión (ton/año)										
	CO	NOx	SO ₂	PM	PM10	PM2.5	VOC	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Metales
Combustión	31.99	30.50	1.16	3.01	2.90	2.89	2.09	45831.01	0.88	0.84	0.02
Combustión - Proceso productivo	3.48	2.57	0.13	5.03	0.32	0.32	0.23	4976.55	0.10	0.09	0.002
No combustión				3.72							
Luminarias y baterías	0.62	2.13	17.80	0.34	0.11	0.11	0.04	2157.66	0.03	0.05	1.E-03
Combustión - Proceso productivo	0.62	2.13	17.80	0.34	0.11	0.11	0.04	2157.66	0.03	0.05	1.E-03
Madera y derivados	2.60	5.54	0.02	0.49	0.46	0.43	0.15	3843.41	0.09	0.24	4.E-04
Combustión	0.39	0.32	0.02	0.26	0.23	0.20	0.01	126.24	0.04	0.001	2.E-04
Combustión - Proceso productivo	2.21	5.22	0.002	0.23	0.23	0.23	0.142	3717.17	0.06	0.23	1.E-04
Metalúrgica	15.64	6.45	27.41	8.60	3.82	2.41	0.08	6335.03	0.15	0.20	0.27
Combustión - Proceso productivo	15.64	6.45	27.41	8.60	3.82	2.41	0.08	6335.03	0.15	0.20	0.27
Otros	440.85	678.72	35.38	40.55	29.73	19.62	29.52	581222.81	33.67	14.07	0.24
Combustión	439.89	672.61	33.32	39.89	29.61	19.60	17.88	580944.90	33.67	14.06	0.23
Combustión - Proceso productivo	0.96	6.11	2.05	0.64	0.12	0.02	4.49	277.92	0.004	0.01	0.01
No combustión				0.02	0.01	4.E-04	7.15				
Papel e Impresión	20.70	48.64	137.66	37.19	16.89	7.06	8.62	13975.19	0.28	0.21	0.05
Combustión	20.70	48.64	137.66	37.19	16.89	7.06	0.33	13975.19	0.28	0.21	0.05
No combustión							8.29				
Textil	16.02	18.11	48.34	31.29	3.86	1.43	9.40	9486.86	0.19	0.13	0.04
Combustión	15.92	17.99	48.34	31.28	3.85	1.42	0.16	9350.80	0.19	0.13	0.04
Combustión - Proceso productivo	0.10	0.11	0.003	0.01	0.01	0.01	0.006	136.06	0.003	0.002	0.00005
No combustión							9.237				
Total general	2592.29	1432.63	1640.19	810.20	312.63	164.67	50.63	1286516.19	375.31	61.42	0.72

Fuente: Elaboración Propia.

En la **Figura 15** se presenta el aporte en ton/año de los contaminantes por sector. Se observa que para el sector agroindustrial las emisiones más representativas son el CO con 2,040.97 ton/año, SO₂ con 1,228.41 ton/año, PM con 631.09 ton/año, PM10 con 238.32 ton/año y PM2.5 con 123.80 ton/año. Además de ello, también es el principal aportante de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), contribuyendo con 605,927.71 ton/año de CO₂, 339.66 ton/año de CH₄ y 45.38 ton/año de N₂O. A pesar de que el bagazo presenta un menor contenido de azufre, comparado con los combustibles fósiles, las emisiones de SO₂ fueron mayores comparadas con los demás combustibles, esto debido a que en algunas ocasiones se utilizan combustibles auxiliares al inicio de la combustión del bagazo o cuando este tiene alto contenido de humedad. En este caso, las

emisiones de NO_x y SO_2 pueden aumentar (Kawashima et al, 2015). Se aclara que el factor de emisión utilizado para estimar las emisiones de SO_2 se obtuvo a partir de los reportes de emisiones atmosféricas de ingenios azucareros cercanos al municipio, los cuales reportan que utilizan el bagazo como combustible en combinación con carbón.

Por otro lado, el sector de bebidas y alimentos, al igual que el sector de papel e impresión generan aportes considerables de SO_2 143.80 ton/año y 137.66 ton/año, respectivamente. Adicionalmente, el sector de las metalúrgicas, aporta principalmente a las emisiones de SO_2 con 27.41 ton/año.

En la **Figura 16** se presenta el aporte de emisiones en porcentaje, de acuerdo con el tipo de industria. Se observa que el sector correspondiente a “Otros” es el que aporta en mayor medida a las emisiones de VOC y NO_x , con unos porcentajes de 58.30% (29.52 ton/año) y 47.38%, (678.72 ton/año) respectivamente. Adicionalmente, genera grandes aportes de GEI, presentando un aporte para CO_2 de 45.18% (581,222.81 ton/año), y N_2O del 22.91% (14.07 ton/año), sin embargo, las emisiones de CH_4 fueron del 8.97% (33.67 ton/año). Para este sector se incluyeron dos termoeléctricas, así como industrias de incineración de residuos peligrosos, fabricación de vidrio y juguetes; por lo tanto, la contribución de este sector a estos contaminantes puede deberse principalmente al alto consumo de combustible de gas natural utilizado en las turbinas de generación eléctrica, y hornos.

Por otra parte, el sector agroindustrial es responsable de aportar el mayor porcentaje de CO, SO_2 , PM, PM10, PM2.5 con porcentajes de 78.73% (2,040.97 ton/año), 74.89% (1228.41 ton/año), 77.89% (631.09 ton/año), 76.23% (238.32 ton/año), 75.19% (123.80 ton/año), respectivamente; representa también el mayor porcentaje de las emisiones de GEI con 47.10% de CO_2 (605,927.71 ton/año), 90.50% de CH_4 (339.66 ton/año) y 73.89% de N_2O (45.38 ton/año). Dentro de este sector se encuentran los ingenios azucareros y trapiches paneleros los cuales usan como combustible principal bagazo para alimentar sus calderas.

Para el sector de bebidas y alimentos, sus mayores contribuciones fueron para el SO_2 (8.77%, 143.80 ton/año), metales (6.81%, 0.05 ton/año) y NO_x (3.07%, 43.93 ton/año). En la industria química sus contribuciones fueron principalmente para los contaminantes de VOC (4.59%, 2.32 ton/año), CO_2 (3.95%, 50,807.57 ton/año), metales (2.59%, 0.02 ton/año) y NO_x (2.31%, 33.06 ton/año). Para el sector de papel e impresión, se generan contribuciones principalmente de VOC con un 17.02% (8.62 ton/año), SO_2 con un 8.39% (137.66 ton/año), metales con un 7.37% (0.05 ton/año) y PM con un 4.59% (37.19 ton/año).

En cuanto al sector metalúrgico, genera grandes contribuciones de metales con un 37.23% (0.27 ton/año), en cuanto a los demás contaminantes, sus contribuciones no son muy significativas, los contaminantes de mayor porcentaje, seguido de los metales, corresponden al SO_2 con 1.67% (27.41 ton/año) y al PM10 con 1.22% (3.82 ton/año). Este es el sector más predominante en el municipio de Palmira. Las emisiones provenientes del sector de fundición se asocian principalmente a combustión propia del proceso productivo, donde predomina el uso de hornos de inducción para el procesamiento de la materia prima que generalmente es chatarra.

Respecto a los sectores con menor aporte a las emisiones totales, corresponden a los crematorios, luminarias y baterías, y madera y derivados, cuyos aportes son inferiores al 2%.

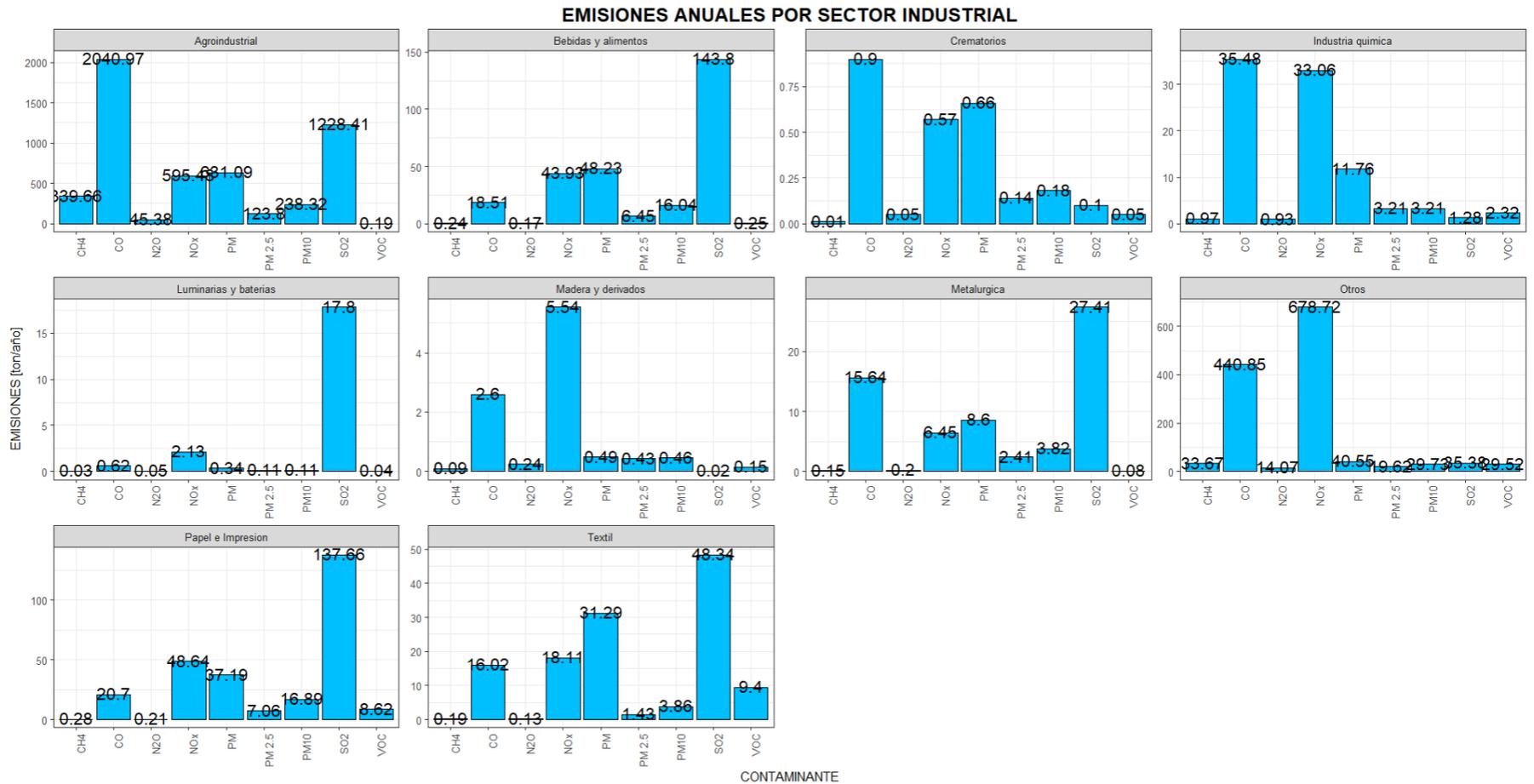
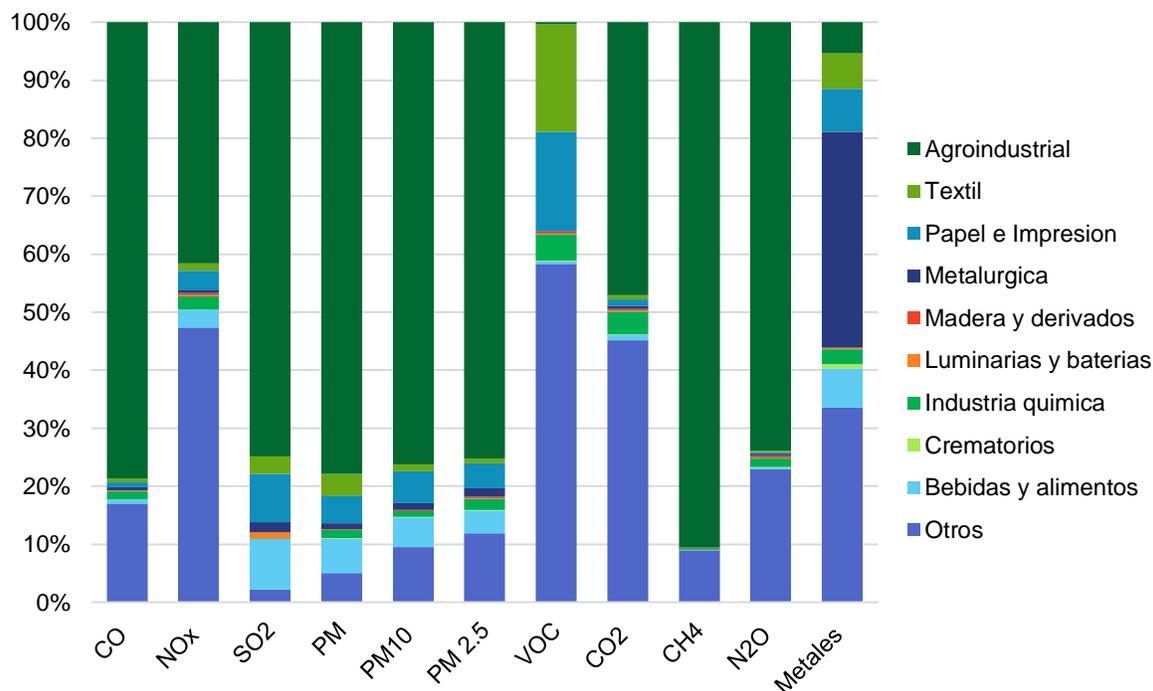


Figura 15. Emisiones anuales por sector industrial

Fuente: Elaboración propia



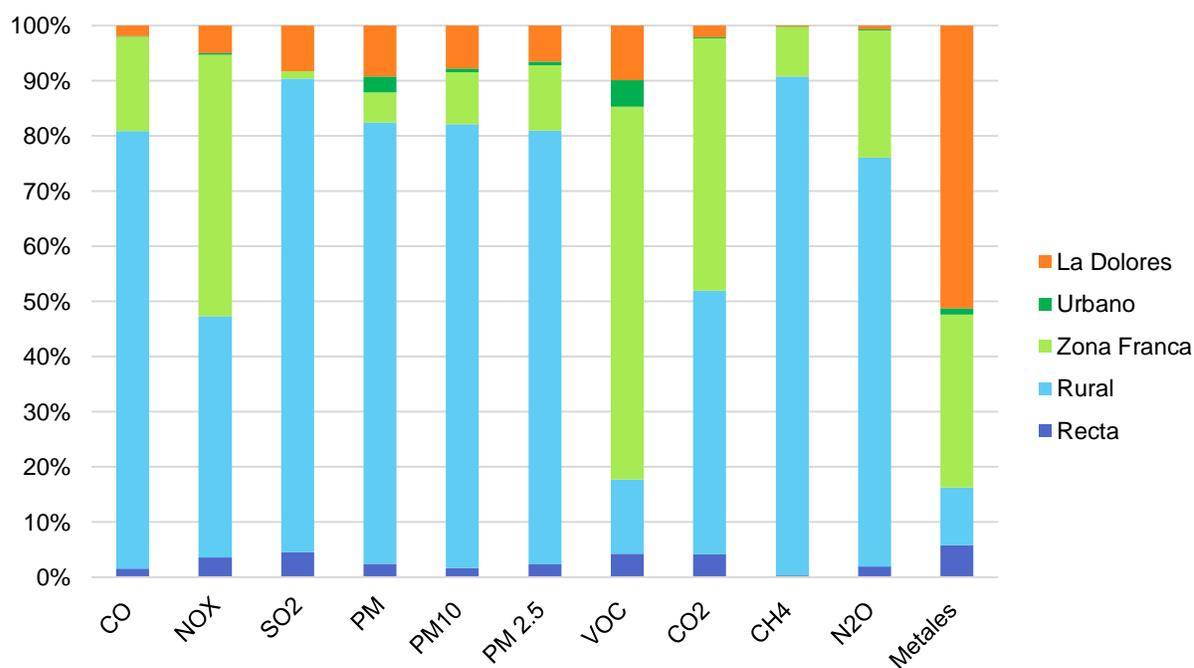
Tipo de industria	Emisión (ton/año)										
	CO	NOx	SO ₂	PM	PM10	PM2.5	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Metales
Agroindustrial	2040.97	595.48	1228.41	631.09	238.32	123.80	0.19	605927.71	339.66	45.38	0.04
Bebidas y alimentos	18.51	43.93	143.80	48.23	16.04	6.45	0.25	11905.47	0.24	0.17	0.05
Crematorios	0.90	0.57	0.10	0.66	0.18	0.14	0.05	854.48	0.01	0.05	0.00
Industria quimica	35.48	33.06	1.28	11.76	3.21	3.21	2.32	50807.57	0.97	0.93	0.02
Luminarias y baterias	0.62	2.13	17.80	0.34	0.11	0.11	0.04	2157.66	0.03	0.05	1.E-03
Madera y derivados	2.60	5.54	0.02	0.49	0.46	0.43	0.15	3843.41	0.09	0.24	4.E-04
Metalurgica	15.64	6.45	27.41	8.60	3.82	2.41	0.08	6335.03	0.15	0.20	0.27
Papel e Impresion	20.70	48.64	137.66	37.19	16.89	7.06	8.62	13975.19	0.28	0.21	0.05
Textil	16.02	18.11	48.34	31.29	3.86	1.43	9.40	9486.86	0.19	0.13	0.04
Otros	440.85	678.72	35.38	40.55	29.73	19.62	29.52	581222.81	33.67	14.07	0.24

Figura 16. Aporte porcentual de contaminantes atmosféricos por sector industrial en el municipio de Palmira.

Fuente: Elaboración propia.

6.2 Emisiones por zonas geográficas

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de las emisiones atmosféricas totales anuales correspondientes a cada zona industrial. Adicionalmente, se presenta el aporte en ton/año de los contaminantes por sector y el aporte porcentual de contaminantes por sector. Se observa que el sector rural es el mayor aportante de emisiones de CO (79.25%, 2,054.42 ton/año), SO₂ (85.88%, 1,408.63 ton/año), PM (79.99%, 648.11 ton/año), PM10 (80.42%, 251.41 ton/año), PM2.5 (78.66%, 129.53 ton/año), CO₂ (47.86%, 615,669.10 ton/año), CH₄ (90.55%, 339.85 ton/año) y N₂O (74.15%, 45.54 ton/año), las altas emisiones de estos contaminantes son provenientes del sector agroindustrial (**Figura 17**).



Contaminantes	Recta	Rural	Zona Franca	Urbano	La Dolores
CO	40.72	2054.42	444.47	2.86	49.82
NOx	51.07	626.74	679.65	3.69	71.48
SO ₂	74.36	1408.63	21.83	0.18	135.20
PM	19.55	648.11	44.40	23.72	74.42
PM10	5.28	251.41	29.35	2.38	24.21
PM2.5	3.78	129.53	19.54	1.11	10.71
VOC	2.17	6.81	34.18	2.44	5.03
CO ₂	52887.41	615669.10	588385.34	2968.64	26605.70

CH ₄	1.00	339.85	33.73	0.12	0.61
N ₂ O	1.17	45.54	14.18	0.10	0.43
Metales	0.04	0.08	0.22	0.01	0.37

Figura 17. Aporte porcentual de contaminantes atmosféricos por sectores (zonas) en el municipio de Palmira.

Fuente: Elaboración Propia

Para el sector de Zona Franca, se generan los mayores aportes de NO_x y VOC, con porcentajes de 47.44% (679.65 ton/año) y 67.51% (34.18 ton/año), respectivamente. En esta zona se ubican las dos termoeléctricas del municipio, por lo tanto, la contribución de este sector a estos contaminantes puede deberse principalmente al alto consumo de combustible de gas natural utilizado en las turbinas de generación eléctrica. Adicionalmente, en esta zona se ubican industrias que utilizan cabinas de pintura, las cuales generan aportes de VOC.

En el caso de la zona industrial de la Dolores, esta aporta mayores contribuciones de metales con un porcentaje del 51.20% (0.37 ton/año) y un aporte considerable de SO₂ con un porcentaje de 8.24% (135.20 ton/año), proveniente principalmente del sector de las metalúrgicas (fundición), cabe resaltar que en esta zona, una de las actividades predominantes es la fundición de chatarra, donde se presentan 7 industrias con este tipo de actividad. El sector con menores contribuciones corresponde al urbano, con porcentajes menores al 5%.

6.2.1 Emisiones Zona Industrial - La Dolores

El sector industrial de La Dolores cuenta con 32 fuentes de emisión, estas fuentes corresponden a 24 establecimientos (**Figura 18**) de los cuales se registran las emisiones anuales en la **Tabla 20** y pueden apreciarse de manera gráfica en la **Figura 19**.

Según la estimación de emisiones reportada en la **Tabla 20** las empresas de los sectores productivos de papel e impresión, metalurgia y textil son los que más emisiones generan en todos los contaminantes. En conjunto generan más del 90% de las emisiones de cada uno de los contaminantes. El contaminante que más emiten es el CO₂, en conjunto generan cerca del 95% de las emisiones, siendo el sector de papel e impresión el mayor aportante. Seguidamente, el contaminante que más emiten es el SO₂, donde el sector de papel e impresión es el mayor emisor. En cuanto al PM, PM₁₀, PM_{2.5}, NO_x, CH₄ y N₂O el sector que más contribuye a sus emisiones es el de papel e impresión, no obstante, el sector textil genera emisiones similares en los contaminantes CO, CH₄ y N₂O. En las metalúrgicas, el contaminante con mayores contribuciones corresponde a los metales, con un 70.27% debido a las actividades de fundición de chatarra, principalmente.

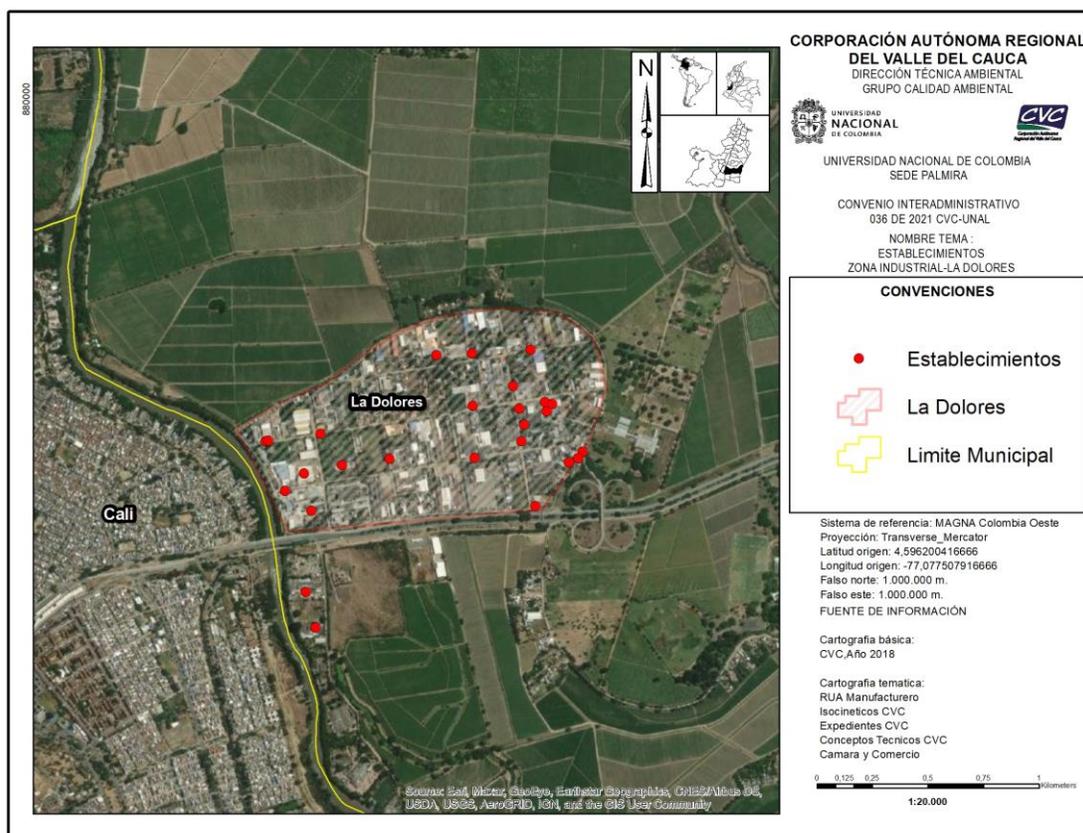


Figura 18. Establecimientos emisores sector La Dolores

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20. Emisiones Zona Industrial La Dolores (ton/año)

Zona industrial/ sector productivo	Emisión (ton/año)										
	CO	NOx	SO ₂	PM	PM10	PM2.5	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Metales
Bebidas y alimentos	0.24	0.35	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	344.47	0.01	0.01	1.E-04
Industria química	2.E-03	3.E-03	9.E-05	0.00	2.E-04	2.E-04	2.E-04	3.48	7.E-05	6.E-05	1.E-07
Madera y derivados	0.39	0.32	0.02	0.26	0.23	0.20	0.01	126.24	0.04	1.E-03	2.E-04
Metalúrgica	15.11	5.75	25.78	5.43	2.87	1.82	0.06	4155.36	0.11	0.10	0.26
Papel e Impresión	17.04	40.59	58.42	36.37	16.78	7.01	0.29	11827.87	0.24	0.18	0.04
Textil	15.92	17.99	48.34	31.28	3.85	1.42	0.16	9341.12	0.19	0.13	0.04
Otros	1.11	6.48	2.63	1.06	0.45	0.24	4.50	807.17	0.03	0.02	0.01
Totales	49.82	71.48	135.20	74.42	24.21	10.71	5.03	26605.70	0.61	0.43	0.37

Fuente: Elaboración Propia

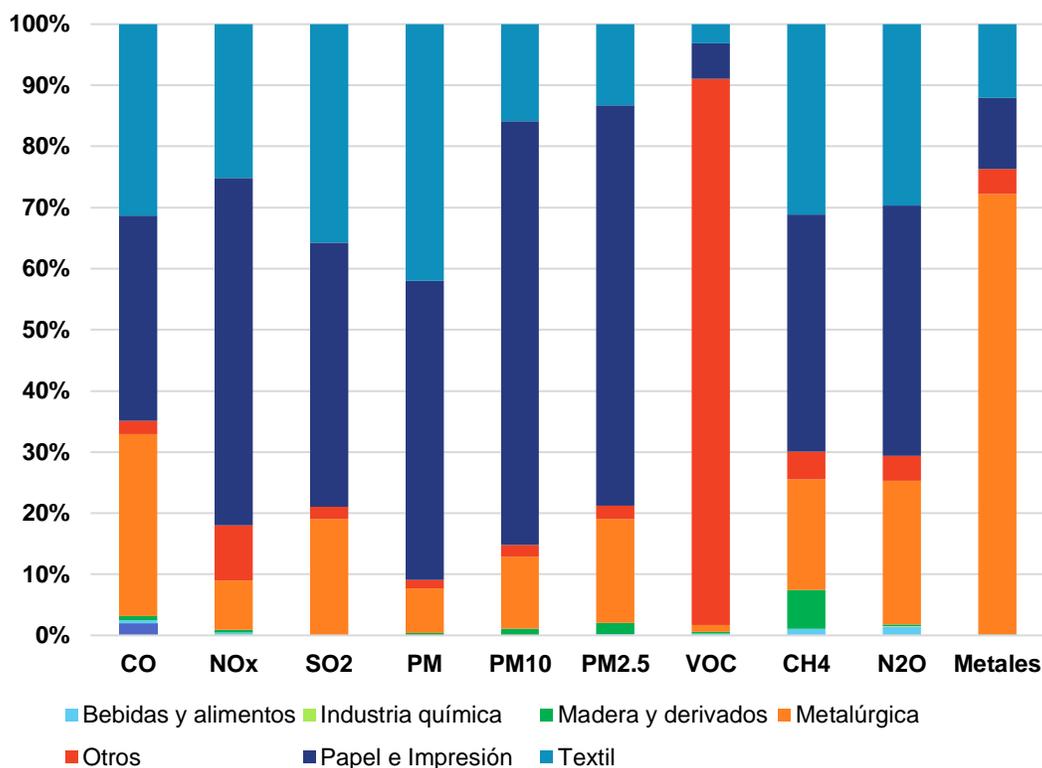


Figura 19. Emisiones anuales Zona industrial La Dolores.

Fuente: Elaboración Propia

6.2.2 Emisiones Recta Cali-Palmira y Palmira-Cali

Esta zona industrial hace referencia a los sectores aledaños a la vía que comunica los municipios de Cali-Palmira, en esta zona se identificaron 33 fuentes de emisión que pertenecen a 6 establecimientos (**Figura 20**) de los cuales se registran las emisiones anuales en la **Tabla 21** y pueden apreciarse de manera gráfica en la **Figura 21**.

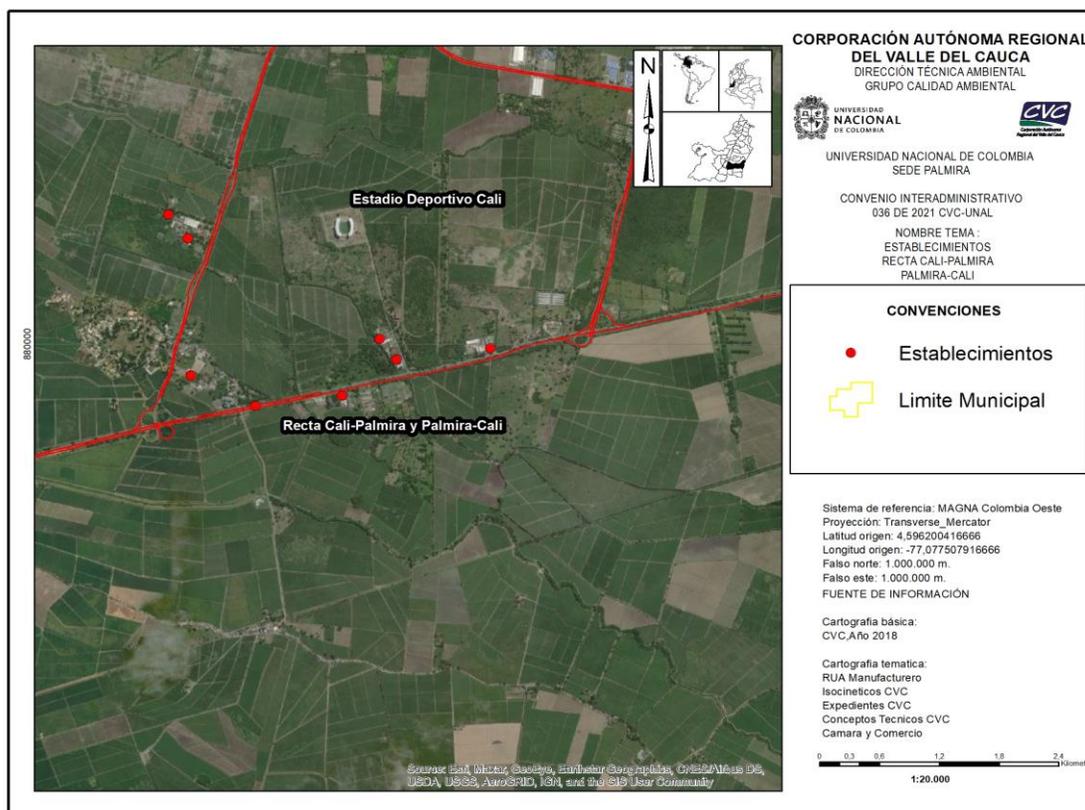


Figura 20. Establecimientos emisores Recta Cali-Palmira y Palmira-Cali

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con la **Tabla 21** la industria química y el sector agroindustrial son los mayores generadores de emisiones contaminantes en la zona de la Recta Cali - Palmira. En conjunto generan más del 80% de las emisiones de cada contaminante. Sin embargo, la industria química genera más CO, NO_x, COV, CO₂, CH₄ y N₂O, mientras que el sector agroindustrial genera más SO₂ y PM.

Tabla 21. Emisiones (ton/año) de contaminantes atmosféricos Recta Cali-Palmira

Zona industrial/ sector productivo	Emisión (ton/año)										
	CO	NO _x	SO ₂	PM	PM10	PM2.5	COV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Metales
Agroindustrial	8.71	21.67	71.68	10.09	1.47	0.33	0.09	5110.95	0.10	0.07	0.02
Industria química	29.27	23.41	1.05	6.08	2.65	2.65	1.92	41811.66	0.80	0.77	0.02
Madera y derivados	2.18	5.19	0.0004	0.21	0.21	0.21	0.14	3705.59	0.05	0.23	
Metalúrgica	0.52	0.69	1.62	3.17	0.95	0.60	0.03	2179.67	0.04	0.09	2.11E-03

Otros	0.05	0.11	9.28E-06	4.45E-03	4.45E-03	4.45E-03	3.02E-03	79.53	0.001	0.01	
Totales	40.72	51.07	74.36	19.55	5.28	3.78	2.17	52887.41	1.00	1.17	0.04

Fuente: Elaboración Propia

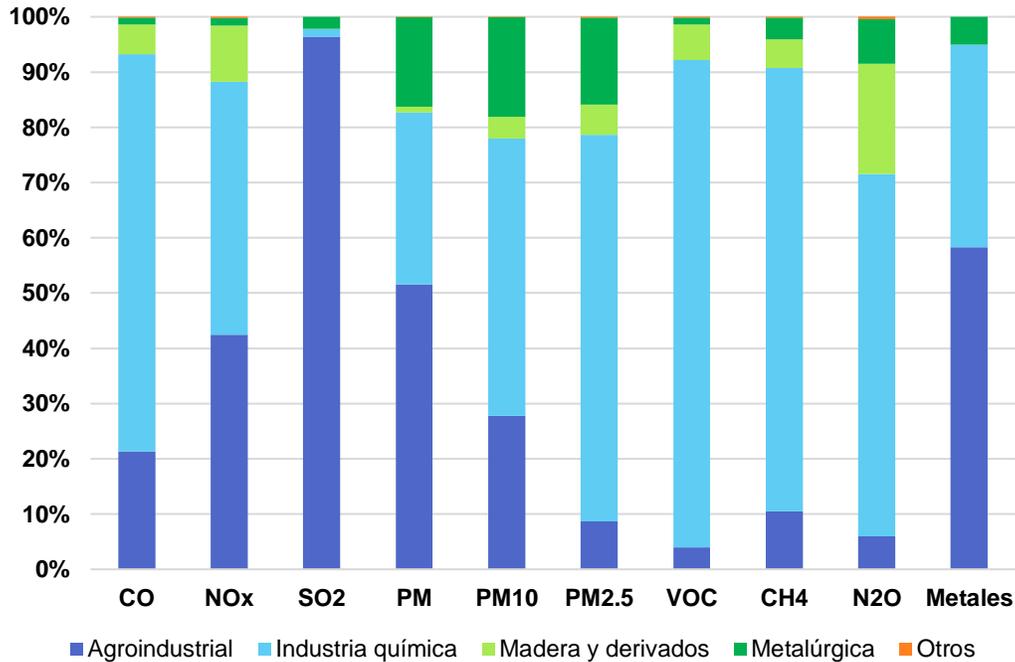


Figura 21. Emisiones anuales Recta Cali-Palmira y Palmira-Cali

Fuente: Elaboración Propia

6.2.3 Emisiones zona rural

En zona rural del municipio se identificaron 20 fuentes emisoras relacionadas con 12 establecimientos (**Figura 22**) de los cuales se registran las emisiones anuales en la **Tabla 22** y pueden apreciarse de manera grafica en la **Figura 23**.

Según las emisiones reportadas en la **Tabla 22** el sector agroindustrial y el de bebidas y alimentos son los mayores generadores de emisiones contaminantes en la zona de la zona rural del municipio. En conjunto generan más del 95% de las emisiones de cada contaminante. No obstante, el sector agroindustrial genera las mayores contribuciones de CO, NOx, SO₂, PM, PM10, PM2.5, CO₂, CH₄ y N₂O, mientras que las emisiones de VOC son generadas principalmente por el sector de "Otros" por la presencia de algunas cabinas de pintura, dicho aporte se debe principalmente al uso de solventes en las actividades de recubrimiento de superficies.

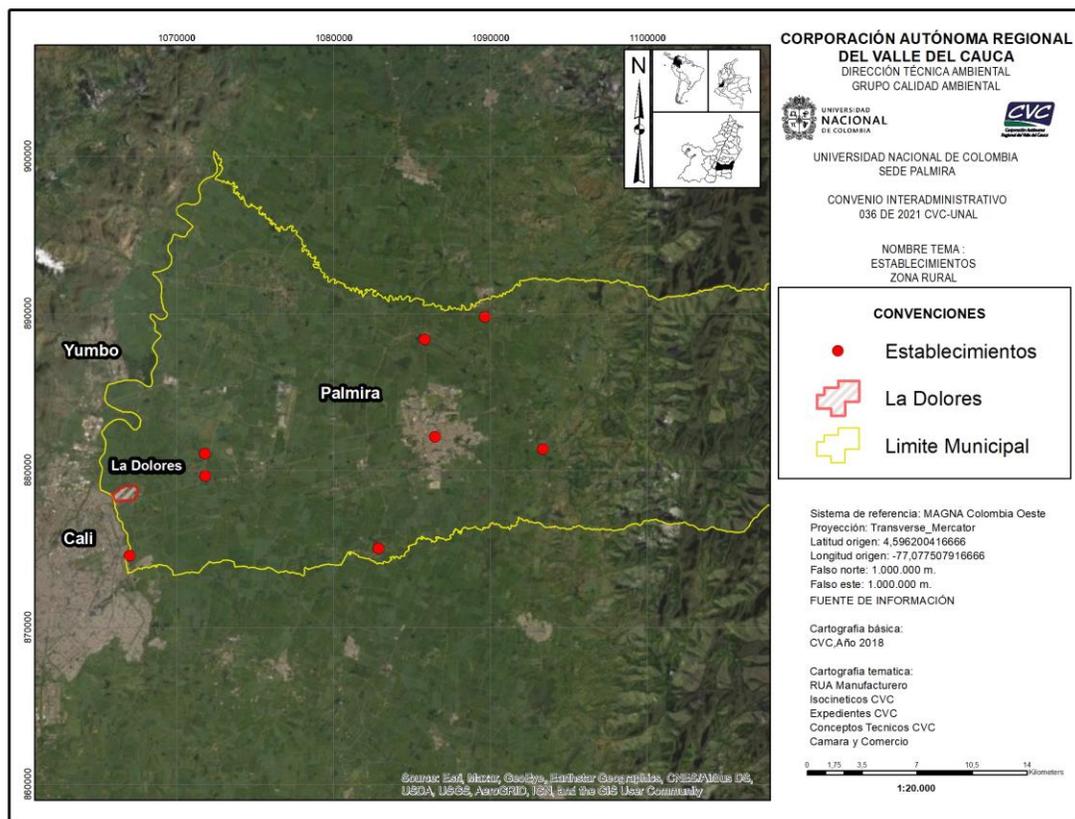


Figura 22. Establecimientos emisores Zona Rural

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22. Emisiones (ton/año) de contaminantes atmosféricos Zona Rural

Zona industrial/ sector productivo	Emisión (ton/año)										
	CO	NOx	SO ₂	PM	PM10	PM2.5	VOC	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Metales
Agroindustrial	2032.26	573.82	1156.72	621.01	236.86	123.47	0.10	600816.76	339.55	45.31	0.0140
Bebidas y alimentos	17.28	41.45	143.75	25.80	14.29	5.86	0.17	10141.60	0.21	0.14	0.05
Industria química	0.02	0.06	9.E-04	0.00	2.E-03	2.E-03	2.E-03	35.71	7.E-04	7.E-04	1.E-05
Luminarias y baterías	0.60	2.10	17.80	0.34	0.11	0.11	0.04	2134.97	0.03	0.05	1.E-03
Madera y derivados	0.04	0.03	1.E-03	0.02	0.02	0.02	1.E-03	11.58	4.E-03	8.E-04	1.E-04
Papel e Impresión	3.66	8.05	79.25	0.82	0.11	0.05	0.04	2147.31	0.04	0.03	0.01
Otros	0.56	1.24	11.10	0.12	0.02	0.01	6.46	381.16	0.01	0.01	1.E-03
Rural	2054.42	626.74	1408.63	648.11	251.41	129.53	6.81	615669.10	339.85	45.54	0.08

Fuente: Elaboración Propia

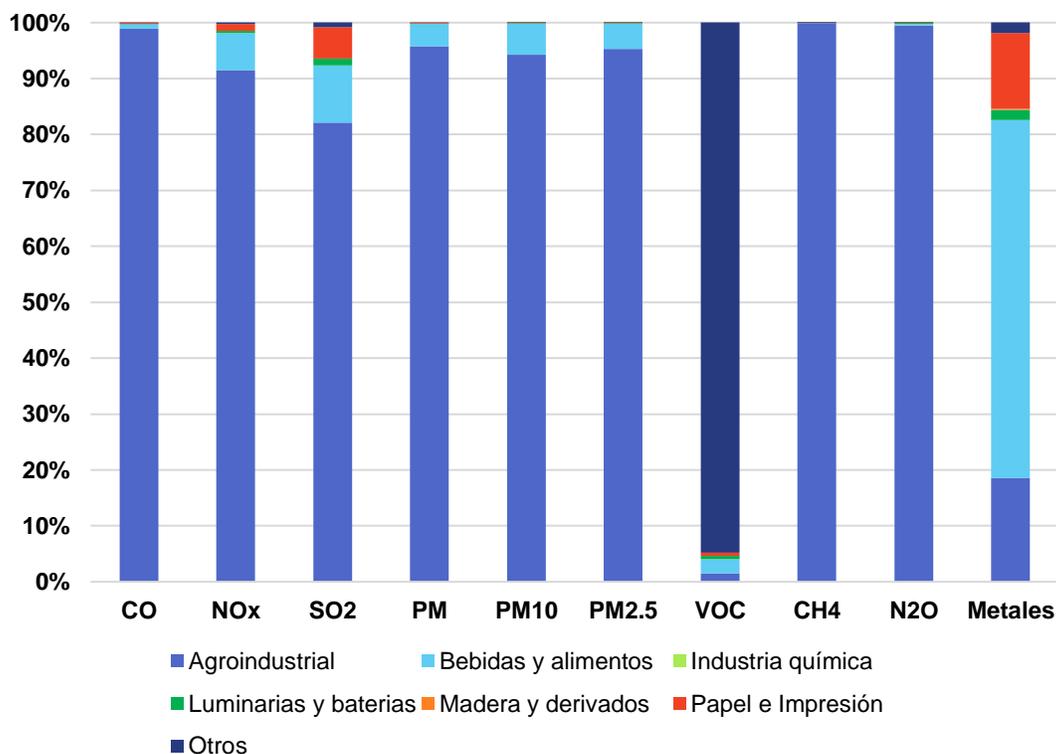


Figura 23. Emisiones anuales Zona Rural

Fuente: Elaboración Propia

6.2.4 Emisiones Zona Urbana

La zona urbana del municipio de Palmira cuenta con 58 fuentes de emisión, estas fuentes corresponden a 15 establecimientos (**Figura 24**) de los cuales se registran las emisiones anuales en la **Tabla 23** y pueden apreciarse de manera gráfica en la **Figura 25**.

Según las emisiones reportadas en la **Tabla 23** la industria de bebidas y alimentos, los crematorios y “otros” son los sectores que más generan emisiones contaminantes en la zona urbana del municipio. En conjunto generan más del 72% de las emisiones de cada contaminante. Sin embargo, los crematorios generan más emisiones de SO₂, CH₄ y metales, en contraste, la industria de bebidas y alimentos genera más CO, NO_x, PM, PM₁₀, PM_{2.5} y CO₂ y el sector “otros” genera más VOC.

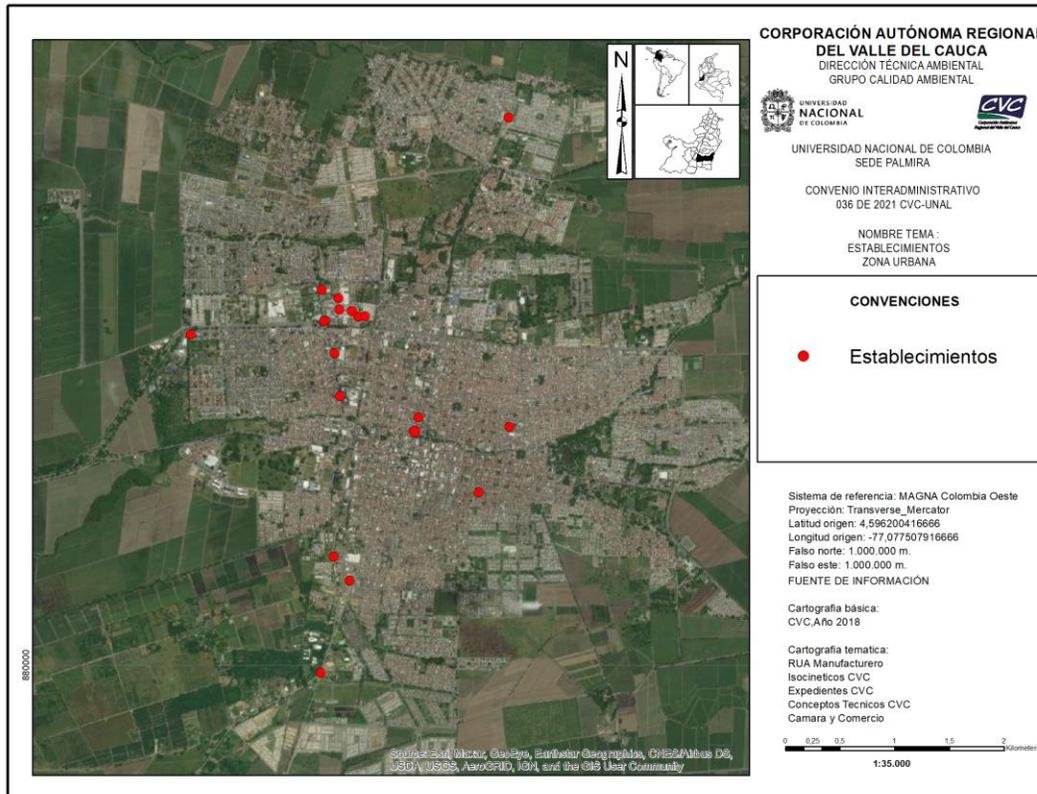


Figura 24. Establecimientos emisores Zona Urbana

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 23. Emisiones (ton/año) de contaminantes atmosféricos Zona Urbana

Zona industrial/ sector productivo	Emisión (ton/año)										
	CO	NOx	SO ₂	PM	PM10	PM2.5	VOC	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Metales
Bebidas y alimentos	0.99	2.13	0.04	22.41	1.73	0.57	0.07	1419.39	0.03	0.03	5.E-04
Crematorios	0.90	0.57	0.10	0.66	0.18	0.14	0.05	854.48	0.01	0.05	5.E-03
Industria química	0.04	0.13	0.01	0.12	0.01	2.E-03	2.E-03	187.92	4.E-04	2.E-03	7.E-05
Luminarias y baterías	0.01	0.03	2.E-05	0.00	1.E-03	1.E-03	8.E-04	22.69	3.E-04	1.E-03	2.E-07
Metalúrgica	0.01	1.E-03	9.E-04	0.00	9.E-05		1.E-04	8.E-04			
Otros	0.90	0.84	0.04	0.53	0.46	0.40	2.32	484.15	0.078	0.02	3.E-03
Urbano	2.86	3.69	0.18	23.72	2.38	1.11	2.44	2968.64	0.12	0.10	0.01

Fuente: Elaboración Propia

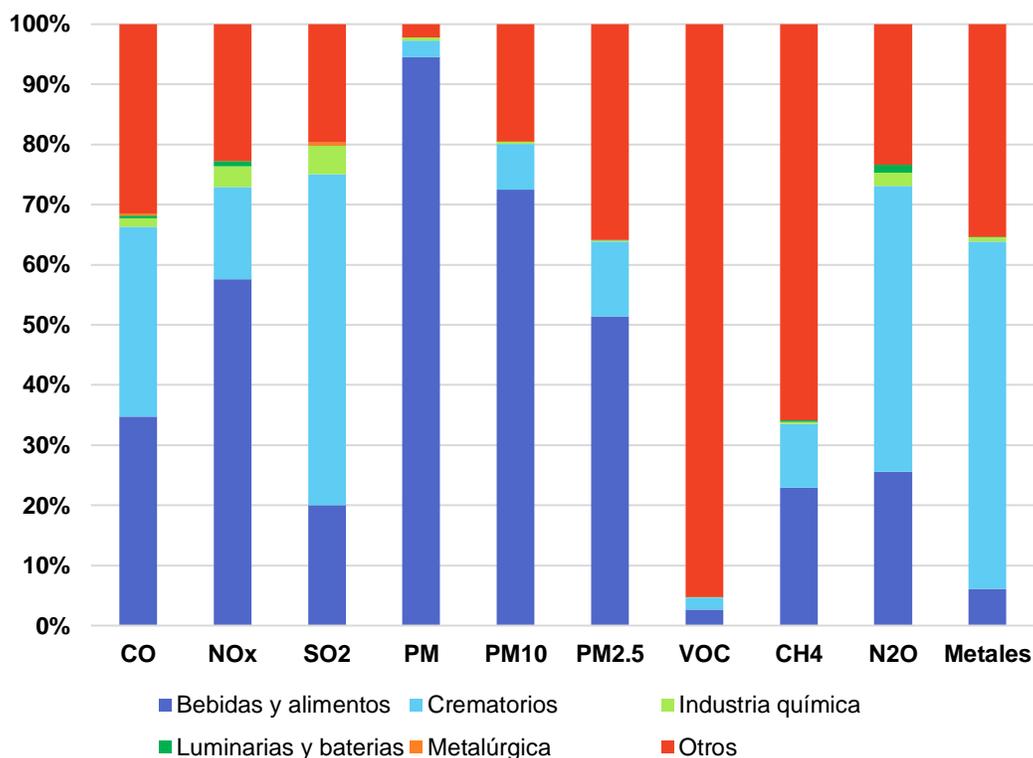


Figura 25. Emisiones anuales Zona Urbana

Fuente: Elaboración Propia

6.2.5 Emisiones Zona Franca

La zona franca del municipio cuenta con 34 fuentes de emisión, estas fuentes corresponden a 7 establecimientos (**Figura 26**) de los cuales se registran las emisiones anuales en la **Tabla 24** y pueden apreciarse de manera grafica en la **Figura 27**.

Según las emisiones reportadas en la **Tabla 24** el conjunto de industrias que representan el sector “otros” son las que más emiten contaminantes en la Zona Franca del municipio. Ya que generan más del 88% de las emisiones de casi todos los contaminantes, a excepción de los COV, donde contribuyen con el 47.5% de las emisiones.

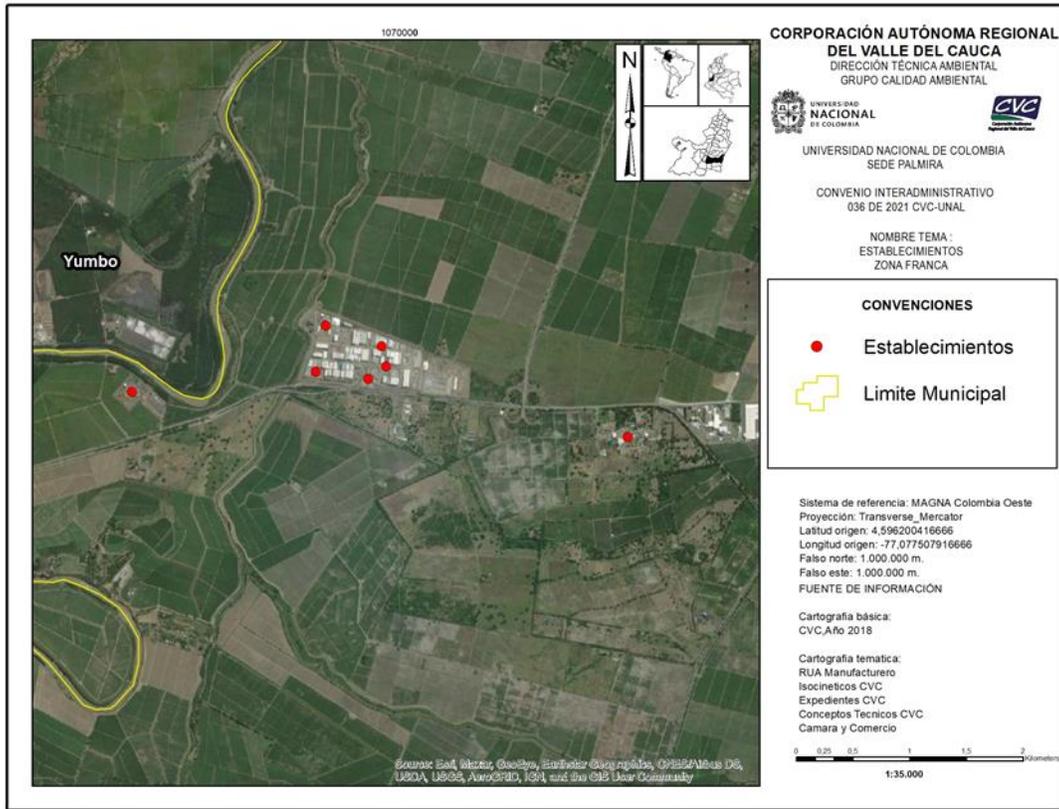


Figura 26. Establecimientos emisores Zona Franca

Fuente: Elaboración Propia

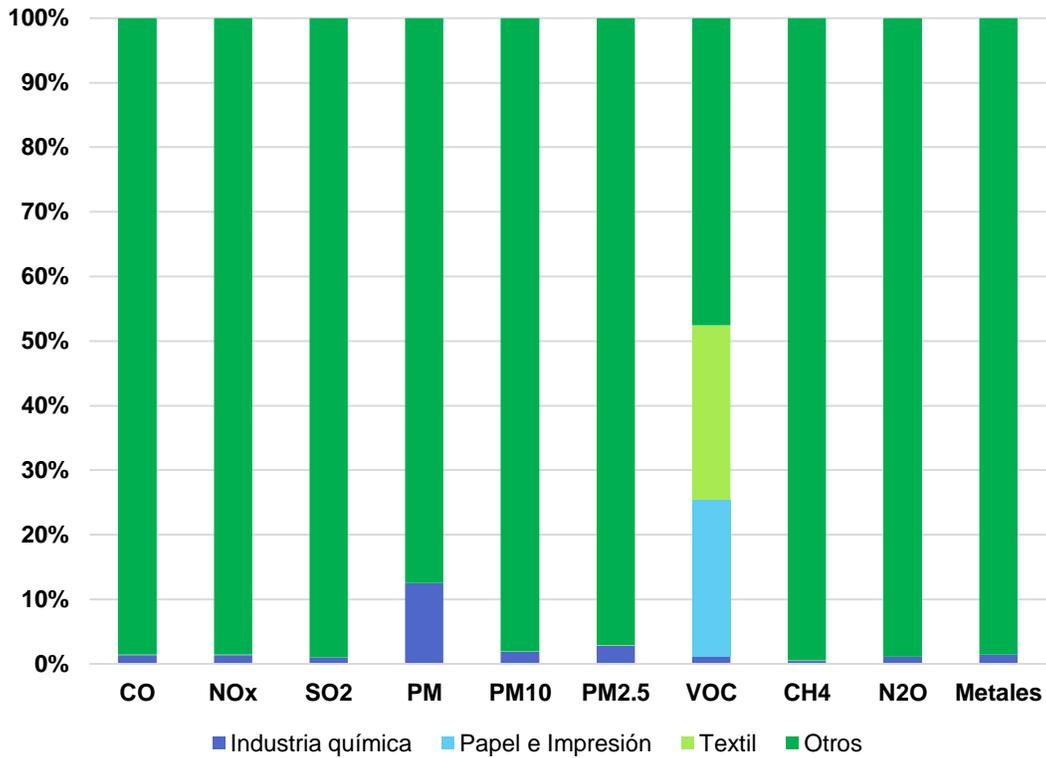


Figura 27.Emisiones anuales Zona Franca

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 24. Emisiones (ton/año) de contaminantes atmosféricos Zona Franca

Zona industrial/ sector productivo	Emisión (ton/año)										
	CO	NOx	SO ₂	PM	PM10	PM2.5	VOC	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Metales
Industria química	6.14	9.47	0.22	5.56	0.56	0.56	0.40	8768.80	0.17	0.16	0.003
Papel e impresión							8.29				
Textil	0.10	0.12	0.004	0.01	0.01	0.01	9.24	145.74	0.003	0.003	0.0001
Otros	438.23	670.05	21.61	38.84	28.79	18.97	16.24	579470.81	33.56	14.01	0.22
Zona Franca	444.47	679.65	21.83	44.40	29.35	19.54	34.18	588385.34	33.73	14.18	0.22

6.3 Emisiones por tipo de combustible

Debido a que la cantidad de emisiones depende del tipo de combustible utilizado, se analizó la contribución del consumo de combustibles. En la **Figura 28** se presenta la distribución de las fuentes fijas evaluadas a partir del uso de combustible. Se observa que la mayoría de las fuentes evaluadas se encuentran dentro de procesos de combustión con el 41%; el proceso de combustión hace referencia a las emisiones asociadas a la quema de combustible, ya sea de carbón, gas natural, GLP, diésel (Fuel Oil No. 2), aceite tratado, entre otros combustibles. Por otro lado, el porcentaje de combustión por proceso productivo es considerable ya que comprende el 31% de las fuentes de emisión. Este tipo de combustión se refiere a aquellas emisiones producidas por combustión, pero van ligadas a un proceso, por ejemplo, los hornos de fundición, incineración de residuos, entre otros procesos. Mientras que, el 28% de las fuentes fijas no están asociadas a un proceso de combustión, ya que se relaciona a las emisiones producidas por el proceso productivo sin quemar combustible para llevar a cabo su actividad, en esta clasificación entrarían los procesos de molienda, fileteadoras, entre otros.

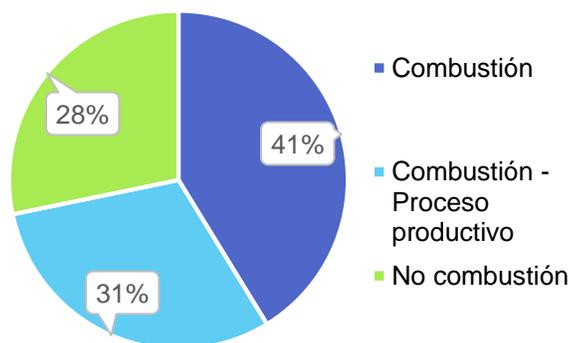
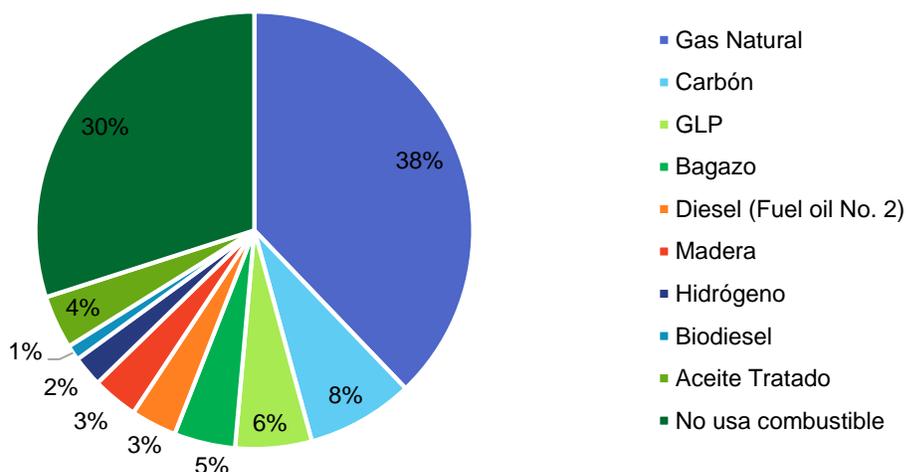


Figura 28. Distribución de las fuentes de emisión según su uso de combustible en el municipio de Palmira.

Fuente: Elaboración Propia.

En cuanto al combustible predominante en las fuentes de emisión evaluadas, se observa que utilizan en mayor medida el gas natural (38%) (**Figura 29**); cabe resaltar que, en esta figura se muestra la distribución por tipo de combustible incluyendo aquellas fuentes asociadas al proceso productivo (no combustión), observando que el 30% de las fuentes no se asocia a un combustible, ya que operan por medio de energía eléctrica. En menor proporción se encuentra el uso de carbón y GLP con 8% y 6% respectivamente. Y los combustibles menos utilizados corresponden a la madera, hidrógeno y biodiesel con un 3% para la madera, 2% para el hidrógeno y 1% para el biodiesel. Cabe destacar que la distribución porcentual se realizó sobre el número total de fuentes y no sobre el número de empresas, ya que hay industrias que poseen más de una fuente de emisión.



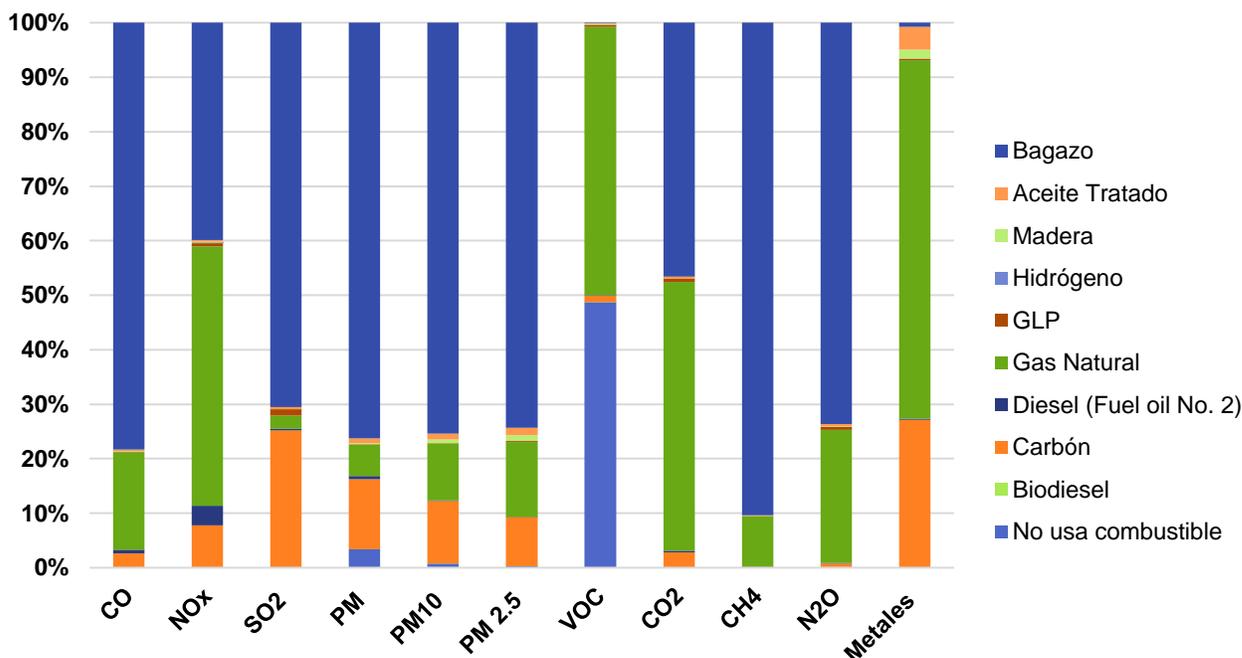
Combustible	Número de fuentes
Gas Natural	67
Carbón	14
GLP	10
Bagazo	8
Diesel (Fuel oil No. 2)	6
Madera	6
Hidrógeno	4
Biodiesel	2
Aceite Tratado	7
No usa combustible	53

Figura 29. Distribución de los tipos de combustibles utilizados por las fuentes evaluadas.

Fuente: Elaboración Propia.

En la **Figura 30** se muestra la distribución porcentual de las emisiones totales de acuerdo con el tipo de combustible empleado. A pesar de que el gas natural es el combustible más utilizado por las fuentes puntuales (38%), es el responsable solamente de generar un mayor aporte de emisiones de NO_x con un porcentaje de 47.58% (681.63 ton/año), VOC con un 49.21% (24.92 ton/año), y CO₂ con un 49.35% (634,881.27 ton/año).

Por otro lado, las emisiones asociadas a combustibles menos utilizados como el bagazo, contribuye a las mayores emisiones de CO (78.30%, 2,029.83 ton/año), SO₂ (70.52%, 1,156.63 ton/año), PM, con un porcentaje de 76.29% (618.12 ton/año), PM10 con un 75.36% (235.60 ton/año), PM2.5 con un 74.33% (122.39 ton/año), CH₄ con un 90.42% (339.34 ton/año) y N₂O con un 73.68% (45.26 ton/año).



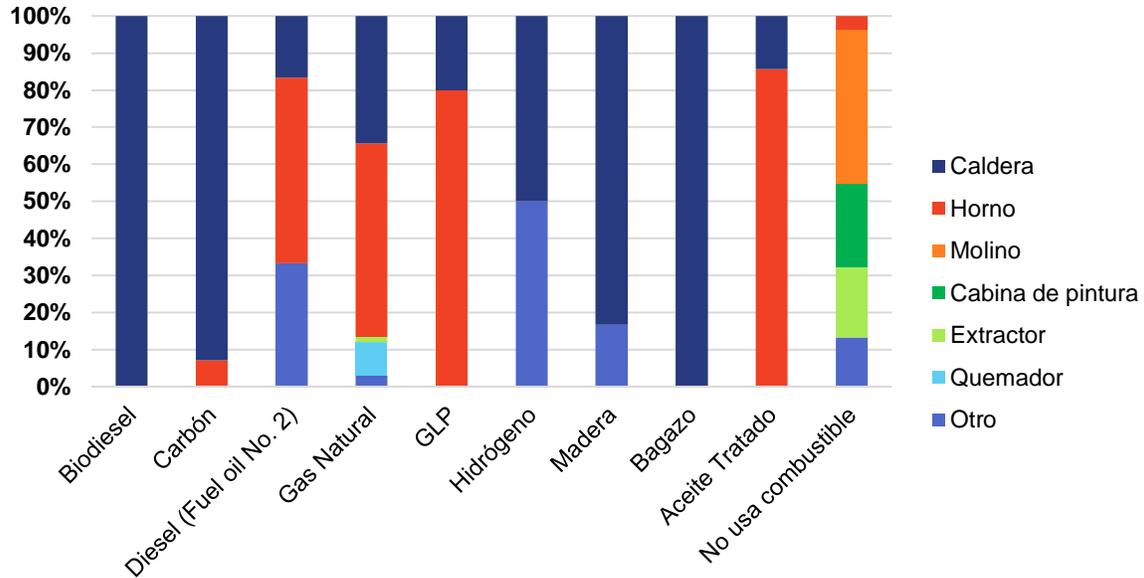
Combustible	Emisión (ton/año)										
	CO	NOx	SO ₂	PM	PM10	PM2.5	VOC	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Metales
Biodiesel	0.04	0.13	0.01	0.12	0.01	0.00	0.00	187.92	0.000	0.002	0.0001
Bagazo	2029.83	571.69	1156.63	618.12	235.60	122.39	0.02	599594.01	339.34	45.26	0.01
Carbón	68.84	111.46	413.77	104.44	36.08	14.82	0.61	35816.12	0.73	0.49	0.19
Aceite Tratado	7.16	3.74	6.97	6.59	3.59	2.27	0.06	4270.38	0.16	0.18	0.03
Diésel (Fuel Oil No. 2)	17.54	51.88	3.43	4.14	0.17	0.04	0.03	3799.46	0.01	0.04	0.00
Gas Natural	462.31	681.63	41.42	46.48	32.51	22.61	24.92	634881.27	34.66	15.03	0.47
GLP	3.21	8.11	17.82	0.82	0.41	0.40	0.22	6913.96	0.10	0.35	0.00
Hidrógeno		1.37									
Madera	3.20	2.61	0.13	2.13	1.92	1.65	0.09	1039.27	0.32	0.06	0.01
No usa combustible	0.15	0.02	0.02	27.36	2.34	0.48	24.68	13.80			
Total general	2592.29	1432.63	1640.19	810.20	312.63	164.67	50.63	1286516.19	375.31	61.42	0.72

Figura 30. Distribución porcentual de las emisiones totales en función del tipo de combustible empleado - Palmira.

Fuente: Elaboración Propia.

La relación entre el combustible utilizado según la fuente de emisión se presenta en la **Figura 31**, se observa que las calderas utilizan diferentes combustibles (9 tipos), sin embargo, usan principalmente gas natural (40.35%), carbón (22.81%), y bagazo (14.04%). Este último hace referencia al material que proviene de la caña de azúcar. Así mismo, los hornos se alimentan de distintos tipos de combustible, en mayor medida de gas natural (63.64%), y en menor medida de carbón (1.82%) correspondiente a un horno

de fundición tipo cubilote. Por otro lado, los equipos incluidos en la clasificación de otros, que hacen referencia a las turbinas, cabinas de pintura e impresoras, no consumen combustible, sino que se alimentan en su mayoría de energía eléctrica.



Uso combustible de	Caldera	Horno	Molino	Cabina de pintura	Extractor	Quemador	Otro
Biodiesel	2						
Carbón	13	1					
Diésel (Fuel oil No. 2)	1	3					2
Gas Natural	23	35			1	6	2
GLP	2	8					
Hidrógeno	2						2
Madera	5						1
Bagazo	8						
Aceite Tratado	1	6					
No usa combustible		2	22	12	10		7

Figura 31. Distribución del combustible utilizado según el tipo de fuente de emisión – Palmira

Fuente: Elaboración Propia.

6.4 Emisiones pequeños establecimientos (asaderos y panaderías)

Para los pequeños establecimientos, las emisiones fueron estimadas a partir de factores de emisión, tal y como se describe en el numeral 5.3. En la **Tabla 25** se resumen las emisiones estimadas en kg/año para panaderías y asaderos.

En las actividades de elaboración de productos de panadería, se observa que el contaminante con más emisiones es el CO₂ (473.64 ton/año). Esto debido a que el CO₂ es el producto principal de la combustión y por tanto su factor de emisión es mucho más grande que los demás contaminantes. Mientras que las emisiones de los demás contaminantes fueron NO_x (399.91 kg/año)>CO (330.52 kg/año)>N₂O (43.15 kg/año)>PM (29.93 kg/año)>VOC (21.64 kg/año)>SO₂ (11.67 kg/año)> CH₄(9.03 kg/año).

Por otro lado, en los asaderos, el mayor contaminante es el CO₂ con 601.27 ton/año, seguido del PM con 3.09 ton/año, VOC con 2.09 ton/año, CH₄ con 94.25 kg/año y N₂O con 17.22 kg/año. La diferencia de emisiones entre las panaderías y asaderos es probablemente debido al combustible usado, ya que en los hornos de panaderías es más común el uso del gas natural mientras que en los asaderos se consume regularmente carbón, no obstante, la emisión de CO₂ para ambos es similar.

De acuerdo con la **Figura 32**, se observa que los asaderos generan mayores contribuciones de PM en comparación con las panaderías, debido al uso de carbón para sus actividades. Así mismo sucede para los VOC, con emisiones mayores a 2,000 ton/año. En cuanto a los GEI, se observa que los asaderos son los que generan mayores contribuciones, comparadas con los establecimientos de panaderías, excepto en el N₂O donde las emisiones son mayores en las panaderías (43.15 kg/año) en comparación con los asaderos (17.22 kg/año).

Tabla 25. Emisiones anuales en pequeños establecimientos

Establecimiento	CO (kg/año)	NO _x (kg/año)	SO ₂ (kg/año)	PM (kg/año)	VOC (kg/año)	CO ₂ estequiométrico (ton/año)	CO ₂ AP42 (ton/año)	CH ₄ (kg/año)	N ₂ O (kg/año)
Panaderías	330.52	399.91	11.67	29.93	21.64	493.00	473.64	9.03	43.15
Asaderos				3,094.1	2,088.12	571.58	571.17	94.25	17.22

Fuente: Elaboración Propia.

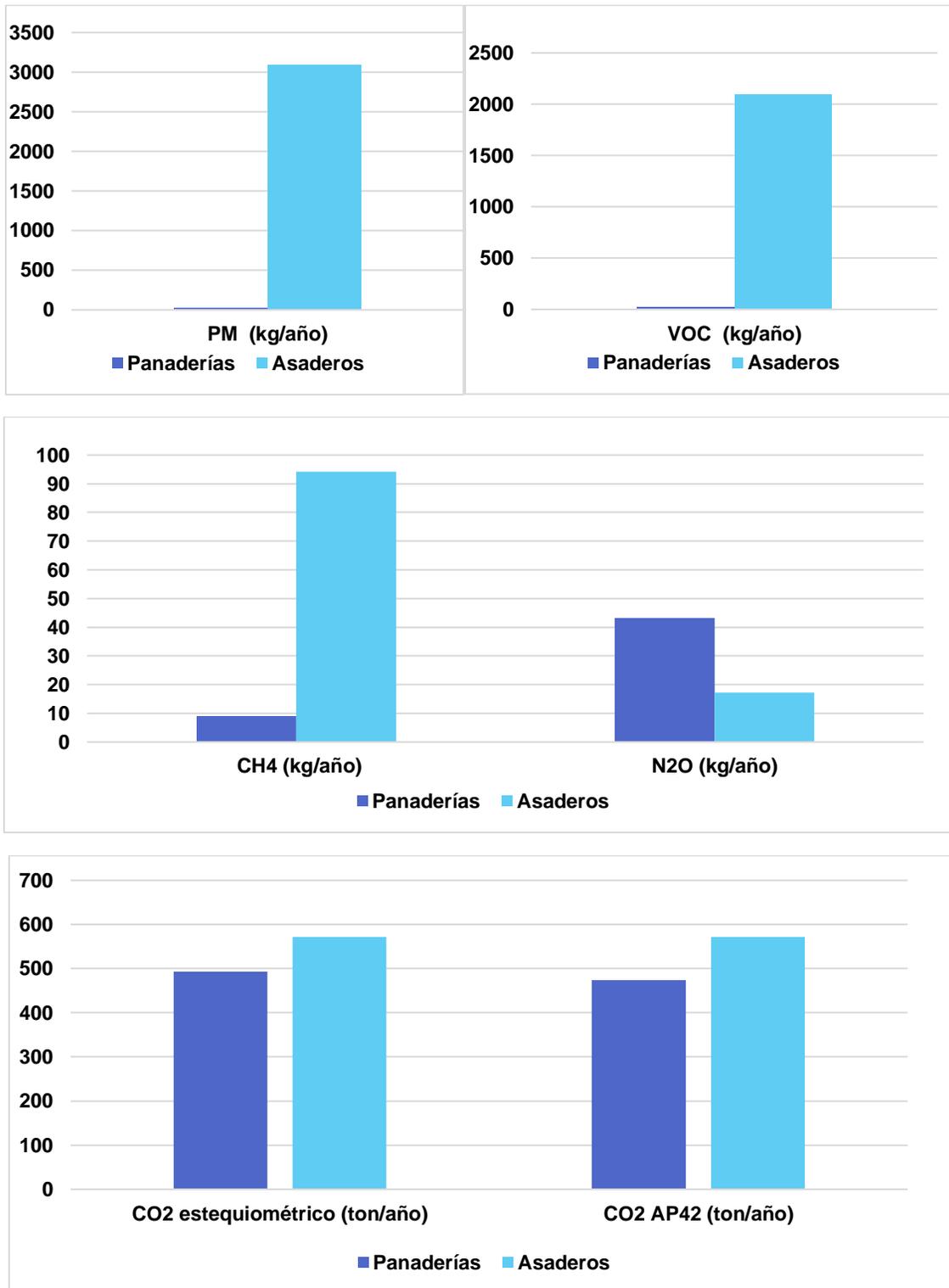


Figura 32. Emisiones anuales obtenidas por contaminante en pequeños establecimientos

Fuente: Elaboración Propia.

6.5 Emisiones estaciones de servicio (COVs)

De acuerdo con las visitas in situ realizadas a las estaciones de servicio de combustible (EDS) de la zona urbana del municipio de Palmira, se obtuvo la información de ventas de combustibles de las 25 EDS, destacando que, se comercializaron alrededor de 11,182,498.88 galones de gasolina y 4,111,132.73 de ACPM o diésel.

De acuerdo con los resultados obtenidos, las emisiones de VOC para el combustible de gasolina fueron 122.76 toneladas y 3.98 toneladas para el combustible ACPM (**Tabla 26**). Según la **Figura 33** indica que los barrios que presentaron mayor aporte de VOC por actividades de comercialización en menor escala de combustible corriente (gasolina) para automotores son el barrio Industrial, Urb. Llanogrande, Versalles y Zamorano, donde se localizan gran parte de las EDS de la zona urbana. Sus aportes de VOC fueron respectivamente de 22.97 ton/año, 19.40 ton/año 13.93 ton/año y 9.54 ton/año.

Por otro lado, las emisiones de VOC por combustible ACPM, fueron mucho menores comparadas con las de gasolina corriente, obteniendo para los barrios Industrial 0.35 ton/año, para el barrio Zamorano 0.41 ton/año y para el barrio Versalles 1.14 ton/año (**Figura 34**).

Tabla 26. Emisiones (ton/año) de VOC por estaciones de servicio de combustible en el municipio de Palmira

Barrio	VOC (ton/año) Gasolina - corriente	VOC (ton/año) ACPM- Diesel
Industrial	22.97	0.35
Urb. Llanogrande	19.40	0.33
Versalles	13.93	1.14
Zamorano	9.54	0.41
Santa Bárbara	8.56	0.06
Barrio Nuevo	8.19	0.22
Colombina	6.11	0.13
Maria Cano	6.06	0.14
Urb. Campestre	5.50	0.19
Berlín	5.14	0.38
Obrero	4.76	0.12
Urb. Guayacán	3.95	0.33
Las Victorias	4.08	0.07
La Italia	2.75	0.01

Barrio	VOC (ton/año) Gasolina - corriente	VOC (ton/año) ACPM- Diesel
Central	1.81	0.03
Urb. Alicantó	0.00	0.07
Total	122.76	3.98

Fuente: Elaboración propia

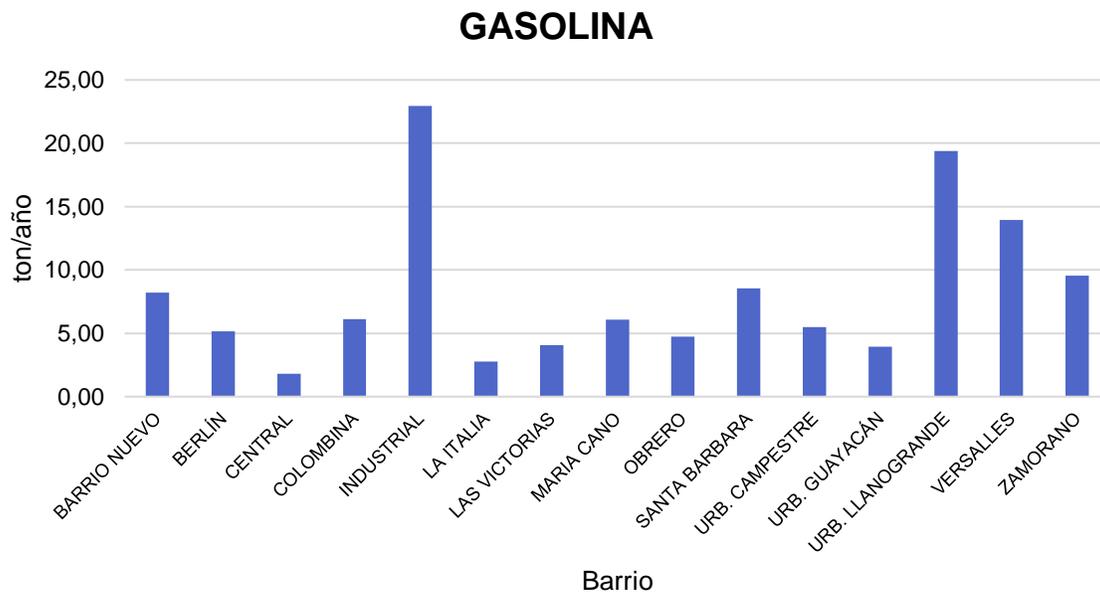


Figura 33. Aporte de COV (ton/año) por barrios de acuerdo con las ventas de gasolina.

Fuente: Elaboración Propia.

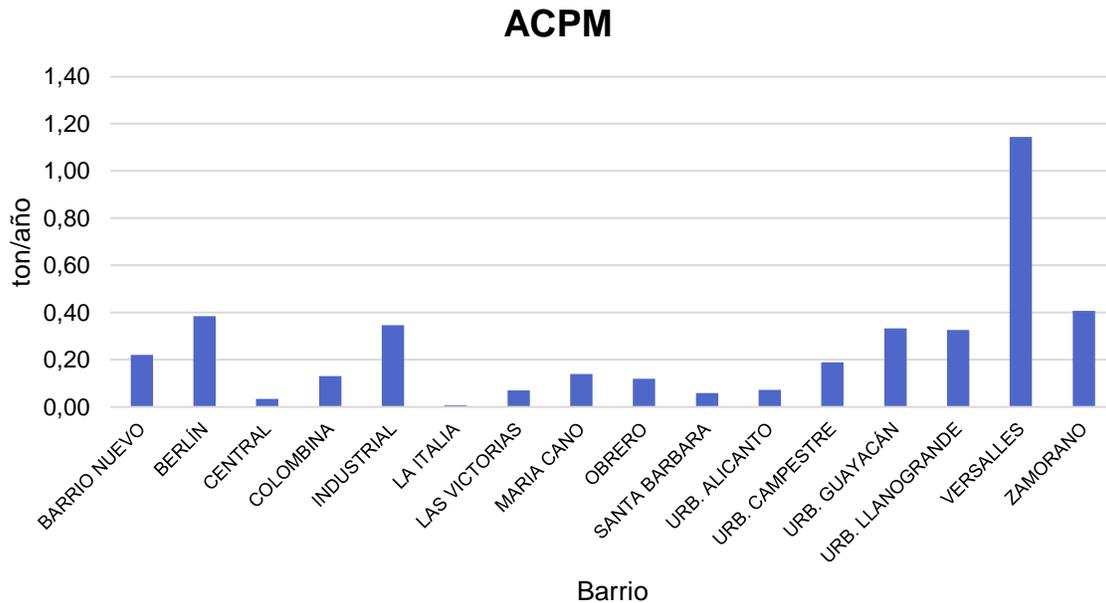


Figura 34. Aporte de COV (ton/año) por barrios de acuerdo con las ventas de ACPM.

Fuente: Elaboración Propia.

6.6 Emisiones del sector de las ladrilleras

En las actividades de manejo y transformación de la arcilla en productos terminados (fabricación de ladrillos), se observa en la **Tabla 27** que el contaminante que contribuye significativamente es el CO₂ con 25,470.98 ton/año, mientras que las emisiones de los demás contaminantes fueron CO (83.17 ton/año) >PM (72.77 ton/año) >SO₂ (34.83 ton/año) > NO_x (19.23 ton/año) >PM10 (16.11 ton/año) >VOC (9.36 ton/año) >CH₄ (1.04 ton/año).

Tabla 27. Emisiones anuales en ladrilleras por sector

Sector	CO (ton/año)	NO _x (ton/año)	SO ₂ (ton/año)	PM (ton/año)	PM10 (ton/año)	VOC (ton/año)	CO ₂ (ton/año)	CH ₄ (ton/año)
Coronado	70.86	16.39	29.67	62.00	13.73	7.97	21,700.43	0.89
Tienda Nueva	12.31	2.85	5.16	10.77	2.39	1.39	3,770.55	0.15
Total	83.17	19.23	34.83	72.77	16.11	9.36	25,470.98	1.04

De acuerdo con la **Figura 35** se observa que el sector que aporta en mayor medida a las emisiones es el de Coronado, debido a que en este sector se localizan 46 ladrilleras con 54 hornos, siendo un gran porcentaje (88.46%) del total de establecimientos que se encuentran en el municipio (52 establecimientos). Los aportes de emisiones en porcentaje

generados en el sector de Coronado son de 85.20% para el CO, 85.23% para el NOx, 84.94% para el SO₂, 85.18% para el PM, 85.20% para el PM₁₀, 85.15% para el VOC, 85.20% para el CO₂, y 85.58% para el CH₄.

En el sector de Tienda Nueva las emisiones no pasan de 12.31 ton/año, con excepción del CO₂, cuyas emisiones son de 3,770.55 ton anuales.

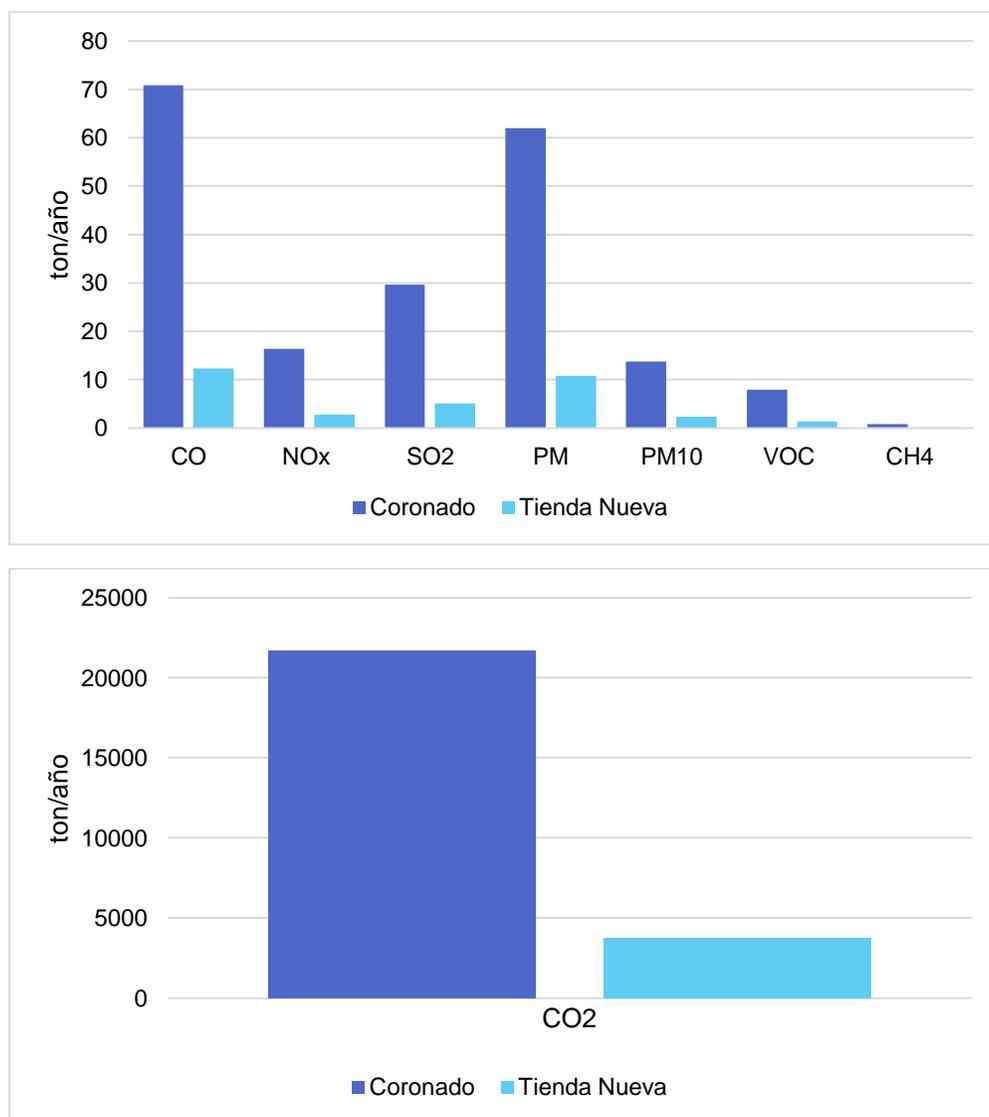


Figura 35. Emisiones anuales obtenidas por contaminante en ladrilleras

Fuente: Elaboración Propia.

6.7 Base de datos del inventario

En la **Tabla 28** se presentan las emisiones totales generadas por sector productivo para el municipio de Palmira. Se observa que el sector industrial es el mayor aportante de las emisiones atmosféricas de los contaminantes evaluados en el presente inventario, excepto en los VOC, donde las EDS aportan 126.74 ton/año. Las emisiones totales anuales emitidas en el municipio de Palmira de acuerdo con las fuentes inventariadas son: 2,675.79 ton/año de CO, 1,452.26 ton/año para NOx, 1,675.03 ton/año para SO₂, 886.09 ton/año para PM, 328.74 ton/año para PM10, 164.67 ton/año para PM2.5, 188.84 ton/año de VOC, 1,313,031.98 ton/año de CO₂, 376.45 ton/año de CH₄ y 61.48 ton/año de N₂O.

Tabla 28. Emisiones atmosféricas totales de fuentes fijas en el municipio de Palmira.

Emisiones (ton/año)	CO	NOx	SO ₂	PM	PM10	PM2.5	VOC	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Sector industrial	2,592.29	1,432.63	1,640.19	810.20	312.63	164.67	50.63	1,286,516.19	375.31	61.42
Pequeños establecimientos	0.33	0.40	0.01	3.12	--	--	2.11	1,044.81	0.10	0.06
Estaciones de servicio - EDS	--	--	--	--	--	--	126.74	--	--	--
Ladrilleras	83.17	19.23	34.83	72.77	16.11	--	9.36	25,470.98	1.04	--
Totales	2,675.79	1,452.26	1,675.03	886.09	328.74	164.67	188.84	1,313,031.98	376.45	61.48

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las actividades desarrolladas en el presente inventario permitieron registrar un total de 177 fuentes fijas puntuales pertenecientes a 64 industrias; 62 pequeños establecimientos (40 panaderías y 22 asaderos), 25 estaciones de servicio – EDS; estos últimos catalogados como fuentes difusas. Fueron incluidos adicionalmente 52 ladrilleras con 62 hornos.

A partir de las estimaciones realizadas de emisiones por fuentes fijas puntuales, para el municipio de Palmira, se estableció que la carga de contaminantes que llegan al aire son en su orden: CO₂ (1,286,517 ton/año), seguido de CO (2,592.3 ton/año), SO₂ (1,640.2 ton/año), NO_x (1,432.6 ton/año), PM (810.2 ton/año), CH₄ (375.3 ton/año), PM₁₀ (312.6 ton/año), PM_{2.5} (164.7 ton/año), VOC (50,6 ton/año), y N₂O (61.4 ton/año).

De acuerdo con los resultados obtenidos, para el sector agroindustrial las emisiones más representativas son el CO con 2,040.97 ton/año, SO₂ con 1,228.41 ton/año, PM con 631.09 ton/año, PM₁₀ con 238.32 ton/año y PM_{2.5} con 123.80 ton/año. Además de ello, también es el principal aportante de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), contribuyendo con 605,927.71 ton/año de CO₂, 339.66 ton/año de CH₄ y 45.38 ton/año de N₂O. Por otro lado, el sector de bebidas y alimentos y el sector de papel e impresión presentan emisiones importante de SO₂ 143.80 ton/año y 137.66 ton/año, respectivamente. El sector metalúrgico que es el más predominante en el municipio de Palmira, aporta 27.41 ton/año de SO. El sector “Otros” es el que aporta en mayor medida a las emisiones de VOC y NO_x, con 58.30% (29.52 ton/año) y 47.38%, (678.72 ton/año), respectivamente.

El análisis realizado por sectores permitió evidenciar que el sector rural es el mayor aportante de emisiones de CO (79.25%, 2,054.42 ton/año), SO₂ (85.88%, 1,408.63 ton/año), PM (79.99%, 648.11 ton/año), PM₁₀ (80.42%, 251.41 ton/año), PM_{2.5} (78.66%, 129.53 ton/año), CO₂ (47.86%, 615,669.10 ton/año), CH₄ (90.55%, 339.85 ton/año) y N₂O (74.15%, 45.54 ton/año). Para el sector de Zona Franca, se generan los mayores aportes de NO_x y VOC, con porcentajes de 47.44% (679.65 ton/año) y 67.51% (34.18 ton/año), respectivamente.

En el caso de la zona industrial de la Dolores, esta aporta mayores contribuciones de metales con un porcentaje del 51.20% (0.37 ton/año) y un aporte considerable de SO₂ con un porcentaje de 8.24% (135.20 ton/año), proveniente principalmente del sector de las metalúrgicas (fundición). El sector con menores contribuciones corresponde al urbano, con porcentajes menores al 5%.

El análisis de validación de criterios relacionado con los valores de caudales de emisión estimados por estequiometría y los caudales obtenidos por medición directa permitieron establecer que en 5 fuentes de emisión se presentaron discrepancias anómalas o atípicas (mayores a 1.5 y menores a 0.5), estas fuentes entraron en proceso de revisión y se ajustaron los consumos de combustible a partir del RUA Manufacturero.

En cuanto a los pequeños establecimientos, se determinó que los asaderos generan mayores aportes de PM en comparación con las panaderías, debido al uso de carbón vegetal para sus actividades. Así mismo sucede para los VOC, con emisiones mayores a 2,000 ton/año. En cuanto a los GEI, se determinó que las panaderías son las que generan mayores contribuciones, comparadas con los asaderos.

Por otro lado, en cuanto a las emisiones de VOC obtenidas para las EDS, para el combustible de gasolina fueron 122.76 toneladas y 3.98 toneladas para el combustible ACPM. Se identificó que los barrios que presentaron mayor aporte de VOC por actividades de comercialización de gasolina para automotores son el barrio Industrial, Urb. Llanogrande, Versalles y Zamorano, donde se localizan gran parte de las EDS de la zona urbana. Sus aportes de VOC fueron respectivamente de 22.97 ton/año, 19.40 ton/año, 13.93 ton/año y 9.54 ton/año. Estas contribuciones de VOC se generaron principalmente por la evaporación de los combustibles en las actividades de llenado y almacenamiento de combustible, al igual que por la venta y distribución de este a los vehículos automotores.

En cuanto a las ladrilleras, se determinó que el sector que aporta en mayor medida a las emisiones es Coronado, debido a que en esta zona se localizan la mayoría de ladrilleras. Los aportes de emisiones en porcentaje generados en el sector de Coronado fueron de 85.20% para el CO, 85.23% para el NOx, 84.94% para el SO₂, 85.18% para el PM, 85.20% para el PM₁₀, 85.15% para el VOC, 85.20% para el CO₂, y 85.58% para el CH₄. Por otro lado, en el sector de Tienda Nueva las emisiones no pasaron de 12.31 ton/año, con excepción del CO₂, cuyas emisiones son de 3,770.55 ton anuales.

BIBLIOGRAFÍA

Agapol Junpen, (2020) Estimation of Reduced Air Emissions as a Result of the Implementation of the Measure to Reduce Burned Sugarcane in Thailand. Atmosphere.

Díaz, R. (2008). Caracterización Energética del Bagazo de Caña de Azúcar del Ingenio Valdez. Facultad de Mecánica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors. U.S. Environmental Protection Agency (EPA).

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY [EPA] (1998). Emissions Factors & AP-42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors#5thed>

European Environment Agency - EEA. (2016). Distribution of oil products. EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016.

EPA, U. S. (2008). Transportation and Marketing of Petroleum Liquids. Washington D.C.: United States Environmental Protection Agency.

García, R.: Combustión y combustibles, Mater. Construcción, 11(102), 9–50, <https://doi.org/10.3989/mc.1961.v11.i102.1890>, 2001.

IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Jiménez, N. (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 2017. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.

Karuppiah I. (2020) Emission profile of PM, PM10 and PM2.5 of stationery sources from boilers using various Fuels –Department of Chemistry, Hindustan Institute of Technology and Science, Chennai 603103, T.N., India.

Kawashima, A.B., de Morais, M.V.B., Martins, L.D., Urbina, V., Rafee, S.A.A., Capucim, M.N. and Martins, J.A. (2015) Estimates and Spatial Distribution of Emissions from Sugar Cane Bagasse Fired Thermal Power Plants in Brazil. Journal of Geoscience and Environment Protection, 3, 72-76. <http://dx.doi.org/10.4236/gep.2015.36012>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT. (2008). Resolución 909 de 2008. Bogotá D.C., Colombia.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT. (2009). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Manual para la elaboración de Planes de Gestión de la Calidad del Aire. Bogotá D.C., Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Guía para la Elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas. Recuperado el 30 de agosto de 2021 de: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones_atmosfericas_contaminantes/documentos_relacionados/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf

Minnu S.N., A. Bahurudeen, G. Athira. (2021). Comparison of sugarcane bagasse ash with fly ash and slag: An approach towards industrial acceptance of sugar industry waste incleaner production of cement. Department of Civil Engineering, Birla Institute of Technology and Science Pilani, Hyderabad Campus, Hyderabad, India Journal of Cleaner Production 285 124836

National Pollutant Inventory (2003). Emission Estimation Technique Manual for Combustion in Boilers Version 1.2. 2. Commonwealth of Australia

Suárez Collazos, L. J. (2015). Pirólisis del bagazo de caña panelera para la producción de combustibles líquidos. UNIANDES, Tesis de maestría. Bogotá.

Thomas B.S., J. Yang (2021). Sugarcane bagasse ash as supplementary cementitious material in concrete e a review. Materials Today Sustainability

UPME, Calculadora FECOC 2016 (Factores de Emisión de los combustibles colombianos): http://www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html

Vidal Diana V. (2014), Ceniza de bagazo de caña para elaboración de materiales de construcción: estudio preliminar. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

ANEXOS

ANEXO A. BASE DE DATOS DEL INVENTARIO – DIGITAL

ANEXO B. FORMATOS EMPADRONAMIENTO (COMBUSTION / PROCESO / PEQUEÑOS ESTABLECIMIENTOS / ASADEROS)

ANEXO C. OFICIO SOLICITUD DE INFORMACIÓN PARA EMPADRONAMIENTO DE LAS INDUSTRIAS – DIGITAL

ANEXO D. OFICIO SOLICITUD DE INFORMACIÓN PARA EMPADRONAMIENTO DE LAS EDS – DIGITAL

ANEXO E. EVALUACIÓN DE CRITERIOS DE CALIDAD DE INFORMACIÓN DE ISOCINETICOS

ANEXO F. INDUSTRIAS EVALUADAS EN LA EJECUCIÓN DEL INVENTARIO DE FUENTES FIJAS DE PALMIRA

ANEXO G. ESPACIALIZACIÓN DE EMISIONES DE PEQUEÑOS ESTABLECIMIENTOS Y ESTACIONES DE SERVICIO

ANEXO H. ACTIVIDADES ECONOMICAS ASOCIADAS A LA EMISIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS SEGÚN CODIGO CIU

ANEXO I. REVISIÓN Y ESTIMACIÓN DE FE DE SOX Y PM PARA BAGAZO

ANEXO J. METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS