

## CAPÍTULO 2.

# INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS – ACTUALIZACIÓN AL AÑO BASE 2022

### 2.1. INTRODUCCIÓN

Un inventario de emisión (IE) se define como una base de datos que contiene la cantidad de contaminantes del aire emitidos a la atmósfera, en una determinada zona (a escala local, regional o global), durante un periodo específico de tiempo y debido a actividades de tipo antropogénico o natural (Aristizabal y otros, 2022). Los IE son herramientas de gran utilidad en la gestión de la calidad del aire, ya que además de proveer insumos para identificar tanto las fuentes como su contribución a la problemática de contaminación del aire, se constituyen en la base para la implementación, evaluación y ajuste de programas y medidas de control (Gaitán & Cárdenas, 2017; Instituto Nacional de Ecología - INE, 2005).

La Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, MADS, describe la ecuación general en la estimación de un IE como (Gaitán & Cárdenas, 2017):

$$IE = \sum_{i=1}^n E_{j,t} \quad \text{Ec.2}$$

Donde  $IE$  hace referencia al inventario de emisiones atmosféricas para la sustancia  $j$  en el periodo de tiempo  $t$ .  $E_{j,t}$  es la emisión de la sustancia  $j$ , generada por la actividad  $i$  en el tiempo  $t$ ; y  $n$  es el número total de actividades a inventariar.

Cuando no existe la información o la posibilidad de hacer una medida directa de las emisiones durante el periodo de tiempo establecido, uno de los enfoques comúnmente empleados para realizar la estimación de las emisiones atmosféricas consiste en combinar información de los procesos asociados a cada actividad, con factores de emisión (FE) que asocian las emisiones según los procesos de dicha actividad. La expresión general que representa esta forma de estimación se muestra en la Ec.3 (Gaitán & Cárdenas, 2017).

$$IE = \sum_{i=1}^n (FE_{j,i} * FA_{i,t}) \quad \text{Ec.3}$$

Donde  $FE$  es el factor de emisión de la sustancia  $j$  para la actividad específica  $i$ .  $FA$  es el factor de actividad para la actividad  $i$  durante el tiempo  $t$ .

Para la estimación de inventarios de emisión son utilizadas dos aproximaciones principales denominadas top-down y bottom-up. Ambas comparten la misma estructura básica, pero se diferencian en los datos de entrada, parámetros y suposiciones. La implementación de una u otra aproximación depende de la información disponible y el grado de detalle que se quiere obtener con el inventario (Aristizabal y otros, 2022).

La aproximación top-down se caracteriza por una estimación de las emisiones totales para un área específica con base en información general o agregada; mientras que la aproximación bottom-up construye el inventario a partir de información detallada y desagregada en la región del espacio delimitada para la estimación. La información se encuentra generalmente asociada a datos de actividad de cada fuente, por ejemplo, aforos vehiculares, longitud de vías, tecnologías vehiculares, descripción detallada de procesos, consumos de combustible, entre otros (Zárate et al., 2007; Peñaloza, 2010).

## **2.2. METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES – AÑO BASE 2022**

La estimación del inventario de emisiones (IE) antropogénicas de la ciudad de Manizales y los municipios de Villamaría y Chinchiná en sus áreas urbanas para el año base 2022, tuvo como alcance dos aspectos principales:

- La actualización del inventario asociado a las fuentes móviles en ruta (emisiones por tubo de escape y evaporativas) y fuentes estacionarias (puntuales y de área); del municipio de Manizales.
- Estimación del inventario de emisiones para las fuentes descritas en los municipios de Villamaría y Chinchiná en sus áreas urbanas.

Para llevar a cabo la estimación de emisiones, se establecieron inicialmente las dimensiones y características del IE que son descritas en el esquema presentado en la Figura 34.

El dominio o zona de cobertura del IE se muestra en la Figura 35. El inventario fue definido para cubrir principalmente las áreas urbanas de la ciudad de Manizales, Villamaría y Chinchiná. Sin embargo, el dominio propuesto se extendió para cubrir parte de la zona rural de Manizales. Lo anterior teniendo en cuenta la existencia de algunas fuentes estacionarias puntuales de importancia en la zona rural de Manizales principalmente al occidente de la ciudad.

El inventario se realizó estableciendo como año base 2022 y estuvo enfocado a la estimación de las emisiones totales anuales (ton/año) de contaminantes criterio ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , CO, NOx,  $SO_2$ ), compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (NMCOV) y gases efecto invernadero, GEI ( $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $N_2O$ ). Asimismo, se incluyó la estimación de la emisión de black carbón (BC) asociado a fuentes móviles en ruta. En las secciones siguientes se describen aspectos metodológicos principales de la estimación del IE para cada una de las fuentes consideradas.

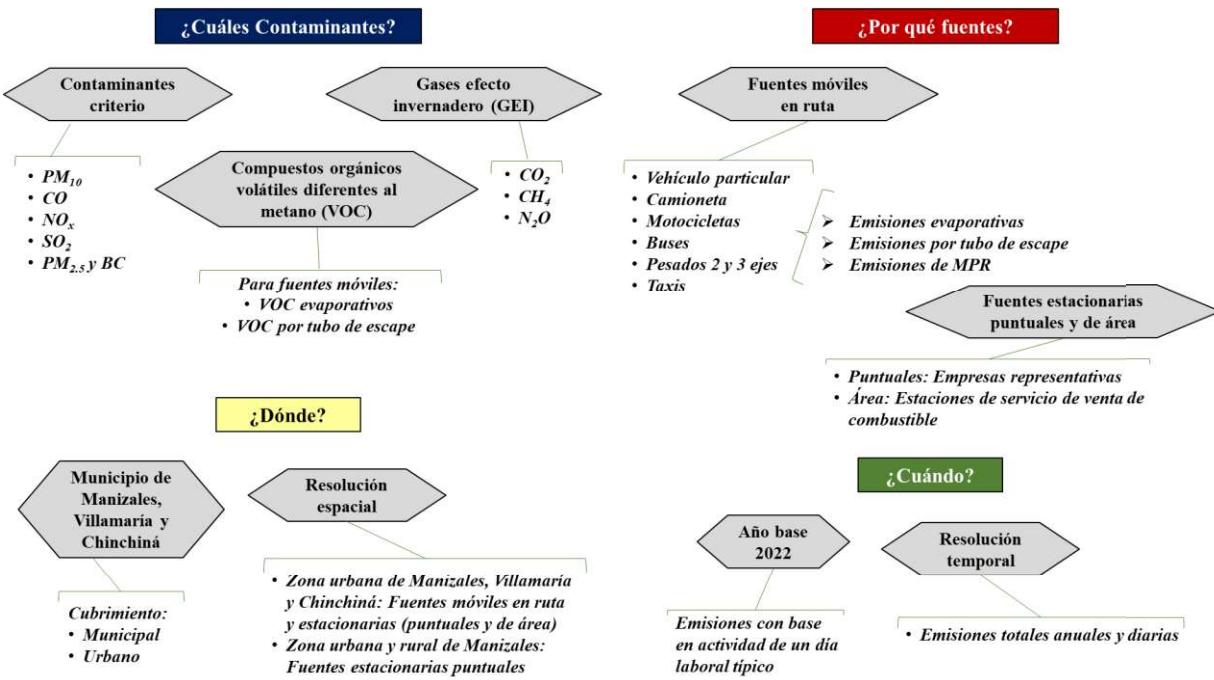


Figura 34. Dimensiones y características definidas para la estimación del IE por fuentes móviles en ruta y fuentes estacionarias en Manizales, Villamaría y Chinchiná, año base 2022

Fuente: propia

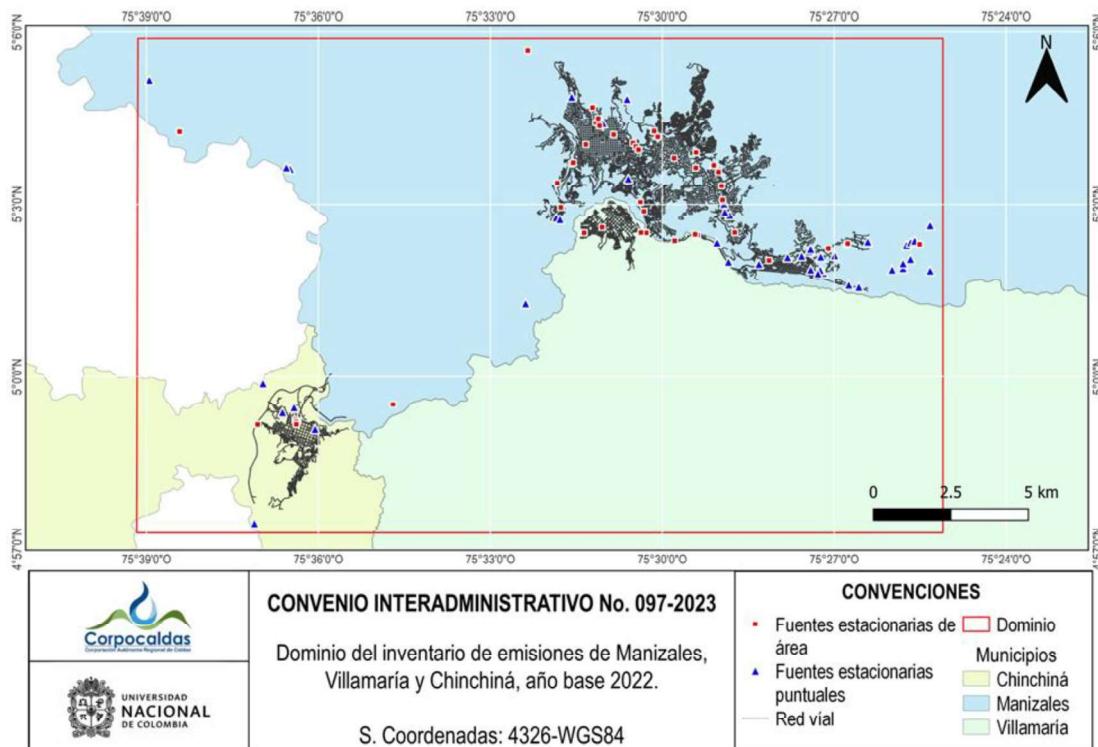


Figura 35. Dominio establecido para la estimación del inventario de emisiones de Manizales, año base 2022

Fuente: propia

## 2.2.1. METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR FUENTES MÓVILES EN RUTA

La actualización del IE año base 2022 para emisiones por fuentes móviles en ruta, comprendió los municipios de Manizales y Villamaría en sus áreas urbanas; además, se incluyó por primera vez al municipio de Chinchiná. La estimación tuvo en cuenta las emisiones asociadas al tubo de escape, emisiones evaporativas y emisiones por resuspensión (desgaste de frenos y llantas), aplicando un enfoque que combinó aproximaciones bottom-up y top-down. El ejercicio realizado se basó en la aplicación de la metodología y modelo de emisiones MOVES-Colombia (EPA, 2018; Noriega et al., 2023) para el ajuste de los factores de emisión (FE), que fueron empleados posteriormente en la estimación de emisiones a partir de un modelo bottom-up simplificado para Manizales y Villamaría desarrollado en lenguaje R como parte de este trabajo. En el caso de Chinchiná, las emisiones fueron estimadas completamente con MOVES-Colombia.

La fórmula general para la estimación de emisiones vehiculares es representada en la Ec.4, donde  $E_{i,j,k}$  es la emisión del contaminante  $i$  para el vehículo de la categoría vehicular  $j$  y combustible  $k$ .  $A_j$  es la actividad vehicular, la cual está asociada a la distancia recorrida por un vehículo (VKT por sus siglas en inglés) de la categoría  $j$ .  $\#Veh_j$  es el número de vehículos de cada categoría vehicular  $j$ .  $FE_{i,j,k}$  es el factor de emisión del contaminante  $i$  para el vehículo de la categoría vehicular  $j$  y combustible  $k$ , ajustados a condiciones locales de composición y dinámica del parque automotor, características de combustible y meteorología.

$$E_{i,j,k} = FE_{i,j,k} \times A_j \times \#Veh_j \quad \text{Ec.4}$$

Dentro de un enfoque top-down, la estimación de emisiones de un parque automotor se realiza tomando como datos de  $\#Veh$ , aquellos vehículos registrados en la flota vehicular de un municipio o región determinada, mientras que la actividad se determina estimando un valor promedio diario de distancia recorrida para cada categoría vehicular. De otra parte, dentro de un enfoque bottom-up, como el caso del presente trabajo donde se empleó un modelo de tráfico simplificado para estimar emisiones en Manizales y Villamaría, los valores del número de vehículos se obtienen de los resultados de flujo por arco de vía y categoría vehicular que entrega el modelo de transporte para la hora pico de simulación, mientras que el valor de distancia recorrida se obtiene de la configuración de los arcos de la red vial empleados en el modelo de transporte. La extrapolación de las emisiones horarias a consolidados diarios se puede realizar a partir de los perfiles de tráfico de cada categoría, obtenidos de mediciones in situ o estudios externos, como es el caso del último Plan Maestro de Movilidad de Manizales que contiene la información de perfiles diurnos de tráfico en la ciudad por categoría vehicular (Steer Davies Gleave, 2017). La descripción general del modelo de transporte empleado para la estructuración del modelo de tráfico simplificado se presenta en la segunda parte de este documento, en la sección de análisis de escenarios de emisión evaluados.

Los factores de emisión utilizados dentro del modelo de emisiones bottom-up desarrollado como parte de este estudio, se sometieron a un proceso de análisis comparativo con reportes de estudios recientes con el fin de realizar un proceso adicional de ajuste de dichos valores, en los casos en los cuales los registros provenientes de MOVES-Colombia presentaran posibles sobreestimaciones en determinados contaminantes de análisis. Fueron consultados los reportes de FE de inventarios de emisión realizados en los municipios de Yumbo y Palmira, en el Valle del Cauca (Unal y CVC, 2021a; 2021b), Bogotá (Ortiz y otros, 2023) y los últimos reportes de factores de emisión de combustibles colombianos, FECOC+ (Agudelo y Jaramillo, 2021; Agudelo y Correa, 2023a; 2023b). En el Anexo 4 se incluyen los consolidados

finales de FE utilizados para el modelo bottom-up desarrollado para estimar las emisiones por fuentes móviles en Manizales y Villamaría.

### 2.2.1.1. Consideraciones generales para la selección del modelo de emisiones

Es importante mencionar que en anteriores estimaciones del IE en la ciudad de Manizales (año base 2014 y su posterior actualización año base 2017), se utilizó el modelo IVE (International Vehicle Emissions) para la estimación de emisiones vehiculares. IVE se basa en la metodología de binos de potencia para el ajuste de las tasas de emisión a condiciones locales (Aristizabal y otros, 2022). A pesar de que el modelo permitió obtener resultados coherentes en relación con las emisiones vehiculares en Manizales, existe actualmente una limitante para su aplicación ya que el modelo no ha presentado actualizaciones en los factores de emisión desde el año 2008, por lo cual es muy probable que en pocos años la continuidad de su uso no pueda garantizarse por la falta de FE para tecnologías que ingresen próximamente al país. Por ejemplo, dentro de su base de datos solo dispone de FE para vehículos particulares y buses hasta tecnología Euro IV y Euro V (ISSRC, 2008). En este sentido, para el presente Convenio se consideró de importancia implementar un nuevo modelo de estimación de emisiones vehiculares que esté en constante actualización, permita su aplicación para futuras estimaciones del inventario y que tenga una metodología equivalente a la implementada en inventarios previos.

Dentro de los modelos más destacados para su implementación en países Latinoamericanos, además de IVE, se encuentran modelos como COPERT y MOVES (antes Mobile), los cuales reciben actualizaciones frecuentes que incluyen nuevas tecnologías vehiculares, efecto de propiedades fisicoquímicas de los combustibles, entre otros.

El modelo COPERT fue desarrollado en la Unión Europea por la EEA (European Environment Agency) y la metodología de ajuste de los FE a condiciones locales está basada en la velocidad promedio (EEA, 2020; EMISIA SA, 2022). Sin embargo, la implementación de COPERT en ciudades que se caracterizan por tener una red vial mayoritariamente con pendientes importantes puede limitarse, ya que los FE al estar en función solamente de la velocidad promedio, pueden tener limitaciones en la representación de las condiciones de estrés del motor. Por lo tanto, las emisiones pueden ser subestimadas. Adicionalmente, solo aplica un factor de corrección por pendientes máximas de 6% a las categorías vehiculares de buses y vehículos de carga (Treichos, 2021). Por su parte, el MOVES al igual que IVE utiliza la metodología de binos de potencia – perfil de velocidad – para el ajuste de los FE. Si bien es un modelo diseñado para EE. UU., se han reportado adaptaciones para diferentes regiones de Latinoamérica, incluida Colombia.

Las adaptaciones implementadas a MOVES para garantizar una mayor representatividad de las condiciones particulares en regiones diferentes a Norteamérica, dan cuenta de factores como el retraso en la introducción de nuevas tecnologías vehiculares y las diferencias en la composición de los combustibles, por lo cual el modelo es ajustado para que los factores de emisión correspondan a los años modelos de los vehículos y/o tecnología vehicular, así como a las características de los combustibles. Uno de los ejemplos concretos en relación con adaptaciones es el modelo es MOVES-México, creado a partir de MOVES-EE. UU (ERG & INECC, 2016).

En Colombia, se ha reportado la implementación de MOVES-EE. UU. para la ciudad de Bogotá, en la cual mapearon la cronología de introducción de tecnologías vehiculares al país, de manera que se realizó una correspondencia de la flota vehicular según los estándares de emisión de Colombia y EE. UU. (Ramirez et al., 2019). Asimismo, se ha reportado la construcción de MOVES-Colombia, con el objetivo fundamental de realizar la evaluación de emisiones a partir de escenarios de cambios de composición de combustibles, específicamente la adición de oxigenantes a la

gasolina. En dicho estudio se creó una nueva base de datos de tasas de emisión que consideró los niveles de emisión y los factores de deterioro de los vehículos a partir de un análisis de datos de teledetección de una muestra del parque automotor de Colombia (Noriega et al., 2023). A partir del trabajo mencionado, se han derivado otros estudios de aplicación de MOVES-Colombia para la estimación de emisiones en ciudades como Bogotá, Medellín, Cúcuta y Manizales, con resultados comparables a los IE oficiales reportados por las entidades públicas (Gonzalez y Pinilla, 2022; Puentes y Valdés, 2022).

De acuerdo con las consideraciones anteriores, en la presente actualización del IE de Manizales, Chinchiná y Villamaría para el año base 2022, fue empleado el modelo MOVES-Colombia, teniendo en cuenta que se tiene una base de aplicación sólida para llevar a cabo su implementación y que se cuenta con insumos para actualizar toda la información de entrada requerida a partir de datos representativos de las ciudades donde será aplicado en el departamento de Caldas.

### 2.2.1.2. Modelo de emisiones vehiculares MOVES-COLOMBIA

MOVES-Colombia es una adaptación del modelo MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator) desarrollado para Estados Unidos por la United States Environmental Protection Agency (EPA por sus siglas en inglés). El modelo está formulado bajo código abierto y lenguaje de programación Java (versiones MOVES 2010, 2014a, 2014b y MOVES3). MOVES-Colombia utiliza la misma estructura y funcionalidad de las versiones de MOVES 2014a y 2014b para las emisiones vehiculares en ruta, evaporativas y no provenientes del tubo de escape, siendo desarrollado con el mismo enfoque utilizado para construir MOVES-México.

MOVES estima a nivel nacional, departamental/municipal y de proyecto, emisiones de contaminantes criterio, compuestos orgánicos volátiles (VOC por sus siglas en inglés), gases de efecto invernadero (GEI), compuestos tóxicos entre otros contaminantes. La información de entrada como caracterización y dinámica del parque automotor, propiedades fisicoquímicas de los combustibles y condiciones meteorológicas es requerida para la estimación de emisiones (EPA, 2018).

De forma general, para ajustar las tasas de emisión predeterminadas en el modelo MOVES-Colombia, se reemplazaron los registros base por tasas locales obtenidas de análisis de datos de teledetección (RSD). Los datos de RSD proporcionaron concentraciones instantáneas de NO, CO, CO<sub>2</sub>, HC y opacidad; además de información de caracterización del vehículo como matrícula, marca, año modelo, línea, cilindraje, tipo de combustible, entre otros. A partir de estos datos se estimaron factores de escala (relación de RSD entre las tasas de emisión de EE. UU. y Colombia) y factores de deterioro, los cuales se aplicaron a las tasas de EE. UU. para cada año modelo del vehículo, teniendo en cuenta además que las tasas de emisión EE. UU. fueran correspondientes con los estándares de emisión en Colombia. Lo anterior se realizó para las categorías de motocicletas, automóviles y camionetas, mientras que, para las emisiones evaporativas y los vehículos pesados, las emisiones de MOVES-Colombia se derivaron mapeando las tasas de emisión de MOVES-EE. UU. por un estándar de emisión comparable en Colombia. De lo anterior, dos bases de datos resultantes (Colombia-rates y oxyfuels) se deben cargar a la carpeta de base de datos de instalación del modelo y seleccionarlas en la interfaz de este cada vez que se realice una ejecución de estimación de emisiones (Noriega et al., 2023).

MOVES-Colombia está adaptado para reflejar diferencias en la calidad del combustible, tipo y tamaño de vehículo, tecnología y deterioro del vehículo, estándares de emisiones, prácticas de inspección y mantenimiento, entre otros

factores. El modelo utiliza una base de datos relacional con múltiples tablas subyacentes que contienen información codificada relacionada entre sí. Las tablas enlazadas proporcionan al modelo información sobre identificación de la zona, caracterización y dinámica de la flota de vehículos, propiedades fisicoquímicas de los combustibles, meteorología, entre otros. MOVES-Colombia es un híbrido de las entradas específicas de Colombia y los valores predeterminados de Estados Unidos a través del esquema presentado en la Figura 36; de otra parte, la Tabla 16 resume el listado de variables de entrada requeridas en el modelo.

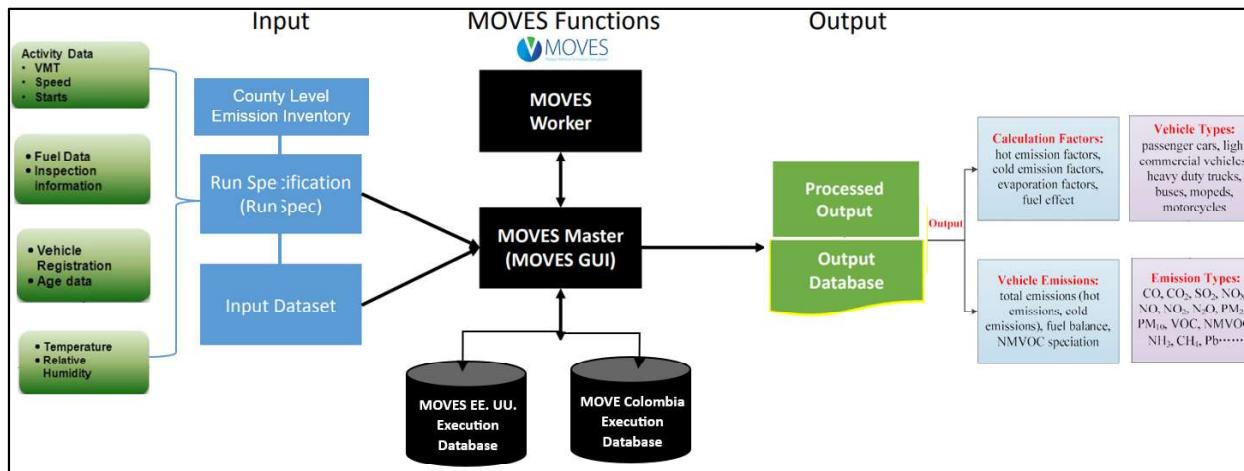


Figura 36. Esquema del modelo MOVES-Colombia

Fuente: propia

Tabla 16. Listado de variables de entrada requeridas por el modelo MOVES-Colombia

Ítem MOVES-Colombia	Descripción de la variable
Zone	Asignación según al área donde se estiman las emisiones
RoadType Distribution	Distribución de la red vial por tipo de vía: urbano, rural
RampFraction	Asignación de valor de tiempo de tránsito por pendiente. Valor por defecto 8%
SourceTypePopulation	Número de vehículos por categoría vehicular
AgeDistribution	Perfil de distribución de antigüedad de los vehículos (30 años de edad - año modelo) por categoría vehicular
VMT	Millas totales recorridas por categoría vehicular anual y/o diaria
	Fracción recorrida por mes por categoría vehicular
	Fracción recorrida por tipo de día (hábil - no hábil) por categoría vehicular
	Fracción recorrida en 24 h por tipo de día, tipo de vía y categoría vehicular
AverageSpeedDistribution	Distribución de velocidad promedio en términos de bins por tipo de vía, tipo de día y categoría vehicular
Fuel	Distribución de uso de combustible por año modelo de cada categoría vehicular
	Propiedades fisicoquímicas de los combustibles (PVR, azufre, contenido de biocombustibles, aromáticos, olefinas, benceno, PAH, e200, e300, índice de cetano, T50, T90)
	Distribución de tipos de combustibles usados en el área
	Fracción de vehículos que usan como combustible E85
Meteorology	Perfil 24h por mes de temperatura y humedad relativa

Fuente: propia

## **Información de entrada al modelo MOVES Colombia**

La metodología MOVES permite conformar 5 tipos de información del área de estudio, información que es incluida en el modelo de emisiones y permite la estimación de factores de emisión y flujos de emisión a condiciones locales. Los grupos de información local necesarios en MOVES son:

- Composición dinámica de la flota vehicular.
- Perfil de antigüedad del parque automotor.
- Actividad vehicular.
- Perfil de velocidad.
- Composición química de los combustibles.
- Meteorología.

En el presente estudio se realizó la recopilación de los datos requeridos, ejecutando los procedimientos necesarios para asignarles la estructura y formatos necesarios en el modelo. En las siguientes secciones se describe la información de caracterización de cada grupo de información recolectado para cada municipio.

## **Información del parque automotor en Manizales, Villamaría y Chinchiná para el año base 2022**

Las flotas vehiculares de los municipios de Manizales, Villamaría y Chinchiná se agruparon en 6 categorías vehiculares de las 13 definidas en MOVES, con la respectiva tipificación numérica que utiliza el modelo como código identificador asociado a la categoría vehicular: motocicleta (11), vehículo particular (21), taxi (21), camioneta (31), bus (43), vehículos pesados de transporte de carga (52-61). Esta selección se realizó con base en la categorización metodológica que tiene en cuenta la clase del vehículo, peso vehicular bruto y/o cilindraje, combustible y distancia recorrida.

Para Manizales, la Secretaría de Movilidad de la Alcaldía de Manizales suministró la información de la conformación del parque automotor de la ciudad para el año 2022. Para los municipios de Chinchiná y Villamaría, los datos reportados corresponden al Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT) con corte a marzo de 2021. Esta fuente se considera representativa teniendo en cuenta que, por ejemplo, para Manizales la diferencia total de vehículos entre el reporte de Secretaría de Movilidad y el RUNT para el periodo descrito fue del 5%. Se aclara que fue necesario emplear la información del RUNT para Villamaría y Chinchiná dada la nula respuesta de las entidades oficiales en Villamaría y la información dudosa que fue suministrada por la Secretaría de Movilidad en Chinchiná, que no tuvo ninguna relación con los registros disponibles del RUNT, cuya coherencia es mayor.

En la Tabla 17 y Tabla 18 se muestra la variación del parque automotor de Manizales entre los años 2014, 2017 y 2022, así como también el consolidado del parque automotor de los municipios de Villamaría y Chinchiná. En la Figura 37 se muestra la distribución porcentual de las categorías vehiculares agrupadas que conforman el parque automotor para cada uno de los municipios, presentando a su vez la distribución en función del uso de combustible fósil (gasolina, diesel y gas natural vehicular – GNV) para el municipio de Manizales. En total, cada parque automotor registrado fue de 238509, 21521 y 17240 vehículos en Manizales, Villamaría y Chinchiná respectivamente. En términos del parque

automotor, Manizales es 11 veces más grande que Villamaría y 14 veces mayor que Chinchiná, mientras que Villamaría es 1.2 veces más grande que Chinchiná.

Se destaca que, entre 2017 y 2022, hubo un incremento total del 41% en el parque automotor de Manizales, donde las camionetas y motocicletas tuvieron los mayores aumentos con un 63% y 45% respectivamente. Esta información fue empleada en las simulaciones con MOVES-Colombia, tanto para el ajuste de los FE como para la estimación de las emisiones en Chinchiná. En el Anexo 3 se encuentran los ficheros de datos de entrada al modelo para cada municipio.

Tabla 17. Variación de la flota vehicular de Manizales entre 2014 y 2022

Categoría vehicular	Código MOVES	IE año base 2014	IE año base 2017	IE año base 2022	Incremento 2014 a 2017	Incremento 2017 a 2022
Vehículo particular	21	45,423	57,058	75,466	26%	32%
Camioneta	31	18,667	24,601	40,152	32%	63%
Motocicleta	11	60,625	79,734	115,390	32%	45%
Taxi	21	2,402	2,320	2,349	-3%	1%
Bus	43	2,367	2,604	1,832	10%	-30%
Vehículo pesado de carga	52	1,864	2,044	2,622	10%	28%
	61	664	781	698	18%	-11%
<b>TOTAL</b>		<b>132,012</b>	<b>169,142</b>	<b>238,509</b>	<b>28%</b>	<b>41%</b>

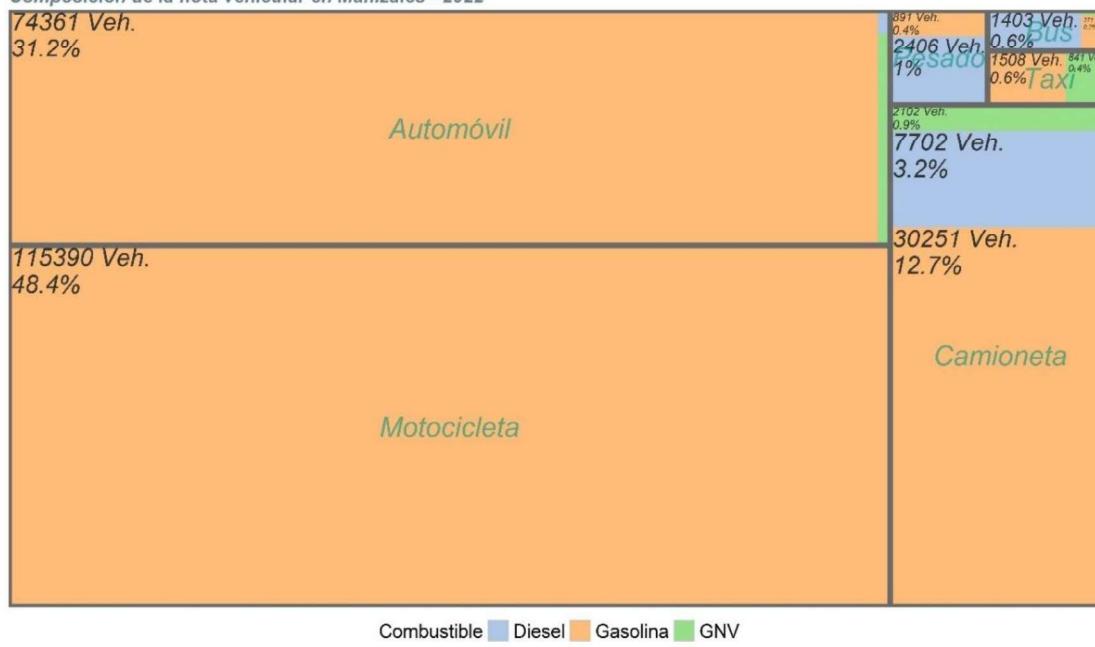
Fuente: Secretaría de Movilidad de Manizales

Tabla 18. Flota vehicular de Villamaría y Chinchiná para la estimación del IE año base 2022

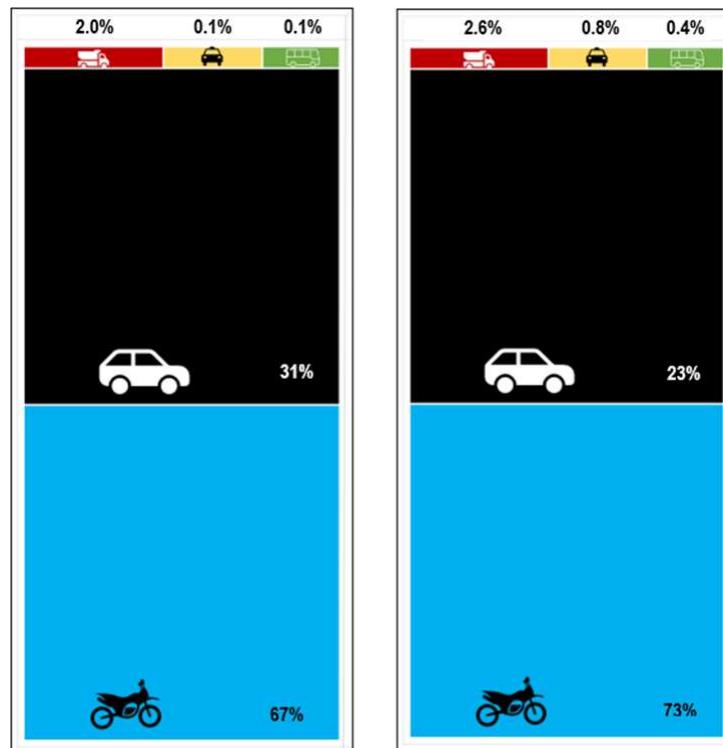
Categoría vehicular	Código MOVES	Villamaría	Chinchiná
Vehículo particular	21	3,598	1,861
Camioneta	31	3,117	2,071
Motocicleta	11	14,317	12,657
Taxi	21	18	133
Bus	43	30	74
Vehículo pesado de carga	52	288	300
	61	153	144
<b>TOTAL</b>		<b>21,521</b>	<b>17,240</b>

Fuente: RUNT

Composición de la flota vehicular en Manizales - 2022



(a)



(b)

Figura 37. Distribución porcentual del parque automotor registrado al año base 2022. (a) Manizales. (b) Villamaría (izquierda) y Chinchiná (derecha)

Fuente: Secretaría de Movilidad de Manizales y RUNT

## Actualización del perfil de antigüedad del parque automotor en Manizales, Villamaria y Chinchiná para el año base 2022

Los perfiles de antigüedad se relacionan con el ascenso tecnológico del parque automotor y son útiles para comprender el envejecimiento de los vehículos. MOVES-Colombia cubre un rango de antigüedad de vehículos de 31 años a partir del año base de la estimación de emisiones, siendo los vehículos de 30 años o más agrupados en una única categoría de edad. El modelo permite al usuario especificar la fracción de vehículos en cada una de las 30 edades para cada una de las categorías vehiculares. Las flotas con porcentaje mayor de vehículos más antiguos tendrán mayores emisiones por dos razones: 1. los vehículos más antiguos normalmente han recorrido una mayor distancia y han experimentado un mayor deterioro en los sistemas de control de emisiones. 2. Un mayor porcentaje de vehículos más antiguos también implica que hay más vehículos en la flota que no cumplen con estándares de emisiones más nuevos y estrictos.

A partir de la información de vehículos registrados en el parque automotor de los municipios evaluados, se realizó un análisis de la distribución de la edad y uso de combustible para las seis categorías vehiculares definidas. A partir de la información obtenida de entidades como la Secretaría de Movilidad de Manizales, el Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT) y la Asociación Colombiana de Vehículos Automotores (ANDEMOS, 2023), se realizó un análisis de la distribución de la edad de la flota. Este análisis es fundamental ya que permite definir aspectos como la distribución tecnológica de la flota para cada categoría vehicular. En el caso de Manizales, se destaca que para el IE-2022 se incrementó el número de registros de análisis en comparación con las muestras aleatorias analizadas en inventarios de emisión previos realizados en la ciudad (ver Tabla 19).

**Tabla 19. Comparación del número de registros de muestras aleatorias empleadas para la determinación de la edad del parque automotor para los IE años base 2014, 2017 y 2022**

Categoría Vehicular	IE año base 2014	IE año base 2017	IE año base 2022*
Vehículos particulares	2,996 registros	3,777 registros	106,407 registros
Motocicleta	1,027 registros	4,235 registros	107,924 registros
Taxi	290 registros	355 registros	2,994 registros
Bus	678 registros	928 registros	1,832 registros
Vehículos de carga	484 registros	705 registros	3,320 registros
<b>TOTAL</b>	<b>5,476 registros</b>	<b>10,000 registros</b>	<b>222,477 registros</b>

\*Con fines comparativos, la presente tabla muestra los registros analizados con Información asociada únicamente al municipio de Manizales  
 Fuente: propia

La Figura 38 muestra la cantidad de vehículos por año modelo obtenida para Manizales. La distribución de edades se realizó a partir del año base de actualización del IE, abarcando un rango de años modelos entre 2022 y 1992. Es importante aclarar que solo se consideraron dos tipos de combustibles para la distribución de edad, el diésel y la gasolina, los cuales representan el 98% de uso de combustible. Los resultados sugieren que la edad de la flota de particulares (motocicleta, vehículo particular y camioneta) tiene aproximadamente 17 años, siendo 2005 el año donde se incrementa sustancialmente el número de vehículos. En el caso de la categoría de buses, se observa una categoría con una edad menor de 30 años, en contraste con los vehículos pesados de transporte de carga, que tienen una

población de vehículos importantes con 30 años o más (22% y 51%). En el Anexo 3 se encuentran los ficheros de datos de entrada al modelo para cada municipio evaluado.

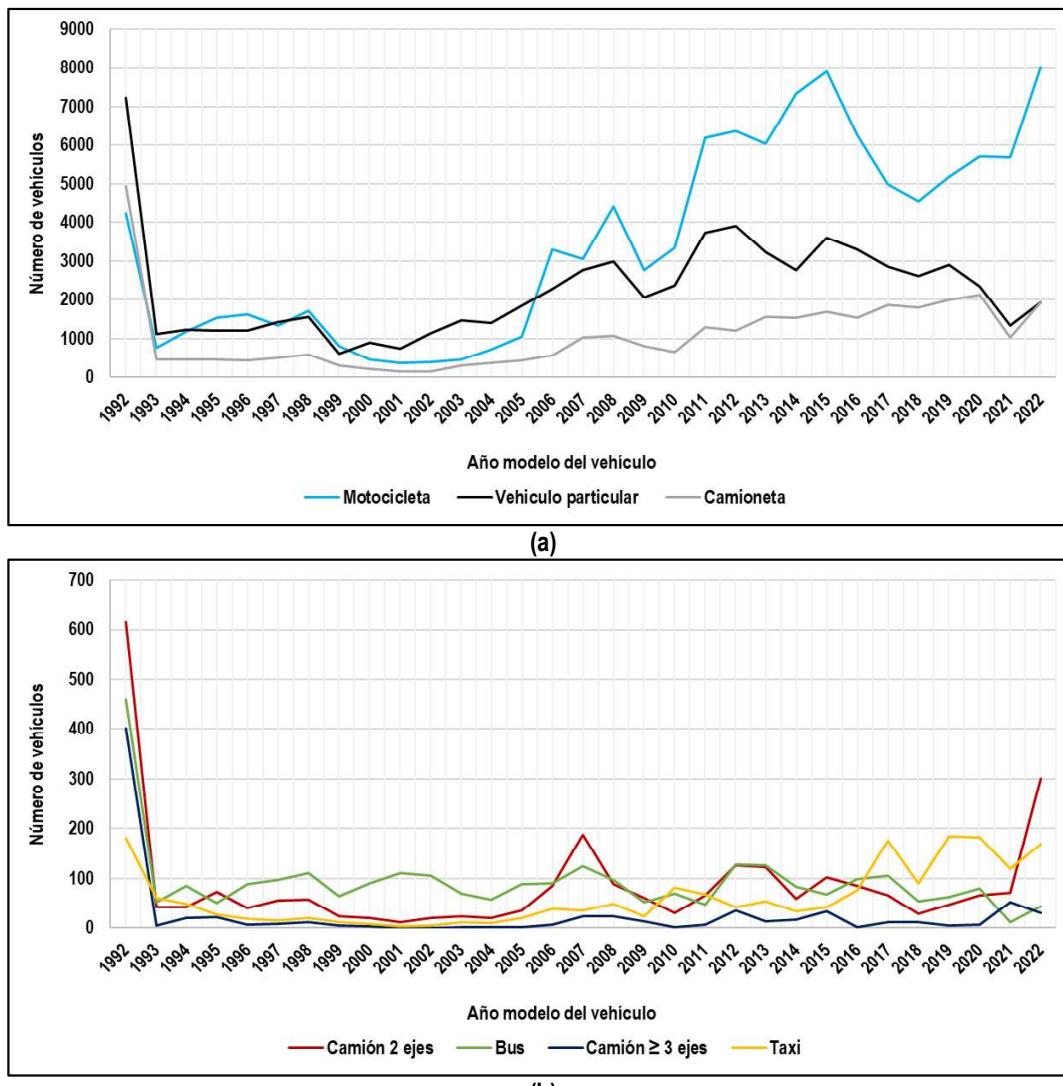


Figura 38. Perfil de antigüedad del parque automotor de Manizales al año base 2022. a) Motocicleta, vehículo particular y camioneta. b) Bus, taxi y vehículos pesados de 2 y 3 ejes

Fuente: propia

### Actualización de la actividad vehicular por categorías vehiculares del parque automotor en Manizales, Villamaría y Chinchiná para el año base 2022

Se realizó la estimación de la actividad vehicular diaria promedio por categoría vehicular a partir de una aproximación top-down, información necesaria en el modelo MOVES-Colombia tanto para el ajuste de los FE como para la estimación de emisiones. La actividad se estimó con base en los registros de reportes de los CDA (Centros de Diagnóstico Automotor) que solicita Corpocaldas como parte del seguimiento y control ambiental, obteniendo entonces una muestra aleatoria representativa de los vehículos que circulan en los municipios evaluados. Estos reportes contienen información de las pruebas de revisiones técnico-mecánicas, con identificación específica del vehículo

incluyendo en algunos casos las lecturas de los odómetros, las cuales permiten inferir los kilómetros totales recorridos por el vehículo durante su vida útil.

La información se desagregó por categoría vehicular, estableciendo el kilometraje medio anual por vehículo para cada categoría. Este procedimiento se realizó tomando de cada vehículo el kilometraje total registrado dividido entre la cantidad de años en operación según el año modelo, asumiendo que todos los años circulan aproximadamente con un kilometraje equivalente, según la Ec.5:

$$\text{Kilometraje anual} = \frac{\text{Kilometraje total}}{\text{edad del vehículo}} \quad \text{Ec.5}$$

Posteriormente se realizó un análisis de la información con la finalidad de filtrar y depurar registros atípicos, entre ellos eliminar datos de vehículos de placas repetidas, identificación de aquellos años modelo con baja probabilidad de circulación, correspondientes a los registros que se encuentran por debajo del primer y tercer cuartil de la muestra de datos. En la Tabla 20 se resumen las actividades vehiculares obtenidas del análisis por categoría vehicular en Manizales. Se destaca que, en el caso de los buses, no se utilizó la fuente de datos de CDAs, en su lugar se utilizó información obtenida de las empresas de transporte que circulan en Manizales, para la cual se obtuvo un valor de actividad vehicular media de 128 km/día/vehículo. Otro aspecto importante es que, debido al reducido número de datos disponibles en los municipios de Chinchiná y Villamaría, se estimó una actividad promedio que agrupa las categorías de motocicletas y vehículos particulares (incluyendo camionetas), mientras que, para buses y vehículos pesados, se utilizaron los valores obtenidos en Manizales. En el anexo 3 se encuentran los ficheros de datos de entrada al modelo para cada municipio.

**Tabla 20. Valores de actividad vehicular (km/día/vehículo) obtenidos a partir de un enfoque top-down en la actualización del inventario de emisiones por fuentes móviles en ruta, año base 2022**

Categoría vehicular	Manizales	Villamaría	Chinchiná
Motocicleta	15		
Vehículo particular	26.5	13.9	19.8
Camioneta	31		
Taxi	168	168	168
Bus	128	128	128
Pesado 2 y 3 ejes	70	70	70

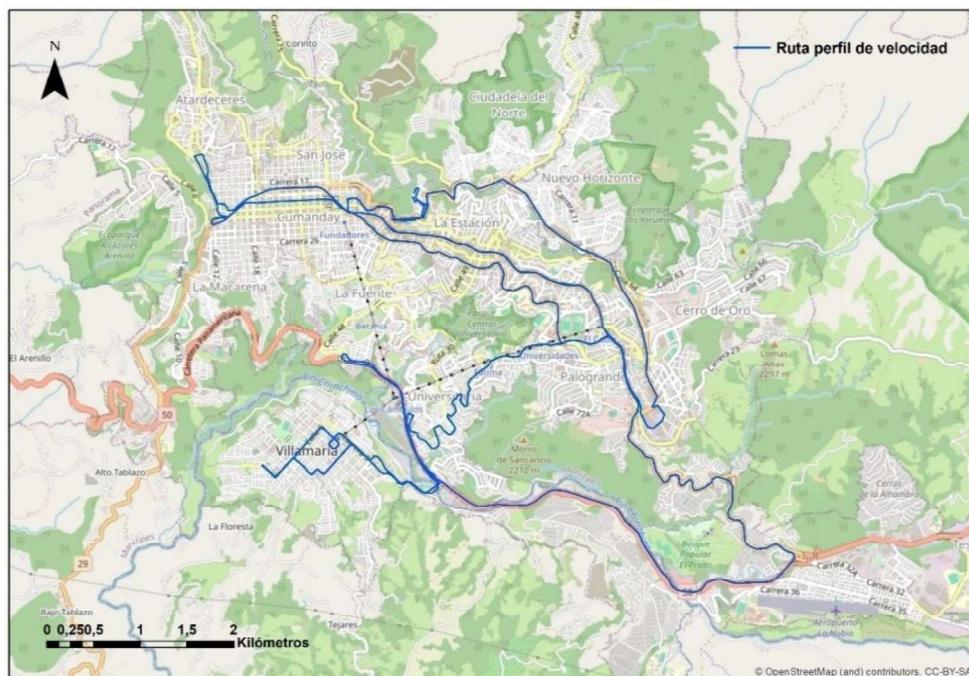
Fuente: propia

## Actualización del perfil de velocidad

La potencia, velocidad y aceleración del vehículo tienen un efecto significativo en las emisiones de por fuentes móviles en ruta (Jiménez-Palacios, 1999). Para incluir la información de distribución de velocidad promedio en MOVES se requiere una distribución de velocidad de las horas recorridas por los vehículos (VHT) en 16 intervalos de velocidades, por cada tipo de vía, tipo de categoría vehicular y hora del día. La velocidad promedio, tal como se define para su uso en MOVES, es la distancia recorrida (en millas) dividida por el tiempo (en horas). MOVES utiliza la distribución de velocidad para seleccionar ciclos de conducción específicos y distribuciones de modos de funcionamiento.

La distribución de velocidad promedio no es lo mismo que la velocidad instantánea de los vehículos o el límite de velocidad nominal de la carretera. La definición de velocidad de MOVES incluye todas las operaciones del vehículo, incluidas las intersecciones y otros obstáculos para viajar que pueden resultar en detenerse y permanecer en ralentí (por ejemplo, en semáforos y cebra peatonales). Como resultado, las velocidades promedio, tal como se utilizan en MOVES, tenderán a ser menores que los límites de velocidad nominal de las carreteras individuales.

El perfil de distribución de velocidades se realizó mediante una campaña de campo empleando como referencia la categoría de vehículo particular. La campaña de campo comprendió un recorrido de 150 minutos tanto en hora valle como en hora pico (entre las 3:30 p.m. y las 6:00 p.m.), que incluyó la circulación por las avenidas, calles y zonas principales de los municipios. En el caso de Manizales, por ejemplo, se realizaron recorridos por la Av. Santander, Av. Kevin Angel, Av. Paralela, Av. Agustinos, Av. Panamericana, Centro, Fátima, Chipre, Milán. En la Figura 39 se muestra el mapa del recorrido realizado en los municipios de Manizales y Villamaría. La campaña de campo se realizó con un GPS profesional de alta resolución, el cual consta de una antena de satélite y el datalogger, dispositivo que se transporta en el vehículo mientras se llevan a cabo los recorridos (Figura 40). El equipo se configuró en modo de grabación manual de registros de cálculo de velocidad, los cuales se realizaron cada 5 y 10 segundos aproximadamente.



**Figura 39. Mapa de la campaña de campo del recorrido para la toma de datos del perfil de velocidad en Manizales y Villamaría**

Fuente: propia



**Figura 40. Registro fotográfico de la campaña de campo para la toma de datos del perfil de velocidad**

Fuente: propia

A partir del recorrido realizado se obtuvieron un total de 1129 registros con información de velocidad. Posteriormente, la información se filtró mediante la eliminación de velocidades menores a 0.99 km/h, estas correspondían a puntos de información donde el satélite no tenía buena señal, tales como debajo de puentes y en carreteras con zonas muy boscosas; finalmente se analizaron 1110 registros (905 para Manizales y 205 para Villamaría). En Manizales se obtuvo una velocidad media de 29.5 km/h y en Villamaría la velocidad media fue de 20.6 km/h.

En el caso de Manizales, los datos obtenidos de la campaña de campo se adicionaron a la matriz de datos de velocidades promedio obtenidas mediante el modelo de tráfico vehicular realizado como parte del Plan Maestro de Movilidad de la ciudad de Manizales (Steer Davies Gleave, 2017). Finalmente, la velocidad promedio de Manizales fue de 30.1 km/h para las categorías de vehículos particular, camionetas y motocicletas; y de 22.2 km/h para las categorías de buses y vehículos pesados de transporte de carga. En el caso de Villamaría el perfil obtenido se aplicó para vehículos particulares, camionetas y motocicletas, mientras que las demás categorías se asumieron los datos de Manizales. En el caso de Chinchiná todas las categorías vehiculares se les asignó los perfiles de velocidad de Villamaría, teniendo en cuenta las similitudes en tamaño del parque automotor y las conformaciones de la red vial de ambos municipios. En el Anexo 3 se encuentran los ficheros de datos de entrada al modelo para cada municipio.

## **Actualización de la composición química de los combustibles en los municipios evaluados al año base 2022**

En Colombia, desde el 2017 año de la última actualización del IE, se ha expedido nueva normatividad referente a la calidad de los combustibles, estableciendo nuevos valores de límites mínimos y máximos en diferentes propiedades fisicoquímicas de los mismos. Actualmente, la gasolina y diésel están regulados bajo la Resolución 40103 y la

Resolución 40111 de 2021, en estas se establecen los niveles de mezclas de oxigenantes en el caso de la gasolina (E10) y de biocombustibles en el caso del diésel (B12), indicando además los valores y/o rangos de propiedades para establecer la calidad de estos.

En la Tabla 21 se resumen las propiedades fisicoquímicas para la gasolina y diésel utilizadas en la estimación del IE año base 2022, tomadas a partir de la normatividad vigente. Se destaca principalmente la reducción significativa del contenido de azufre en ambos combustibles con respecto a los utilizados en el último IE año base 2017 (que utilizó valores de gasolina en 300ppm y diésel en 50 ppm), así como también la presión de vapor Reid la cual al disminuir se ha reportado que tiende a disminuir emisiones de CO, entre otros. En el Anexo 3 se encuentran los ficheros de datos de entrada al modelo para cada municipio.

**Tabla 21. Propiedades fisicoquímicas de los combustibles para el año base 2022**

Parámetro	Unidad	Gasolina	Diesel
Contenido de azufre	ppm	50	20
Presión de vapor Reid	psi	9.42745	0
Biocombustible	% V/V	10.6	12
Contenido de aromáticos	% V/V	25	35
Contenido de olefinas	% V/V	16.1	-
Contenido de benceno	% V/V	0.9	-
e200		43.2	-
e300		80.5	12.4
Índice de cetano		-	48
Contenido de PAH	% V/V	-	8
T50	°C	213.7	538.5
T90	°C	340.7	650.3

Fuente: Resolución 40103 y 40111 de 2021

### **Actualización de la información meteorológica para el año base 2022**

Las condiciones ambientales son un factor importante en el ajuste de los factores de emisión y estimación de emisiones de vehículos. La temperatura es una de las variables con efectos importantes en la mayoría de los procesos contaminantes entre los que se destacan los procesos en ruta y evaporativos, mientras que la humedad relativa se ha reportado como una variable que influye en la estimación de las emisiones de NO<sub>x</sub> (EPA, 2018). MOVES-Colombia requiere como información meteorológica de entrada un perfil de 24 horas por mes de temperatura y humedad relativa. En la presente actualización del IE año base 2022 para Manizales, se tomó como referencia la estación meteorológica Hospital de Caldas, ubicada en el centro geográfico de la ciudad. Esta estación es considerada una estación de referencia ya que además de su ubicación presenta registros estables en el periodo de estudio.

En la Figura 41 se muestra como referencia el perfil horario de temperatura en Manizales para cada mes en 2022, se observa que el rango de temperatura mínimo y máximo estuvo entre los 14°C y 19°C respectivamente. En el Anexo 3 se encuentran los ficheros de datos de entrada al modelo para cada municipio.

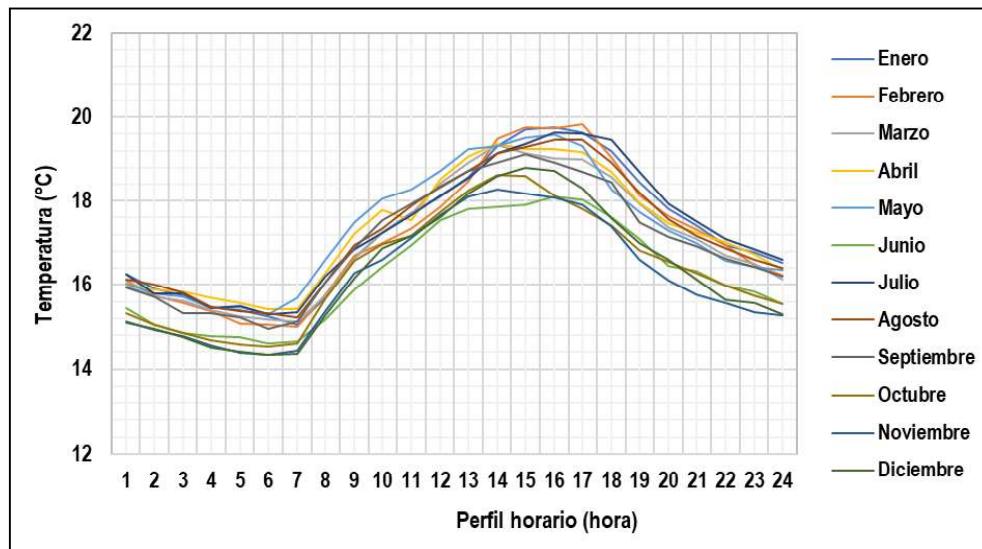


Figura 41. Perfil horario de temperatura por mes para Manizales en el año 2022

Fuente: propia

## Configuración de MOVES-Colombia

Teniendo en cuenta que para la actualización del presente IE año base 2022 se realizó un cambio importante relacionado con la utilización de un modelo de emisiones nuevo para la ciudad, como es el caso de MOVES-Colombia, es importante hacer un resumen de los requerimientos y configuración general empleada en las simulaciones llevadas a cabo en el presente proyecto. En la Tabla 22 se muestra la configuración de la ejecución en el modelo MOVES-Colombia para el caso de estudio, los diferentes ficheros de entrada cargados al modelo se encuentran en el Anexo 3. Las salidas obtenidas de MOVES-Colombia corresponden a una tabla en forma de base de datos MySQL que contiene las emisiones desagregadas según la configuración seleccionada en la ejecución. En el Anexo 3 se encuentran los ficheros de datos de entrada al modelo para cada municipio.

Tabla 22. Configuración de la ejecución/RunSpec de MOVES-Colombia

Ítem MOVES Colombia	Descripción/Selección/Asignación
Description	Ciudad, año, información adicional (Ejemplo: Manizales, 2022, ejecución preliminar 1).
Scale	Model: Onroad. Domain/Scale: County. Calculation Type: Inventory
Time Spans	Time Aggregation Level: Hour. Years: 2022. Months: July, Days y Hours: seleccionar todo.
Geographic Bounds	Custom Domain. CountyID: 1. Description. Manizales_2022. Bar. Pressure: 23.45. Database: Enter/Edit Data (nueva venta) Database: Crear nombre de base de datos de entrada (Ejemplo: Manizales_2022_input). Carga de ficheros de entrada.
Vehicles/Equipment -	Selección de combinaciones de combustible/categoría vehicular según caso de estudio. Selección diésel y gasolina con categorías vehiculares.
On-Road Vehicle Equipment	
Road Type	Seleccionar todo

Ítem MOVES Colombia	Descripción/Selección/Asignación
<b>Pollutants and Processes</b>	Selección: contaminantes criterio, gases de efecto invernadero y compuestos orgánicos volátiles.
<b>Manage Input Data Sets</b>	Adicionar bases de datos: "EmissionRateByAge" ("Colombia_rates", "oxyfuels") y base de datos de información de la flota vehicular creada por el usuario "Manizales_input_2022"
<b>Strategies - Rate Of Progress</b>	No aplica
<b>Output - General Output</b>	Create Database: Crear nombre de base de datos de salida (Ejemplo: Manizales_2022_output). Units: kilograms, joules, kilometers. Activity: distance traveled, population y stars
<b>Output - Output Emissions Detail</b>	Always: 24-Hour Day - County. For all vehicle/equipment categories: model year, fuel type, emission process. On and Off-Road: Road Type and Source Use Type.
<b>Advanced Performance Features</b>	No aplica

*Fuente: propia*

Los resultados obtenidos de MOVES-Colombia corresponden a una tabla en forma de base de datos MySQL que contiene las emisiones desagregadas según la configuración seleccionada del RunSpec. En este caso, y de acuerdo con la configuración descrita anteriormente (Tabla 22), fueron obtenidos los factores de emisión y emisiones diferenciadas por categoría vehicular, tipo de combustible, tipo de proceso de emisión, contaminante y tipo de vía. Los resultados fueron procesados en el software R, el cual permite la conexión directa e interna con la base de datos del modelo MOVES a través de la biblioteca "RMariaDB".

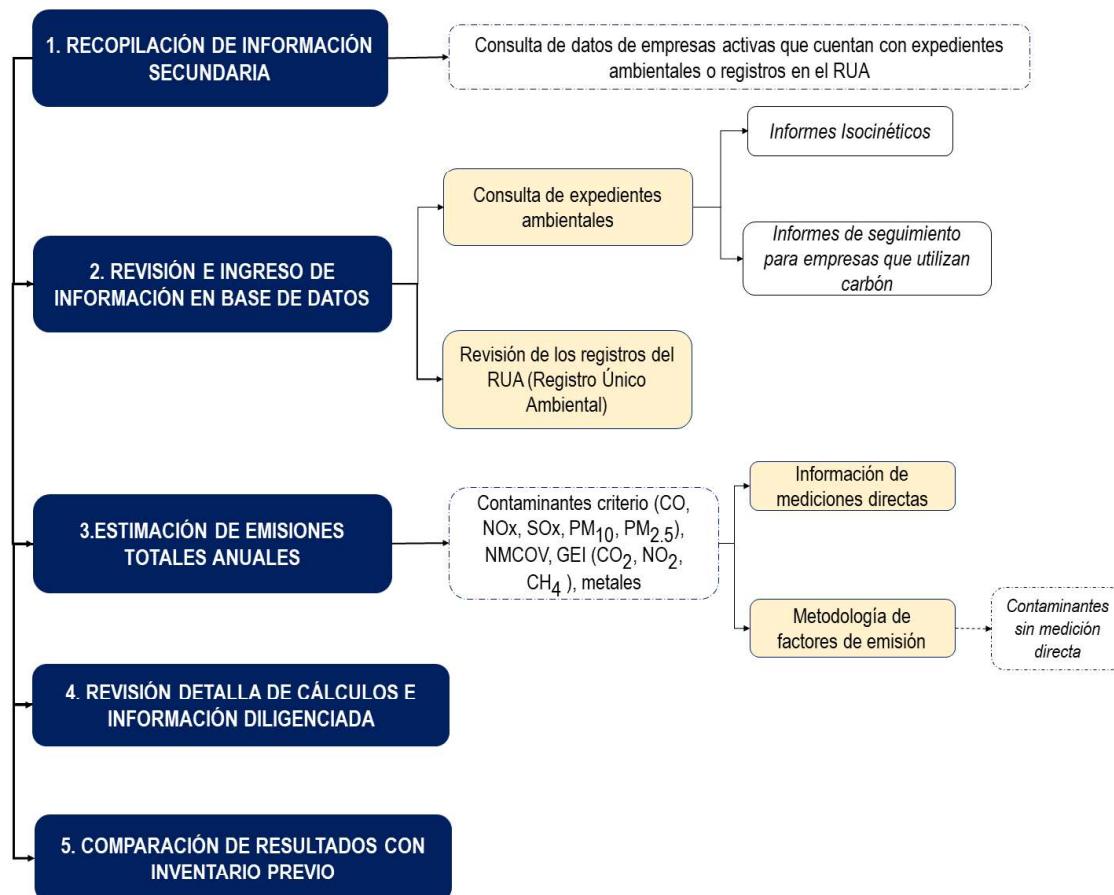
## 2.2.2. METODOLOGÍA PARA ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR FUENTES ESTACIONARIAS PUNTUALES

La estimación de emisiones por fuentes estacionarias puntuales se realizó empleando una aproximación bottom-up, a través de la consulta de información de las empresas representativas de los municipios de Manizales, Villamaría y Chinchiná. Se realizó predominantemente la consulta de los expedientes ambientales y registros del RUA (Registro Único Ambiental). La metodología de estimación comprendió las siguientes etapas:

- Revisión inicial de la lista de empresas que cuentan con expedientes ambientales en Corpocaldas o que reportan información en el RUA. En este proceso se identificaron aquellas empresas que están vigentes y las que finalizaron su operación y/o se asociaron con otra industria, basados en la base de datos del IE previo, año base 2017.
- Recopilación de información a partir de los expedientes ambientales que reposan en Corpocaldas para empresas que son obligadas a tramitar permiso de emisión. Se realizó una revisión de datos como ubicación, especificaciones del proceso, equipos fuente, tipo y consumo de combustible. La información se obtuvo a partir de los últimos informes isocinéticos reportados, teniendo como referencia el año base 2022. Asimismo, para complementar la información de empresas que utilizan carbón como combustible, se realizó la consulta de los informes de seguimiento que reposan en Corpocaldas.

- Revisión en el Registro Único Ambiental (RUA) para empresas que no están obligadas a tramitar permiso de emisión, para obtener datos de equipos fuente, tipo de combustible y datos de actividad, por ejemplo, el consumo de combustible.
- Estimación de flujos de emisiones atmosféricas mediante la información obtenida a partir de los informes isocinéticos y aplicación de la metodología de factores de emisión, tanto para las empresas consultadas en el RUA como para aquellos contaminantes no reportados en los informes isocinéticos.
- Revisión detallada de cálculos realizados y consolidación de resultados obtenidos.

En la Figura 42 se presenta un esquema que resume la metodología implementada. Es importante mencionar que la información recopilada se consignó en una base de datos donde reposa la información de los inventarios de emisión previos (años base 2014 y 2017). Esta base de datos fue desarrollada en el software Microsoft Excel y se adjunta en el Anexo 4. Para el inventario de emisiones año base 2022 se adicionaron nuevas hojas de cálculo para incluir la nueva información obtenida. En la Tabla 23 se resumen los campos de información que componen la base de datos del inventario de emisiones por fuentes estacionarias puntuales.



**Figura 42 . Esquema metodológico para estimación de emisiones por fuentes estacionarias puntuales**

Fuente: propia

**Tabla 23. Información de los campos que componen la base de datos del IE por fuentes estacionarias puntuales**

Campos de Grupo	Campos de Subgrupos	Observaciones
<b>Información general de identificación</b>	Número de identificación de industria	Información definida por el GTAIHA
	Número de identificación de punto de emisión	
	Nombre de empresa	Información definida en el expediente de emisiones
	Número de identificación de expediente de emisiones	
<b>Información general de consulta</b>	Fecha de consulta de expediente de emisión u otro tipo de información	Información definida por el GTAIHA según fecha de consulta
	Fecha de reporte de emisiones	Para aquellas empresas con monitoreo isocinético. Fecha de publicación del estudio
	Fecha de elaboración monitoreo isocinético	Según informe del monitoreo isocinético. Fecha de elaboración del muestreo
<b>Información general de actividad económica</b>	Actividad económica	Según documento del DANE clasificación industrial Internacional Uniforme (CIIU) de todas las actividades económicas (DANE, 2012)
	Código CIIU	
	Tipo de producción	Lista desplegable con sectores productivos definidos por el G.T.A según las actividades económicas del DANE. Por ejemplo: bebidas y alimentos, Fundición, Metalúrgica, entre otros
	Descripción específica de actividad económica	Según información del expediente ambiental y datos del objeto, misión y visión de la empresa
<b>Información general del equipo fuente</b>	Tipo de equipo	Equipo generador de emisiones
	Descripción y características	Información específica disponible, como marca, serial, tecnología
<b>Información ubicación de la empresa</b>	Ubicación geográfica de la empresa	Información sobre coordenadas geográficas, planas y altitud (msnm)
	Dirección	Dirección de ubicación específica reportada
	Zona industrial	Según la zona de ubicación, por ejemplo, Maltería, Milán, Centro, Otros
	Municipio	Se incluye una lista con todos los municipios de Caldas, con fines de ampliación a futuro para todos los municipios de Caldas

Campos de Grupo	Campos de Subgrupos	Observaciones
<b>Información específica sobre puntos de emisión</b>	Suelo	Tipo de suelo rural o urbano
	Altura de chimenea	Datos de la chimenea de escape de gases
	Diámetro de chimenea	
	Temperatura del gas	Información de los gases emitidos. Obtenida del informe de muestreo isocinético
	Velocidad	
	Caudal	
	Porcentaje de oxígeno	
<b>Información de producción</b>	Producción media, capacidad instalada	Datos de producción para efectos de aplicación de metodología de factores de emisión
<b>Información sobre combustible y materia prima (MP)</b>	Tipo de combustible	Combustible utilizado en la producción. Por ejemplo: gas natural, carbón, asociado a proceso, entre otros
	Materia prima consumida	Referida al combustible o a otro tipo de MP que implique generación de emisiones
	Consumo y unidad de medida	Cantidad consumida (se reporta en lo posible sobre base anual)
	Frecuencia de consumo	Unidad(es) que describe la frecuencia de consumo de combustible u otra MP que genere emisión. Por ejemplo, jornada de trabajo en horas/día, hora/mes, mes/año
<b>Información sobre equipo de control de emisiones</b>	Equipo	Descripción del sistema de control de emisiones y porcentaje de reducción reportado o teórico. Información del informe de muestreo isocinético
	Reducción (%)	
<b>Información sobre tipo de estimación y fuente de emisión</b>	Método de obtención de emisiones	Ya sea por reporte isocinético, factor de emisión, balances de masa, entre otros
	Fuente de emisión	Si es proceso de combustión por quema de combustible, combustión asociada al proceso o no combustión
	Proceso específico asociado a la emisión	Descripción específica del proceso generador de emisiones
	Tipo de fuente	A la fecha solo se incluye fuentes puntuales, pero se coloca esta casilla para incluir a futuro otros tipos como fuentes de área por ejemplo

Campos de Grupo	Campos de Subgrupos	Observaciones
<b>Información sobre emisiones estimadas</b>	Emisión de contaminantes criterio: CO, NO <sub>X</sub> (NO, NO <sub>2</sub> ), SO <sub>X</sub> (SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> ), PM (PM <sub>1</sub> , PM <sub>2,5</sub> , PM <sub>10</sub> , TSP)	Se registran las emisiones de contaminantes específicos según cada subgrupo. Las emisiones se reportan en ton/año
	Emisiones de compuestos orgánicos: COV, COT, HCT	
	Emisiones de metales: (As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, V, Zn, Fe)	
	Emisiones de otros contaminantes: (PCDD/Fs, PAH, HCl, H <sub>2</sub> S, HF, POM, HCPH, benzopireno y dibenzoantraceno)	
<b>Estimación sobre factores de emisión empleados y constantes</b>	Tipo de factor, valor y fuente de consulta	Esta información se consigna en una hoja de cálculo paralela
<b>Hojas resumen de consulta rápida</b>	Tabla dinámica	Tabla dinámica para consulta rápida según requerimientos del usuario
	Tablas con consolidados por empresas	Hojas con consolidados de emisiones por empresa para contaminantes criterio, GEI y suma de metales.

*Fuente: propia*

### 2.2.2.1. Actualización de la lista de industrias que conforman el IE-2022

La información consultada de los informes isocinéticos e informes de seguimiento para empresas que utilizan carbón entregados en formato digital, sumado al listado de empresas que registran información en el RUA para los municipios de Manizales, Chinchiná y Villamaría, permitió generar un consolidado del número total de empresas que hacen parte del IE-2022. En la Tabla 24 se muestra el consolidado final de los registros consultados y una comparación con la información del IE-2017.

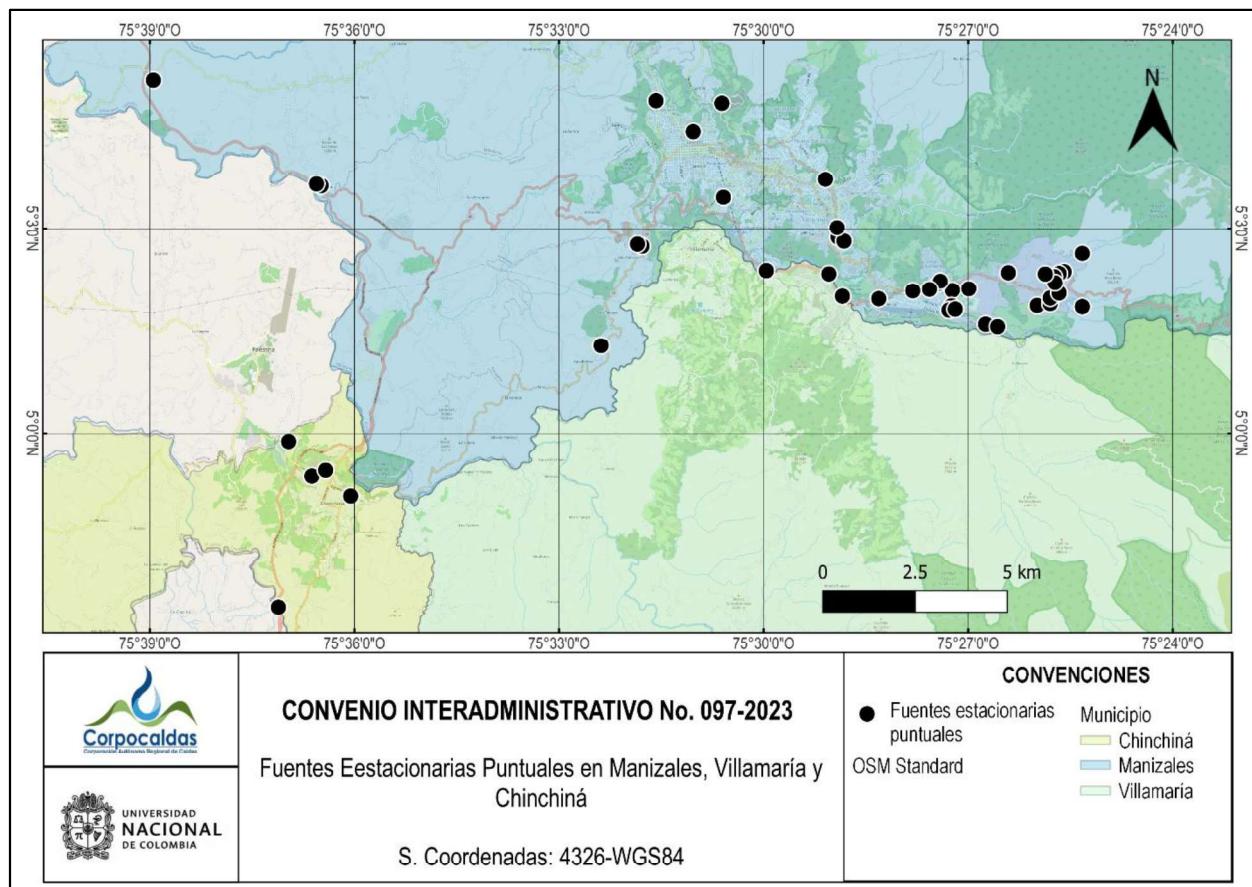
**Tabla 24 Consolidado de información consultada de fuentes estacionarias puntuales y comparación con el IE 2017**

ítem	No. de empresas consultadas, IE año base 2022	No. de empresas consultadas, IE año base 2017
Empresas que registran información en el RUA	25	10
Empresas que cuentan con expediente ambiental	21	33
Nuevas empresas de importancia encontradas	9	11
Empresas eliminadas de la base de datos del IE con respecto al IE-2017	5	NA

*Fuente: propia*

En la Figura 43 se muestra un mapa con la ubicación de las empresas incluidas en el IE-2022. De la información consultada, se eliminó la empresa Hada S.A la cual cerró su operación en la ciudad de Manizales. Asimismo, se encontraron nuevas empresas en comparación con los registros del IE-2017, de las cuales 5 empresas reportan información en el RUA y 4 cuentan con expedientes ambientales. Estas empresas son:

- Luxcafé
- Golosinas Trululu S.A
- Colplas S.A.S
- Nicole S.A.S
- Almacenes Generales de Deposito de Café-Sucursal Manizales
- Industria Normandy S.A
- Dexco Colombia S.A
- Parque crematorio la Aurora
- Descafecol Planta descafeinadora



**Figura 43. Ubicación de fuentes estacionarias puntuales incluidas en el IE-2022**  
Fuente: propia

## 2.2.2.2. Metodología de factores de emisión para estimar emisiones por fuentes estacionarias puntuales

Para los contaminantes no reportados en los informes isocinéticos, se realizó la estimación de emisiones por medio de la metodología de factores de emisión, reportados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés). La metodología permite el cálculo de las emisiones al aplicar la Ec.6, que está en función de un valor de emisión representativo asociado al tipo de contaminante y a una actividad específica.

$$E_p = \sum_{j,k,l} FE_{j,k,l} \times A_{k,l} \times \left(1 - \frac{n_{j,k}}{100}\right) \quad \text{Ec.6}$$

Donde  $E_p$  corresponde a la emisión del contaminante  $p$ .  $FE$  corresponde al factor de emisión.  $A$  corresponde a la actividad anual.  $n$  corresponde a la eficiencia de la tecnología de emisiones utilizada.  $j, k, l$ , corresponden a subíndices que indican tipo de combustible, categoría de fuente de emisión y tipo de tecnología respectivamente.

Los factores de emisión (FE) fueron consultados en su mayoría de la base de datos de la EPA AP-42 (<https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification>). Para complementar la información se utilizaron otras fuentes como:

- IPCC ([http://www.ipcc-ccip.iges.or.jp/EFDB/find\\_ef\\_main.php](http://www.ipcc-ccip.iges.or.jp/EFDB/find_ef_main.php)).
- UNEP (<http://toolkit.pops.int/Publish/Main/Download.html>).
- NPI (<https://www.dcceew.gov.au/environment/protection/npi/reporting/industry-reporting-materials/emission-estimation-technique-manuals>).
- UPME ([https://app.upme.gov.co/Calculadora\\_Emisiones1/new/calculadora.html](https://app.upme.gov.co/Calculadora_Emisiones1/new/calculadora.html)).

Es importante destacar que la metodología descrita de factores de emisión se ha utilizado para estimar emisiones en inventarios previos de Manizales, años base 2014 y 2017 (Gonzalez C. M., 2017; Aristizabal y otros, 2022).

## 2.2.2.3. Cálculos adicionales para reportar flujos de emisión a condiciones locales

A partir de la información consultada de los informes isocinéticos, es necesario realizar una conversión de los flujos de contaminantes reportados a condiciones locales, para considerar la condición real de descarga a la atmósfera. Para ello, se utilizaron las ecuaciones establecidas en el capítulo 21 de la Resolución 909 del 2008 del MAVDT (MAVDT, 2008). En la Tabla 25 se presentan las ecuaciones con su respectiva descripción.

**Tabla 25 Ecuaciones establecidas en la Resolución 909 de 2008 para corrección de condiciones de referencia a condiciones locales de flujos reportados para las fuentes estacionarias puntuales**

Artículo No.	Ecuación	Descripción de variables
86	$C_{CR} = C_{CL} \times \frac{T_{CL} \times P_{CR}}{T_{CR} \times P_{CL}}$	$C_{CR}$ : Concentración del contaminante a acondiciones de referencia en $\text{mg}/\text{m}^3$

Artículo No.	Ecuación	Descripción de variables
		$C_{CL}$ : Concentración del contaminante a acondiciones locales en mg/m <sup>3</sup> $T_{CL}$ : Temperatura de los gases a la salida del ducto en K $T_{CR}$ : Temperatura a condiciones de referencia en K $P_{CR}$ : Presión a condiciones de referencia en mm Hg $P_{CL}$ : Presión de los gases a la salida del ducto en mm Hg
87	$FC = C_{CR} \times \frac{Q_{CR}}{1000000}$	$FC$ : Flujo de contaminante en kg/h $C_{CR}$ : Concentración del contaminante a acondiciones de referencia (25°C, 760 mm Hg) en mg/m <sup>3</sup> $Q_{CR}$ : Flujo del contaminante a acondiciones de referencia (25°C, 760 mm Hg) en m <sup>3</sup> /h
88	$C_{CR(O_2)ref} = C_{CR(X\%)} \times \frac{21\% - \%O_{2ref}}{21\% - X\%}$	$C_{CR(O_2)ref}$ : Concentración del contaminante a acondiciones de referencia con la corrección de oxígeno, basado en el oxígeno de referencia de conformidad con lo establecido en la resolución 909 de 2008 en mg/m <sup>3</sup> $C_{CR(X\%)}$ : Concentración del contaminante a acondiciones de referencia en mg/m <sup>3</sup> $\%O_{2,ref}$ : Oxígeno de referencia de la medición, de conformidad con lo establecido en la resolución 909 de 2008, en (%) $X\%$ : Porcentaje de oxígeno medido a la salida de los gases

Fuente: Adaptado de la Resolución 909 de 2008 (MAVDT, 2008)

## 2.2.3. METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR FUENTES ESTACIONARIAS DE ÁREA ASOCIADAS A ESTACIONES DE SERVICIO DE COMBUSTIBLE

### 2.2.3.1. Aproximación para el cálculo de emisiones y registros de actividad

La estimación de emisiones por fuentes estacionarias de área para estaciones de servicio de venta de combustible se realizó empleando una aproximación top-down, a través de la metodología de factores de emisión. Se consultó la información necesaria para los municipios de Manizales, Chinchiná y Villamaría del COMCE (Confederación de Distribuidores Minoristas de Combustibles y Energías) en la página de consulta SOLDICOM (<https://fondosoldicom.com/ventas-de-combustibles/>).

Teniendo en cuenta que para el año base no se contaba con la información completa de los registros mensuales diferenciados por tipo de combustible (diésel, gasolina corriente y extra), se consultó además los reportes del Ministerio de Minas y Energía por medio de la página de consulta Minenergía datos abiertos (<https://www.datos.gov.co/Minas-y-Energ-a/Distribuidores-Mayoristas-Despacho-de-combustibles/339g-zjacbia>). En la Tabla 26 se presenta la

información obtenida, la cual fue utilizada como información de actividad para la estimación de emisiones anuales de compuestos orgánicos volátiles (COV o VOC por sus siglas en inglés).

**Tabla 26 Ventas mensuales de combustible (galones) en estaciones de servicio de Manizales, Chinchiná y Villamaría durante 2022**

Periodo	Gasolina Corriente			Gasolina Extra			Diésel (ACPM)		
	Manizales	Chinchiná	Villamaría	Manizales	Chinchiná	Villamaría	Manizales	Chinchiná	Villamaría
Enero	1726768	211559	232320	60803	8438	6307	782130	115778	158625
Febrero	1691262	198885	215933	50520	4624	5670	794956	119046	162505
Marzo	1878303	219523	224182	53353	5024	5845	885218	129399	179847
Abril	1821728	215350	235222	54422	4467	4075	822313	126715	177172
Mayo	1820074	212918	219540	44514	4479	5345	899660	132606	188625
Junio	1406452	169733	177597	44766	4334	3425	865285	124708	158166
Julio	1838337	218401	221963	43174	4334	4860	894759	127400	175887
Agosto	1898366	223671	271669	44111	3784	4740	928296	129570	187339
Septiembre	1868046	227609	276072	39992	5701	4860	913319	127255	176910
Octubre	1829559	209851	261665	32994	2210	5030	876791	125365	163868
Noviembre	1784728	225706	261765	36687	2577	4485	886103	124042	164692
Diciembre	2059415	238484	283187	48475	5444	5320	887552	126218	180849
<b>TOTAL</b>	<b>21623038</b>	<b>2571690</b>	<b>2881115</b>	<b>553811</b>	<b>55416</b>	<b>59962</b>	<b>10436382</b>	<b>1508102</b>	<b>2074485</b>

Fuente: SOLDICOM (<https://fondosoldicom.com/ventas-de-combustibles/>) y Minenergía (<https://www.datos.gov.co/Minas-y-Energia/Distribuidores-Mayoristas-Despacho-de-combustibles/339g-zjacbia>)

### 2.2.3.2. Factores de emisión empleados

Para realizar los respectivos cálculos de emisiones de VOC se aplicó la misma metodología utilizada en el IE-2017 de Manizales, metodología que fue aplicada también en el área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA y UPB, 2015) empleando la Ec.7.

$$E_i = EF_i \times V_i \times 10^{-6} \quad \text{Ec.7}$$

Donde,  $i$  corresponde al tipo de combustible (gasolina corriente, gasolina extra y diésel),  $Ei$  es la emisión de VOC asociado al combustible  $i$  en kg/año,  $EF$  es el factor de emisión del combustible  $i$  en mg/L,  $V$  son las ventas anuales del combustible  $i$  en L/año. Los factores de emisión asociados a la distribución, almacenamiento, llenado de tanques y derrames se tomaron de la base de datos de la EPA-AP42 para gasolina extra, corriente y diésel (ver Tabla 27).

**Tabla 27 Factores de emisión para estimación de emisiones de VOC por almacenamiento y distribución de combustibles**

Fuente de emisión	FE (mg/L)
<b>Gasolina</b>	
Llenado del tanque subterráneo	
Tubería sumergida	880

Fuente de emisión	FE (mg/L)
Tubería no sumergida	1380
Tubería sumergida con control de emisiones	40
Contracción y expansión de los gases en el tanque subterráneo	120
Llenado de vehículos	
Perdidas por desplazamiento (sin control)	1320
Perdidas por desplazamiento (controladas)	132
Derrames	80
<b>Diésel -ACPM</b>	
Incluye el llenado de tanques subterráneos, el llenado de los vehículos y la contracción y expansión de vapores en el tanque subterráneo	176

Fuente: (Valencia, 2019)

### 2.2.3.3. Consolidación de registros de estaciones de servicio vigentes

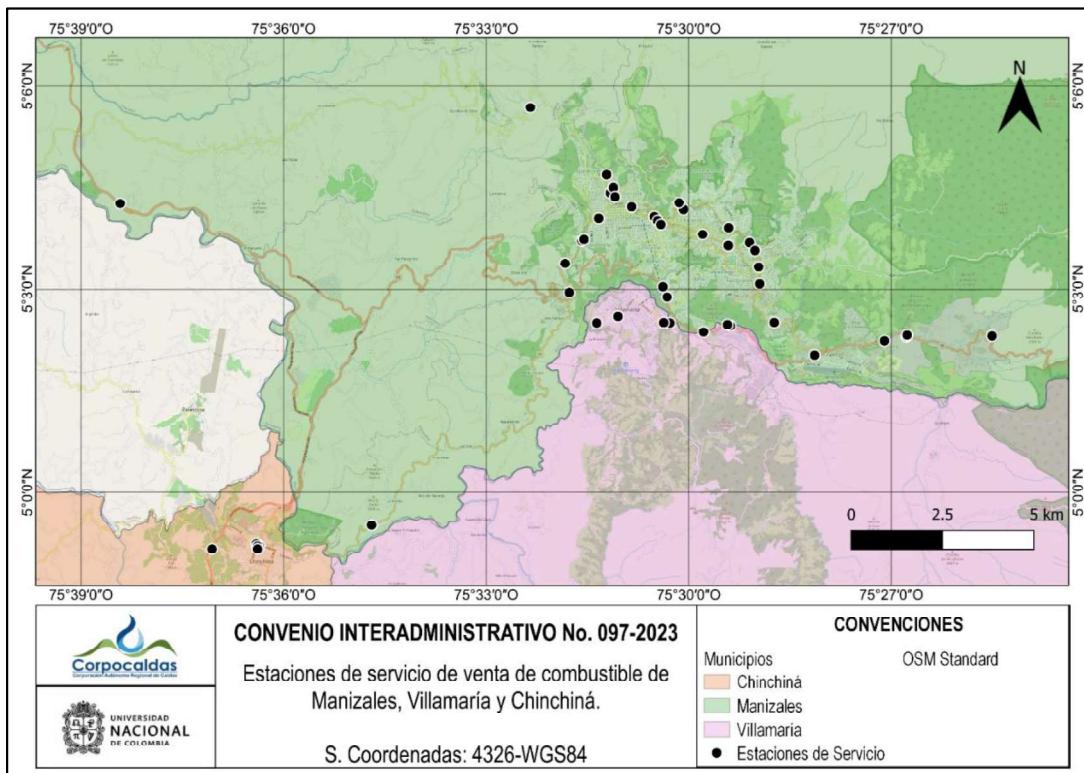
A partir de la información de ventas anuales de combustible y los factores de emisión descritos previamente, es posible obtener las emisiones totales anuales de VOC por fuentes estacionarias de área para estaciones de servicio de venta de combustible. Sin embargo, con el objetivo de realizar en etapas posteriores la desagregación espaciotemporal de las emisiones, se obtuvieron los registros oficiales de estaciones de servicio activas para el año base 2022. La información presentada en la Tabla 28 resume la ubicación de las 45 estaciones de servicio activas, de las cuales 33 se encuentran en Manizales, 5 en Chinchiná y 7 en Villamaría. La Figura 44 muestra un mapa con la ubicación de las estaciones de servicio de venta de combustible.

Tabla 28 Listado de estaciones de servicio de venta de combustible en Manizales, Chinchiná y Villamaría

ESTACIONES DE SERVICIO	LONGITUD	LATITUD	MUNICIPIO
ESTACIÓN DE SERVICIO LA ENEA I	-75.446238	5.038315	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO LA ENEA II	-75.446066	5.038664	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO LOS CEDROS	-75.50129738	5.06959	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO MALTERIA	-75.425117	5.038431	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO TEXACO PANAMERICANA	-75.50532538	5.048063	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO LA ESMERALDA No. 2	-75.640346	5.071083	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO LA PLAZUELA - OPS	-75.484973	5.061441	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO NORMANDIA	-75.529471	5.049224	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO SOCOBUSES	-75.51932886	5.073748	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO ARAUCA	-75.51859	5.075017	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO AUTOMOTRIZ LIQUIDOS Y GAS MANIZALES Terpel	-75.52637	5.06189	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO EL TREBOL P Y R S.A.	-75.478889	5.041854	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO LA PANAMERICANA (Lopez)	-75.51820736	5.072774	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO LAURELES (AZUL LTDA)	-75.482729	5.055464	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO CENTRAL DE COMBUSTIBLES SAN ANTONIO	-75.52221	5.06745	Manizales

ESTACIONES DE SERVICIO	LONGITUD	LATITUD	MUNICIPIO
ESTACIÓN DE SERVICIO OCCIDENTE	-75.52025791	5.07814	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO LAS PALMAS MANIZALES	-75.490227	5.060723	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO FUNDADORES	-75.508498	5.067838	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO CERVANTES	-75.507667	5.066826	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO CENTENARIO	-75.525861	5.062191	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO AVENIDA DEL RÍO DISTRACOM S.A.	-75.49014	5.06516	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO CALDAS	-75.506872	5.065958	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO UNITRANS	-75.53909171	5.094702	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO SAN MARCEL	-75.468916	5.033819	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO MIXTA AUTOMOTRIZ LA TERMINAL DE TRANSPORTES DE MANIZALES	-75.50636508	5.050649	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO LAVAUTOS	-75.496564	5.063475	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO CAMPEROS DEL CAFÉ	-75.514106	5.070234	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO SANTA SOFIA	-75.530508	5.056338	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO LA ROSA	-75.57829153	4.991902	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO LA ALHAMBRA	-75.451678	5.037256	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO BOMBA EL RIO	-75.5023592	5.071274	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO DIALOGAR	-75.4824722	5.051364	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO CENTRO DE DIAGNOSTICO AUTOMOTOR (CDA)	-75.4836472	5.059522	Manizales
ESTACIÓN DE SERVICIO DISTRIBUIDORA AVENIDA	-75.60602088	4.986953	Chinchiná
ESTACIÓN DE SERVICIO LA PAZ- AIDAMA S.A. - CHINCHINA	-75.61766386	4.986099	Chinchiná
ESTACIÓN DE SERVICIO LA VARIANTE (El Edén)	-75.60672357	4.987388	Chinchiná
ESTACIÓN DE SERVICIO SAN FRANCISCO	-75.60644384	4.986798	Chinchiná
ESTACIÓN DE SERVICIO SAN VICENTE	-75.60642824	4.986116	Chinchiná
ESTACIÓN DE SERVICIO LA VILLA	-75.5046542	5.041725	Villamaría
ESTACIÓN DE SERVICIO SAN JUAN	-75.4897216	5.041034	Villamaría
ESTACIÓN DE SERVICIO LA MARÍA	-75.5061669	5.041817	Villamaría
ESTACIÓN DE SERVICIO TEXACO LA PRADERA	-75.5174617	5.043328	Villamaría
ESTACIÓN DE SERVICIO INVERSIONES SIDERAL	-75.5227071	5.041732	Villamaría
ESTACIÓN DE SERVICIO LA FLORIDA PRIMAX	-75.4904281	5.041313	Villamaría
ESTACIÓN DE SERVICIO FLORIDA	-75.49635742	5.039458	Villamaría

Fuente: elaboración propia a partir de información suministrada por Corpocaldas



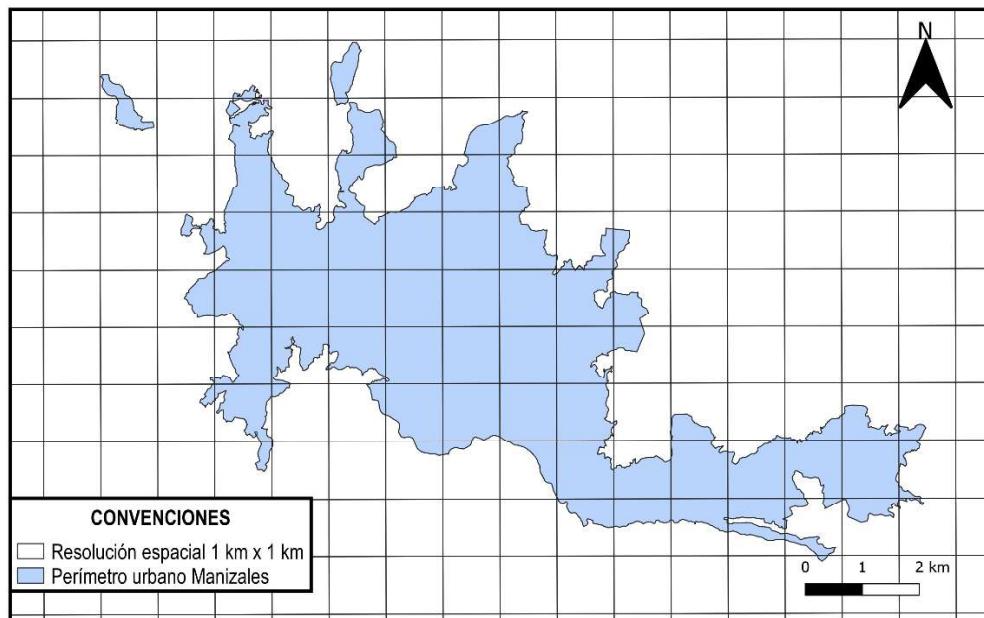
**Figura 44 Ubicación de estaciones de servicio de venta de combustible en Manizales, Chinchiná y Villamaría**  
Fuente: propia

## 2.2.4. DESAGRACIÓN ESPACIOTEMPORAL DEL INVENTARIO DE EMISIONES

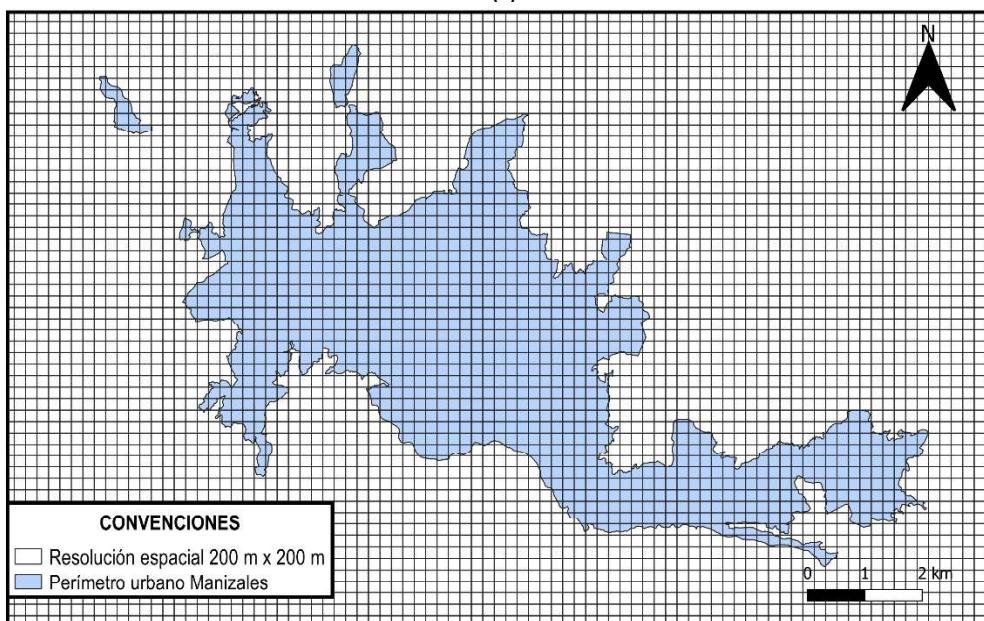
La desagregación espacial y temporal del inventario de emisiones posibilita la agrupación de diferentes fuentes de emisión en celdas de escala menor que el dominio definido como alcance geográfico del IE. Este proceso facilita, entre otros, la diferenciación entre zonas con mayor o menor presencia de fuentes de emisión, así como la identificación de posibles zonas críticas de emisión de acuerdo con cada contaminante específico. Por ende, la variabilidad espacial en la distribución de las fuentes permite identificar las zonas que requieren un mayor control o vigilancia, así como posibles zonas que puedan estar expuestas a una mayor presión con posibles efectos adversos en la calidad del aire. De otra parte, la desagregación temporal permite obtener perfiles de distribución temporal de emisiones, estableciendo la variabilidad horaria de las mismas en un día típico, aspecto de utilidad para definir posibles horas pico de emisión.

Independientemente del enfoque de estimación de emisiones, la metodología para realizar la desagregación espacial consiste en definir la distribución de subunidades o celdas en el área de estudio. Esta división se realiza mediante el establecimiento de una cuadricula, que tienen un tamaño o resolución espacial definida en cada una de sus celdas (Gómez, 2017). Posteriormente, se establece una asociación entre estas celdas y características específicas de las fuentes de emisión mediante un sistema de información geográfico. De otra parte, la distribución temporal se realiza aplicando una función de distribución horaria a las emisiones totales diarias.

Para las fuentes móviles y estacionarias se generaron dos cuadrículas en el dominio que abarca los municipios de Manizales, Villamaría y Chinchiná, con resolución espacial de 1 km x 1 km y 200 m x 200 m. La Figura 45 muestra la representación de cada malla descrita realizando un acercamiento sobre el área urbana de Manizales.



(a)



(b)

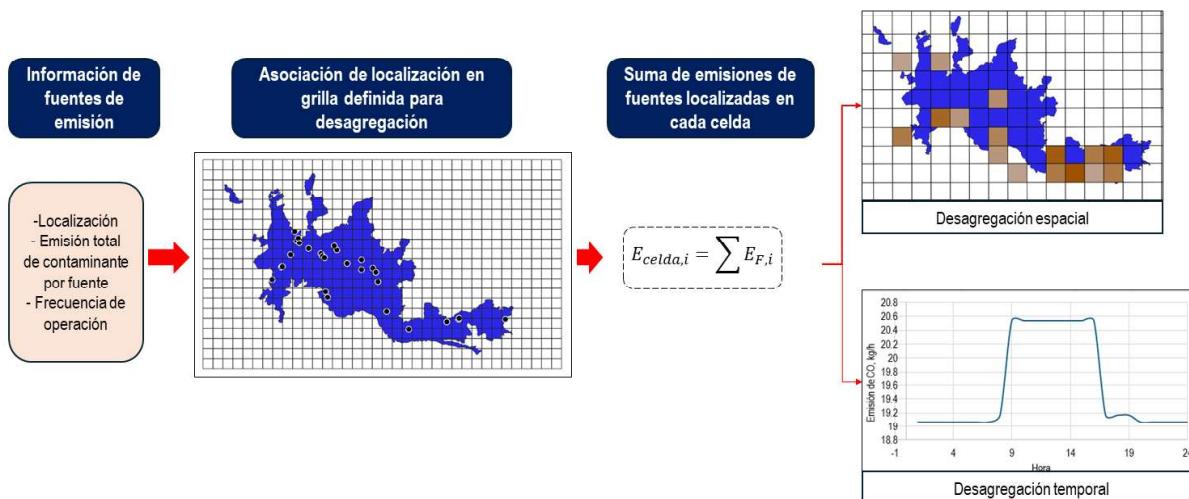
Figura 45. Representación de cuadrícula definida para la desagregación espaciotemporal del IE, con acercamiento sobre el área Urbana de Manizales. a) Resolución espacial de 1 km x 1 km. b) Resolución espacial de 200 m x 200 m

Fuente: propia

#### 2.2.4.1. Metodología para la desagregación espaciotemporal del inventario de emisiones de fuentes estacionarias

La metodología para realizar la desagregación espacial de fuentes estacionarias se basó en la asociación de las celdas generadas en la cuadrícula, con resolución espacial definida, y la información de ubicación de las fuentes de emisión empleando un sistema de información geográfico. Para fuentes estacionarias puntuales, y para aquellas fuentes de área cuyo tamaño es inferior al tamaño de cada celda, las emisiones individuales contenidas en las celdas son sumadas para obtener una emisión total por celda. Los resultados de emisión se reportan en términos de flujos de emisión por unidad de área o por celda.

Para la desagregación temporal de las emisiones por fuentes estacionarias, la función de distribución se obtuvo a partir de los horarios de operación de las fuentes inventariadas, asumiendo una descarga uniforme de los contaminantes durante las jornadas laborales establecidas en la fase de levantamiento de información. En la Figura 46 se presenta un esquema resumen de la metodología para la desagregación espaciotemporal de emisiones por fuentes estacionarias. Es importante mencionar que, a partir de los expedientes ambientales e información suministrada por Corpocaldas, se obtuvieron datos de ubicación de las fuentes y tiempos de operación para fuentes estacionarias puntuales, asociados con las jornadas laborales de cada industria. Para las fuentes estacionarias de área, se asignó una distribución uniforme de 24 horas de operación.



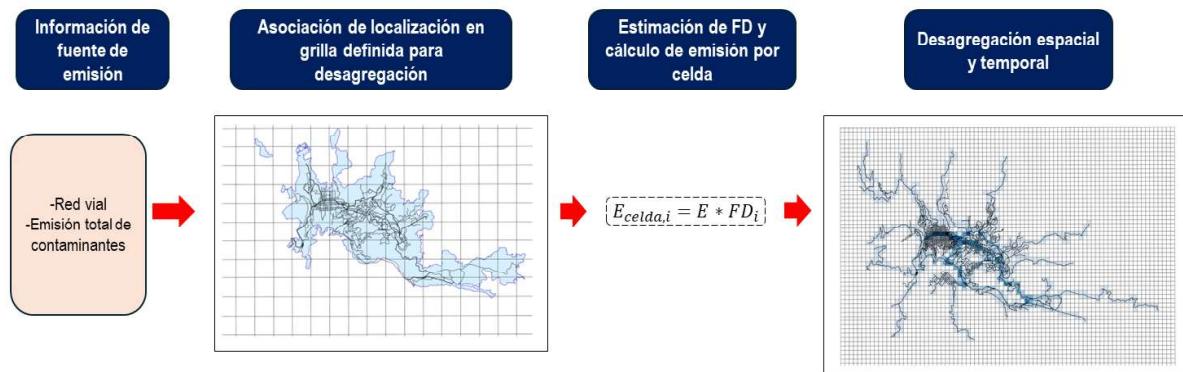
**Figura 46. Esquema de desagregación espaciotemporal para emisiones por fuentes estacionarias**  
Fuente: propia

## 2.2.4.2. Metodología para la desagregación espaciotemporal del inventario de emisiones para fuentes móviles

La desagregación espacial de fuentes móviles en ruta fue realizada en función de la aproximación empleada para el cálculo de las emisiones. Para el caso de Manizales y Villamaría, donde la estimación se basó en una aproximación bottom-up en la cual se obtienen resultados de emisión por acto de vía, la desagregación espacial consistió en agregar las emisiones de los arcos que se encuentran dentro de cada celda definida para la distribución de emisiones. De otra parte, en el caso de una estimación top-down, como la realizada para el municipio de Chinchiná, fue empleada la herramienta DROVE (Gonzalez et al., 2020), la cual permite la desagregación de emisiones vehiculares a través de la

obtención de factores de desagregación (FD) por celda, que son multiplicados por las emisiones totales por categoría vehicular para obtener emisiones distribuidas en el dominio de interés. La mínima información de entrada que requiere DROVE la componen los flujos de emisión totales, la distribución de la red vial en términos de la longitud de arcos de vía y la definición del dominio de desagregación con la distribución de celdas a una resolución espacial definida.

De otra parte, la desagregación temporal de emisiones vehiculares fue realizada aplicando una función de distribución de tráfico horario para un día laboral típico. Para la conformación de la función de distribución, se emplearon los valores reportados en el PMM2017 (Steer Davies Gleave, 2017) sobre los perfiles de tráfico para cada categoría vehicular. En la Figura 47 se presenta un esquema resumen de la metodología para la desagregación espaciotemporal de emisiones por fuentes móviles en ruta a partir de una aproximación top-down, esquema similar al aplicado en función de una aproximación bottom-up, con la única diferencia que se suprime el paso de cálculo de factores de desagregación por celda.



**Figura 47. Esquema de desagregación espaciotemporal para emisiones por fuentes móviles en ruta**  
Fuente: propia

## 2.3. RESULTADOS DE EMISIONES POR FUENTES MÓVILES EN RUTA, AÑO BASE 2022

A partir de los resultados actualizados de la conformación del parque automotor, perfil de antigüedad, perfil de velocidad, actividad vehicular, composición fisicoquímica de los combustibles y meteorología para el año base 2022, se utilizó el modelo MOVES-Colombia para estimar los factores de emisión ajustados por categoría vehicular empleados en el modelo bottom-up simplificado de Manizales y Villamaría, así como para estimar las emisiones del municipio de Chinchiná mediante una aproximación top-down.

Es importante destacar que el modelo bottom-up desarrollado como parte de este estudio involucra las emisiones conjuntas de los municipios de Manizales y Villamaría, debido a su cercanía y relaciones intrínsecas en términos de las dinámicas de tráfico. Por lo tanto, los resultados consolidados se muestran en este documento para ambos municipios y se presentan aparte los datos de emisión obtenidos para Chinchiná.

### 2.3.1. FLUJOS DE EMISIÓN TOTALES POR CATEGORÍA VEHICULAR

La Tabla 29 muestra los resultados de emisiones totales por categoría vehicular para contaminantes criterio, BC, VOC y gases efecto invernadero. Las emisiones involucran procesos en ruta, evaporativos y resuspensión. Como era de esperarse, en todos los municipios se obtuvieron emisiones mayoritarias para contaminantes como CO, CO<sub>2</sub> y VOC.

Tabla 29. Emisiones por fuentes móviles en ruta año base 2022 – Flujos totales (ton/año)

Categoría vehicular	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	BC	VOC	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
<b>Manizales y Villamaría</b>										
Motocicleta	12455.49	225.10	4.40	110.18	61.71	2.39	1104.77	60911.68	25.08	1.70
Vehículo particular	8450.37	1309.08	5.29	36.60	12.06	2.04	1035.74	146865.04	80.44	2.17
Camioneta	8550.17	1757.03	5.76	80.98	54.29	18.70	935.95	206399.07	127.25	3.65
Taxi	3201.25	369.16	1.21	11.89	3.75	0.31	189.66	48741.29	248.37	1.79
Bus	470.11	978.77	1.09	84.19	44.93	26.05	132.60	57121.99	58.75	0.75
Pesado 2 y 3 ejes	3077.09	1997.78	3.17	109.31	63.50	39.48	236.15	139787.61	130.64	1.25
<b>Total</b>	<b>36204.49</b>	<b>6636.91</b>	<b>20.93</b>	<b>433.15</b>	<b>240.23</b>	<b>88.97</b>	<b>3634.87</b>	<b>659826.68</b>	<b>670.53</b>	<b>11.32</b>
<b>Chinchiná</b>										
Motocicleta	4476.09	36.05	0.71	6.35	3.80	0.51	213.13	21286.78	4.24	0.32
Vehículo particular	840.66	43.94	0.14	1.54	0.90	0.21	137.68	4178.26	3.62	0.64
Camioneta	935.69	71.54	0.17	2.84	2.49	1.07	172.27	6088.91	5.39	1.50
Taxi	260.22	14.73	0.06	0.26	0.20	0.03	13.30	1809.11	1.86	0.05
Bus	64.91	19.57	0.05	2.00	1.40	0.40	9.41	2492.61	1.12	0.11
Pesado 2 y 3 ejes	202.38	152.72	0.22	14.52	10.65	3.94	24.63	15742.18	9.08	0.23
<b>Total</b>	<b>6779.95</b>	<b>338.56</b>	<b>1.34</b>	<b>27.51</b>	<b>19.43</b>	<b>6.15</b>	<b>570.43</b>	<b>51597.85</b>	<b>25.32</b>	<b>2.85</b>
<b>Total Manizales, Villamaría y Chinchiná</b>	<b>42984.44</b>	<b>6975.47</b>	<b>22.27</b>	<b>460.66</b>	<b>259.66</b>	<b>95.12</b>	<b>4205.31</b>	<b>711424.52</b>	<b>695.85</b>	<b>14.16</b>

Fuente: propia

En relación con la contribución de cada categoría vehicular a las emisiones de contaminantes del aire, la Figura 48 muestra los aportes porcentuales por categoría. En el caso de Manizales y Villamaría, las categorías con mayor presencia en el parque automotor como motocicletas, vehículo particular y camioneta, contribuyeron mayoritariamente a las emisiones de contaminantes como CO, VOC, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O. En el caso de categorías que utilizan predominantemente diésel como combustible como lo son buses y vehículos pesados, caracterizadas por un bajo porcentaje en la flota vehicular, se destacan sus contribuciones a las emisiones de contaminantes como material particulado (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), BC y NO<sub>x</sub>. Finalmente, la categoría de taxis, también con un bajo porcentaje en la flota, tiene predominancia en emisiones de metano (CH<sub>4</sub>), un gas de importancia en cambio climático.

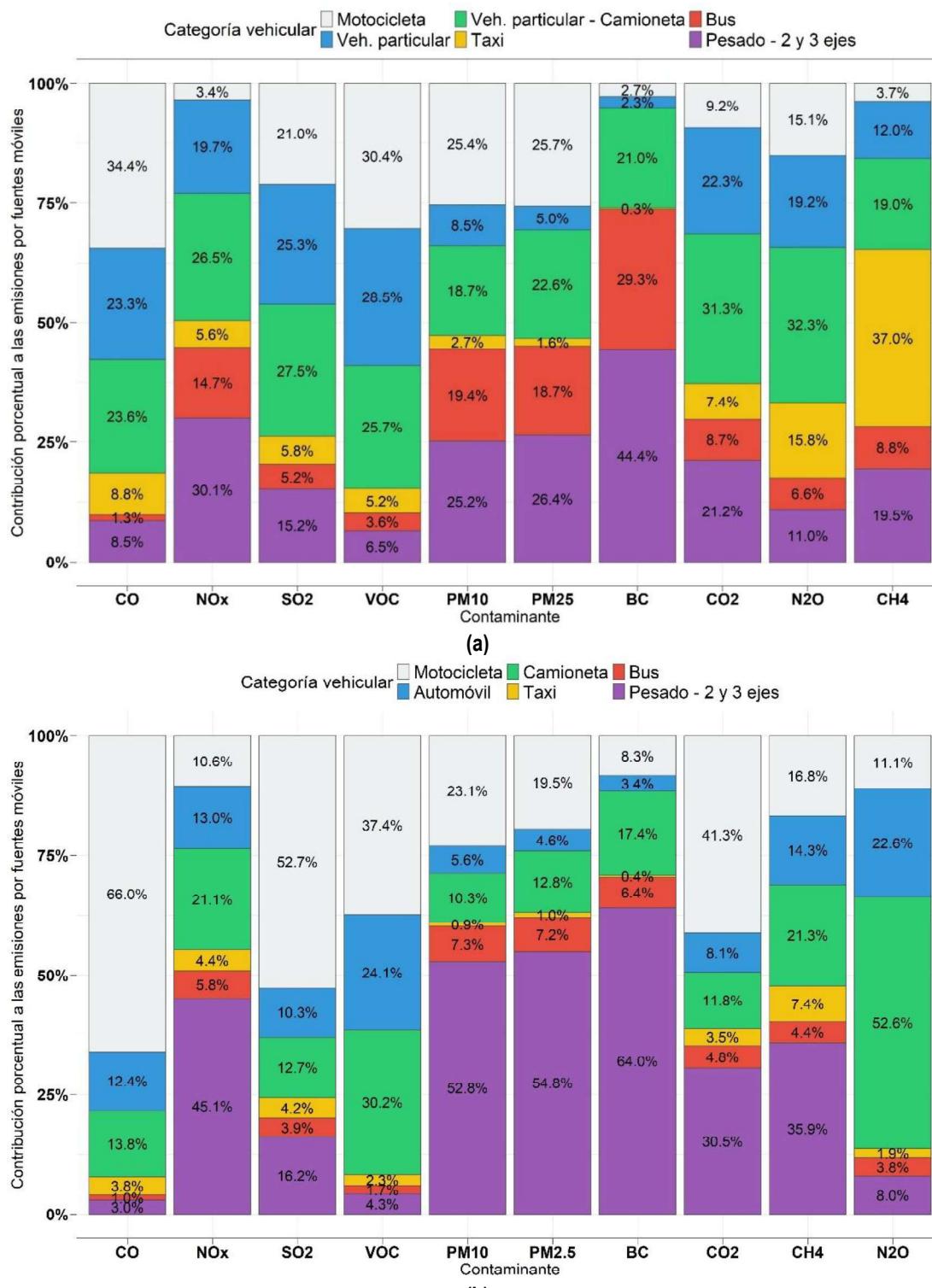
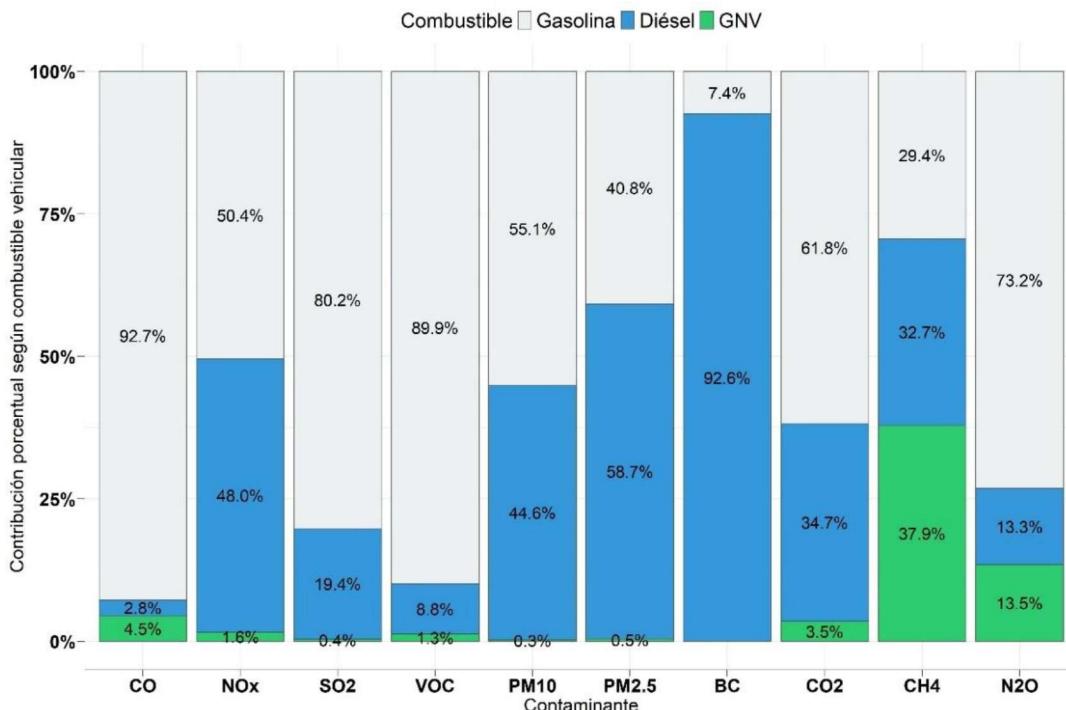


Figura 48. Contribución a las emisiones por categoría vehicular del IE año base 2022. a) Manizales y Villamaría. b) Chinchiná

Fuente: propia

En términos de la contribución del tipo de combustible a las emisiones en Manizales y Villamaría (los municipios de mayor contribución), se destaca que el uso diésel, un combustible que es utilizado por menos del 6% de la flota vehicular, tiene un aporte importante en las emisiones de contaminantes como NOx (48%), material particulado PM<sub>10</sub> (44.6%), PM<sub>2.5</sub> (58.7%) y BC (92.6%). La gasolina, combustible predominante en la flota vehicular, tuvo un aporte mayoritario en contaminantes como CO (92.7%), VOC (89.9%), SO<sub>2</sub> (80.2%), CO<sub>2</sub> (61.8%) y N<sub>2</sub>O (73.2%), resultados que se muestran en la Figura 49.



**Figura 49. Contribución a las emisiones vehiculares por tipo de combustible para Manizales y Villamaría**  
Fuente: propia

### Variación entre las emisiones por fuentes móviles de los IE años base 2017 y 2022

Con fines comparativos, en la Tabla 30 se muestra la variación porcentual de los flujos de emisiones contaminantes del IE-2022 respecto al IE-2017. Para realizar esta comparación, se realizó un ejercicio de estimación empleando la misma metodología y aproximación a partir del modelo MOVES-Colombia.

Los resultados sugieren que se obtuvo una disminución en la mayoría de los contaminantes para todas las categorías vehiculares, a excepción de la categoría de transporte de carga de camiones de 2 ejes, donde todas emisiones de contaminantes aumentaron. Este aumento de las emisiones para la categoría de vehículos de puede estar relacionado con factores como el incremento de la actividad vehicular estimado para su uso en el modelo de emisiones MOVES, el cual pasó de 50 km/día en 2017 a 70 km/día en 2022.

Disminuciones en la categoría de motocicletas en contaminantes como CO, cercanas al 49%, se relacionan también con una disminución de la actividad vehicular para el año base 2022, la cual pasó de 23 km/día en 2017 a 15 km/día

en 2022. De igual manera, se asocia la reducción de emisiones en la categoría de taxis y buses, donde la actividad vehicular pasó de 199 km/día y 168 km/día respectivamente en 2017 a 168 km/día y 128 km/día en 2022.

En el caso de la categoría de vehículos particulares, perfil de antigüedad de los vehículos en cada IE podría tener una incidencia importante en las disminuciones de contaminantes como CO, NO<sub>x</sub>, COV, CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. Para 2017 el 18% de los vehículos tenían 15 años de antigüedad (modelo de vehículos comprendidos desde 2001 a 1987), mientras que los resultados para el año base 2022 sugieren que el 10% de los vehículos tenían 10 años de antigüedad comprendiendo los mismos años modelos de vehículos desde 2001 a 1992.

Es decir, en el IE-2022 se tuvieron mayores distribuciones porcentuales de vehículos con años modelos más nuevos relacionados directamente con tecnologías más eficientes y limpias. En cuanto a la actividad vehicular diaria, se destaca que la variación obtenida fue pequeña, de 2 km/día entre ambos IE. De igual forma, se asocia el aumento del 35% de emisiones de CO en la categoría de camionetas a los cambios en la actividad vehicular, pasando de 25 km/día en 2017 a 32 km/día en 2022.

Disminuciones significativas (>70%) obtenidas en las emisiones de SO<sub>x</sub> se asocian a la actualización en la composición química de los combustibles, específicamente a los contenidos de azufre. En el IE-2017 los contenidos de azufre fueron de 300 ppm en la gasolina y 50 ppm en el diésel, comparado con contenidos de 50 ppm y 20 ppm de azufre en la gasolina y diésel respectivamente en el IE 2022. Este cambio también tiene una influencia en la disminución presentada para las emisiones de material particulado. La gasolina es utilizada principalmente por categorías como vehículos particulares y motocicletas que aumentaron su número en la flota. A pesar de que estas categorías presentaron comparativamente un incremento porcentual en su aporte a las emisiones de PM con respecto al 2017, los cambios de actividad vehicular en cada categoría tienen un peso mayor en comparación con el aumento del número de vehículos en la flota entre 2017 y 2022.

**Tabla 30. Comparativo de la diferencia porcentual de los flujos de emisiones de los IE años base 2017 y 2022, obtenidos aplicando una aproximación top-down**

Categoría vehicular	MOVES (2017-2022)									
	CO	NOx	SO2	PM10	PM2.5	COV	CO2	N2O	CH4	
Motocicleta	-49%	-16%	-85%	-7%	-1%	-12%	-12%	-21%	-32%	
Vehículo particular	-22%	-64%	-84%	16%	37%	-35%	-2%	16%	-69%	
Camioneta	53%	-38%	-74%	-6%	-22%	-12%	31%	32%	-36%	
Taxi	-50%	-80%	-92%	-47%	-44%	-78%	-36%	195.2%	74%	
Bus	-44%	-70%	-84%	-75%	-77%	-72%	-63%	-50%	-38%	
Camión 2 ejes	277%	80%	21%	49%	30%	153%	148%	286%	113%	
Camión ≥ 3 ejes	-6%	-63%	-80%	-65%	-68%	-12%	-57%	-27%	-48%	
<b>Total general</b>	<b>-34%</b>	<b>-56%</b>	<b>-83%</b>	<b>-47%</b>	<b>-55%</b>	<b>-30%</b>	<b>-14%</b>	<b>12%</b>	<b>-32%</b>	

Nota: El signo positivo indica una mayor emisión del IE año base 2022 respecto al IE año base 2017.

Fuente: propia

## **2.4. RESULTADOS DE EMISIONES POR FUENTES ESTACIONARIAS, AÑO BASE 2022**

### **2.4.1. EMISIONES POR FUENTES ESTACIONARIAS PUNTUALES**

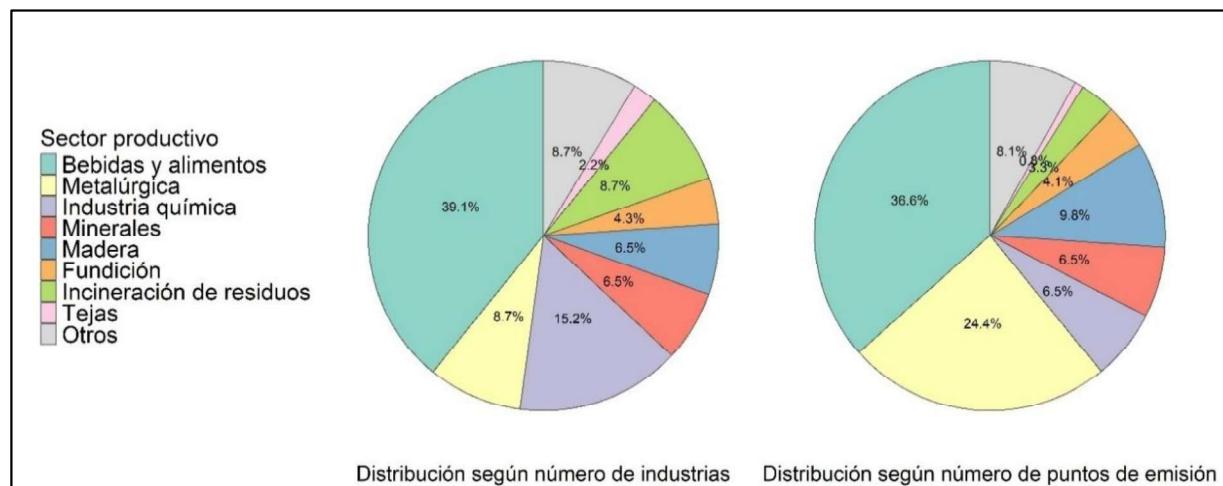
#### **2.4.1.1. Conformación de sector industrial inventariado**

En la Tabla 31 se presenta un resumen del número de puntos de emisión y empresas diligenciadas según el tipo de industria en los tres municipios evaluados. Se analizaron 46 empresas con un total de 123 puntos de emisión, los cuales se distribuyen mayoritariamente en Manizales (87%). En cuanto a la distribución porcentual de las fuentes por tipo de industria o sector productivo, en función del número de industrias y puntos de emisión (Figura 50), la industria de bebidas y alimentos es el sector predominante. Comparando la distribución de los sectores productivos obtenidos para 2022 y 2017 (año base del IE previo) en relación con el número de puntos de emisión, se observa en general una distribución similar en términos de la distribución de los sectores productivos, se destacan leves incrementos porcentuales en sectores como bebidas y alimentos, metalúrgica, minerales y madera, tal como se muestra en la Figura 50.

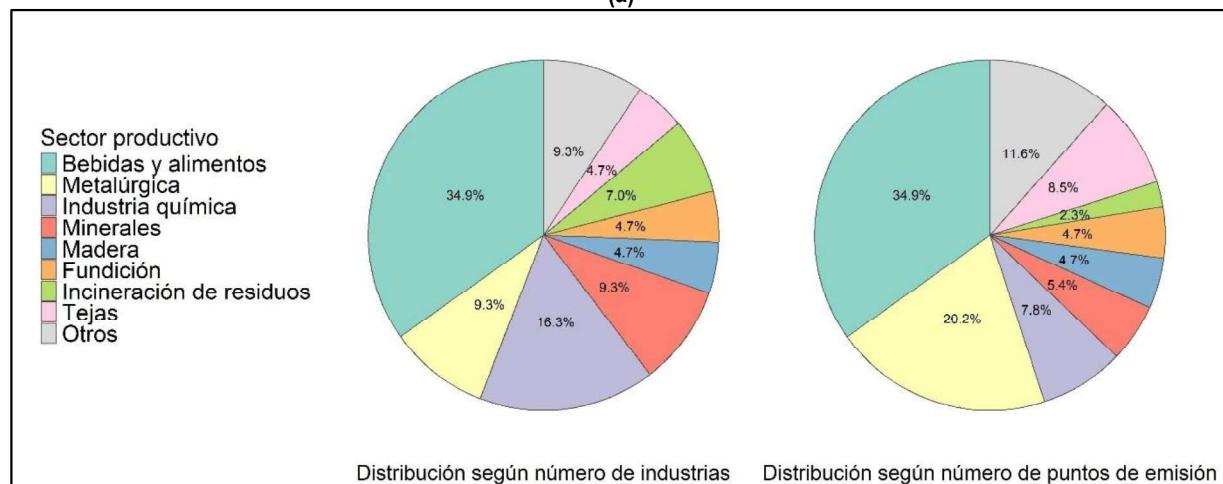
**Tabla 31. Distribución de puntos de emisión según tipo de industria**

Municipio	No. Empresas	No. Fuentes emisión
<b>Manizales</b>	<b>39</b>	<b>107</b>
Bebidas y alimentos	14	32
Fundición	2	5
Incineración de residuos	1	1
Industria química	7	8
Madera	3	12
Minerales	3	8
Tejas	1	1
Metalúrgica	4	30
Otros	4	10
<b>Chinchiná</b>	<b>5</b>	<b>14</b>
Bebidas y alimentos	4	13
Incineración de residuos	1	1
<b>Villamaría</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
Incineración de residuos	2	2
<b>TOTAL</b>	<b>46</b>	<b>123</b>

*Fuente: propia*



(a)



(b)

**Figura 50. Distribución de sectores industriales inventariados en función del número de empresas (izquierda) y puntos de emisión (derecha) en la totalidad de municipios involucrados en el IE. a) IE-2022. b) IE-2017**

Fuente: propia

#### 2.4.1.2. Flujos totales de emisión por fuentes estacionarias puntuales

A partir de la información diligenciada y depurada, se realizó el consolidado de emisiones por fuentes estacionarias puntuales. La Tabla 32 presenta un resumen de los resultados de emisión obtenidos para las fuentes estacionarias puntuales de los municipios de Manizales, Villamaría y Chinchiná; mientras que la Figura 51 presenta los resultados de las contribuciones porcentuales de emisión de cada contaminante por municipio. Los resultados muestran como Manizales tiene las mayores contribuciones a las emisiones de todos los contaminantes, con porcentajes superiores al 50%, resultado que se explica por la presencia de un mayor número de industrias y, por ende, puntos de emisión. Con respecto a los contaminantes criterio, en los municipios de Villamaría y Chinchiná el contaminante NOx fue el que tuvo una mayor contribución, destacando a su vez que los aportes de Villamaría son notablemente inferiores, representando menos del 1% del total de emisiones. En cuanto a Chinchiná, también se observan aportes bajos en general, con excepción de los contaminantes NO<sub>x</sub> y N<sub>2</sub>O, los cuales tienen contribuciones de 30% y 44%

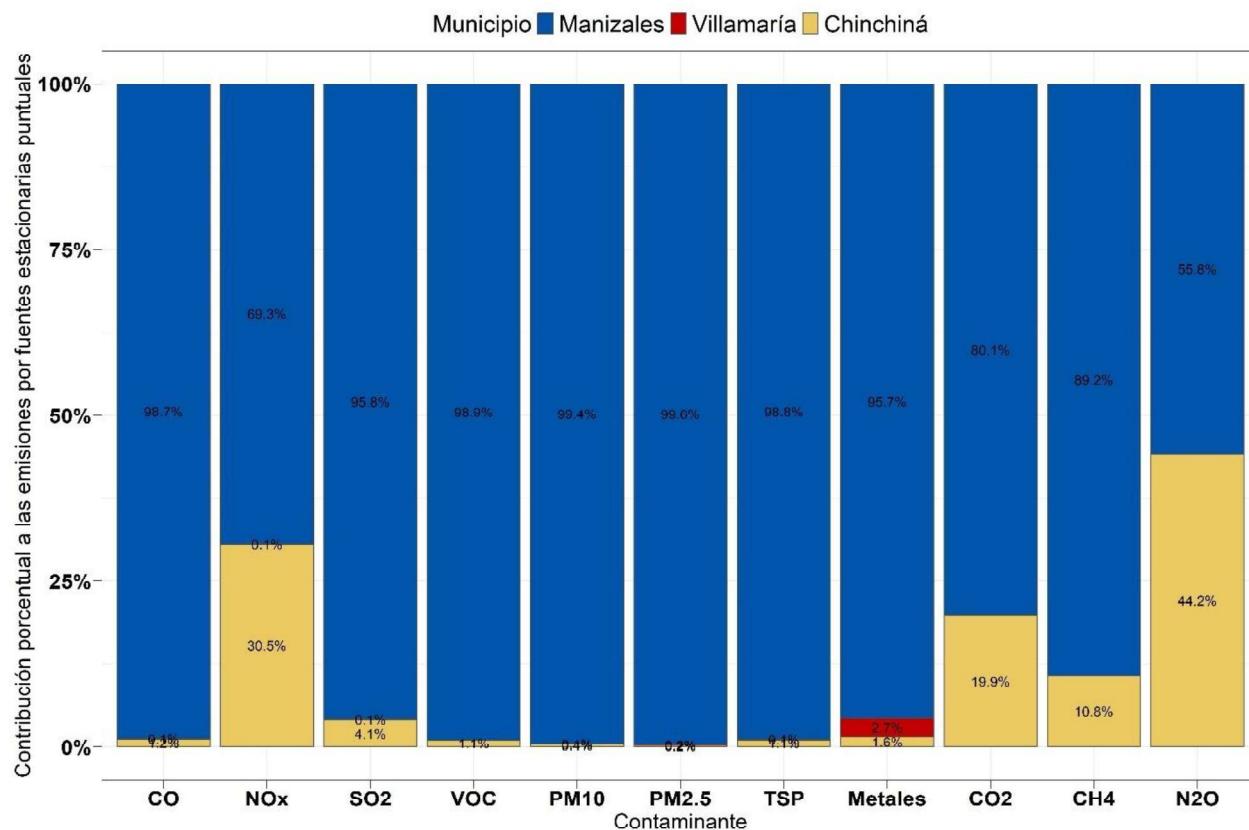
respectivamente. Estas emisiones son generadas principalmente por procesos de combustión de gas natural, GLP y carbón en la industria de bebidas y alimentos e incineración de residuos.

En el caso de Manizales, se destacan aportes de contaminantes como SO<sub>2</sub> (289 ton/año) y PM<sub>10</sub> (201 ton/año), mientras que en el grupo de gases de efecto invernadero (GEI), como era de esperarse el contaminante CO<sub>2</sub> tiene la mayor contribución en términos del flujo total en comparación con los demás contaminantes evaluados.

**Tabla 32. Consolidado de emisiones por fuentes estacionarias puntuales en Manizales, Villamaría y Chinchíná, IE año base 2022**

Municipio	Emisiones (ton/año)										
	CO	NOx	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	TSP	VOC	Metales	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Manizales	204.7	190.6	289.3	200.9	92.1	305.6	7.0	0.7	198499.4	6.0	3.8
Chinchíná	2.5	83.9	12.5	0.9	0.2	3.5	0.1	0.01	49244.5	0.7	3.0
Villamaría	0.3	0.4	0.2	0.3	0.2	0.2	0.002	0.02	46.4	0.001	0.001
<b>Total general</b>	<b>207.5</b>	<b>274.9</b>	<b>301.9</b>	<b>202.1</b>	<b>92.4</b>	<b>309.2</b>	<b>7.0</b>	<b>0.7</b>	<b>247790.3</b>	<b>6.7</b>	<b>6.8</b>

Fuente: propia



**Figura 51 Distribución porcentual de emisiones por fuentes estacionarias puntuales en los municipios evaluados para el año base 2022.**

Fuente: propia

### 2.4.1.3. Emisiones asociadas al tipo de industria

La distribución porcentual de los valores de flujos de emisión totales anuales obtenidos en función del tipo de industria para los Municipios de Manizales, Villamaría y Chinchiná se presenta en la Figura 52. Para la mayoría de contaminantes, la industria de bebidas y alimentos se caracterizó por presentar los mayores aportes, como es el caso de la emisión de PM<sub>10</sub>, para la cual este sector contribuyó con el 57% de la emisión total de las fuentes estacionarias puntuales. En cuanto a los gases de efecto invernadero, las emisiones provienen principalmente de la industria de bebidas y alimentos, así como de la industria metalúrgica, con aportes del 22% y 34% respectivamente. De otra parte, la industria química presentó una contribución mayoritaria en SO<sub>x</sub> (53%), mientras que la industria metalúrgica tuvo aportes significativos en las emisiones de VOC (55%).

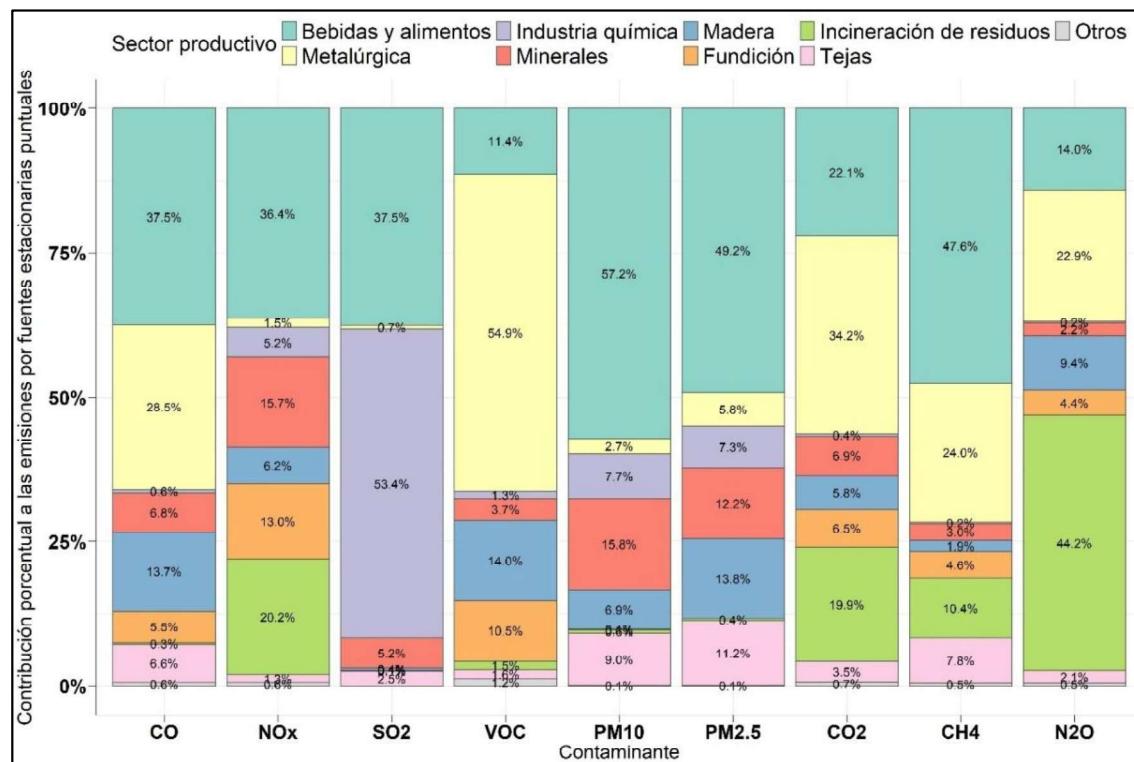
Analizando los cambios obtenidos en relación con el IE- 2017, (Ver Figura 52b), se evidencian cambios importantes en los aportes a las emisiones de la industria de bebidas y alimentos, fundición, incineración de residuos y metalúrgica. La industria de bebidas y alimentos sigue dominando en el aporte a las emisiones totales como se mencionó anteriormente, sin embargo, este sector presentó una disminución en la contribución porcentual de los contaminantes evaluados en comparación con el IE-2017. En el caso del sector de metalúrgica, se observan incrementos importantes en la contribución porcentual de emisiones, comportamiento similar al obtenido para el sector de minerales, donde se incrementó su contribución porcentual en contaminantes como PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, CO y NO<sub>x</sub>.

Al comparar el total de emisiones de contaminantes con respecto al IE-2017 (ver Tabla 33), se observan cambios importantes. Hubo una disminución del 60% en las emisiones del contaminante CO para el año base 2022. En contraste, las emisiones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> tuvieron un aumento del 219% y 214% respectivamente. El incremento en las emisiones de dichos contaminantes está relacionado principalmente con cambios no solo en la conformación del parque industrial, sino también en dinámicas de consumo de ciertos tipos de combustible, como es el caso del carbón, aspecto que se ampliará en la siguiente sección.

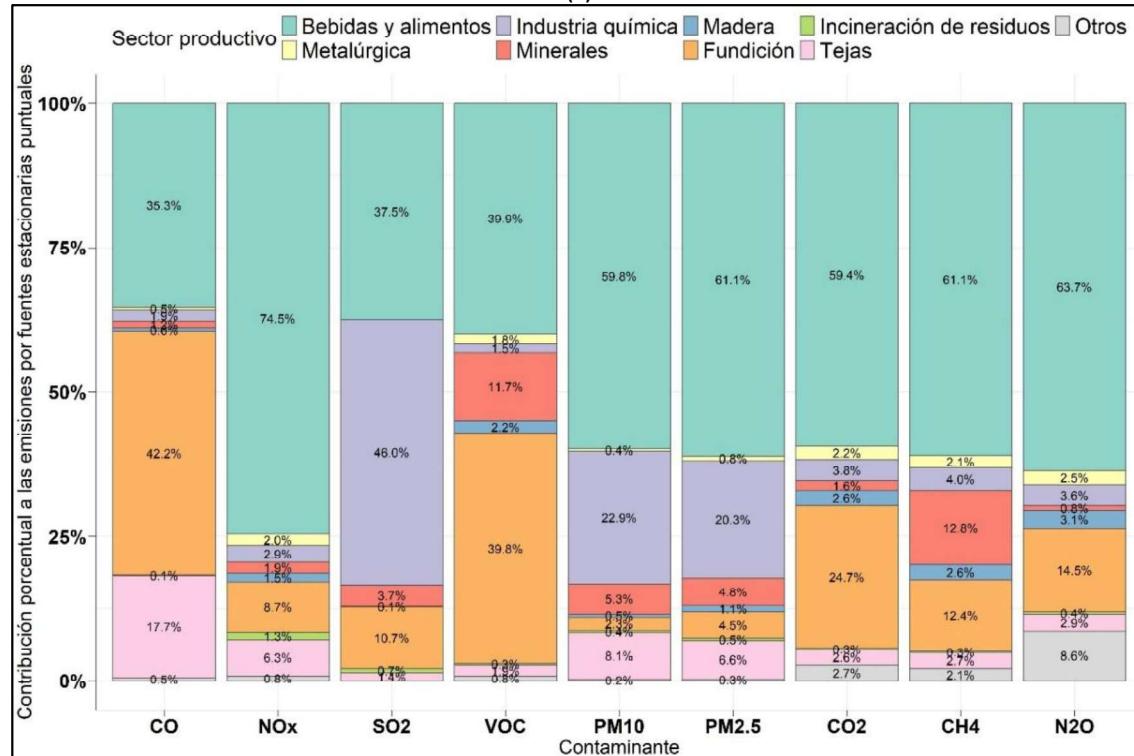
**Tabla 33 Comparativo de las emisiones totales por fuentes estacionarias puntuales en los municipios evaluados para los IE años base 2017 y 2022**

	Emisiones (ton/año)										
	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	TSP	NMCOV	Metales	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Emisión total IE-2022	207.5	274.9	301.9	92.4	202.1	309.8	7.0	0.7	247790.3	6.7	6.8
Emisión total IE-2017	521.2	205.4	222.5	29.4	63.4	359.1	7.96	0.76	164875	2.8	2.6
Variación porcentual	-60%	37%	36%	214%	219%	-14%	-11%	-7%	50%	141%	161%

Fuente: propia



(a)



(b)

Figura 52. Aporte porcentual del tipo de industria al total de las emisiones por fuentes estacionarias puntuales en los municipios evaluados. a) Año base 2022 b) Año base 2017

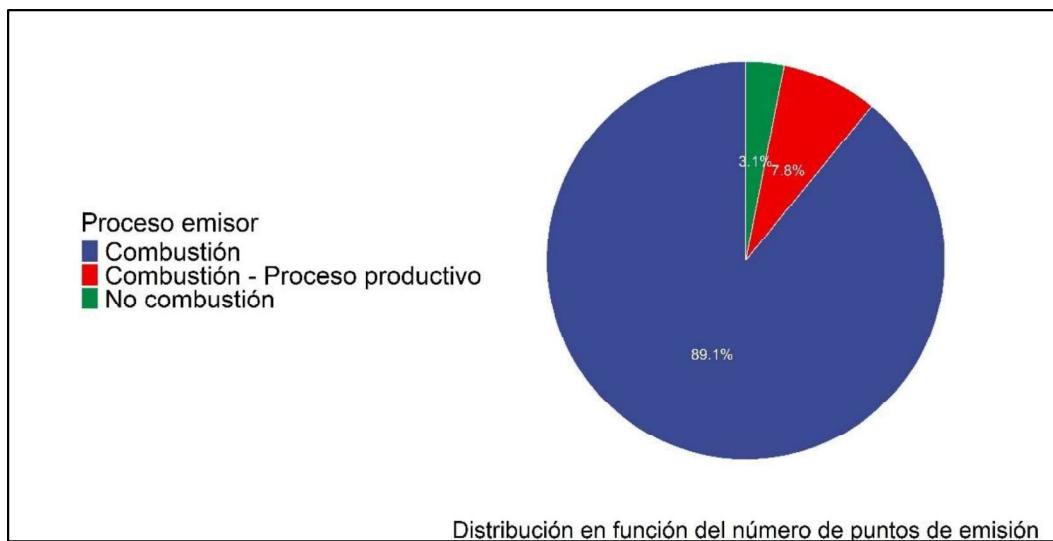
Fuente: propia

#### 2.4.1.4. Emisiones asociadas al tipo de combustible utilizado

Con el fin de analizar los resultados de emisión obtenidos en términos del tipo de combustible y proceso fuente de emisión, se definieron tres grupos o categorías para las fuentes de emisión según el uso o no de combustible, los cuales son:

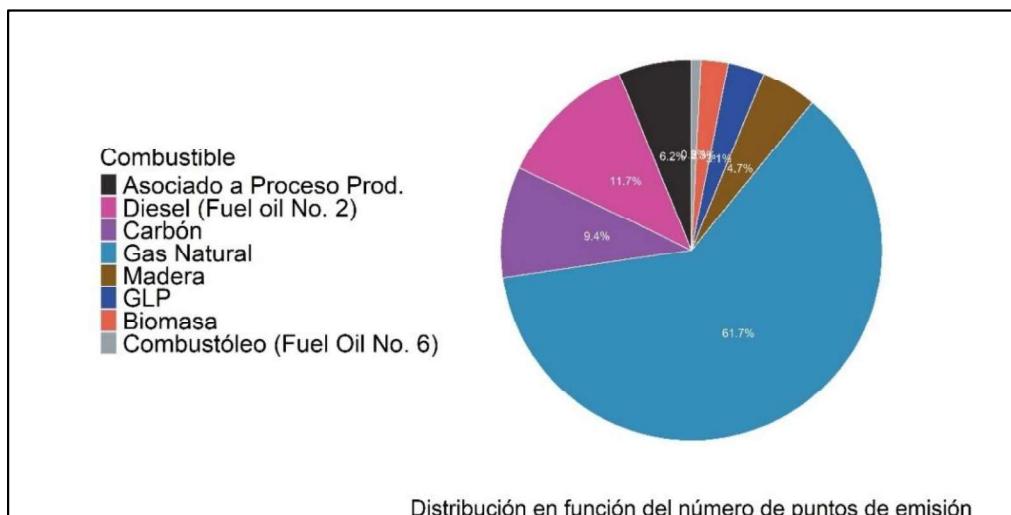
- Grupo 1: Combustión: En esta categoría se consideran las fuentes estacionarias puntuales que presentan emisiones por quema de combustible como gas natural, carbón, GLP, madera, combustóleo, diésel (conocido como ACPM o Fuel oil No. 2) y biomasa (borra de café, cisco de café, cacota de cacao).
- Grupo 2: No combustión: En esta categoría se incluyen las fuentes que generan emisiones por procesos productivos no asociados directamente a la quema de combustible.
- Grupo 3: Combustión-proceso productivo: En esta categoría se encuentran las fuentes que generan emisiones a partir de un proceso de combustión, pero dicho proceso no está ligado directamente a la quema de un combustible, por ejemplo, el uso de hornos de arco eléctrico, incineración de residuos posterior a la etapa de arranque de la incineración, entre otros.

En la Figura 53 se presentan los resultados de la distribución del número de puntos de emisión del IE-2022 en función de los grupos descritos anteriormente. El mayor número de fuentes evaluadas se encuentra dentro del grupo 1, correspondiente a procesos asociados a quema de combustible, representando el 89%. De otra parte, la distribución de puntos de emisión según el tipo de combustible empleado, se presenta en la Figura 54. En esta gráfica se incluyen también aquellas fuentes que no tienen procesos relacionados con la quema de un combustible fósil, agrupándolas en la categoría de “Asociado a Proceso Prod.”. Los resultados muestran como predominan aquellas fuentes que utilizan gas natural (62%), seguido por diésel (12%) y carbón (9%).



**Figura 53 Distribución de fuentes estacionarias puntuales evaluadas para los municipios de Manizales, Villamaría y Chinchiná, IE año base 2022, de acuerdo con el proceso fuente de emisión**

*Fuente: propia*

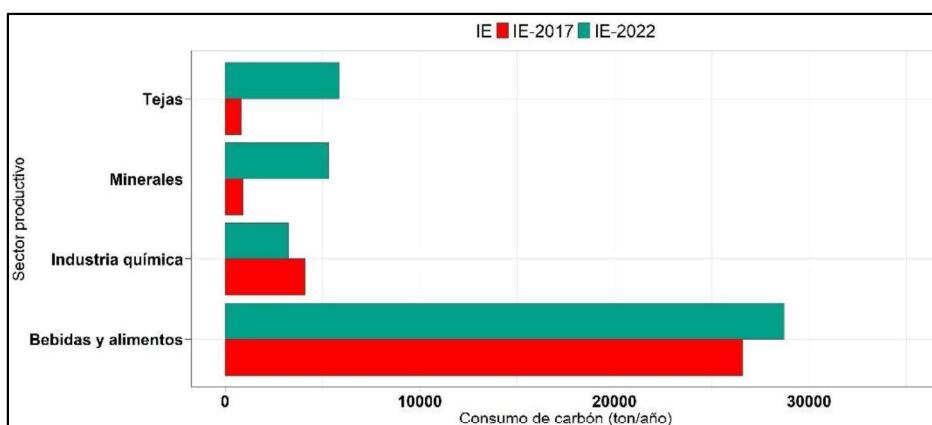


**Figura 54 Distribución de fuentes estacionarias puntuales evaluadas para los municipios de Manizales, Villamaría y Chinchiná, IE año base 2022, de acuerdo con el tipo de combustible empleado**

Fuente: propia

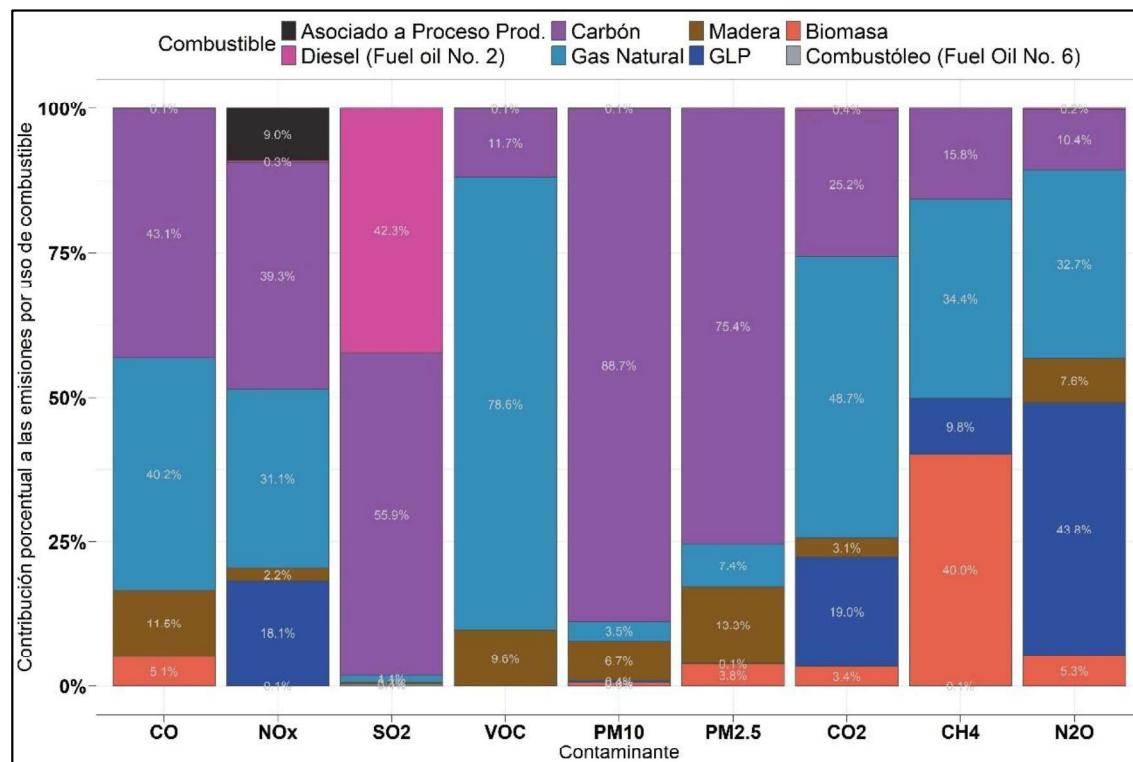
A pesar de que el combustible más común entre las fuentes estacionarias puntuales evaluadas fue el gas natural, solo se obtuvo emisiones mayoritarias por su uso para contaminantes como VOC y CO<sub>2</sub>, tal como se observa en la Figura 56. Otros contaminantes como PM y SO<sub>2</sub> estuvieron dominados predominantemente por la combustión de carbón. Es importante destacar que en términos comparativos con el último IE año base 2017 (Figura 56b), los principales cambios en la distribución porcentual a las emisiones de contaminantes atmosféricos se vieron reflejados en aumentos en la contribución de otros combustibles, tales como madera, biomasa y GLP; así como una disminución en contribución de fuentes que no tienen relación con la quema de combustibles fósiles.

Sin embargo, tal como se indicó previamente, se obtuvieron incrementos importantes entre 2017 y 2022 en las emisiones por fuentes estacionarias puntuales de contaminantes como material particulado (ver Tabla 33), aspecto que puede ser explicado por un aumento en la cantidad de carbón consumido, principalmente en los sectores de bebidas y alimentos, minerales y tejas, tal como se aprecia en la Figura 55.

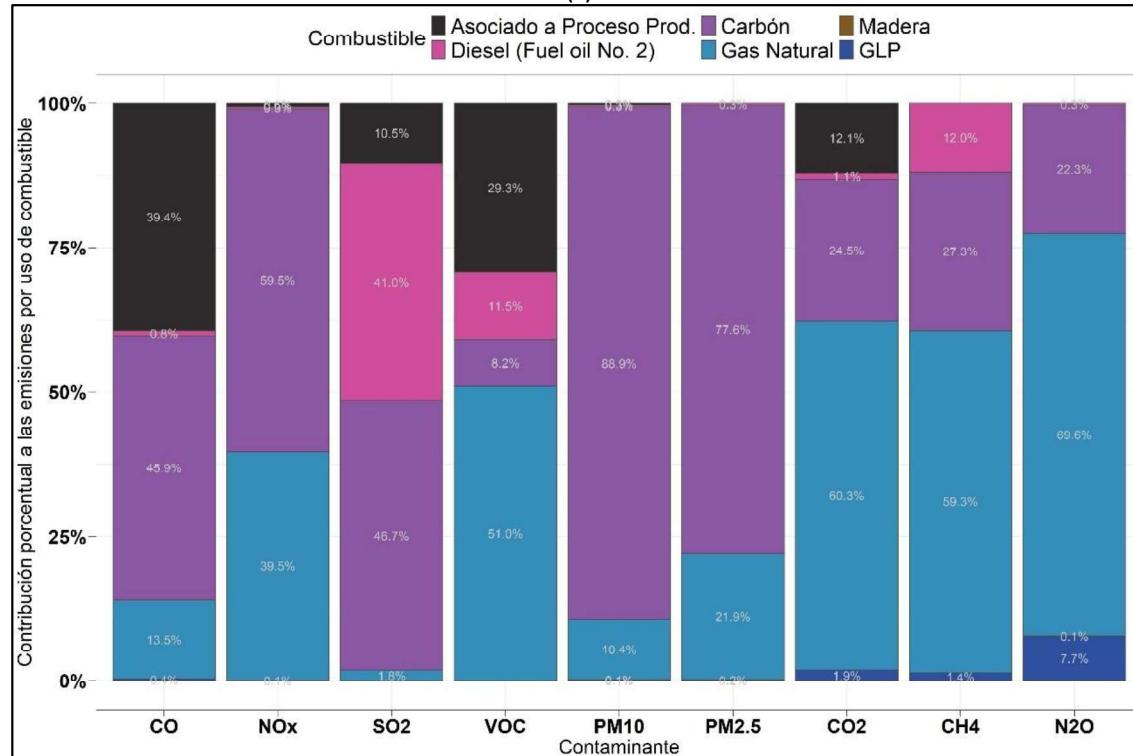


**Figura 55. Uso de carbón por distintos sectores productivos para los años base 2022 y 2017**

Fuente: propia



(a)



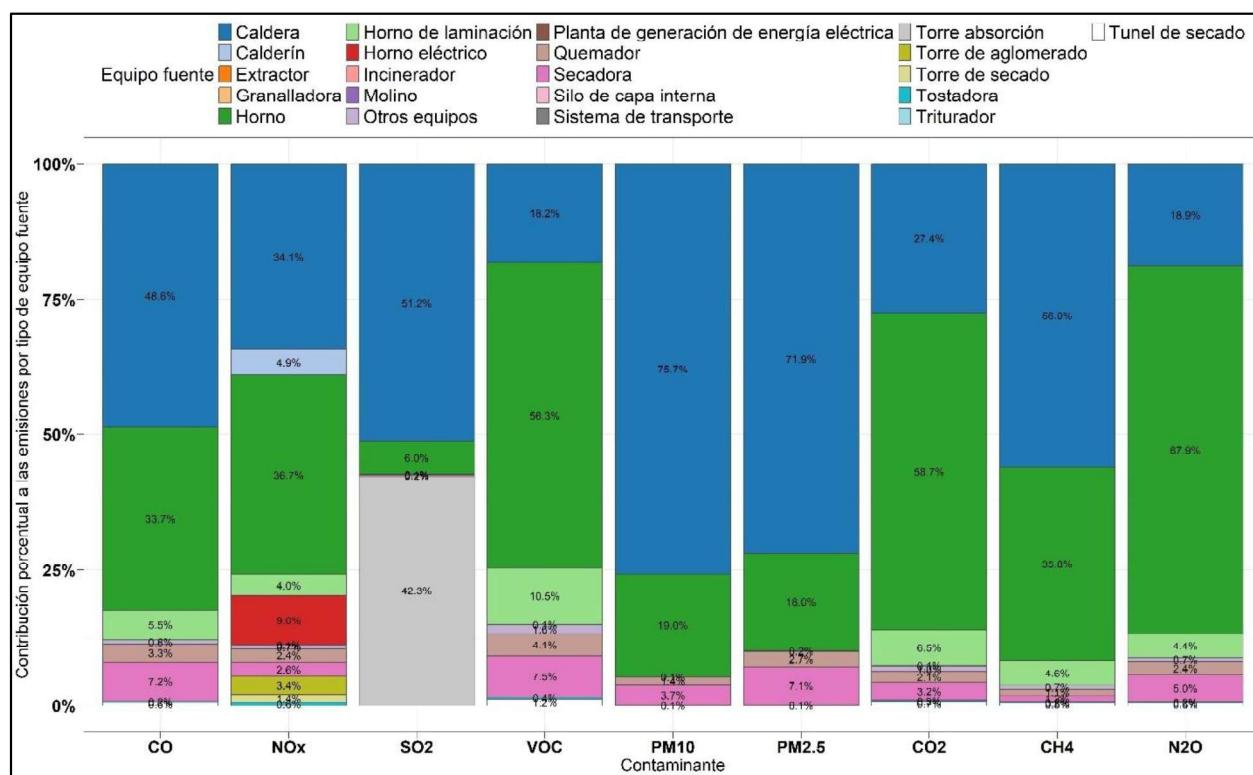
(b)

Figura 56. Aporte porcentual al total de las emisiones por fuentes estacionarias puntuales en los municipios evaluados en términos del tipo de combustible empleado. a) Año base 2022 b) Año base 2017

Fuente: propia

El comportamiento obtenido en relación con el uso de determinado combustible se asocia a su vez con el tipo de equipo fuente que genera la emisión de los contaminantes. En la Figura 57 se aprecia la contribución porcentual a las emisiones en términos de los equipos fuente, donde se destacan equipos de tipo caldera y horno como los principales aportantes a emisiones de la mayoría de los contaminantes evaluados.

En el caso de las calderas, es interesante notar que se tiene una distribución diversa en el uso de combustible de las fuentes de emisión que emplean este tipo de equipo, tal como se aprecia en la Figura 58; siendo el gas natural el combustible predominante (51% de los puntos) seguido por el carbón (24%) y la madera (11%). Este resultado es otro indicativo la importancia que tiene el uso de un combustible como el carbón en las emisiones de contaminantes de interés como PM, combustible que, a pesar de no ser el de uso predominante en los distintos equipos fuente, tiene un efecto marcado en el incremento de las emisiones de contaminantes atmosféricos.



**Figura 57. Aporte porcentual al total de las emisiones por fuentes estacionarias puntuales en los municipios evaluados en términos del tipo de equipo fuente para el IE-2022**

Fuente: propia

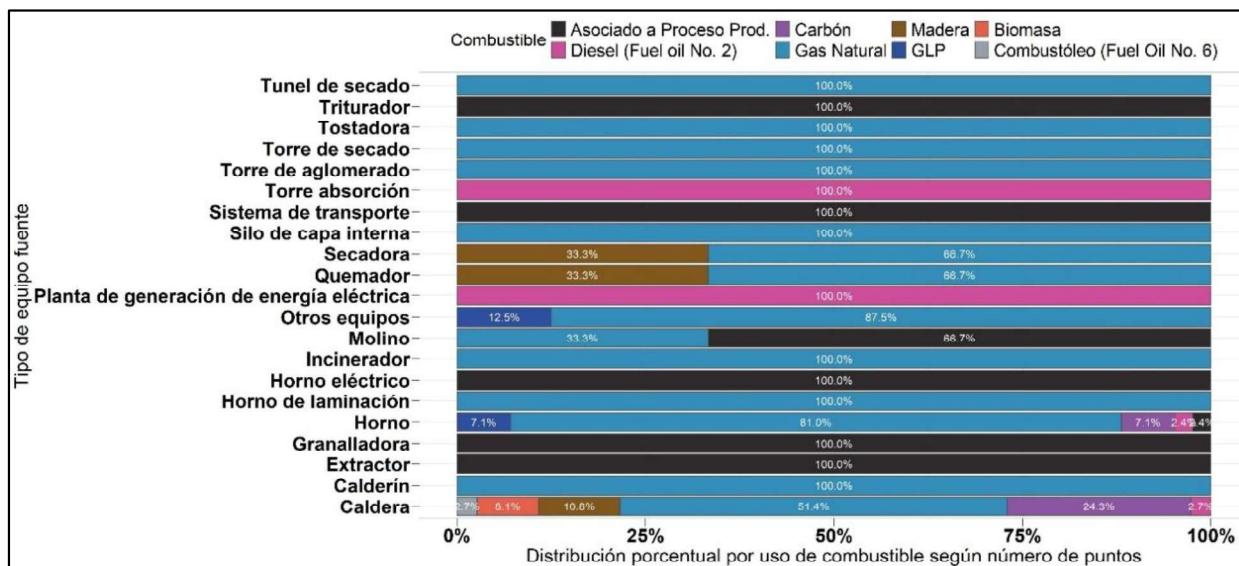


Figura 58. Distribución porcentual de fuentes estacionarias en función del tipo de combustible utilizado para los distintos equipos fuente inventariados en el IE- 2022

Fuente: propia

## 2.4.2. EMISIONES POR FUENTES ESTACIONARIAS DE AREA PARA ESTACIONES DE SERVICIO DE COMBUSTIBLE

Los resultados obtenidos en la estimación de emisiones de VOC por fuentes estacionarias de área para los municipios de Manizales, Villamaría y Chinchiná, año base 2022, se resumen en la Tabla 34 y Figura 59. Manizales registró los mayores flujos de emisión de VOC para los tres tipos de combustible en comparación con los demás municipios. Estos valores son consistentes con los registros de venta de combustible, que predominan en el municipio de Manizales, como se muestra en la Figura 60. Los flujos de emisión de VOC por distribución y almacenamiento de gasolina corriente son mayores en comparación con los demás combustibles, resultado representado en una mayor demanda de este combustible como se observa en la Figura 60.

Tabla 34. Emisiones mensuales (ton/mes) y total anual (ton/año) de COV estimadas para Manizales, Villamaría y Chinchiná para el año 2022 por fuentes estacionarias de área (distribución y almacenamiento de combustible)

Periodo	Emisiones de VOC (ton/mes)									
	Gasolina Corriente			Gasolina Extra			ACPM			
	Manizales	Villamaría	Chinchiná	Manizales	Villamaría	Chinchiná	Manizales	Villamaría	Chinchiná	
Enero	18.96	2.55	2.32	0.67	0.07	0.09	0.76	0.15	0.11	
Febrero	18.57	2.37	2.18	0.55	0.06	0.05	0.77	0.16	0.12	
Marzo	20.62	2.46	2.41	0.59	0.06	0.06	0.86	0.17	0.13	
Abril	20.00	2.58	2.36	0.60	0.04	0.05	0.80	0.17	0.12	
Mayo	19.98	2.41	2.34	0.49	0.06	0.05	0.87	0.18	0.13	
Junio	15.44	1.95	1.86	0.49	0.04	0.05	0.84	0.15	0.12	
Julio	20.18	2.44	2.40	0.47	0.05	0.05	0.87	0.17	0.12	
Agosto	20.84	2.98	2.46	0.48	0.05	0.04	0.90	0.18	0.13	

Periodo	Emisiones de VOC (ton/mes)								
	Gasolina Corriente			Gasolina Extra			ACPM		
	Manizales	Villamaría	Chinchiná	Manizales	Villamaría	Chinchiná	Manizales	Villamaría	Chinchiná
Septiembre	20.51	3.03	2.50	0.44	0.05	0.06	0.89	0.17	0.12
Octubre	20.08	2.87	2.30	0.36	0.06	0.02	0.85	0.16	0.12
Noviembre	19.59	2.87	2.48	0.40	0.05	0.03	0.86	0.16	0.12
Diciembre	22.61	3.11	2.62	0.53	0.06	0.06	0.86	0.18	0.12
<b>Total</b>	<b>237</b>	<b>32</b>	<b>28</b>	<b>6.1</b>	<b>0.7</b>	<b>0.6</b>	<b>10.1</b>	<b>2</b>	<b>1.5</b>

Fuente: propia

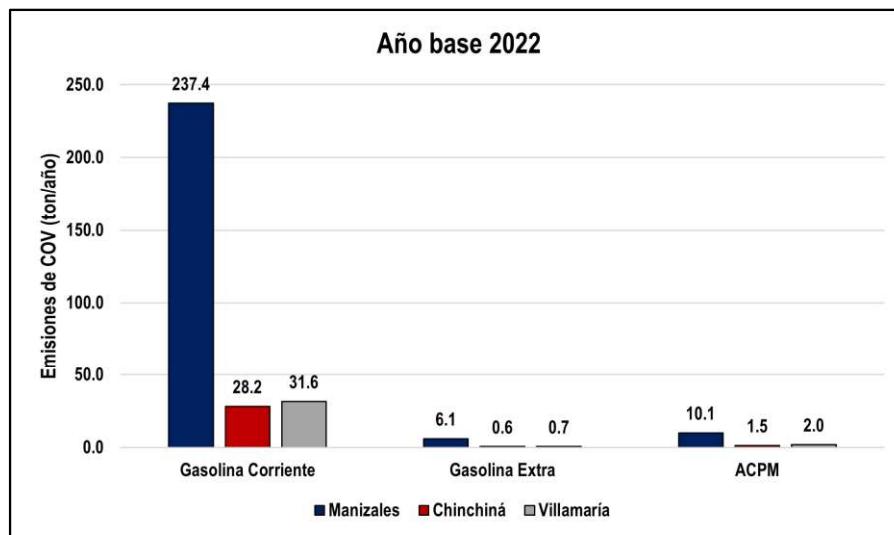


Figura 59. Emisiones de VOC para Manizales, Villamaría y Chinchiná para el IE-2022 por fuentes estacionarias de área (distribución y almacenamiento de combustible)

Fuente: propia

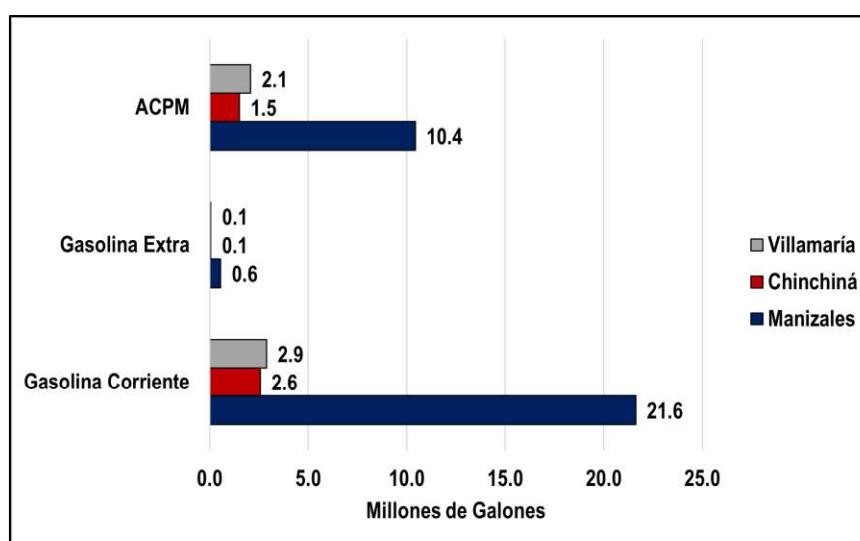


Figura 60. Cantidad de combustible distribuido en los municipios de Manizales, Villamaría y Chinchiná durante 2022

Fuente: Elaboración propia a partir de información de SOLDICOM

Para el municipio de Manizales, región donde se obtuvieron los mayores flujos de emisiones por fuentes estacionarias de área, se realizó un comparativo de las emisiones con los IE previos realizados para los años base 2014 y 2017. Los resultados se presentan en la Figura 61. Las emisiones del IE-2022 asociadas al almacenamiento y distribución de gasolina corriente presentaron un incremento importante, pasando de 185.4 ton/año en 2017 a 237.4 ton/año en 2022. Respecto a las emisiones de VOC por evaporación de gasolina extra y ACPM, no se obtuvo una variación significativa en el IE-2022 con respecto a las estimaciones de los años 2014 y 2017, obteniéndose una reducción en las emisiones de VOC. Estos valores se explican por la demanda de combustible en la ciudad, donde la demanda de gasolina corriente aumentó significativamente respecto a los registros de inventarios en años previos, mientras que para los otros combustibles la demanda no presentó un cambio considerable.

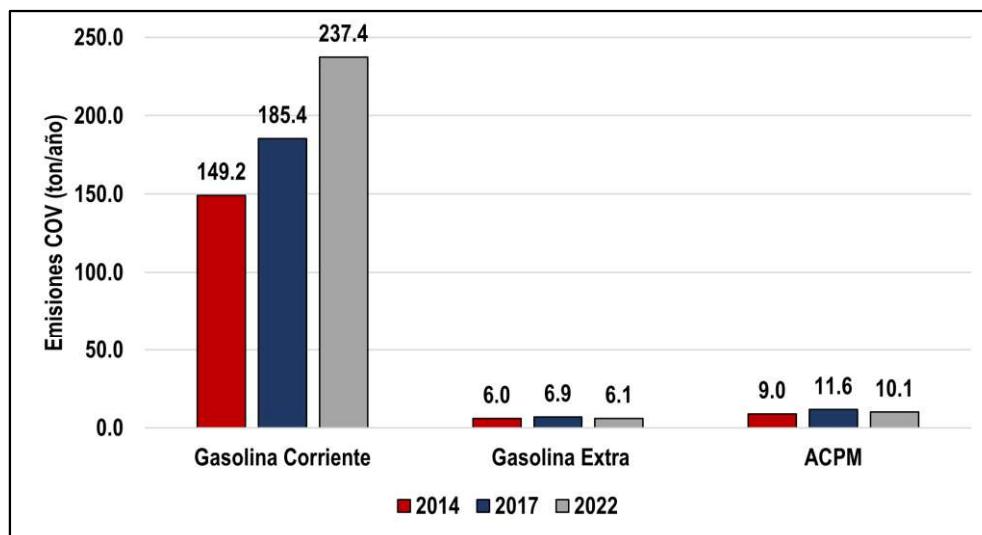
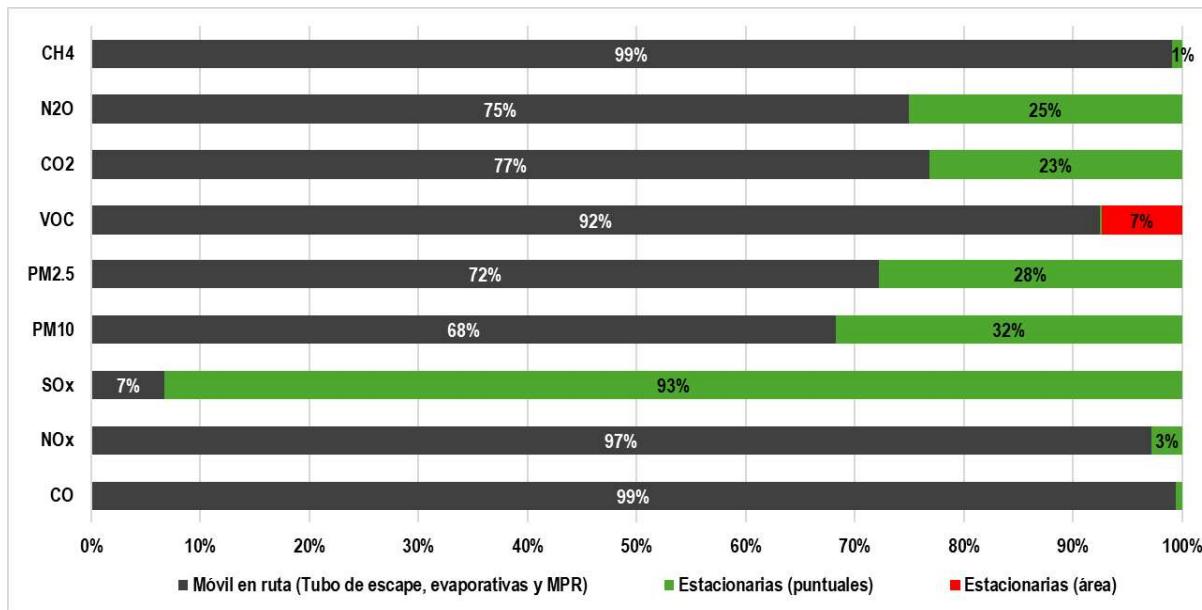


Figura 61. Emisiones anuales (ton/año) de COV en Manizales por fuentes estacionarias de área (distribución y almacenamiento de combustible) para los IE años base 2014, 2017 y 2022

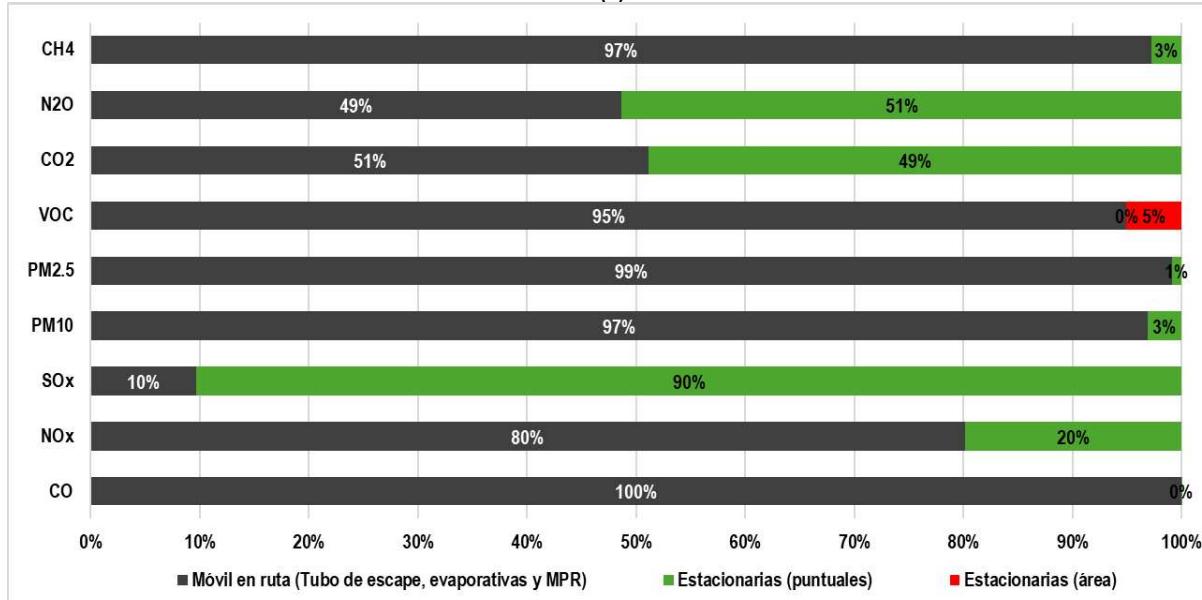
Fuente: propia

## 2.5. CONSOLIDADO FINAL DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN EL IE-2022

El consolidado de emisiones atmosféricas para las fuentes evaluadas de los tres municipios de análisis se resume en la Figura 62. Se observa que uno de los resultados más importantes y que cambia en función del último inventario de emisiones en Manizales y Villamaría, es el aporte de fuentes estacionarias puntuales a las emisiones de material particulado, el cual en el IE-2017 representaba casi el 10% mientras en que el IE-2022 tiene un aporte cercano al 32%. Lo anterior debido no solo al incremento en la emisión de este contaminante producto de la actividad industrial, sino también por la disminución obtenida en la emisión producto de la actividad vehicular en la región.



(a)



(b)

Figura 62. Contribución porcentual a las emisiones de contaminantes atmosféricos en el IE-2022. a) Manizales y Villamaría. b) Chinchín

Fuente: propia

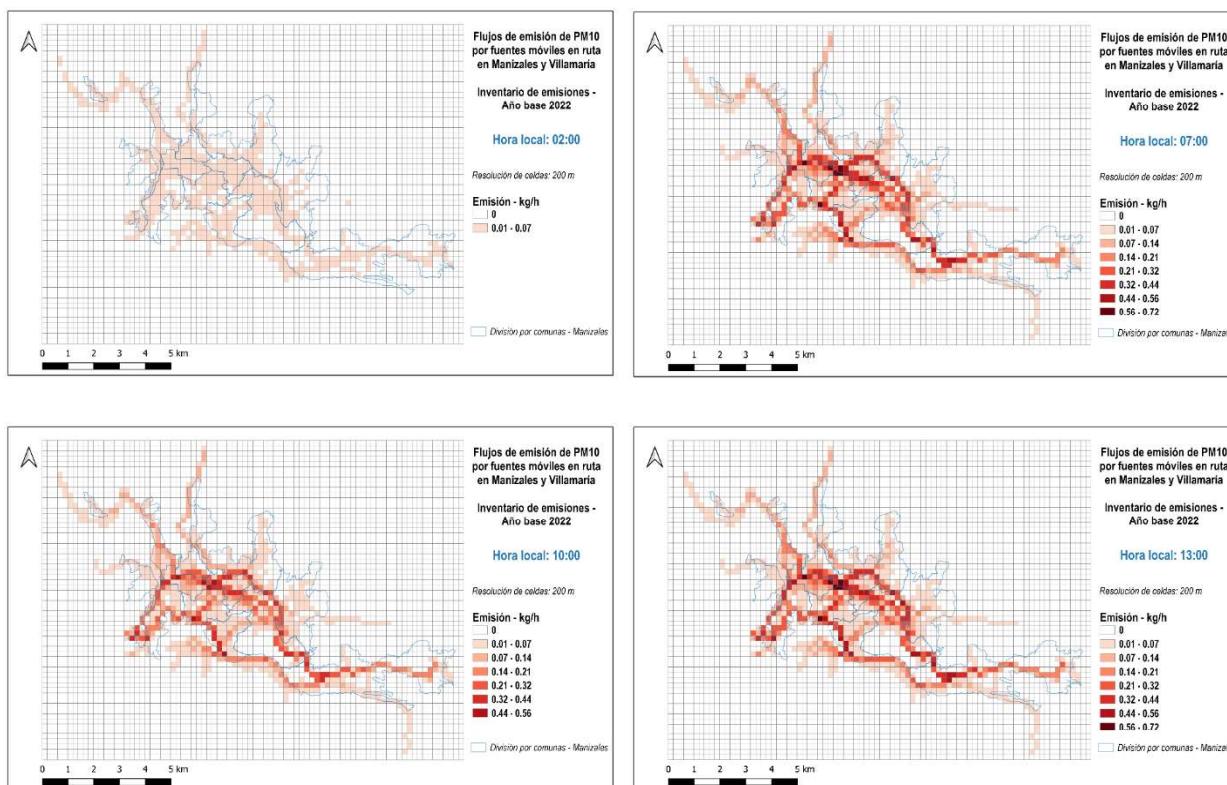
## 2.6. RESULTADOS DESAGREGACIÓN ESPACIOTEMPORAL DEL INVENTARIO DE EMISIONES, AÑO BASE 2022

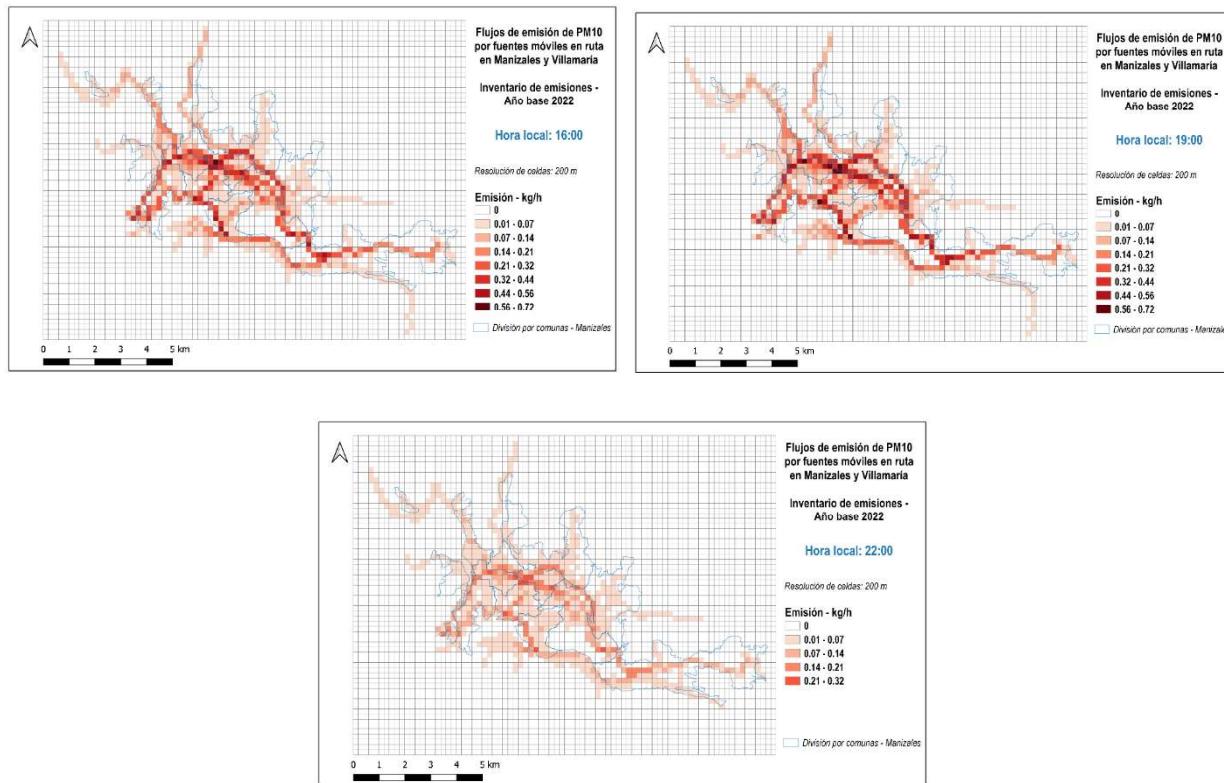
Esta sección presenta algunos de los mapas obtenidos en el ejercicio de desagregación espaciotemporal del IE-2022. La desagregación tuvo como alcance en términos espaciales dos resoluciones, la primera de 1 km x 1 km definida con

la finalidad de llevar a cabo los ejercicios de simulación de calidad del aire empleando el modelo WRF-Chem. De otra parte, se evaluó una resolución de 200 m x 200 m que busca generar mapas con un mayor nivel de detalle y enfocados en la ciudad de Manizales, región donde se presentan las mayores emisiones de contaminantes atmosféricos. Se busca con esta mayor resolución generar insumos que permitan identificar con mayor facilidad zonas donde se presenten las mayores emisiones de los contaminantes evaluados. En términos de la desagregación temporal, se definió la resolución horaria como alcance para las dos resoluciones espaciales evaluadas.

## 2.6.1. DESAGREGACIÓN ESPACIOTEMPORAL DE EMISIONES POR FUENTES MÓVILES EN RUTA

En el caso de las fuentes móviles en ruta, el ejercicio de desagregación se basó en una aproximación bottom-up, donde las emisiones por arco de vía fueron sometidas a un proceso de regridding para estimar la cantidad de emisiones por celda según la resolución espacial objetivo. La Figura 66 muestra los mapas de emisión para distintas horas del día obtenidos con una resolución de celda de 200 m<sup>2</sup>.



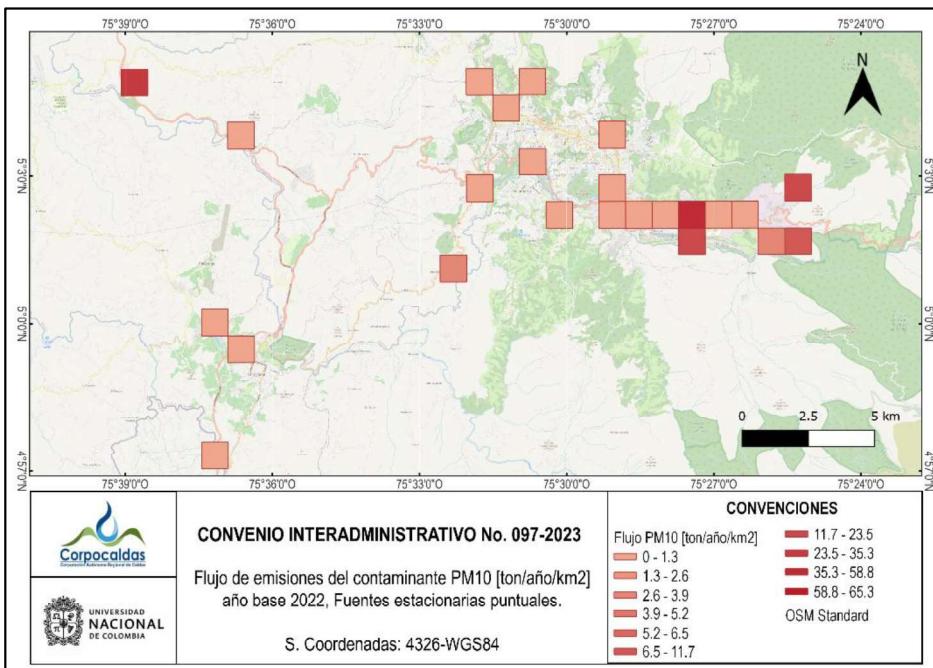


**Figura 63. Mapas con desagregación de emisiones horarias de PM<sub>10</sub> por fuentes móviles en ruta**  
Fuente: propia

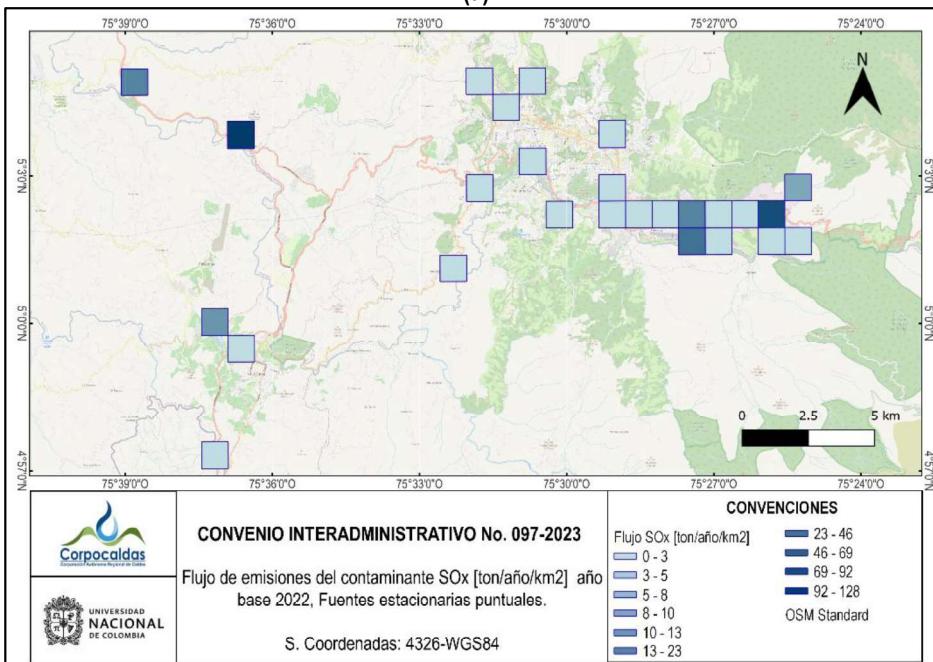
## 2.6.2. DESAGREGACIÓN ESPACIOTEMPORAL DE EMISIONES POR FUENTES ESTACIONARIAS PUNTUALES

La Figura 64 muestra algunos de los resultados obtenidos en la desagregación espacial de emisiones por fuentes estacionarias, para los contaminantes criterio PM<sub>10</sub>, SO<sub>x</sub> y los GEI en términos de los valores de CO<sub>2</sub>-eq. Se presenta para esta fuente la desagregación espacial a una resolución de 1 km x 1 km cubriendo las zonas de Manizales, Villamaría y Chinchiná. A partir de los resultados obtenidos, se observan las mayores emisiones en la zona industrial de maltería ubicada en Manizales, región que se caracteriza por ser la principal zona industrial de la ciudad. Igualmente se observan emisiones importantes en otras zonas, como es el caso de Chinchiná, asociado con los flujos de CO<sub>2</sub>-eq. En esta región predomina el sector de bebidas y alimentos.

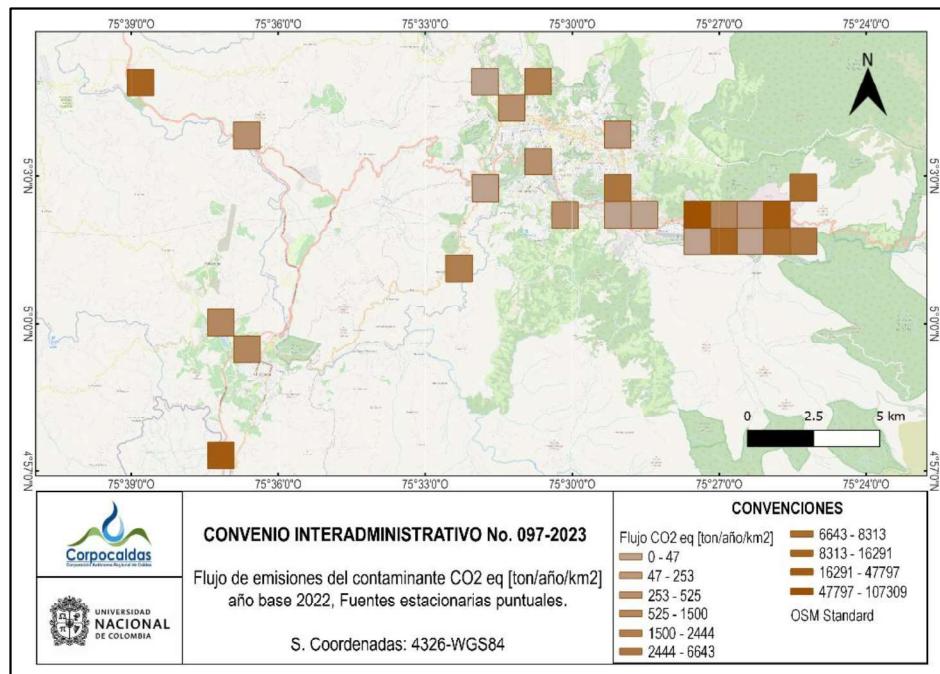
En jurisdicción del municipio de Manizales, hacia la zona occidental, también se observan zonas de emisión importantes de contaminantes como PM<sub>10</sub> y CO<sub>2</sub>-eq, asociadas con el sector de producción de tejas.



(a)



(c)



(c)

**Figura 64. Distribución espacial de las emisiones por fuentes estacionarias puntuales año base 2022 para a) PM<sub>10</sub>. b) SO<sub>x</sub>. c) CO<sub>2</sub><sub>eq</sub>**  
Fuente: propia

La distribución temporal de las emisiones por fuentes estacionarias puntuales se muestra en la Figura 65. Los resultados de emisión horaria presentan una forma de meseta, comportamiento clásico de la aproximación empleada para la distribución temporal para este tipo de emisiones, teniendo en cuenta las limitaciones inherentes al conocimiento preciso de los tiempos de operación específicos de los equipos fuente. Las mayores emisiones se ubican en periodos comprendidos entre las 08:00 y 15:00 horas. El crecimiento de las emisiones comienza cerca de las 05:00 horas, periodo que concuerda con el inicio de la mayoría de las actividades laborales, llegando a su pico máximo a las 08:00 horas. El comportamiento presentado es coherente al obtenido para la desagregación espacial del inventario de fuentes estacionarias para los días lunes a viernes de Bogotá para el año 2021, donde las mayores emisiones se presentan en el periodo de 6:00 a 18:00 horas (SDA, 2022).

Para contaminantes como PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, SO<sub>x</sub> y VOC, el comportamiento de las emisiones durante el día no varía significativamente, manteniéndose casi constante, producto de una operación continua de los equipos fuente y procesos que predominan en la emisión de los contaminantes mencionados.

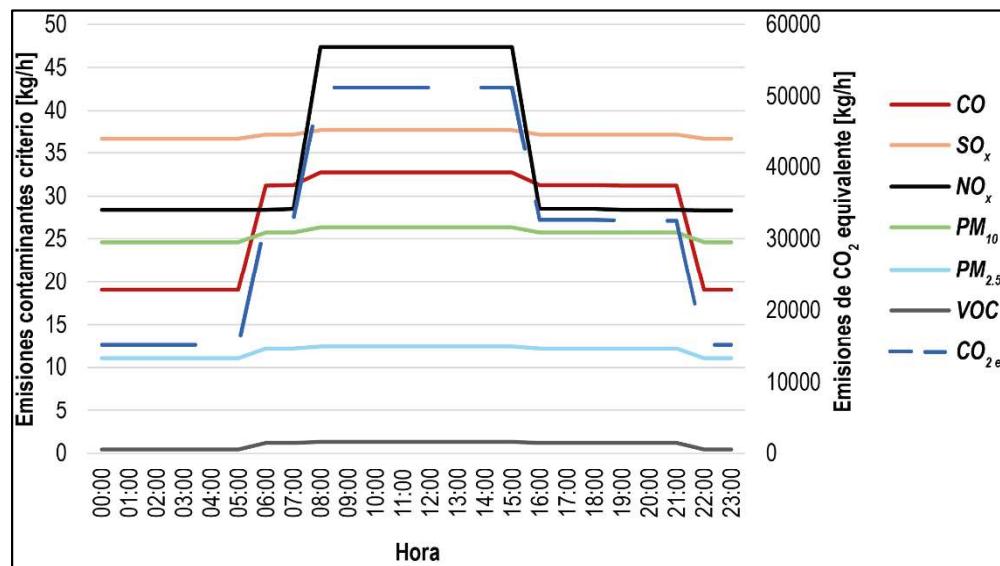
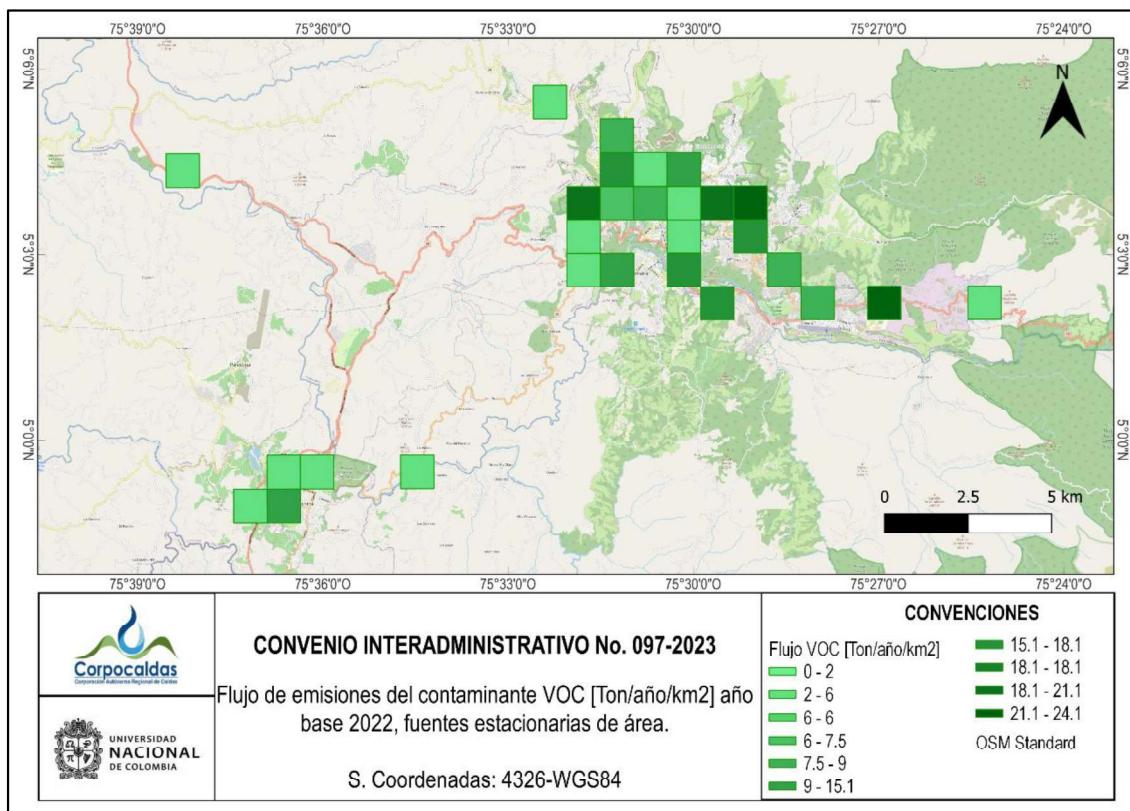


Figura 65. Distribución temporal de las emisiones por fuentes estacionarias puntuales, año base 2022 para los contaminantes CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, VOC y CO<sub>2</sub>eq

Fuente: propia

## 2.6.3. DESAGREGACIÓN ESPACIOTEMPORAL DE EMISIONES POR FUENTES ESTACIONARIAS DE ÁREA

La Figura 66 presenta los resultados obtenidos en la desagregación espacial de emisiones del contaminante VOC para fuentes estacionarias de área. Las mayores emisiones se encuentran ubicadas en el municipio de Manizales, lo que concuerda con el número de estaciones de servicio presentes en el municipio. Las zonas con mayores emisiones se concentran predominantemente hacia la avenida Kevin Ángel, zona occidental e industrial (sector de Maltería), lugares donde se encuentra un número importante de estaciones de servicio inventariadas. En lo que respecta a la desagregación temporal, como se mencionó previamente, se asumió una distribución constante de emisión horaria, presentando los puntos de mayor emisión flujos cercanos a los 36 kg/h.



**Figura 66. Desagregación espacial de las emisiones de VOC para fuentes estacionarias de área año 2022.**

Fuente: propia