

ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LA CIUDAD DE MANIZALES AÑO BASE 2017

BOLETÍN DE RESULTADOS

Instituto de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

Subdirección de Evaluación y Seguimiento Ambiental, CORPOCALDAS.

Erika Marcela Trejos Zapata^a, Wendy Hernández Franco^a, Carlos Mario González Duque^a, Beatriz Helena Aristizábal Zuluaga^a, Mauricio Velasco García^b

^a Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GTAIHA), Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
Departamento de Ingeniería Química.

^b Corporación Autónoma Regional de Caldas, CORPOCALDAS.

1. RESUMEN

Se presenta en este boletín los resultados principales de la actualización del inventario de emisiones (IE) atmosféricas en la ciudad de Manizales – año base 2017. El inventario estimó emisiones por fuentes antropogénicas asociadas a fuentes móviles en ruta (emisiones por tubo de escape, evaporativas y material particulado resuspendido) y fuentes estacionarias (puntuales y de área). Se estimaron emisiones anuales de contaminantes criterio (PM_{2.5}, PM₁₀, CO, NO_x, SO₂), compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (NMCOV), gases efecto invernadero (CO₂, CH₄ y N₂O) y black carbón (BC). Asimismo, se presenta un análisis comparativo del presente inventario con respecto al inventario previo realizado al año base 2014.

2. LOS INVENTARIOS DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

El rápido crecimiento demográfico trae consigo un aumento en las actividades industriales, mayores índices de motorización, mayor consumo de combustibles y recursos naturales no renovables. Dichas actividades son generadoras de emisiones contaminantes al aire, problemática que es más acentuada en países emergentes o con economías en desarrollo, como es el caso de los países de América Latina (González, 2017). En América Latina y el Caribe solo una tercera parte de la población urbana ha establecido coberturas de redes de monitoreo con estándares de calidad del aire y límites para las emisiones, cubriendo solamente 146 millones de personas (Rodríguez, et al. 2016).

En Colombia, con el fin de mitigar la problemática de contaminación atmosférica se han establecido una serie de políticas, guías y protocolos para impulsar la gestión del recurso aire; promoviendo no solo su estudio sino también estrategias que buscan la disminución de la contaminación del aire en centros urbanos. Como parte de esta política, se adoptó el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, el cual establece los lineamientos a seguir para la elaboración de Planes de Gestión de la Calidad del Aire (PGCA) basados en tres elementos fundamentales como se muestran en la Figura 1 (MAVDT, 2010): inventarios de emisiones, monitoreo de contaminantes y modelización de calidad del aire. Sin embargo, en el componente de los inventarios de emisiones, son pocas las ciudades que han realizado ejercicios de estimación de sus emisiones al aire, y solo las ciudades principales como por ejemplo Bogotá y Medellín han reportado una actualización periódica de sus inventarios de emisión.

Los inventarios de emisiones (IE) son instrumentos indispensables en los procesos de gestión de calidad del aire y toma de decisiones, ya que son el punto de partida para la implementación, evaluación y ajuste de programas y

medidas de control, tendientes a mejorar la calidad del aire. Un inventario de emisión es 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 (Parra et al., 2006).



Figura 1. Componentes de un Plan de Gestión de Calidad del Aire. Adaptado de MAVDT (2009)

En Colombia, el documento más reciente publicado por el gobierno que establece los lineamientos generales para la realización de inventarios de emisión es la Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas (MADS, 2017). De forma general, el protocolo establece que una vez definido el propósito del inventario, se debe realizar inicialmente una búsqueda de información primaria y secundaria; y definir el método de cálculo de las emisiones que se ajuste al propósito y el tipo de información con el que se cuenta.

Los métodos de estimación que se utilizan generalmente van desde la medición en la fuente (método directo comúnmente aplicado a fuentes estacionarias puntuales), hasta la aplicación de métodos indirectos como los balances de masa o el uso de factores de emisión (FE). Este último, aplicado comúnmente a fuentes de emisión complejas de estimar por métodos directos, como por ejemplo las fuentes móviles (asociadas a tráfico vehicular principalmente). En el caso de las fuentes estacionarias, la estimación de emisiones se realiza por mediciones directas, información que se encuentra en los expedientes de las industrias que reposan en las corporaciones ambientales, como parte de los trámites y seguimientos del permiso de emisiones atmosféricas. Sin embargo, no se suelen reportar todos los contaminantes (solo se reportan algunos contaminantes según el tipo de actividad industrial de acuerdo a lo establecido en la Resolución 909 de 2008 del MAVDT), por lo que es necesario realizar la estimación de los contaminantes no reportados mediante métodos indirectos como el uso de FE. La metodología de FE para el cálculo de emisiones por fuentes estacionarias sigue la ecuación (1).

$$E_i = \sum FE_{i,j} \times FA \times \left(1 - \frac{n}{100}\right) \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde E_i corresponde a la emisión del contaminante i . Los subíndices i, j hacen referencia a el tipo de contaminante y tipo de combustible y/o actividad industrial respectivamente. FA es el factor de actividad anual (consumo anual de combustible, cantidad de producto elaborado, entre otros). FE es el factor de emisión promedio y n la eficiencia de reducción de emisiones en los casos en que se cuente con equipos de control. En términos generales, los FE son

consultados principalmente de la base de datos de la EPA (Environmental Protection Agency) AP-42 (<https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>).

En cuanto a las fuentes móviles, la ecuación empleada para estimar los flujos de contaminantes es la siguiente:

$$E_{i,j,k} = FE_{i,j,k} \times A_j \times N_{veh,j} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde $E_{i,j,k}$ es la emisión del contaminante i para cada categoría vehicular j y tecnología vehicular k . $FE_{i,j,k}$ es el factor de emisión que puede ser ajustado a condiciones locales. A_j es la actividad vehicular. La actividad está asociada al número promedio de kilómetros diarios recorridos por un vehículo de la categoría j (en el caso de las emisiones en ruta); o asociada al número promedio de veces en el día que se pone en marcha el motor (en el caso de emisión por partidas en frío del motor). $N_{veh,j}$ es el número total de vehículos de la categoría vehicular j .

En la ciudad de Manizales se realizó el primer IE para el año base 2014 (CORPOCALDAS-UNAL, 2016). Éste tuvo en cuenta la estimación de emisiones por fuentes móviles en ruta siguiendo la metodología IVE (International Vehicle Emissions) basada en un modelo de emisiones que utiliza FE. La estimación de emisiones por fuentes estacionarias puntuales (industrias con chimenea de escape) se realizó a partir de la información de mediciones directas y FE. Como parte del Convenio Interadministrativo 107-2018 entre la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales y CORPOCALDAS, se realizó la actualización del IE de Manizales, donde se estimaron emisiones para el año base 2017 por fuentes antropogénicas asociadas a fuentes móviles en ruta (emisiones por tubo de escape y evaporativas) y fuentes estacionarias puntuales. La estimación de emisiones se realizó siguiendo las mismas metodologías aplicadas en el IE-2014. Adicionalmente, se incluyó la estimación de emisiones de material particulado resuspendido asociadas a las fuentes móviles en ruta y emisiones por fuentes estacionarias de área (para estaciones de servicio de venta de combustible), como nuevas fuentes de emisión que anteriormente no se habían considerado. El presente boletín muestra los resultados principales obtenidos en la actualización del IE-2017.

3. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DE MANIZALES, AÑO BASE 2017

La metodología llevada a cabo para la actualización del IE por fuentes antropogénicas en Manizales año base 2017 tuvo dos etapas principales:

1. La actualización del IE por fuentes móviles en ruta (emisiones por tubo de escape y evaporativas) y fuentes estacionarias puntuales.
2. La estimación de emisiones de dos nuevas fuentes de emisión:
 - Emisiones de material particulado susceptible de resuspensión (MPR) por acción del paso de los vehículos por las vías de la ciudad.
 - Emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) por fuentes estacionarias de área (asociadas a la distribución y almacenamiento de combustible).

En la Tabla 1 se muestra un comparativo de las fuentes de emisión estimadas para los IE 2014 y 2017 y las metodologías aplicadas según el caso.

Tabla 1. Comparativo de las fuentes de emisión estimadas y metodologías aplicadas en el IE – 2014 y 2017

Fuente de emisión		Metodología aplicada	
		IE - 2014	IE - 2017
Móviles en ruta	Por tubo de escape y evaporativas	IVE	IVE
	Material particulado resuspendido	No se estimó	Amato et al., 2011 ^a
Estacionarias	Puntuales (Industrias)	Mediciones directas y FE ^b	Mediciones directas y FE ^b
	De área (Estaciones de servicio de combustible)	No se estimó	FE ^c

^a Metodología y FE reportados por Amato et al. (2011).

^b FE para fuentes estacionarias puntuales reportados por la EPA AP-42.

^c FE para fuentes estacionarias de área reportados por la EPA AP-42.

En la Figura 2 se muestra el esquema con los componentes más importantes tenidos en cuenta en para la actualización del IE en Manizales, año base 2017.

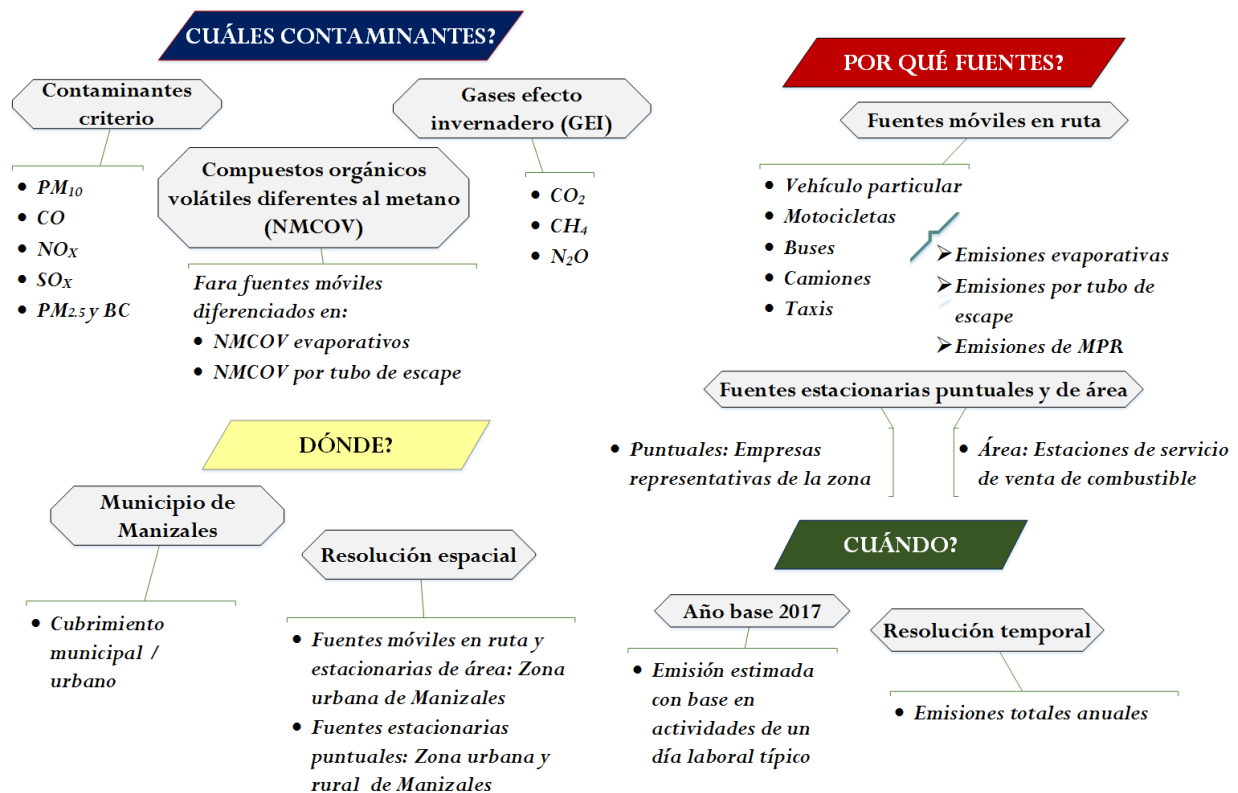


Figura 2. Dimensiones y características definidas para la estimación del IE por fuentes móviles en ruta y fuentes estacionarias en la ciudad de Manizales, año base 2017

4. RESULTADOS DE EMISIONES TOTALES ANUALES DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS AÑO BASE 2017

4.1. RESUMEN DE EMISIONES TOTALES

En la Tabla 2 se muestra un resumen de los resultados obtenidos de emisiones anuales (ton/año) por fuentes estacionarias (puntuales y de área) y por fuentes móviles en ruta (por tubo de escape, evaporativas y MPR) para el IE año base 2017. Las emisiones totales anuales predominantes corresponden a $\text{CO}_2 > \text{CO} > \text{COV} > \text{NO}_x$, con flujos de 628202, 28723, 5217 y 4824 ton/año respectivamente. Como se observa en la Figura 3, las fuentes móviles en ruta contribuyeron en más del 80% a las emisiones de la mayoría de los contaminantes a excepción de la emisión de SO_x , que tiene una contribución del 12% en comparación con las fuentes estacionarias puntuales que emiten el 88% de este contaminante.

Tabla 2. Emisiones anuales totales por tipo de fuente en el IE-2017

Tipo de fuente	Emisión (ton/año)									
	CO	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	NMCOV	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Estacionaria (puntual)	479.7	155.1	214.1	57.8	25.4		5.9	116255	1.9	1.8
Estacionaria (área)							204.0			
Móvil en ruta (tubo de escape y evaporativas)	28243.4	4668.3	28.7	631.6	573.5	364.1	5006.7	511947	1659.5	18.0
Móvil en ruta (MPR)				78.2	18.9					
Total	28723.0	4823.5	242.7	767.6	617.8	364.1	5216.6	628202	1661.4	19.7

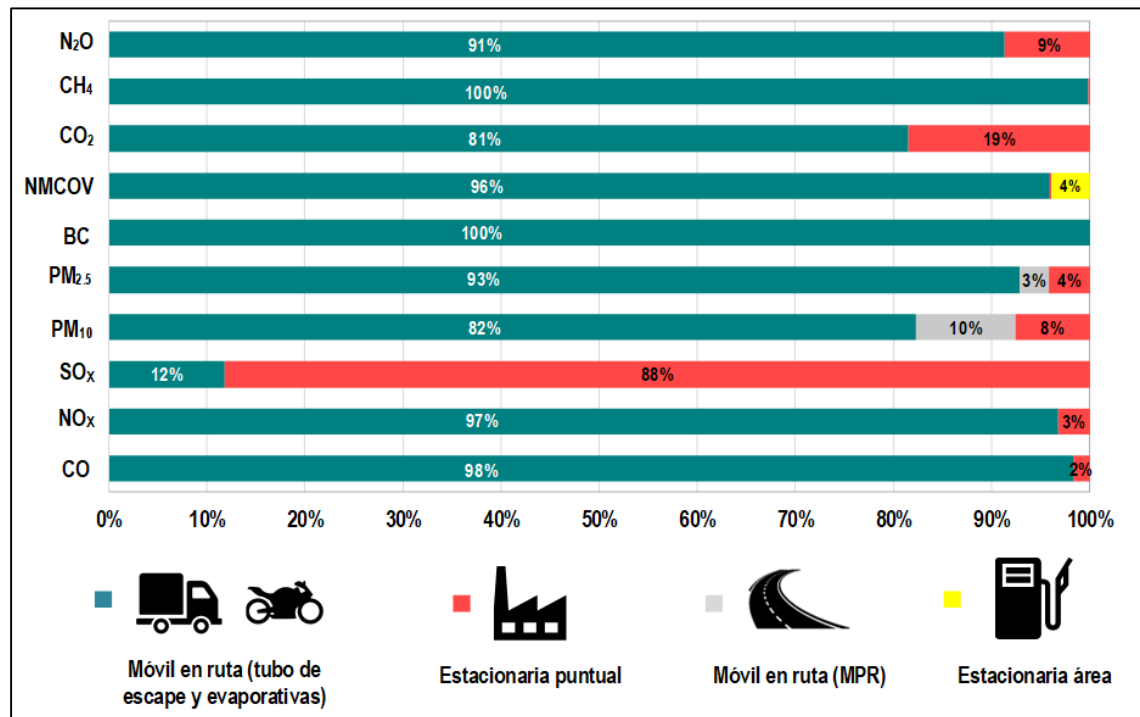


Figura 3. Contribución porcentual al total de emisiones por tipo de fuente

4.2. EMISIONES POR FUENTES MÓVILES EN RUTA

En la actualización del IE-2017, para la estimación de emisiones por fuentes móviles en ruta se realizó una actualización de la información del parque automotor de la ciudad al año 2017, en términos principalmente de las tecnologías vehiculares y el número de vehículos registrados. Como se muestra en la Figura 4, para el año 2017 el parque automotor de la ciudad estuvo conformado en un 95.4% por vehículos particulares (48.3%) y motos (47.1%). El restante (4.6%) corresponde a buses (1.5%), taxis (1.4%) y vehículos pesados catalogados en este informe como camión (1.7%). Cabe resaltar que la conformación del parque automotor al año 2017 presentó un incremento respecto al año 2014, especialmente las categorías de vehículos particulares (PC) y motocicletas (2w), que tuvieron un aumento del 27% y 32% respectivamente en el número de vehículos respecto al año 2014 como se muestra en la Tabla 3.

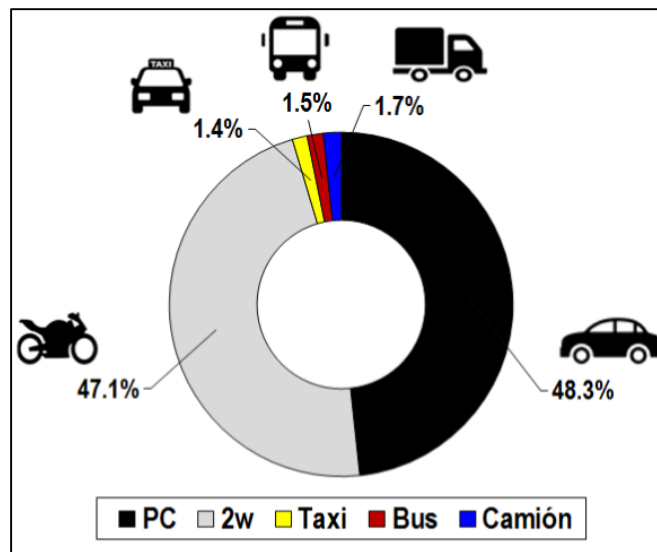


Figura 4. Distribución porcentual del parque automotor de Manizales en función de las 5 categorías vehiculares definidas para el IE de Manizales, año base 2017

Tabla 3. Variación de la flota vehicular de Manizales entre 2014 y 2017 (Fuente: Secretaría de Tránsito de Manizales)

Categoría vehicular Inventario de Emisiones	Cantidad año 2014	Cantidad año 2017	Incremento del parque en 2017 con respecto al año 2014
Vehículo particular (PC)	64090	81659	27% ↑
Motocicleta (2w)	60625	79734	32% ↑
Taxi	2402	2320	-3% ↓
Bus	2367	2604	10% ↑
Vehículo pesado (Camión)	2528	2825	12% ↑
Total	132012	169142	28% ↑

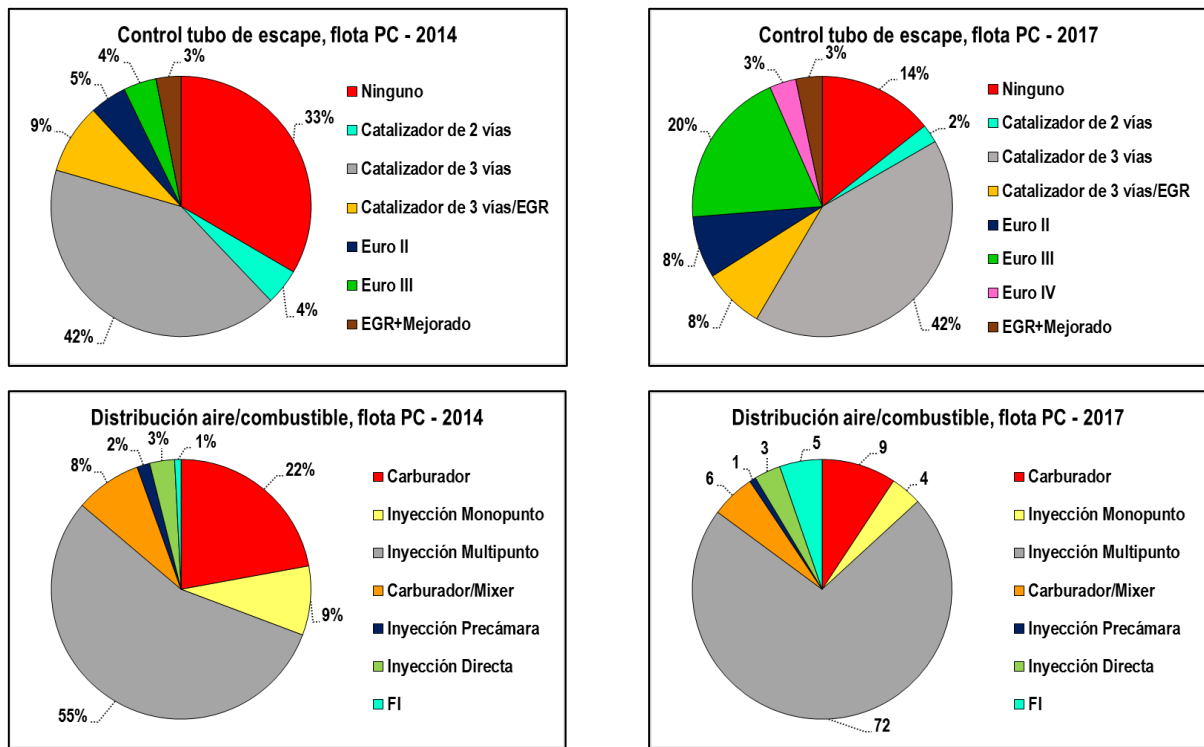
Vehículo particular (PC): incluye vehículos particulares, camionetas y van.

Vehículo pesado (Camión): incluye vehículos livianos de 2 ejes, pesados de 2 ejes y pesados de 3 o más ejes.

Las tecnologías vehiculares juegan un papel importante en el tema de emisiones contaminantes al aire, ya que están ligadas, por ejemplo, con los sistemas de control de emisiones de los vehículos. Para el IE-2017 se realizó la actualización de la distribución tecnológica del parque automotor de Manizales, donde se encontraron variaciones

significativas en las tecnologías vehiculares con respecto al IE-2014 como se muestra en la Figura 5. Se destaca principalmente los cambios de las categorías de vehículos particulares (PC) y motos (2w). En el caso de la categoría de PC, el sistema de control de aire/combustible asociado a la tecnología de inyección multipunto (sistema de control que permite la dosificación electrónica del combustible) aumentó su participación al 72% para el año 2017, mientras que para el año 2014 solo era un 55%. De otra parte, en el sistema de control de emisión por tubo de escape los vehículos particulares sin ningún sistema de control pasaron de un 33% en 2014 a un 14% en 2017. Entre los demás cambios de la flota de PC, cabe destacar que en el año 2014 la tecnología Euro III sólo tenía una participación del 4%, valor que incrementó al 20% en 2017 (González, 2017; Valencia, 2019).

En cuanto a la categoría vehicular de motos (2w), se encontró que para el año 2017 el 80% de la flota está constituida por motores de 4 tiempos, valor superior al obtenido en el año 2014 con solo el 46%. Este tipo de motores son más limpios (menos contaminantes) que los motores a 2 tiempos. Cabe mencionar que, comparando con reportes del Valle de Aburrá, en Medellín las motos de 2 tiempos solo tienen una participación del 1.5% en la conformación del parque automotor (AMVA, 2018), mientras que en la ciudad de Manizales las motos de 2 tiempos tienen una participación del 9.3% en el total del parque. Adicionalmente, en Manizales para el año 2014 el 54% de las motos no contaban con catalizador (sistema de control de emisiones por tubo de escape), comparado con solo el 29% en el año 2017 (González, 2017; Valencia, 2019).



(a)

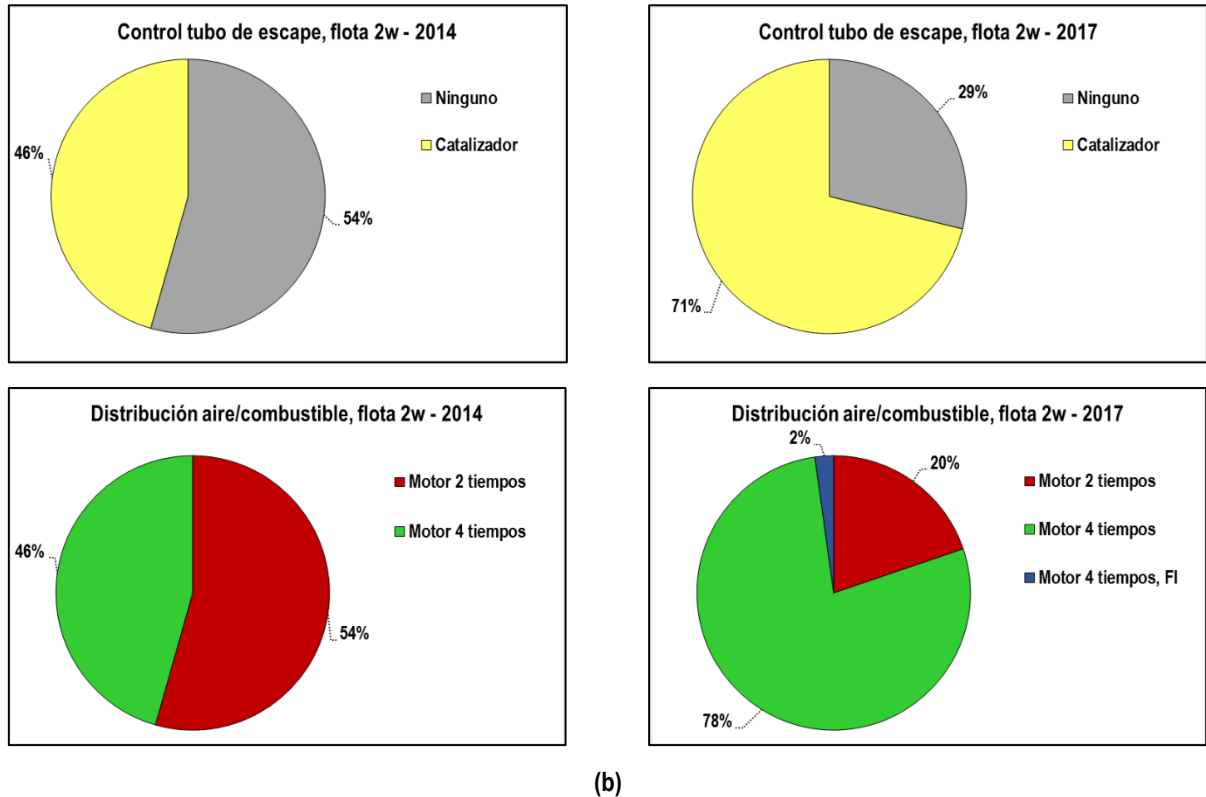


Figura 5. Distribución tecnológica de la flota vehicular de la ciudad de Manizales entre los años 2014 y 2017 para: a) Vehículos particulares (PC). b) Motocicletas (2w)

4.2.1. EMISIONES POR TUBO DE ESCAPE Y EVAPORATIVAS

Las emisiones por fuentes móviles asociadas al tubo de escape corresponden a las emisiones de diferentes compuestos producto de la combustión incompleta en los motores de los vehículos. Las emisiones evaporativas corresponden a la evaporación del combustible en el tanque, el motor y el sistema de inyección (principalmente asociado a los COV) (González, 2017). En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos de los flujos de emisiones totales anuales (ton/año) para emisiones por tubo de escape y evaporativas en el inventario de emisiones atmosféricas por fuentes móviles en ruta (año base 2017). En el grupo de contaminantes criterio y COV, se obtuvo un perfil de emisión propio de fuentes vehiculares siendo el CO el contaminante con la emisión predominante (28243 ton/año), seguido de los COV > NO_x > PM₁₀ > SO_x. En el grupo de gases de efecto invernadero (GEI) la mayor emisión corresponde al CO₂ con 511947 ton/año, seguido del metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).

Con fines comparativos, en la Tabla 5 se presenta la variación porcentual de los flujos de emisiones contaminantes obtenidos en el IE-2017 respecto al IE-2014. Se observa una disminución principalmente en las emisiones totales anuales de contaminantes como COV (48%), CH₄ (42%) y CO (35%) con respecto al IE-2014; mientras que contaminantes como NO_x y PM₁₀ tuvieron una disminución en menor proporción (5% y 17% respectivamente). Los resultados obtenidos se relacionan con los cambios en la distribución tecnológica (ver Figura 5) que como se mencionó anteriormente, al año 2017 se tienen mayores distribuciones porcentuales de tecnologías más eficientes y limpias (por ejemplo, motos de 4 tiempos y motores Euro III y Euro IV). Asimismo, hay una influencia en las actividades vehiculares, principalmente de la categoría de motos que tuvo una disminución en el promedio de los kilómetros recorridos pasando de 29 a 23 km/veh/día.

Tabla 4. Emisión total anual estimada para el sector de fuentes móviles en ruta (emisiones por tubo de escape y evaporativas), año base 2017

Categoría vehicular	Emisión por contaminante IE-2017 (ton/año)									
	CO	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	COV	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
PC	10653	833.5	19.7	29.8	27.51	17.8	870.2	220513.2	11.3	532
2w	11599.7	198.5	4.8	93.5	81.82	17.4	3676.9	49538.9	0.1	669.2
Taxi	4599.9	240.7	2.3	5.1	4.78	2.6	162.8	58839.9	3.2	457.6
Bus	817.9	2431.2	1.3	351.2	320.62	225.7	190.8	128862.9	1.8	0
Camión	572.8	964.5	0.6	151.9	138.71	100.7	106.1	54192.3	1.6	0.6
Total	28243.4	4668.3	28.7	631.6	573.4	364.1	5006.7	511947.2	18	1659.5

De otra parte, en el IE-2017 las emisiones de los contaminantes SO_x, CO₂ y N₂O aumentaron un 10%, 13% y 70% respectivamente. El aumento obtenido en las emisiones de SO_x se asocia al uso de gasolina como combustible, cuyo contenido de azufre es de 300 ppm comparado con el diésel que contiene 50 ppm. La gasolina es utilizada por categorías como motos y vehículo particular que aumentaron su número en la flota, así como los taxis, que presentaron un incremento porcentual en el uso de gasolina en comparación con el año 2014 (pasando del 24% al 41% entre los años 2014 y 2017).

Tabla 5. Diferencia porcentual al comparar las emisiones por fuentes móviles en ruta (tubo de escape y evaporativas) obtenidas en el IE-2017 y el IE-2014

Categoría vehicular	Contaminante									
	CO	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	COV	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
PC	-33% ↓	-19% ↓	9% ↑	41% ↑	37% ↑	46% ↑	-35% ↓	15% ↑	71% ↑	-40% ↓
2w	-46% ↓	41% ↑	-5% ↓	-49% ↓	-51% ↓	-66% ↓	-53% ↓	12% ↑	11% ↑	-54% ↓
Taxi	3% ↑	-3% ↓	95% ↑	-12% ↓	-22% ↓	-12% ↓	13% ↑	21% ↑	20% ↑	-14% ↓
Bus	8% ↑	3% ↑	9% ↑	-3% ↓	-6% ↓	-4% ↓	8% ↑	8% ↑	97% ↑	0%
Camión	-21% ↓	-13% ↓	10% ↑	-21% ↓	-23% ↓	-21% ↓	-26% ↓	7% ↑	343% ↑	600% ↑
Total	-35% ↓	-5% ↓	10% ↑	-17% ↓	-33% ↓	-15% ↓	-48% ↓	13% ↑	70% ↑	-42% ↓

En la Figura 6 se muestra la contribución porcentual de cada categoría vehicular al total de emisiones anuales según el tipo de contaminante (se muestra a la derecha la conformación del parque automotor en el IE-2017). Se observa principalmente que la categoría de vehículos particulares y motos contribuyen mayoritariamente a las emisiones de CO (79%), SO_x (86%), CH₄ (72%) y COV (90%); lo anterior guarda relación con la conformación del parque automotor ya que estas categorías conforman el 95% de la flota, adicionalmente, son categorías que utilizan gasolina como combustible principalmente.

En cuanto a las emisiones de los contaminantes NO_x y PM₁₀ se observa que las categorías de buses y vehículos pesados, a pesar de tener una baja participación en la conformación del parque automotor (3.7%), contribuyen en mayor medida con aportes en emisiones de NO_x del 52% (bus) y 21% (camión); y de PM₁₀ del 56% (bus) y 24% (camión) para el año 2017. Cabe mencionar que estas categorías vehiculares se caracterizan por usar diésel como combustible.

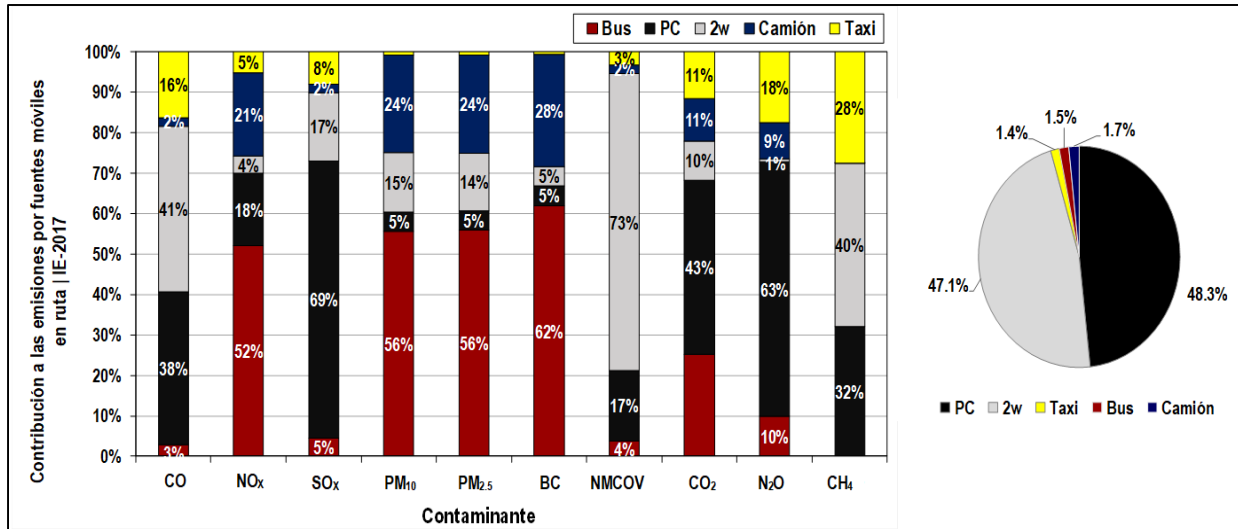


Figura 6. Contribución porcentual a las emisiones por fuentes móviles en ruta para IE-2017. A la derecha se muestra la distribución porcentual del parque automotor de Manizales para las categorías vehiculares analizadas

Respecto a la contribución a las emisiones contaminantes según el tipo de combustible utilizado por la flota vehicular, se muestran en la Figura 7 los resultados obtenidos. Se observa que la gasolina tiene un aporte significativo en las emisiones de CO (76%) y NMCOV (91%). El diésel aporta en mayor medida a las emisiones de PM₁₀ (84%) y NO_x (75%); mientras que el gas natural tiene un aporte mayoritario solo en las emisiones de CH₄ (51%).

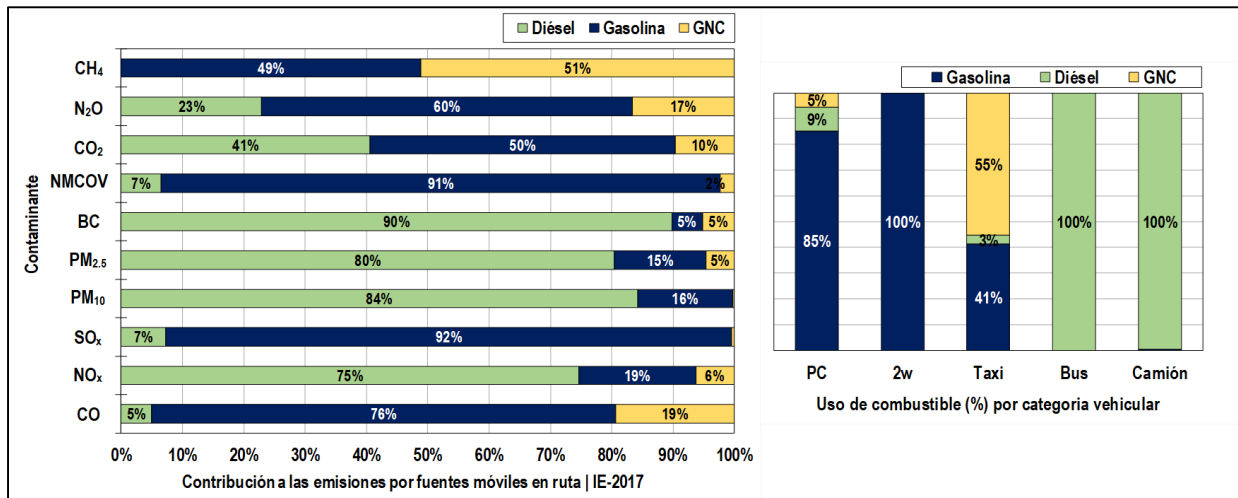


Figura 7. Contribución porcentual a las emisiones por fuentes móviles en ruta en función del tipo de combustible para el IE-2017. A la derecha se muestra el porcentaje de uso de combustible por categoría vehicular

4.2.2. EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO SUSCEPTIBLE DE RESUSPENSIÓN

Los resultados obtenidos de material particulado susceptible de resuspensión (MPR) se muestran en la Tabla 6. Estas emisiones corresponden al material particulado de 10 micrómetros de diámetro (PM₁₀) que se encuentra en la superficie de la carretera y puede ser resuspendido por la acción del paso de los vehículos. Con fines comparativos, se realizó también un estimado de las emisiones de MPR para el año 2014. El total de emisiones de MPR en función de PM₁₀ en el IE-2014 correspondieron a 73.58 ton/año, valor que aumento 4.6 toneladas para el año 2017. Las emisiones de MPR representan el 9% y 11% del total de emisiones de PM₁₀ por fuentes móviles en ruta para los años 2014 y 2017

como se observa en la Figura 8. Asimismo, se realizó un estimado de las emisiones de MPR asociadas a $PM_{2.5}$. En el IE-2017 dicha emisión correspondió a 18.9 ton/año comparado con 17.7 ton/año en el IE-2014, donde las categorías de vehículos particulares y motos tuvieron la mayor contribución.

Tabla 6. Emisiones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ susceptible de resuspensión en Manizales (años 2014 y 2017)

Categoría Vehicular	Emisiones (ton/año)	
	IE – 2014	IE – 2017
$PM_{2.5}$		
Automóviles (PC)	7.27	7.99
Motos (2w)	6.88	7.17
Taxi	1.48	1.43
Bus	1.62	1.71
Camión	0.49	0.55
Total	17.7	18.9
PM_{10}		
Automóviles (PC)	30.14	33.11
Motos (2w)	28.51	29.74
Taxi	6.15	5.94
Bus	6.72	7.09
Camión	2.05	2.29
Total	73.58	78.18

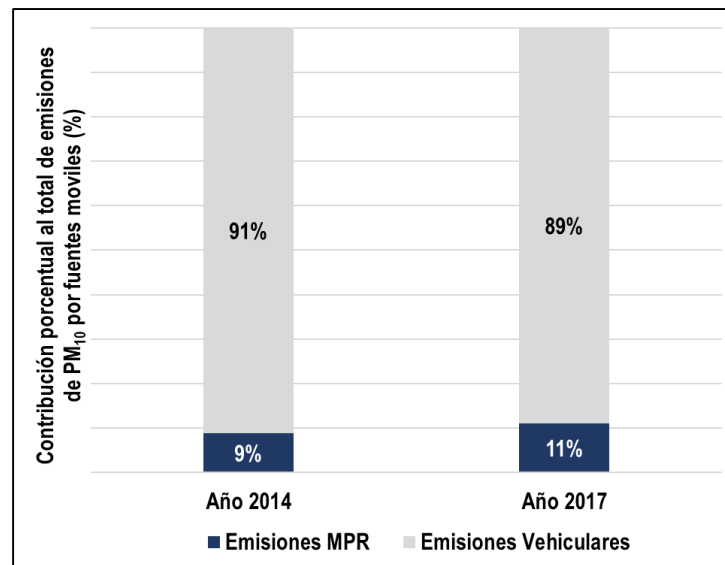


Figura 8. Participación de las emisiones de PM_{10} por material particulado resuspendido (MPR) y las emisiones vehiculares (tubo de escape y evaporativas) en la ciudad de Manizales, años 2014 y 2017

4.3. EMISIONES POR FUENTES ESTACIONARIAS

4.3.1. EMISIONES POR FUENTES ESTACIONARIAS PUNTALES

En la actualización del IE-2017 se recopiló información de 43 industrias en el municipio de Manizales y otras de importancia ubicadas en Villamaría, Chinchiná y Neira. En el caso de la ciudad de Manizales y el municipio de Villamaría (tenido en cuenta por su cercanía a la ciudad), la Figura 9 muestra la distribución porcentual del parque industrial inventariado de acuerdo con su actividad. La mayor participación en el parque industrial corresponde a las empresas de bebidas y alimentos (29%), seguido de las industrias química (20%), metalurgia (11%) y otros (producción de pilas y baterías, fabricación de rines para automóviles livianos, fabricación de aparatos de uso doméstico y fabricación de calzado) con una participación del 11%.

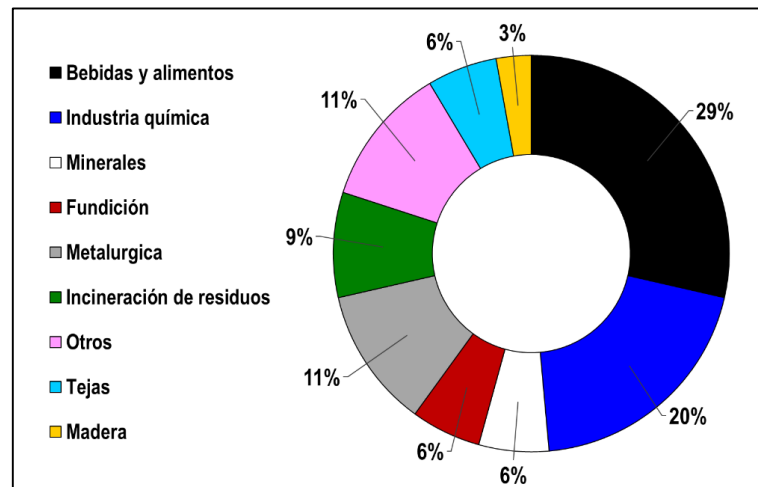


Figura 9. Distribución porcentual del tipo de industrias del inventario de emisiones del año 2017 para los municipios de Manizales y Villamaría

El tipo de actividad realizada, la producción y principalmente el tipo de combustible utilizado en las industrias, tiene alta influencia en la cantidad y tipo de contaminante emitido. Como se observa en la Figura 10, la industria que emite en mayor proporción los contaminantes NO_x , CH_4 y PM_{10} corresponde a la industria de bebidas y alimentos, la cual tiene la mayor participación en el parque industrial de la ciudad con un 29%. Por su parte, la industria de fundición a pesar de que sólo tiene una participación del 6% en el parque industrial, tiene un aporte significativo en las emisiones de CO y COV con un 46% y 61% respectivamente. En este caso, este tipo de emisiones se asocian principalmente a la combustión propia del proceso productivo donde predomina el uso de equipos como hornos de inducción, arco y cuchara. La industria química emite mayoritariamente óxidos de azufre (SO_x) y PM_{10} con un aporte del 48% y 25% respectivamente. Esta emisión se asocia principalmente al uso de diésel (en el caso del PM_{10}) y al uso de carbón como combustible, el cual contribuye a la emisión de compuestos azufrados y PM_{10} .

En menor proporción las industrias de tejas, madera, minerales, residuos, metalúrgica y otras tienen aporte a las emisiones de los diferentes contaminantes (inferiores al 20%), lo cual se relaciona a la baja participación que tienen en el parque industrial.

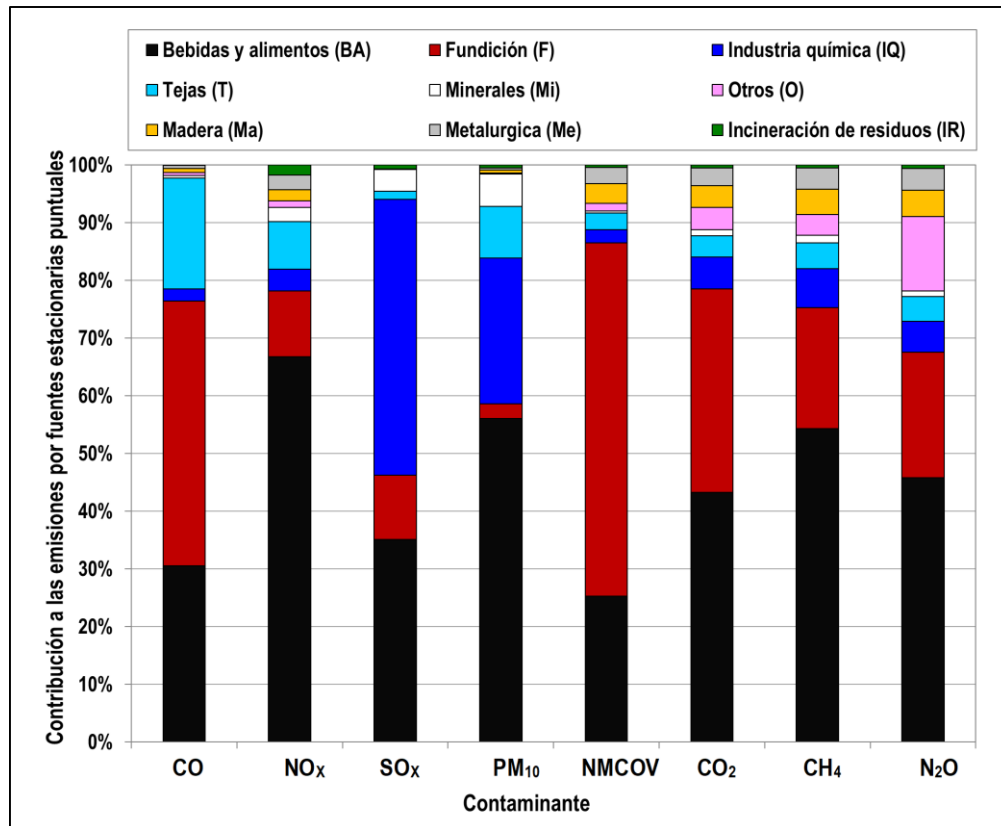


Figura 10. Aporte porcentual del tipo de industria al total de las emisiones por fuentes estacionarias puntuales en Manizales y Villamaría IE año base 2017

En la Tabla 7 y Figura 11 se muestra el consolidado de emisiones atmosféricas obtenidas por municipio y la contribución porcentual a las emisiones contaminantes. En términos de emisiones totales anuales por fuentes estacionarias puntuales para el año base 2017 en la ciudad de Manizales y Villamaría (este por su cercanía a la zona urbana de la ciudad), se emitieron 116255 ton/año de CO₂, 479.7 ton/año de CO, 247.3 ton/año de TSP, 214 ton/año de SO_x, 155 ton/año de NO_x y 57.8 ton/año de PM₁₀. Chinchiná tiene aportes importantes en las emisiones contaminantes de COV (5.84 ton/año), NO_x (48.1 ton/año) y gases de efecto invernadero (GEI), con emisiones de CO₂ de 48913 ton/año, CH₄ 0.9 ton/año y N₂O 0.9 ton/año. Dichas emisiones son provenientes de 7 industrias, mientras que el municipio de Neira tuvo los menores aportes en las emisiones, este último a pesar de que solo se evaluó una industria aporta predominantemente CO₂ (1066 ton/año), CH₄ (0.4 ton/año) y COV (1.03 ton/año).

Tabla 7. Consolidado de emisiones por fuentes estacionarias puntuales año base 2017, asociadas al tipo de industria por cada municipio evaluado

Tipo de industria	Emisión (ton/año)									
	CO	NO _x	SO _x	PM ₁₀	TSP	COV	Metales	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Manizales	479.4	154.8	213.9	57.6	247.2	5.84	0.37	115982	1.9	1.8
Chinchiná	38.2	48.1	8.3	5.7	10.4	2.13	0.36	48913	0.9	0.9
Villamaría	0.3	0.3	0.1	0.2	0.1	0.01	0.01	273	0.0	0.0
Neira	4.2	0.1	0.2	0.1	0.0	1.03	0.01	1066	0.4	-
Total general	522.0	203.3	222.5	63.6	257.8	9.0	0.7	166233.7	3.2	2.6

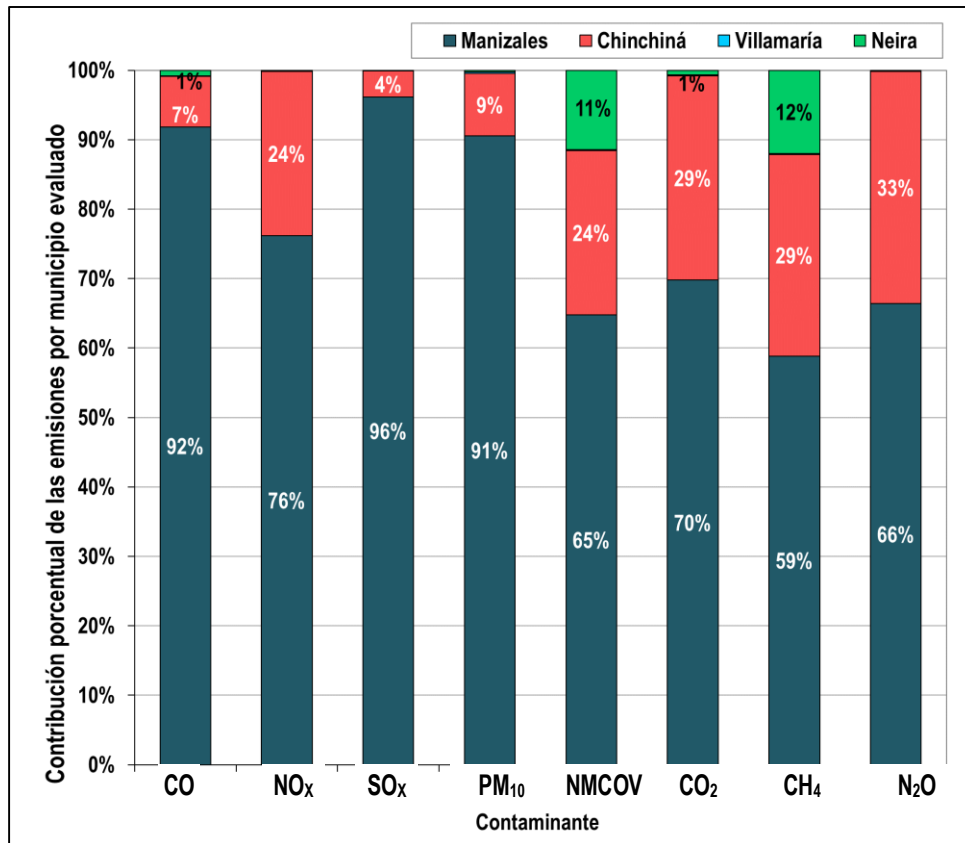
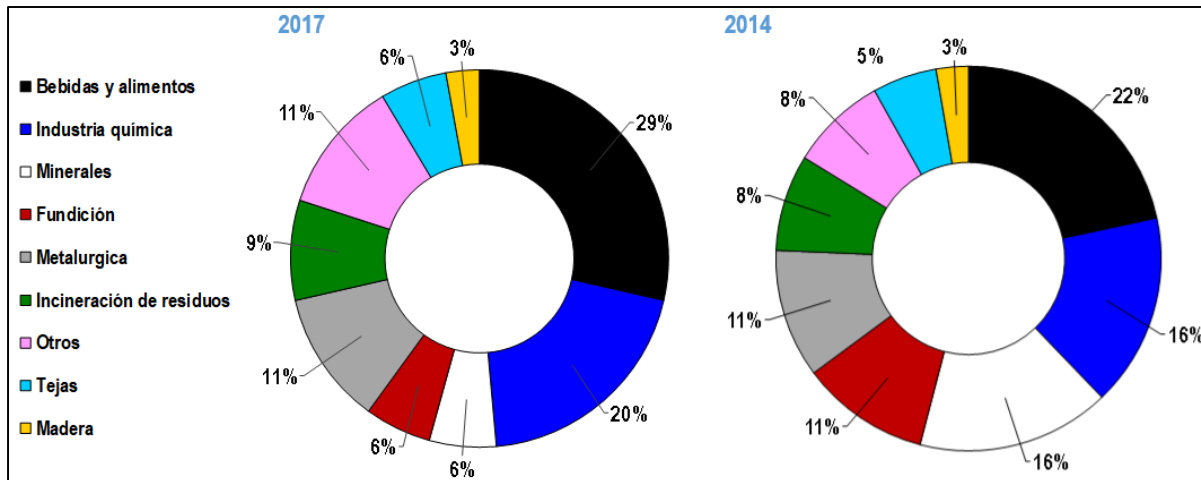
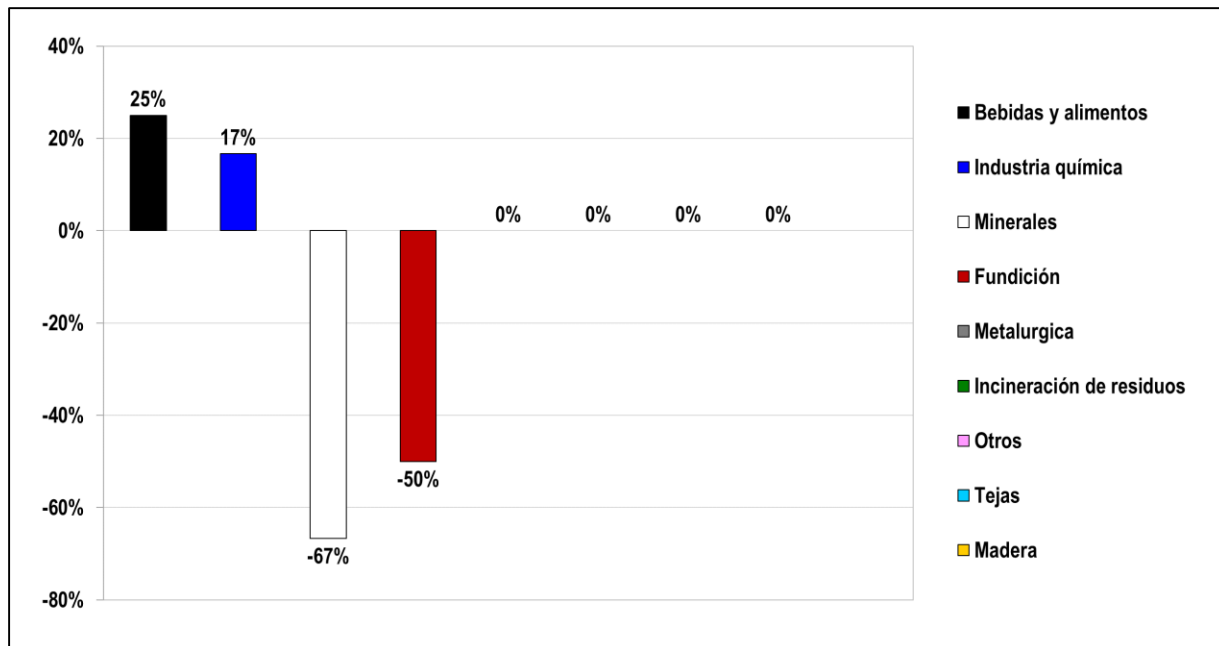


Figura 11. Distribución porcentual de los contaminantes atmosféricos emitidos en los municipios evaluados

Realizando un comparativo referente a la conformación del parque industrial para la actualización del IE-2017 respecto al IE-2104, en el año 2014 se evaluaron 37 empresas en Manizales y Villamaría, mientras que para el año 2017 se consideraron 43 industrias para los dos municipios en mención. En la Figura 12a se muestran las distribuciones porcentuales de cada tipo de industria según la actividad, donde se observa que incrementó la participación entre 2014 y 2017 de la industria de bebidas y alimentos (22% en 2014 a 29% en 2017), la industria química (del 16% al 20%) y otras (del 8% al 11%); En contraste hubo una disminución porcentual en la conformación del parque industrial en la industria de minerales (pasando del 16% en el 2014 al 6% en el año 2017) y la industria de fundición (del 11% en 2014 al 6% en 2017). Como se observa en la Figura 12b hubo una reducción del 67% (minerales) y 50% (fundición) en el número de industrias del 2017 respecto al 2014.



(a)



(b)

Figura 12. (a) Conformación del parque industrial en el IE-2014 y el IE-2017 (b) Variación porcentual del número de industrias del IE-2017 respecto al IE-2014

De otra parte, en la Tabla 8 se muestran los resultados de las emisiones atmosféricas totales anuales obtenidas en el año 2014 y 2017. Se obtuvo un incremento de las emisiones atmosféricas, comportamiento asociado a los cambios en la distribución del parque industrial especialmente para los contaminantes CO, NO_x, TSP, CO₂ y N₂O que se duplicaron al año base 2017. Las emisiones de SO_x, PM₁₀ y CH₄ aumentaron, pero en menor proporción. Se evidencia que las emisiones de CO₂ predominan sobre los demás contaminantes para ambos períodos de estudio, lo cual se debe a la quema de combustibles fósiles (diésel, gasolina y gas natural); donde el diésel aporta en mayor medida a este tipo de emisión, seguido por la gasolina y el gas natural (EIA, 2019).

Tabla 8. Comparativo de las emisiones totales por fuentes estacionarias puntuales de los IE año base 2014 y 2017 en Manizales y Villamaría

	Emisión (ton/año)									
	CO	NO _x	SO _x	PM ₁₀	TSP	NMCOV	Metales	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
IE año base 2017										
Total general IE-2017	479.7 ↑	155.1 ↑	214.1 ↑	57.8 ↑	247.4 ↑	5.85 ↑	0.38 ↑	116255 ↑	1.9 ↑	1.8 ↑
IE año base 2014										
Total general IE-2014	223.6	94.2	126.9	37.5	120.4	4.57	0.26	68839	1.9	1.2

4.3.2. EMISIONES POR FUENTES ESTACIONARIAS DE ÁREA

Las emisiones contaminantes por fuentes estacionarias de área asociadas a la distribución y almacenamiento de combustible, corresponden a emisiones de COV únicamente. Este grupo de compuestos altamente volátiles están presentes en los combustibles como la gasolina (principalmente) y el diésel; y pueden evaporarse a temperatura ambiente (Valencia, 2019). El IE de Manizales para fuentes estacionarias de área se enfocó en 30 estaciones de servicio (EDS) principales, en las cuales se distribuyeron alrededor de 26 millones de galones de combustible entre gasolina corriente, ACPM (diésel) y gasolina extra en el año 2017. En la Figura 13 se observa que la gasolina y el ACPM tuvieron mayor demanda entre los años 2014 y 2017 comparado con la gasolina extra.

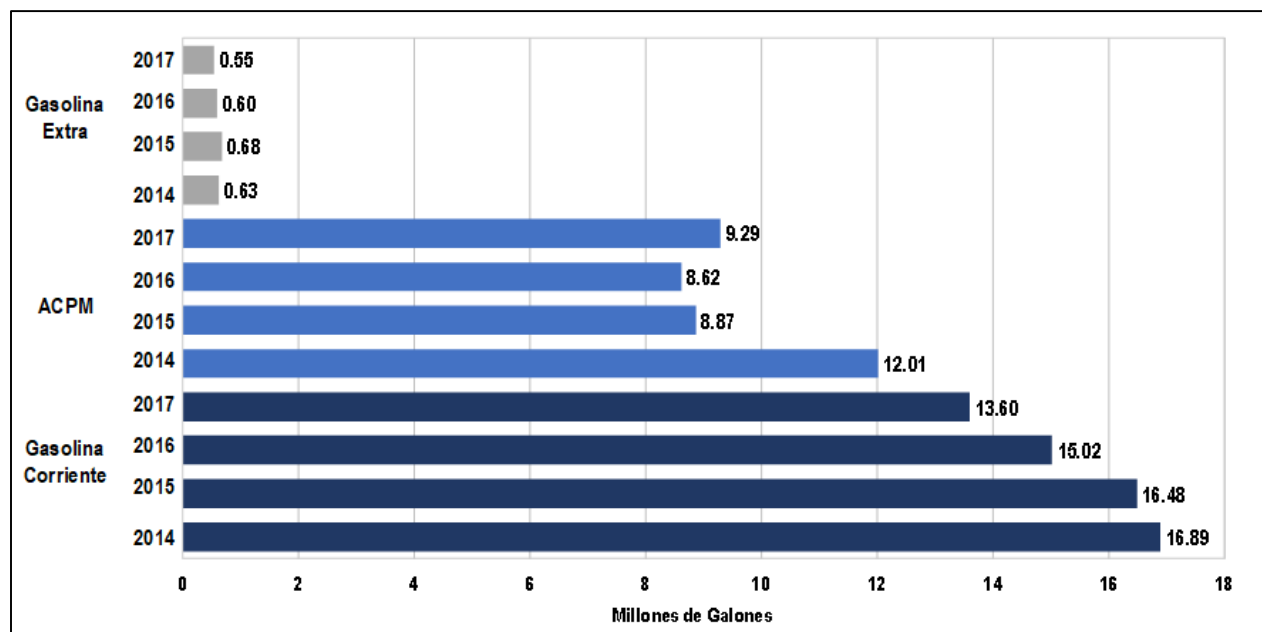


Figura 13. Cantidades totales de distribución de combustible en la ciudad de Manizales entre los años 2014 y 2017 (Fuente: SOLDICOM, 2018; Valencia, 2019)

En la Figura 14 se muestran los resultados obtenidos en la estimación de emisiones por fuentes estacionarias de área en Manizales para los años 2014 y 2017. En total la emisión de COV del IE-2014 correspondió a 164 ton/año, valor que aumento en el IE-2017 a 204 ton/año debido al aumento en la demanda de combustibles.

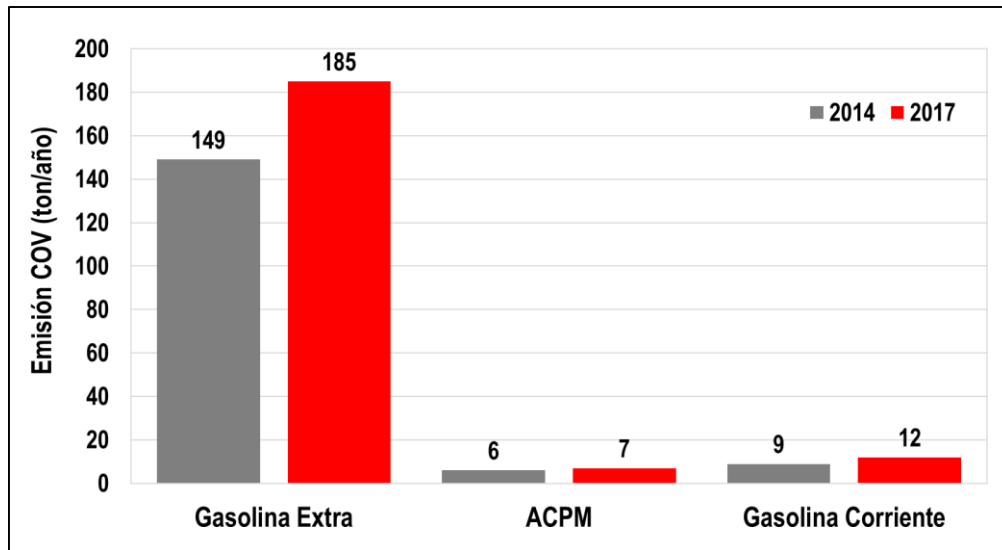


Figura 14. Emisiones anuales de COV estimadas en Manizales para los años 2014 y 2017 por fuentes estacionarias de área (distribución y almacenamiento de combustible)

4.4. EMISIONES DE $PM_{2.5}$ EN EL INVENTARIO DE EMISIONES AÑO BASE 2017

El material particulado con diámetro de 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$), es uno de los contaminantes de mayor importancia debido a su peligrosidad para la salud humana. Por su tamaño, el $PM_{2.5}$ puede alcanzar la zona alveolar del sistema respiratorio causando problemas de salud; también puede causar alteraciones al medio ambiente (OMS, 2006). Teniendo en cuenta la importancia del $PM_{2.5}$ en la calidad del aire de Manizales, se muestra en esta sección un análisis de los resultados obtenidos para este contaminante en el IE-2017.

En la Figura 15 se muestra el aporte de las fuentes de emisión al $PM_{2.5}$ emitido en Manizales, Las fuentes móviles en ruta aportan en un 96% a las emisiones de $PM_{2.5}$, siendo los buses y camiones las mayores fuente aportantes con 52% y 22% respectivamente, a pesar de tener una baja participación en el parque automotor de la ciudad (ver Figura 4). Esto se debe a que los buses y camiones utilizan diésel como combustible y éste se caracteriza por ser la fuente principal de $PM_{2.5}$. Cabe mencionar que las emisiones de $PM_{2.5}$ para Manizales al año 2017 correspondieron a 617.8 ton/año como se observa en la Tabla 2.

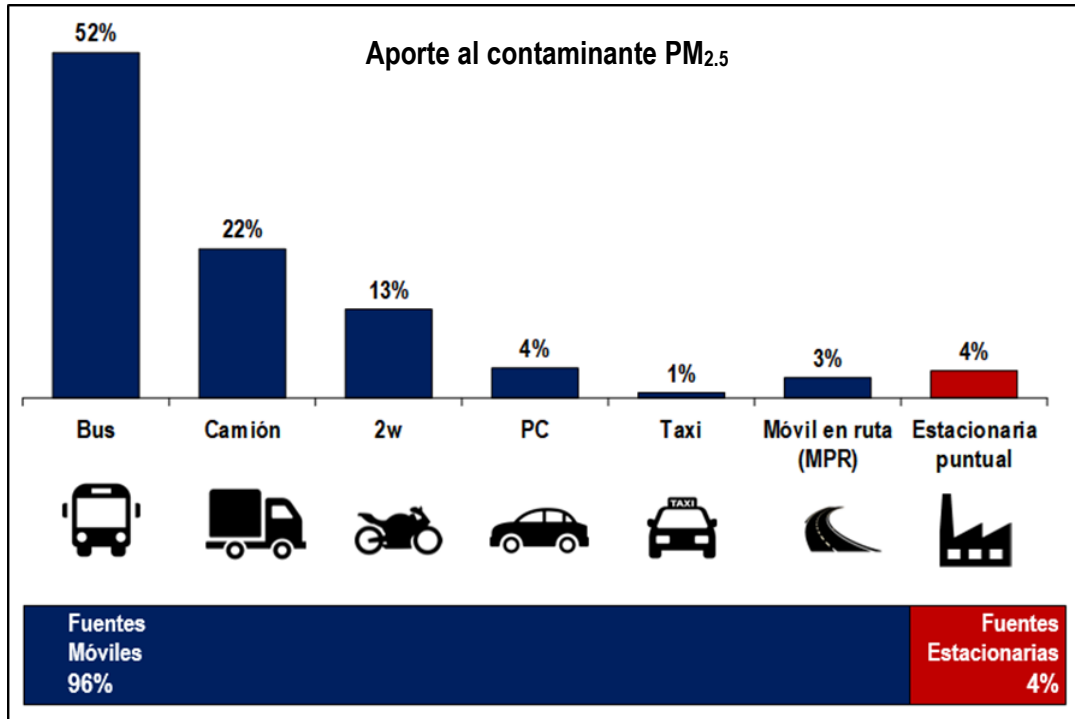


Figura 15. Aporte porcentual según el tipo de fuente a las emisiones de PM_{2.5}

Teniendo en cuenta que la principal fuente de emisión contaminante de PM_{2.5} son las fuentes móviles, en la Figura 16 se muestra la contribución porcentual de cada categoría vehicular a las emisiones de PM_{2.5}. Se observa que el aporte predominante corresponde a la categoría de buses (56%) debido al uso de combustible diésel. Los vehículos pesados (camiones) emiten el 24% del PM_{2.5}. En contraste, la categoría de taxis posee el menor aporte (1%) a estas emisiones, esto se debe a que usan como combustible además del diésel, la gasolina y el gas natural como se observa en la Figura 17.

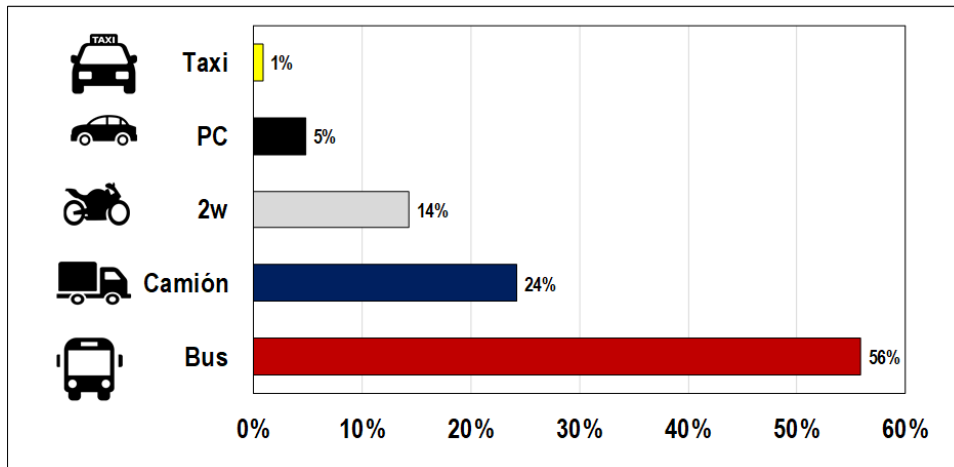


Figura 16. Contribución de las categorías vehiculares a la emisión de PM_{2.5} en Manizales para el IE-2017

En la Figura 17 se muestra la distribución de estas emisiones según la categoría vehicular y el combustible empleado. El porcentaje mayoritario obtenido corresponde al combustible diésel. Este combustible es utilizado en un 100% en

buses y vehículos pesados (camiones). En vehículos particulares el uso de diésel aportó un 83% de la emisión de PM_{2.5} para dicha categoría, seguido de gasolina que emite el 14% y el gas natural emite alrededor del 3%.

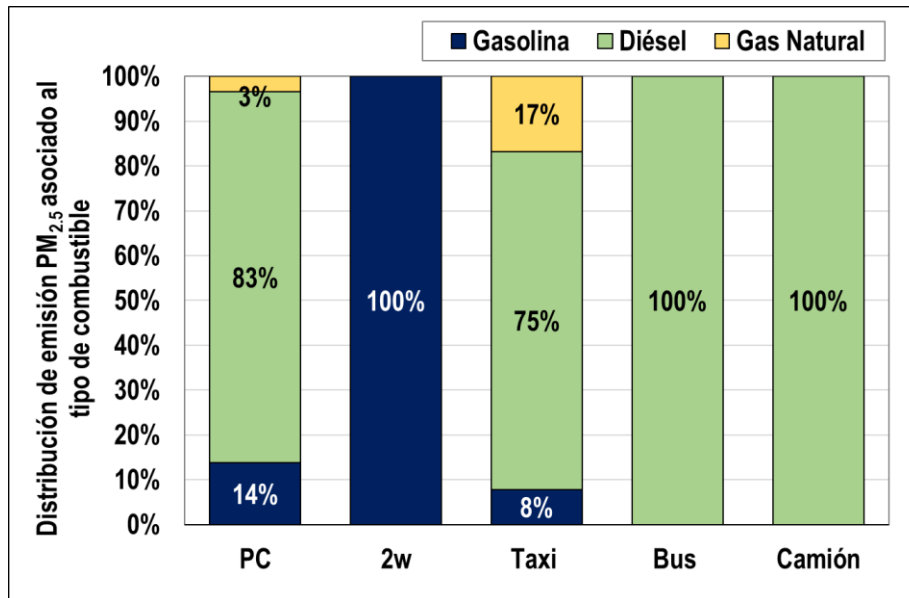


Figura 17. Porcentaje de emisión de PM_{2.5} respecto al tipo de combustible y categoría vehicular

Realizando un análisis comparativo de los resultados obtenidos para los años 2014 y 2017, en la Figura 18 se muestra el cambio porcentual de la emisión de PM_{2.5} respecto a la categoría vehicular y el tipo de combustible empleado. En el caso de los vehículos particulares se evidencia un incremento en la emisión de PM_{2.5} por el uso de combustible diésel (48%), relacionado a su vez por el incremento en el parque automotor de dicha categoría. Sin embargo, en las demás categorías vehiculares hubo una disminución en el aporte a las emisiones de PM_{2.5} (taxis 26%, bus 6%, motos 51% y camión 23%).

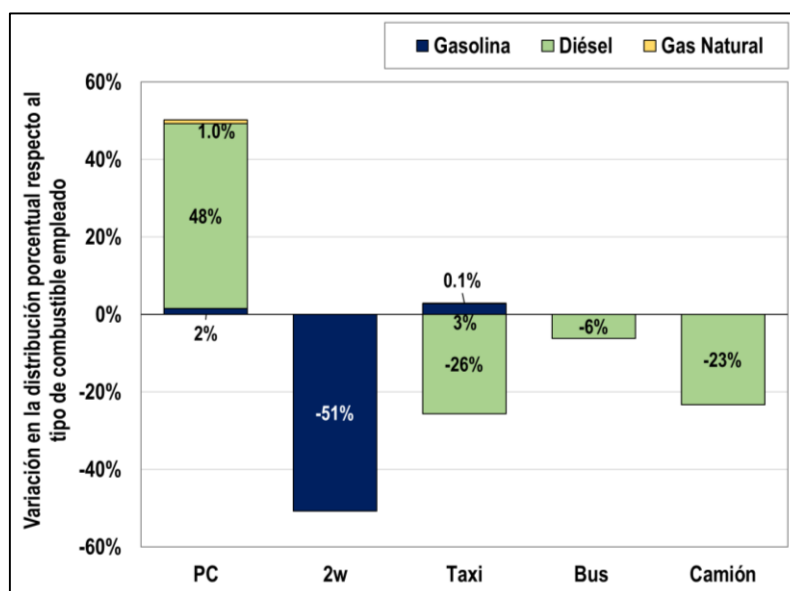


Figura 18. Variación en la distribución porcentual de la emisión de PM_{2.5} respecto al tipo de combustible empleado entre el IE-2014 y el IE-2017

5. REFERENCIAS

- Amato, F., Pandolfi, M., Moreno, T., Furger, M., Pey, J., Alastuey, A., Querol, X. (2011). Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities. *Atmospheric Environment*, 45(37), 6777–6787. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.06.003>
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá - AMVA. (2018). Actualización Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle de Aburrá - año 2016. Convenio de Asociación N°. CA. 583 de 2017. Disponible en: https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Documents/Inventario-de-emisiones/Inventario_FuentesM%C3%B3viles2016.pdf
- CEPAL 2009. Disponible en: <https://www.cepal.org/rio20/tpl/docs/3.ODM-7.ESP.pdf>
- Corporación Autónoma Regional de Caldas – CORPOCALDAS, Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales - UNAL. (2016). Apoyo y fortalecimiento de la red de monitoreo de calidad del aire en la ciudad de Manizales y cuantificación de emisiones atmosféricas por fuentes móviles. Convenio Interadministrativo 130-2014. Manizales Caldas, Colombia.
- ECCC (2019). Environment and Climate Change Canada. Canada’s Air Pollutant Emissions Inventory Report. (1990-2017). Disponible en: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/air-pollution/publications/emissions-inventory-report-2019/executive-summary.html>
- Ecopetrol. (2018). Calidad del Diésel en Colombia, 2018.
- EEA. (2016). Distribution of oil products. EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016, 2016.
- Energy Information Administration. EIA. (2019). How much carbon dioxide is produced when different fuels are burned? Disponible en: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=73&t=11>
- Environmental Agency (EPA). Paved Roads. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume I: Stationary Point and Area Sources, AP-42. 2011. Disponible en <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/index.html>
- EPA. (2008). Transportation And Marketing Of Petroleum Liquids. Volume II: Mobile Sources. 5.2.2.1.
- Fondo de Protección Solidaria – SOLDICOM. (2018). Informe estadístico de la distribución minorista de combustible en Colombia – 2018.
- González, C. M. (2017). Dinámica e impacto de emisiones antrópicas y naturales en una ciudad andina empleando un modelo Euleriano de transporte químico on-line. Caso de estudio: Manizales, Colombia. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Manizales, Colombia.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible – MADS. (2017). Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas [Recurso electrónico]. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana. Bogotá, D.C.: Colombia.
- Riojas, R, Soares da Silva, A., Texcalac J. L., Moreno, G. (2016). Air pollution management and control in Latin America and the Caribbean: implications for climate change. Disponible en: <https://www.scielo.org/article/rpsp/2016.v40n3/150-159/en/#>
- International Council on Clean Transportation (ICCT), Smart Freight Centre; Climate and Clean Air Coalition; Black carbon methodology for the logistics sector. Disponible en: <https://www.ccacoalition.org/en/resources/black-carbon-methodology-logistics-sector>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). Manual de fundamentos y planeación de inventarios de emisiones. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/documentos/3110_1_Planeacion.pdf
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT. (2009). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire - Manual para la elaboración de Planes de Gestión de la Calidad del Aire. Bogotá, D.C., Colombia. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/InformesGestionAnual/2009.pdf>
- Valencia, M. (2019). Estimación de las emisiones atmosféricas por resuspensión, distribución y almacenamiento de combustible en la ciudad de Manizales. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Manizales, Colombia.

World Health Organization – WHO. (2018). Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>