



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Metodología para evaluación de escenarios en el cambio de la oferta y la demanda de transporte para la ciudad de Manizales desde una perspectiva de reducción de emisiones.**

**Luis David López Buitrago**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola  
Bogotá, Colombia

2022



# **Metodología para evaluación de escenarios en el cambio de la oferta y la demanda de transporte para la ciudad de Manizales desde una perspectiva de reducción de emisiones.**

**Luis David López Buitrago**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Ingeniería - Transporte**

Director (a):

Sonia Cecilia Mangones Matos, Ph.D

Línea de Investigación:

Movilidad y Desarrollo Tecnológico

Grupo de Investigación:

Logística para el Transporte Sostenible y la Seguridad - TRANSLOGYT

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola

Bogotá D.C, Colombia

2022



*A mi familia y amigos.*



# Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

---

Luis David López Buitrago

Fecha 28/01/2023

## **Agradecimientos**

Agradecimientos a Dios, Familia, Amigos y a la Universidad Nacional de Colombia que me permitieron el desarrollo de esta investigación.

Al Grupo de investigación en Calidad del Aire de la sede Manizales de la Universidad Nacional, con quien se desarrolló el proyecto de investigación *Herramienta para la Gestión de la Calidad del Aire en Manizales a partir de modelos de transporte y factores de emisión* dentro del cual se desarrolló esta investigación, financiado por la *Convocatoria Nacional para el fomento de alianzas interdisciplinarias que articulen investigación, creación, extensión y formación en la Universidad Nacional de Colombia 2019-2021*

A Sonia Mangones, directora de esta tesis de investigación, quien me brindo su conocimiento y tutoría para llevar a buen término esta investigación.

A Julián Sandoval por su apoyo en desarrollo y explicación en lo concerniente al modelo de planeación de transporte.

A todo el equipo del proyecto de investigación al que se encuentra vinculado esta tesis.





## Resumen

**Metodología para evaluación de escenarios en el cambio de la oferta y la demanda de transporte para la ciudad de Manizales desde una perspectiva de reducción de emisiones.**

Manizales - Colombia, es una ciudad que se enfrenta a diferentes de retos en materia de movilidad, sus condiciones topográficas complejas, el aumento del uso del vehículo privado y disminución del uso del transporte público, generan una combinación actores complejos que pueden llegar a poner en dificultades a cualquier ciudad.

La congestión vehicular es un problema, pero también preocupa la contaminación asociada a ese aumento en el tráfico y las consecuencias que esto pueda traer a la calidad del aire. En esta investigación desarrolla una metodología para la estimación de emisiones con base un enfoque Bottom-Up empleando un modelo de planeación de transporte. Partiendo de un escenario de modelación base en el año 2017 se realiza la calibración y validación de dicha metodología. Se evalúan 10 contaminantes (BC, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, COV, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> Y SO<sub>2</sub>). Del análisis realizado para el año base 2017 se destaca que cerca del 55% de las emisiones de SO<sub>2</sub> son de vehículos livianos, las motocicletas aportan 67% del COV, 59% del CO y el 58% de CH<sub>4</sub>.

Posteriormente se definen un escenario Business as Usual al año 2030 y 3 escenarios futuros más para el mismo año, que plantean cambios la oferta y la demanda del sistema de transporte general de la ciudad de Manizales. Se plantea 1) un escenario de Renovación de Flota del Transporte Público, 2) un escenario de cambios tecnológicos aplicando encuesta a expertos y 3) un escenario de mejora de combustibles.

Se destaca de los escenarios futuros reducciones en al menos uno de los contaminantes, donde se presentan disminuciones de emisiones de hasta 24% en CO<sub>2</sub> y 64.3% en SO<sub>2</sub> respecto al escenario Business As Usual 2030.

**Palabras clave:** Emisiones, Contaminantes, Fuentes móviles, Inventario, Manizales, Bottom-Up

## **Abstract**

**Methodology for the evaluation of scenarios in the change of supply and demand of transportation for the city of Manizales from an emissions reduction perspective**

Manizales, Colombia is a city that has different challenges in terms of mobility, its complex topographic conditions, the increased use of private vehicles and decreased use of public transport, generate a combination of complex actors that can put any city in difficulties.

Vehicular congestion is a problem, but the pollution associated with this increase in traffic and the consequences that this can bring to air quality is also a concern. This research develops a methodology for estimating emissions based on a Bottom-Up approach using a transportation planning model. Starting from a base modeling scenario in 2017, the calibration and validation of this methodology is performed.

Ten pollutants are evaluated (BC, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, VOC, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and SO<sub>2</sub>). From the analysis performed for the base year 2017, it is highlighted that about 55% of SO<sub>2</sub> emissions are from light vehicles, motorcycles contribute 67% of VOC, 59% of CO and 58% of CH<sub>4</sub>.

Subsequently, a Business as Usual scenario was defined for the year 2030 and 3 more future scenarios for the same year, which propose changes in the supply and demand of the general transportation system of the city of Manizales. The following scenarios are proposed: 1) a Public Transportation Fleet Renewal scenario, 2) a scenario of technological changes by applying an expert survey and 3) a scenario of fuel improvement.

The future scenarios show reductions in at least one of the pollutants, with emission reductions of up to 24% in CO<sub>2</sub> and 64.3% in SO<sub>2</sub> with respect to the Business As Usual 2030 scenario.

**Keywords: Emissions, Pollutants, Mobile Sources, Inventory, Manizales, Bottom-Up**



# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>XI</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>XII</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XVIII</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XXI</b>
<b>Lista de abreviaciones</b> .....	<b>XXIV</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>27</b>
1.1 Panorama de la contaminación por fuentes móviles.....	29
1.2 Descripción de área de estudio .....	32
1.2.1 Contaminación por fuentes móviles en Manizales .....	33
1.2.2 Movilidad actual en Manizales .....	34
1.2.3 Movilidad en el futuro para Manizales.....	37
1.3 Identificación del problema.....	38
1.4 Objetivo general .....	38
1.5 Objetivos específicos .....	39
1.6 Desarrollo de la investigación.....	39
1.7 Alcance e Hipótesis.....	40
1.8 Metodología .....	42
<b>2. Herramienta para la estimación de emisiones de fuentes móviles</b> .....	<b>47</b>
2.1 Método.....	48
2.1.1 Modelo de planeación de transporte .....	51
2.1.2 Factores de emisión .....	53
2.2 Estructura de algoritmo de cálculo .....	55
2.2.1 Determinación de los volúmenes vehiculares para las 24 horas del día .....	56
2.2.2 Determinación de volúmenes equivalentes en las 24 horas del día para cada link. 61	61
2.2.3 Estimación de velocidad medias por link en las 24 horas del día.....	62
2.2.4 Ponderación de los factores de emisión por tipología vehicular .....	64
2.2.5 Estimación de emisiones por contaminante .....	65
2.3 Resultados escenario base .....	66
2.3.1 Distribución geográfica de emisiones.....	67
2.3.2 Distribución Temporal de emisiones .....	68
2.3.3 Emisiones generadas por tipologías vehiculares .....	69
2.3.4 Contaminación por tipo de combustible .....	72

2.4	Discusión y validación de resultados.....	74
<b>3.</b>	<b>Escenarios de cambios de oferta y demanda del sistema de transporte.....</b>	<b>77</b>
3.1	Metodología para la definición de escenarios de modelación.....	78
3.1.1	Escenario Business As Usual.....	81
3.1.2	Escenario de renovación de flota de transporte público colectivo.....	86
3.1.3	Escenario de cambios tecnológicos.....	89
	Estructuración de la encuesta a expertos.....	92
	Resultados de la encuesta a expertos.....	93
3.1.4	Escenario de mejora de combustibles.....	96
3.2	Comparación de escenarios.....	98
<b>4.</b>	<b>Resultados y análisis de escenarios futuros.....</b>	<b>101</b>
4.1	Escenario Business as Usual 2030.....	102
4.1.1	Distribución espacial de emisiones.....	104
4.1.2	Distribución temporal de emisiones.....	105
4.1.3	Aportes a la contaminación por tipología vehicular y combustible.....	107
4.2	Escenario de renovación de la flota de transporte público colectivo.....	109
4.2.1	Distribución espacial de emisiones.....	111
4.2.2	Aportes a la contaminación por tipología vehicular y combustible.....	111
4.3	Escenario de cambios tecnológico.....	113
4.3.1	Aportes a la contaminación por tipología vehicular y combustible.....	115
4.4	Escenario de mejoras de combustible.....	117
4.4.1	Aportes a la contaminación por tipología vehicular y combustible.....	118
4.5	Comparación y discusión de los resultados.....	120
4.5.1	Comparación de flota vehicular.....	123
4.5.2	Comparación de actividad vehicular.....	124
4.5.3	Comparación de distribución de emisiones.....	125
	Distribución espacial.....	125
	Distribución temporal.....	127
<b>5.</b>	<b>Conclusiones, recomendaciones y oportunidades de mejora.....</b>	<b>133</b>
5.1	Conclusiones.....	133
5.2	Recomendaciones y oportunidades de mejora.....	136
<b>A.</b>	<b>Anexo: Factores de emisión y flota vehicular.....</b>	<b>139</b>
<b>B.</b>	<b>Anexo: Actividad vehicular.....</b>	<b>161</b>
<b>C.</b>	<b>Anexo: Gráficas.....</b>	<b>163</b>
<b>D.</b>	<b>Anexo: Factores de hora pico.....</b>	<b>179</b>
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>180</b>



## Lista de figuras

	Pág.
Ilustración 1 Compromiso de Colombia en el acuerdo de París .....	30
Ilustración 2 Mapa de ubicación del área de estudio.....	32
Ilustración 3. Tasa de motorización en Manizales entre 2009 y 2020 (vehículos por cada 1000 habitantes).....	35
Ilustración 4 Distribución modal Manizales.....	36
Ilustración 5 Flujograma del desarrollo de la investigación, capítulo 1 .....	40
Ilustración 6 Flujograma metodológico para la estimación de emisiones.....	46
Ilustración 7 Flujograma del desarrollo de la investigación, capítulo 2.....	48
Ilustración 8 Comportamiento del factor de emisión de CO <sub>2</sub> en función de la velocidad para autos pequeños a gasolina de tecnología ECE 15/04.....	55
Ilustración 9 Ubicación de estaciones maestras Manizales PMM 2017.....	58
Ilustración 10 Distribución de Factores de hora pico, de acuerdo con las comunas de Manizales.....	59
Ilustración 11 Distribución de Factores de hora pico en la malla vial evaluada ....	61
Ilustración 12 Mapa de generación de emisiones de CO <sub>2</sub> día típico evaluado .....	67
Ilustración 13 Perfil diario de emisiones de CO <sub>2</sub> del día típico en la ciudad de Manizales.....	69
Ilustración 14 Perfil diario de emisiones de CO <sub>2</sub> por tipología vehicular.....	70
Ilustración 15 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según categoría vehicular.....	71
Ilustración 16 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados por tipo de combustible.....	72
Ilustración 17 Flujograma del desarrollo de la investigación, capítulo 3 .....	78
Ilustración 18 Proyección del parque automotor de motocicletas .....	83
Ilustración 19 Proyección del parque automotor de autos particulares .....	83

---

Ilustración 20 Flujograma del desarrollo de la investigación, capítulo 4 .....	102
Ilustración 21 Comparativo de emisiones del escenario BAU con respecto al escenario base.....	103
Ilustración 22 Mapa de generación de emisiones de CO <sub>2</sub> día típico, escenario Business as Usual 2030.....	105
Ilustración 23 Perfil diario de emisiones de CO <sub>2</sub> total, escenario Business as Usual 2030 .....	106
Ilustración 24 Perfil diario de emisiones de CO <sub>2</sub> por categoría vehicular, escenario Business as Usual 2030 .....	107
Ilustración 25 Comparativo de emisiones del escenario de renovación de transporte público respecto al escenario base.....	110
Ilustración 26 Mapa de generación de emisiones de CO <sub>2</sub> día típico, escenario de renovación del transporte público 2030 .....	111
Ilustración 27 Comparativo de emisiones del escenario de cambios tecnológicos respecto al escenario base.....	115
Ilustración 28 Comparativo de emisiones del escenario de mejora de combustibles respecto al escenario base.....	118
Ilustración 29 Comparativo de emisiones de escenario de proyección 2030 respecto al escenario BAU.....	122

XX Metodología para evaluación de escenarios en el cambio de la oferta y la demanda de transporte para la ciudad de Manizales desde una perspectiva de reducción de emisiones.

---

## Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Emisiones por fuente móviles en ruta inventario Top-Down Manizales 2017 .....	34
Tabla 2 Distribución modal Manizales, Bogotá, Medellín.....	36
Tabla 3 Metas de Plan Maestro de Movilidad de Manizales 2017-2031 .....	37
Tabla 4 Lista de categorías vehiculares evaluadas .....	48
Tabla 5 Distribución de las ZAT en el modelo de planeación de Transporte.....	52
Tabla 6 Lista de contaminantes evaluados .....	54
Tabla 7 Factores de vehículos equivalentes.....	62
Tabla 8. Factores constantes para curvas VDF .....	63
Tabla 9 Actividad vehicular diaria calculada para los escenarios con año base 2017 .....	65
Tabla 10 Resultados generales de emisiones día típico y año base 2017.....	66
Tabla 11 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según categoría vehicular .....	71
Tabla 12 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados por tipo de combustible.....	73
Tabla 13 Comparación inventario Bottom-Up COPERT con Inventario Top-Down-IVE año base 2017 .....	75
Tabla 14 Comparación inventario Bottom-Up COPERT con Inventario Top-Down-COPERT año base 2017.....	76
Tabla 15 Resultado de orden de prioridad definidos para la modelación de escenarios.....	81
Tabla 16 Cambios en el número de vehículos del parque automotor 2017-2030 .....	84

Tabla 17 Actividad vehicular diaria calculada para los escenarios con año de referencia 2030.....	85
Tabla 18 Composición tecnológica de vehículos de reemplazo en el Sistema de Transporte Público Colectivo.....	88
Tabla 19 Estudios que emplean encuestas a expertos para la definición de escenarios futuros en políticas de transporte o impacto climático.....	90
Tabla 20 Resultado promedio del escenario Optimista.....	94
Tabla 21 Resultado promedio del escenario moderado .....	94
Tabla 22 Resultado promedio del escenario pesimista .....	95
Tabla 23 Proyección normativa de la calidad de los combustibles a 2030 en Colombia. ....	97
Tabla 24 Diferencia en el contenido de azufre de combustibles según escenario	97
Tabla 25 Emisiones totales para el escenario Business as Usual 2030.....	103
Tabla 26 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según categoría vehicular, escenario Business as Usual 2030.....	107
Tabla 27 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según combustible, escenario Business as Usual 2030 .....	109
Tabla 28 Emisiones totales para el escenario de renovación del transporte público 2030.....	109
Tabla 29 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según categoría vehicular, escenario renovación de transporte público 2030 .....	112
Tabla 30 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según tipo de combustible, escenario renovación de transporte público 2030 .....	113
Tabla 31 Emisiones totales para el escenario de cambios tecnológicos 2030 ....	114
Tabla 32 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según categoría vehicular, escenario de cambios tecnológicos 2030.....	116
Tabla 33 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según combustible, escenario de cambios tecnológicos 2030.....	117
Tabla 34 Emisiones totales para el escenario de mejora de combustibles 2030	117
Tabla 35 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según categoría vehicular, escenario de mejora de combustibles 2030 .....	119

---

Tabla 36 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según combustible, escenario de mejora de combustibles 2030.....	120
Tabla 37 Diferencia porcentual de emisiones respecto al escenario base 2017.	121
Tabla 38 Diferencia de emisiones respecto al escenario Business as Usual .....	122
Tabla 39 Cambios de flota vehicular (SI/NO) en escenarios futuros respecto al escenario Business as Usual 2030 .....	123
Tabla 40 VKTs según escenario evaluado.....	124
Tabla 41 Comparación de la distribución espacial del CO2.....	127
Tabla 42 Comparación de perfiles diarios de emisión de BC por tipo de vehículo .....	128
Tabla 43 Comparación de perfiles diarios de emisión de CO2 por tipo de vehículo .....	129
Tabla 44 Comparación de perfiles diarios de emisión de N2O por tipo de vehículo .....	130
Tabla 45 Comparación de perfiles diarios de emisión de SO2 por tipo de vehículo .....	132

## **Lista de abreviaciones.**

GEI: Gases de efecto invernadero

SETP: Sistema estratégico de transporte público

IEA: Inventario de emisiones atmosféricas

VDF: Volume–Delay Functions

TPC: Transporte Público Colectivo

C2: Camiones de 2 ejes

C2+: Camiones de más de 2 ejes

BAU: Business as usual

VKT: vehicles kilometers traveled

PHF: Peak hour factor





# 1. Introducción.

La industrialización de las ciudades ha generado una transformación en la disposición de la población mundial, teniendo cada vez más población ubicada en las ciudades. Mientras que en 1960 cerca el 34% de la población era urbana, en 2020 esta proporción aumentó al 56% (Banco Mundial, 2021) y se espera que para 2050 el total de población ubicada en zonas urbanas sea el 75% (X. Q. Zhang, 2016). Esta tendencia de traslado de población ha generado ciudades más grandes y densas, las cuales se enfrentan a un aumento de la generación de contaminantes y de la concentración de los mismos, que a su vez generan afectaciones a la salud humana (Khan et al., 2020; Rojas-Rueda et al., 2012). El tráfico urbano uno de los principales responsables en términos de calidad del aire (Tang et al., 2019), y se define como contaminación por fuentes móviles

Las afectaciones por la contaminación atmosférica han generado diferentes iniciativas que buscan estrategias y la implementación de nuevas tecnologías que generen un menor impacto al medio ambiente (World Health Organization, 2016). Para el cumplimiento de estas iniciativas una gran proporción de países a nivel mundial han organizado cumbres de

cambio climático y desde 1992 la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático busca pactar compromisos y metas para que las actividades asociadas al desarrollo económico disminuyan sus efectos nocivos sobre el planeta.

Si embargo una incógnita asociada a este tipo de problemáticas, a la cual se enfrentan las ciudades y mandatarios, es cómo estimar la reducción de emisiones por fuentes móviles que puede tener una estrategia de una política pública de movilidad o una acción del mercado. Los modelos de inventarios de emisiones pueden ayudar a responder estas incógnitas.

Con el fin de tener un mejor diagnóstico sobre las emisiones por fuentes móviles y tener un instrumento de apoyo en la gestión del transporte y el medio ambiente, específicamente en lo referente a la contaminación atmosférica, las sedes de Manizales y Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia, desarrollan el proyecto de investigación titulado *“Herramienta para la gestión de la calidad del aire en Manizales a partir de modelos de transporte y factores de emisión”* el cuál es apoyado por la *Convocatoria nacional para el fomento de alianzas interdisciplinarias que articulen investigación, creación, extensión y formación en la universidad nacional de*

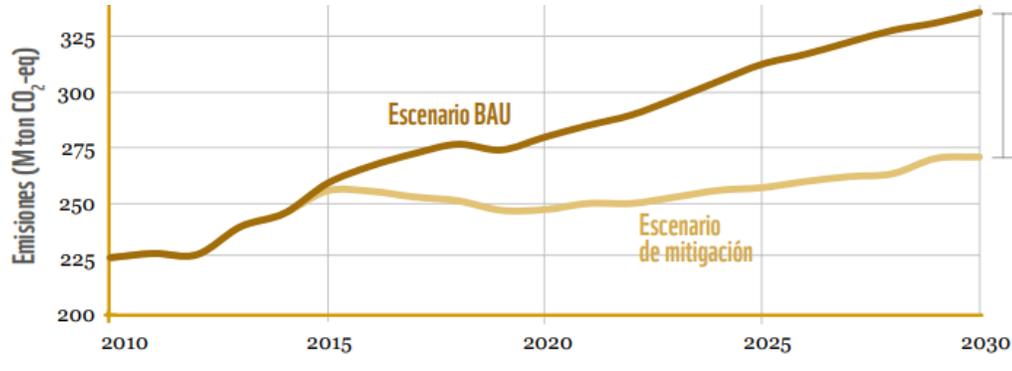
*Colombia 2019–2021*. La presente investigación se enmarca en este proyecto, cuyo alcance incluye la estimación de emisiones a través de la metodología Bottom–Up y la evaluación de escenarios futuros de la ciudad de Manizales.

## **1.1 Panorama de la contaminación por fuentes móviles**

Las actividades asociadas al transporte, aportaban a nivel mundial el 20.4% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> en 2014, para Colombia es porcentaje de participación es más amplio, con el 41.2% de las emisiones de CO<sub>2</sub> para el mismo año (Banco Mundial, 2014). Con el fin de disminuir este aporte y mitigar el impacto, no solo de los GEI sino también de otros contaminantes que afectan la calidad del aire, se han impulsado iniciativas como estándares de emisiones para vehículos automotores cada vez más estrictos (Ministerio De Ambiente Vivienda Y Desarrollo Territorial, 2008; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013).

En este contexto se presenta en la Ilustración 1 el compromiso de reducción de emisiones de Gases efecto invernadero para Colombia en el acuerdo de París, que corresponde al 20% respecto de un escenario modelado con BaU (Business as Usual), el cual, para el caso del CO<sub>2</sub> es aproximadamente 60 millones de toneladas para el año 2030.

Ilustración 1 Compromiso de Colombia en el acuerdo de París



Fuente: El acuerdo de París, Así actuará Colombia frente al cambio climático  
(García Arbeláez et al., 2016)

Para el cumplimiento de esta meta desde el sector transporte el Gobierno Nacional de Colombia en cabeza de los Ministerios de Transporte, Minas y Energía y Ambiente, desarrollaron una estrategia Nacional de Movilidad Eléctrica y Sostenible Y Actualmente Colombia está en proceso de implementación de la ley 1964 de 2019 (Congreso de Colombia, 2019). Allí se establecen beneficios para la adquisición de vehículos eléctricos, como la excepción a medidas de restricción vehicular como el “pico y placa” y el “día sin carro”, descuentos en la adquisición de seguros, revisiones e incluso sobre los créditos de compra, entre otras, esto sin importar si el vehículo es para uso público o particular

Adicionalmente, desde 1995 se expide la Resolución 898 “Por la cual se regulan los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y caldera de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna de vehículos automotores”, la cual ha tenido diferentes modificaciones que vuelven más estrictos los estándares en los combustibles producidos, importados y comercializados en el país. Este es el caso de la Ley 1205 de 2008, la cual definió un cronograma de mejoramiento del diésel y estableció que a partir del 31 de diciembre de 2012 solo se permitió la producción y comercialización de diésel con un contenido inferior a 50 ppm de azufre. Dicha norma es más estricta con los sistemas de transporte público masivos, estableciendo que su funcionamiento a partir de 1 de enero de 2010 debe ser con combustibles de estas características.

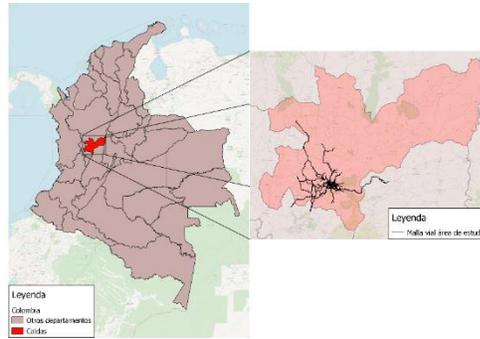
Así como se han tomado acciones desde el orden nacional también han sido tomadas decisiones desde las ciudades, con planes de ordenamiento territorial cada vez más conscientes de las necesidades de planeación orientada desde el transporte, donde dan su espacio al peatón, los medios activos y el transporte público como ejes fundamentales para el mejoramiento del sistema de transporte de las ciudades, como es el caso del plan de ordenamiento 2017–2031 para la ciudad de Manizales.

Pero aún con estas medidas y avances, se pueden considerar como insuficientes, demostrable en la existencia de casos como el de la ciudad de Manizales donde dicho porcentaje de aporte a la contaminación por fuentes móviles pasa a ser 81,5%, para el caso del CO<sub>2</sub> (Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales & Corpocaldas, 2017).

## **1.2 Descripción de área de estudio**

Manizales es una ciudad intermedia en Colombia, capital del Departamento de Caldas. Según el último censo de población cuenta con 434,403 habitantes, y además cuenta con el índice de pobreza monetaria más bajo de las ciudades del país, con un ingreso mensual promedio familiar de 937,969 pesos colombianos, (DANE,2020). Manizales está ubicada sobre la cordillera central colombiana, a una altitud media de 2,150 msnm y tiene más del 60% de su superficie con pendientes superiores al 15% (POT Manizales, 2000).

Ilustración 2 Mapa de ubicación del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

Adicional a la ciudad de Manizales se evalúan los municipios que conforman su área de proximidad entre los que se encuentran Villamaría, Neira, Palestina y Chinchiná, poblaciones que suman cerca de 120.000 habitantes.

### 1.2.1 Contaminación por fuentes móviles en Manizales

El inventario oficial de emisiones para la ciudad de Manizales está basado en una metodología agregada (Top-Down), la cual parte de información general o agregada de la actividad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), 2017), en este caso de fuentes móviles. Esta metodología no permite la estimación de los potenciales de reducción o aumento de emisiones atmosféricas ocasionadas por la implementación proyectos de movilidad que modifican la oferta y la demanda del transporte.

Cómo se mencionó anteriormente, dicho inventario, establece que el 81,5% de las emisiones de CO<sub>2</sub> son aportadas por fuentes móviles (Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales & Corpocaldas, 2017). En la Tabla 1 se presenta el resultado de las emisiones por fuentes móviles en ruta para

el año base 2017 del inventario de emisiones realizado bajo esta metodología (Top-Down).

Tabla 1 Emisiones por fuente móviles en ruta inventario Top-Down Manizales 2017

Emisión de contaminantes por fuentes móviles en ruta (ton/Año)									
CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	BC	COVN M	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
28243 .3	4668. 3	28. 7	631. 6	573. 5	364. 1	5006. 7	511947 .0	1659. 5	18. 0

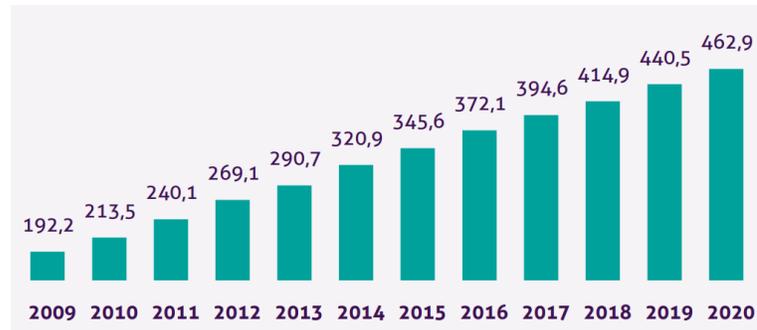
Fuente: (Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales & Corpocaldas, 2017)

### 1.2.2 Movilidad actual en Manizales

Uno de los factores a los que se puede asociar este alto grado de aporte por parte de fuentes móviles a la contaminación de la ciudad es al aumento de su tasa de motorización, que pasó de 192.2 vehículos por cada 1000 habitantes en 2009 a 3946 en 2017 y a 462.9 vehículos por cada 1000 habitantes en 2020 (Ver Ilustración 3), representado casi un vehículo por cada 2 habitantes, aumentando la congestión y la duración de los viajes. Por otra parte, se presenta disminución de los usuarios de transporte público

que paso de tener cerca de 210 mil usuarios diarios en 2012 a 175 mil en 2019. (Manizales Cómo Vamos, 2020).

Ilustración 3. Tasa de motorización en Manizales entre 2009 y 2020 (vehículos por cada 1000 habitantes)



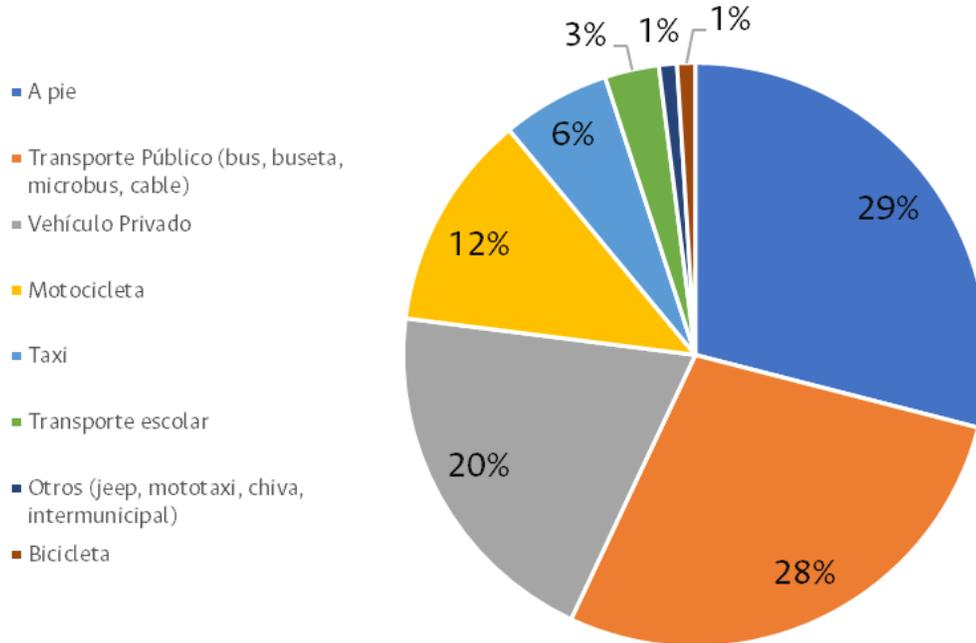
Fuente: (Manizales Cómo Vamos, 2020)

Estas dos condiciones agrupadas pueden estar indicando un aumento progresivo en las emisiones de contaminantes por fuentes móviles, donde se pueden estar presentando aportes mayores a los ya reportados en 2017 para estas fuentes en años posteriores.

La ciudad de Manizales actualmente cuenta con un sistema de transporte público no integrado, el cual funciona a partir de busetas y buses urbanos, y dos líneas de cable aéreo que conectan la terminal de transporte con el centro de la ciudad y con el municipio de Villamaría.

Manizales tiene tres modos de transporte dominantes, a pie, transporte público y vehículo privado con 29, 28 y 20% respectivamente (Ver Ilustración 4).

Ilustración 4 Distribución modal Manizales



Fuente: (Manizales, 2017)

Para tener un valor de referencia, si bien las dinámicas de Manizales son diferentes a las de Bogotá y Medellín, estas ciudades tienen un 23,9 % y 28% de los viajes realizados a pie, respecto a los viajes en transporte público 35.8% y 34% respectivamente, y los viajes en vehículos privado representan el 15% para Bogotá y el 13% para la ciudad de Medellín (Ver Tabla 2) (Encuesta de Movilidad, Bogotá, 2019 y Encuesta de Movilidad AMVA, 2017).

Tabla 2 Distribución modal Manizales, Bogotá, Medellín.

Modo de transporte	Manizales	Bogotá	Medellín
<b>A pie</b>	29%	24%	28%
<b>Transporte Público</b>	28%	36%	34%
<b>Vehículo privado</b>	20%	15%	13%

<b>Motocicleta</b>	12%	6%	12%
<b>Taxi</b>	6%	5%	7%
<b>Transporte escolar</b>	3%	-	-
<b>Otros</b>	1%	5%	5%
<b>Bicicleta</b>	1%	7%	1%
<b>Especial</b>	-	3%	-

Fuente: Encuesta de Movilidad Manizales 2017, Encuesta de Movilidad de Bogotá 2019, Encuesta de Movilidad AMVA 2017.

### 1.2.3 Movilidad en el futuro para Manizales

Haciendo una revisión del Plan Maestro de Movilidad y Plan de Ordenamiento Territorial (2017–2031) de la ciudad de Manizales, que pretenden dar los lineamientos de planeación de ciudad entre los años 2017 y 2031 en función de la movilidad y el territorio, se identifican algunas de las principales que tiene la ciudad en términos de movilidad, los cuales se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3 Metas de Plan Maestro de Movilidad de Manizales 2017–2031

<b>Indicador</b>	<b>Línea base 2017</b>	<b>Meta 2023</b>	<b>Meta 2027</b>	<b>Meta 2031</b>
<b>Porcentaje implementación del SETP</b>	0	50%	100%	100%
<b>Kilómetros de carriles preferenciales para transporte público</b>	0	10	15	20
<b>Ocupación promedio vehículos</b>	1.7	1.8	1.9	2
<b>Líneas de cable aéreo</b>	2	3	3	4

Fuente: Elaboración propia a partir de Plan Maestro de Movilidad Manizales 2017–2031.

El plan maestro de Movilidad incluye entre otras la promoción de modos activos, transformando algunas vías como la Carrera 23 y la Calle 19, en el centro de la ciudad, en vías exclusivas para modos no motorizados y la construcción de ciclo infraestructura sobre la Av. Santander. Por otra parte, se prevé la implementación de zonas de tráfico calmado donde se prioridad a los modos activos y de esta forma tratar de incentivarlos en la ciudad.

### **1.3 Identificación del problema.**

Dadas las condiciones bajo los cuales se han desarrollado los inventarios de emisiones para la ciudad de Manizales, no es posible estimar cambios en las emisiones por fuentes móviles para años futuros, y de esta manera poder establecer las necesidades de cambio asociadas al mejoramiento de la calidad del aire y la disminución en la generación de GEI asociados a la movilidad en la ciudad.

### **1.4 Objetivo general**

Elaborar una herramienta para la estimación de emisiones por fuentes móviles para la ciudad de Manizales que permita evaluar los efectos en las emisiones atmosféricas de contaminantes criterio de los cambios en el sistema de transporte.

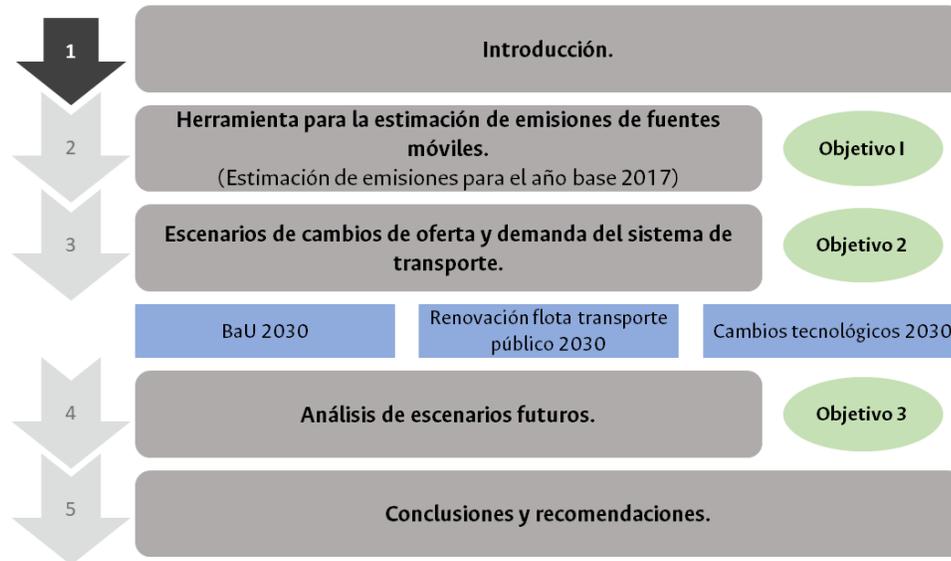
## **1.5 Objetivos específicos**

- Desarrollar una herramienta para el cálculo de emisiones por fuentes móviles, a partir del modelo de planeación de transporte calibrado para el año 2017 en la ciudad de Manizales.
- Definir los escenarios de cambios en oferta y demanda del sistema de transporte y los métodos de comparación entre escenarios.
- Analizar los cambios en las emisiones de los diferentes escenarios de cambio de transporte para la ciudad.

## **1.6 Desarrollo de la investigación**

Con el fin de dar cumplimiento a los objetivos de esta investigación, se plantea la estructura de este documento, presentado en la Ilustración 5, con el fin de facilitar la interpretación del documento, que se encuentra dividido en 5 capítulos incluyendo el actual. Este esquema se presentará en el inicio de cada capítulo con el fin de identificar la sección y la etapa de la investigación en la que se encuentra el lector.

Ilustración 5 Flujograma del desarrollo de la investigación, capítulo 1



Fuente: Elaboración propia

## 1.7 Alcance e Hipótesis

Esta tesis de investigación establece la estimación de emisiones por fuentes móviles para la ciudad de Manizales, teniendo como año de referencia el año de 2017, partiendo del modelo de planeación de transporte de la hora de máxima demanda, realizado para la ciudad de Manizales, y algunos de los municipios cercanos.

La estimación de emisiones se realiza con base en características del flujo vehicular extraídas de dicho modelo, aforos de 4 estaciones maestras empleadas en la extrapolación del tráfico, y factores de emisión COPERT 5.4

configurados conforme a las características del parque automotor de la ciudad de Manizales y transformadas como una ecuación en función de la velocidad.

Esta investigación también presenta 4 escenarios de proyección al año 2030, de dicho inventario de emisiones, entre los que se encuentra un escenario Business as Usual (BaU) que se establece como referencia para ese año el cual no presenta cambios en la oferta de transporte público, pero si establece cambios en la demanda del transporte privado. Adicional a este, dos escenarios más que plantea cambios tecnológicos de la flota vehicular.

Para esta investigación se realizó la evaluación de 10 contaminantes, dentro de los que se encuentran contaminantes criterio y gases de efecto invernadero: Carbono Negro o Black Carbon (BC), Metano (CH<sub>4</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O), Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), Material Particulado menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>), Material particulado menor a 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>) y Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)

Esta tesis de investigación pretende así establecer si a partir del análisis de escenarios de proyección de emisiones se pueden identificar posibles necesidades de cambio en el sistema de transporte de una ciudad para la reducción de emisiones por fuentes móviles o el alcance de metas asociadas a la descontaminación.

## 1.8 Metodología

Las metodologías para la estimación se pueden clasificar como Top-Down y Bottom-Up (Ho, 2010). La metodología Top-Down depende de datos agregados asociados a la actividad vehicular de la zona a evaluar como por ejemplo lecturas de odómetros o ventas de combustible, los cuales son más comúnmente empleados en ciudades medianas o en países desarrollo, con el fin de realizar una estimación de contaminantes totales como el caso del Inventario de Emisiones de Manizales del año 2017. Por otro lado se encuentra la metodología Bottom-Up que requiere una desagregación de los datos de actividad, la cual se puede construir a través de un modelo de transporte (Tuia et al., 2007) o registros de aforos vehiculares. Esta última metodología constituye una alternativa más compleja y costosa pero que permite tener resultados segregados, permitiendo realizar un más específico de los componentes de la estimación.

Un inventario de emisiones atmosféricas es un conjunto de datos que caracterizan y consolidan, mediante sumatoria, las emisiones de contaminantes atmosféricos, de acuerdo con el tipo de fuente y el tipo y cantidad de contaminantes emitidos, en un área geográfica y en un intervalo de tiempo determinados (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), 2017). Los EIA son una herramienta para el diagnóstico, que

permiten entender cuáles son las condiciones en las que se encuentra una zona específica de estudio y que dependiendo de su estructura podrían identificar cuáles son los componentes de mayor contribución en la contaminación permitiendo la posible toma de decisiones sobre focos de mayor influencia.

Independientemente del método empleado, las emisiones por fuentes móviles de un área se pueden calcular con base en la intensidad de uso de las fuentes contaminantes y las tasas de emisión de dichas fuentes, como lo muestra la siguiente ecuación.

$$E = e * A \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$E$  : Emisiones Totales.

$e$  : Factor de emisión.

$A$  : Factor de actividad.

Esta investigación utiliza un modelo de planeación transporte para la estimación del factor de actividad, basados en la metodología que se presenta en (Mangones et al., 2019) , sobre el cual se pueden realizar cambios tanto en la oferta como a la demanda de transporte. (Ver Ilustración 6)

Empleando el enfoque botton-up, por medio de un modelo de transporte macroscópico de la ciudad de Manizales con año base 2017, el cual establece el comportamiento del tráfico conforme a la matriz origen-destino que define los viajes cuantificados entre las diferentes zonas de la ciudad, parque automotor y malla vial de la ciudad. Con base en lo anterior se plantea inicialmente el diagnóstico del sistema de transporte general de la ciudad de Manizales.

De dicho modelo de transporte son extraídos los “*inputs*” para la estimación de la actividad vehicular, que estará dada por el volumen vehicular, discretizado en cada uno de las categorías vehiculares evaluadas, acompañado de una velocidad media asociada a cada tramo vial de la ciudad.

En cuanto a los factores de emisión, actualmente, para realizar la cuantificación de las emisiones generadas por el sector transporte se emplean modelos de cálculo como COPERT, IVE, MOVES (Mangones et al., 2019).

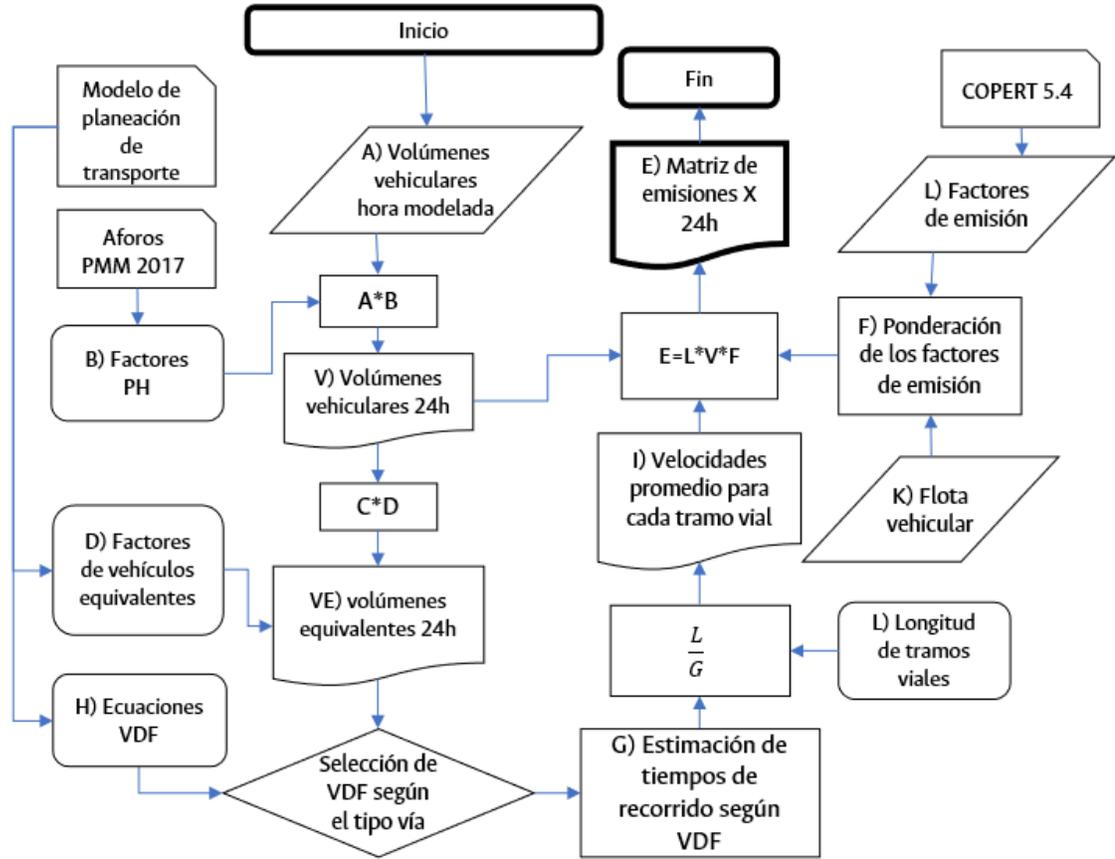
Para la realización del modelo de estimación de emisiones, los FE están asociados a las características de la flota vehicular de la ciudad, y están

definidos por características como: Tipologías vehiculares, Tipos de combustibles, normas de emisión, edad del parque automotor (Gantuz & Puliafito, 2015), que son aportados por el grupo de Investigación Calidad del Aire, de la Sede Manizales de la Universidad Nacional de Colombia, los cuales realizaron con campaña IVE para la estimación de factores de emisión para la ciudad de Manizales.

Esta investigación serán empleados factores de emisión obtenidos con base en la metodología COPERT IV, con los ajustes propios asociados a la ciudad de Manizales, establecidos en (Trejos et al., 2019) y procesados por el equipo del proyecto de investigación *“Herramienta para la gestión de la calidad del aire en Manizales a partir de modelos de transporte y factores de emisión”*, para la definición de ecuaciones que representaran el comportamiento del cambio del factor de emisión en función del cambio de velocidad de las diferentes categorías vehiculares.

La presente investigación se encuentra publicada parcialmente en el artículo (Cifuentes et al., 2021), el cual establece una comparación entre las estimaciones de fuentes móviles bajo los enfoques Top-Down y Bottom-Up, para la ciudad de Manizales.

Ilustración 6 Flujoograma metodológico para la estimación de emisiones.



Fuente: Elaboración propia

## **2.Herramienta para la estimación de emisiones de fuentes móviles**

En este capítulo se dará a conocer la configuración, metodología específica y fuente de datos requeridas para la realización del modelo que estructura la herramienta de estimación de emisiones por fuentes móviles de la ciudad de Manizales, posteriormente se presentarán los resultados del escenario base de modelación, correspondiente al año 2017, acompañada de una validación de los resultados contrastándolos con otros inventarios de emisiones realizados para ciudad.

El presente capítulo da cumplimiento al objetivo específico número 1 “Desarrollar una herramienta para el cálculo de emisiones por fuentes móviles, a partir del modelo de planeación de transporte calibrado para el año 2017 en la ciudad de Manizales.”, El cual permitió el desarrollo del algoritmo base de programación que presenta el inventario de emisiones por fuentes móviles en la ciudad de Manizales y área de influencia para el año base 2017. (ver Ilustración 7)

Ilustración 7 Flujoograma del desarrollo de la investigación, capítulo 2



Fuente: Elaboración propia

## 2.1 Método

Para la elaboración de la herramienta de estimación de emisiones bajo el enfoque Bottom-Up, el cual se desarrolla en el software Matlab, se requieren una lista de entradas o inputs que se listan a continuación con una breve descripción de los mismos:

### Resultados del modelo de planeación de transporte (Sección 2.1.1)

- I. Volúmenes vehiculares según las tipologías vehiculares modeladas: Corresponde al número de vehículos por hora que circulan por cada tramo vial según el modelo de transporte. (Ver Tabla 4)

Tabla 4 Lista de categorías vehiculares evaluadas

Tipología vehicular	Descripción	Abreviación
---------------------	-------------	-------------

Vehículos Livianos	Agrupar los vehículos de tipo Automóvil, Camioneta y Camperos que son diferentes a taxis	Livianos
Buses	Agrupar todos los vehículos del sistema de transporte público colectivo de la ciudad	TPC
Motocicletas	Agrupar los vehículos motorizados de 2 ruedas, incluyendo motores de 2 y 4 tiempos	Motos
Camiones de 2 ejes	Vehículos de carga de 2 ejes	C2
Camiones de más de 2 ejes	Vehículos de carga de más de dos ejes	C2+
Taxis Ocupados	Vehículo de transporte público individual que transportan un pasajero.	TaxisO
Taxis Desocupados	Vehículo de transporte público individual que no transportan un pasajero. (solo el conductor)	TaxisD

Fuente: Elaboración propia.

- II. Velocidad promedio de cada arco de la red (tramo vial):  
Corresponde a la velocidad que se estima están circulando los

vehículos de un tramo vial según el modelo de transporte, esta velocidad es estimada a partir de las ecuaciones definidas por las Curvas VDF.

- III. Longitud de cada arco de red: atributo geométrico que corresponde longitud en kilómetros de cada tramo vial representado en el modelo de transporte
- IV. Factores de vehículos equivalentes (FVE): Estos factores son los mismos empleados en el modelo de demanda de transporte y son aquellos que relacionan el tamaño y la velocidad a un automóvil “modelo”.
- V. Curvas VDF (Volume–Delay Functions): Relacionan el flujo vehicular con el tiempo requerido para hacer un recorrido (Leong, 2017) según la velocidad a flujo libre asignada. Estas curvas están inmersas en el modelo de transporte y se emplean con el fin de hallar las velocidades medias del tráfico en las horas no modeladas.
- VI. Capacidad máxima de cada arco de la red: Es número máximo de vehículos equivalentes que podrían circular por cada arco.

**Parámetros de entrada que son externos al modelo de transporte:**

- VII. Factores de relación entre la hora pico (hora del modelo de transporte) con las demás horas del día: estos factores en adelante (PHF) se obtienen mediante las relaciones de flujo entre cada hora no modelada y hora pico de 4 estaciones maestras distribuidas en la ciudad, las cuales, dada su ubicación geográfica, se relacionan con cada arco de la red. Estas estaciones de medición del tráfico cuentan con información vehicular entre las 5 a.m. y las 11 p.m., por esta razón la sección restante del día fue complementado con la relación de flujo de cada hora faltante y del periodo aforado, por cada tipología vehicular, de los aforos realizados en el 2014 para un estudio de ruido ambiental.
- VIII. Distribución de flota vehicular de la ciudad, distinguida por tipo de vehículo, tecnología y tipo de combustible.
- IX. Factores de emisión: relación, en gramos, de contaminante emitido según la distancia recorrida (longitud de cada tramo vial) y la velocidad de cada tipología vehicular según su tecnología y combustible. (Sección 2.1.2).

### **2.1.1 Modelo de planeación de transporte**

Los recursos necesarios para la recreación de este modelo están asociados a las características de la red vial en cada una de sus tipologías,

representados en los nodos y link del modelo, la matriz origen destino de la ciudad y demás parámetros derivados de la calibración del mismo. Dicho modelo de transporte tiene como año base el 2017 y es producto de una consultoría realizada por *Steer Davies Glave* para la ciudad de Manizales, en el marco del desarrollo del Plan Maestro de Movilidad 2017–2031 de la ciudad.

Esta modelación basó su metodología en el modelo de 4 etapas, el cual inicialmente se desarrolló en el software EMME (Multimodal Transport Planning Software) y que posteriormente, en el marco del proyecto al cual se vincula esta investigación, se realizó la transformación del modelo al Software PTV Visum.

El modelo de transporte contempla para su realización 406 zonas de análisis de transporte (ZAT) distribuidas de la siguiente forma (Ver Tabla 5)

Tabla 5 Distribución de las ZAT en el modelo de planeación de Transporte.

Municipio/Área	Zonas
Manizales Urbana	214
Manizales Rural	62

Municipio/Área	Zonas
Villamaría	45
Neira	45
Palestina	12
Chinchiná	28

Fuente: (Steer Davis Glave, 2017)

El modelo de contempla la simulación durante el periodo pico de la mañana, entre 6:45 y 7:45 a.m., defino por el modelo de 4 etapas. Por otra parte, este modelo contempla 6 tipos de modo de transporte que son objeto de evaluación en esta investigación, siendo estos, Livianos (Automóviles, Camiones y Camperos), Transporte Público Colectivo, Camiones de 2 Ejes, Camiones de más de 2 ejes, Motos, Taxis Ocupados (con pasajeros) y Taxis Desocupados (Sin pasajeros).

### **2.1.2 Factores de emisión**

Los factores emisión para la investigación fueron obtenidos por el equipo de investigación del proyecto vinculado, por medio del Software COPERT en su versión 5.4<sup>1</sup>. Dichos factores emisión fueron incluidos en la herramienta de estimación de emisiones como ecuaciones en función de la velocidad.

---

<sup>1</sup> Disponible para consulta en: <https://www.emisia.com/utilities/copert/>

Para esta investigación se evalúan los contaminantes presentados en la

Tabla 6:

Tabla 6 Lista de contaminantes evaluados

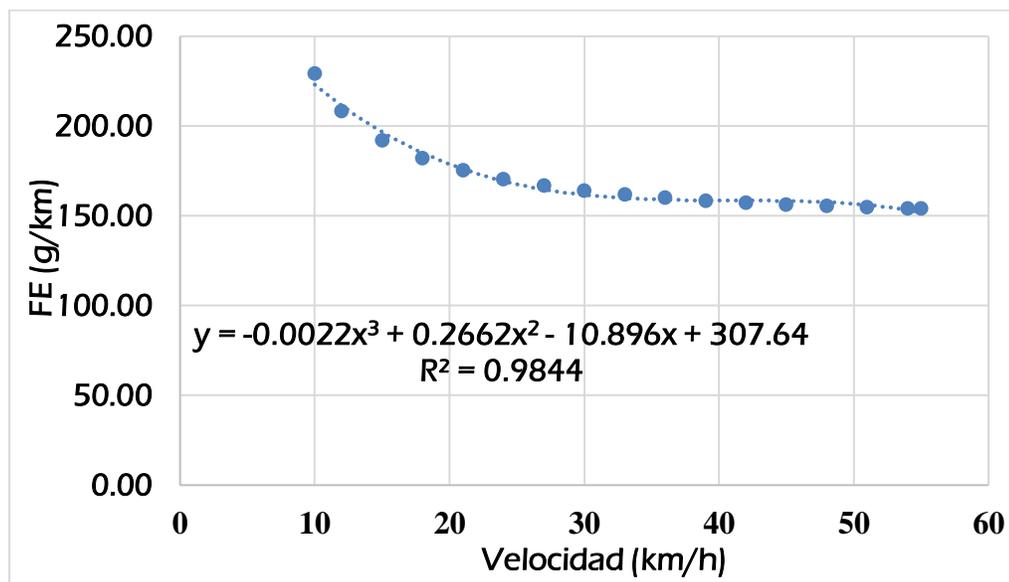
<b>Contaminante</b>	<b>Abreviación</b>	<b>Tipo de contaminante</b>
Black Carbon	BC	Criterio
Metano	CH <sub>4</sub>	GEI directo
Monóxido de Carbono	CO	Criterio
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	GEI directo
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	GEI directo
Óxidos de Nitrógeno	NO <sub>x</sub>	Criterio
Material particulado < 10 µm.	PM <sub>10</sub>	Criterio
Material particulado < 2.5 µm.	PM <sub>2.5</sub>	Criterio
Dióxido de Azufre	SO <sub>2</sub>	Criterio

Fuente: Elaboración propia

Para la obtención de las ecuaciones que representan la emisión de los contaminantes evaluados, se realizaron 20 corridas del software COPERT con los parámetros definidos para la ciudad de Manizales (Cifuentes et al., 2021) variando las velocidades de recorrido. Posteriormente con el conjunto de datos se realiza la búsqueda de la ecuación, en función de la velocidad, que mejor representara el comportamiento de cada contaminante en las diferentes categorías vehiculares evaluadas.

Este ajuste de los factores de emisión, al ser representados mediante una ecuación en función de la velocidad, puede permitir tener una mejor aproximación de las emisiones reales emitidas, ya que, como se puede ver en el ejemplo de la Ilustración 8, respecto al CO<sub>2</sub>, las emisiones tienen una variación significativamente sensible al cambio de velocidad, pasando de 239.39 g/km a una velocidad de 10 km/h a 154.01 g/km a una velocidad de 55 km/h. lo que representa una diferencia de del 35% respecto a la primera emisión reportada.

Ilustración 8 Comportamiento del factor de emisión de CO<sub>2</sub> en función de la velocidad para autos pequeños a gasolina de tecnología ECE 15/04



Fuente: Proyecto alianzas

## 2.2 Estructura de algoritmo de cálculo

En esta sección se realizará un paso a paso del proceso de estimación de emisiones, enseñando las ecuaciones y variables definidas, con el fin de tener un panorama completo de la metodología de cálculo. Lo anterior con base en el flujograma presentado en la Ilustración 6, del capítulo 1, donde se puede observar el proceso base con el cual se realizó la proyección de código de programación para ejecutar la estructura del modelo de cálculo de emisiones con el enfoque Bottom-Up.

Los resultados del proceso de modelación Bottom-Up permitirán estimar las emisiones de cada contaminante evaluado en diferentes agrupaciones, tanto temporales con periodos de una hora, como espaciales, discriminados por cada link o vía del modelo de transporte.

### **2.2.1 Determinación de los volúmenes vehiculares para las 24 horas del día**

Para este paso se emplean los insumos I y VII, y se realiza una multiplicación definida en la siguiente ecuación.

$$Vol_{24} = Vol_{jt} * PHF_{jit} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

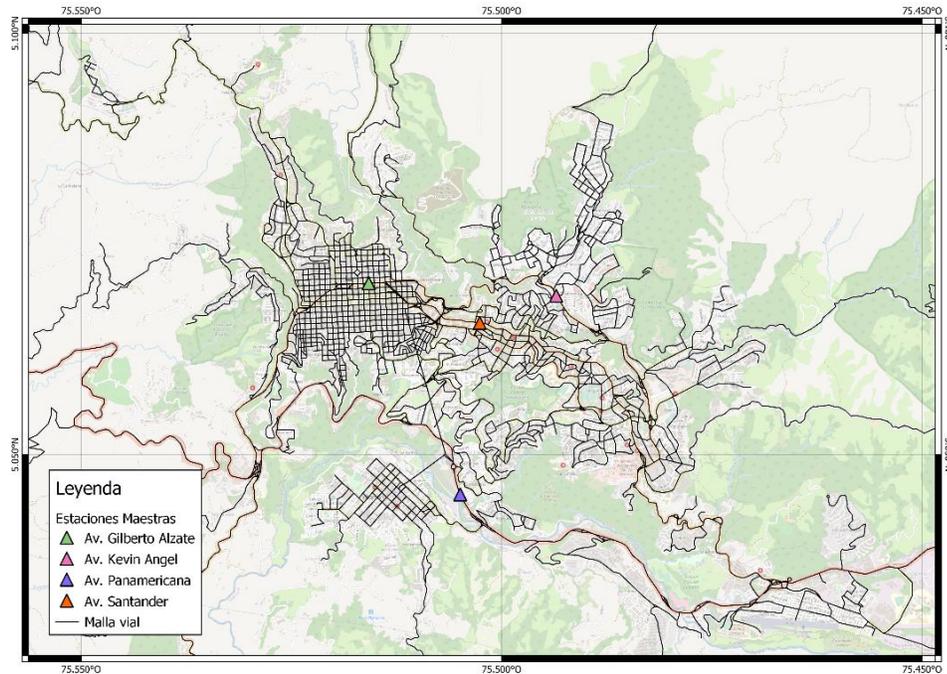
$Vol_{ijt}$  = Matriz de volúmenes por hora, por arco de red y por tipología vehicular

$Vol_{jt}$  = Volumen modelado en el link j para la tipología vehicular t

$PHF_{jit}$  = Factor de hora pico para la tipología vehicular t en la hora i en el link j.

Para la determinación del factor de hora pico ( $PHF_{jit}$ ), se emplearon los aforos vehiculares de 4 estaciones maestras, determinados para la estructuración del Plan Maestro de Movilidad de la ciudad de Manizales del año 2017 (Ver Ilustración 9); sin embargo, dichos aforos presentaban únicamente 18 horas de conteos durante el día (entre las 5:00 y 22:00 horas). Teniendo en cuenta que las horas faltantes corresponden a las de menor actividad vehicular, se decide complementar estas basados en las proporciones de los conteos vehiculares que se desarrollaron para el estudio de Medición del Ruido Ambiental en la Ciudad de Manizales del año 2014. Los PHF por categoría vehicular y hora del día son presentados en el anexo D.

### Ilustración 9 Ubicación de estaciones maestras Manizales PMM 2017



Fuente: Elaboración propia

Una vez establecidos los aforos vehiculares para las 24 horas del día, se estimaron los factores de hora pico ( $PHF_{jit}$ ), a partir de la siguiente ecuación:

$$PHF_{jit} = \frac{VA_{i,t}}{VA_{p,t}} \quad \text{Ecuación 3}$$

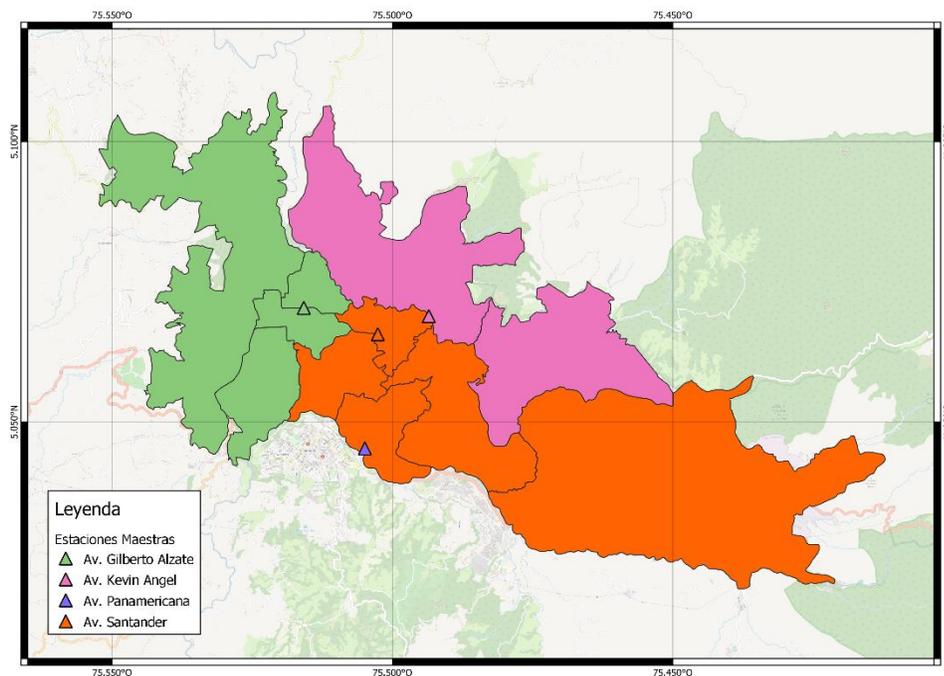
Donde:

$VA_{i,t}$  = Volumen vehicular aforado en la hora  $i$  para la tipología vehicular  $t$

$VA_{p,t}$  = Volumen vehicular aforado en la hora pico, para la tipología vehicular  $t$

Estos factores de hora pico ( $PHF_{jit}$ ), están determinados para las 4 estaciones maestras de la ciudad; sin embargo, es necesario a cada una de las vías de la ciudad que están representadas en el modelo de transporte, por lo cual se realiza una distribución de la aplicación de los factores conforme a la ubicación y disposición de comunas propia de la ciudad de Manizales, como se presenta en la Ilustración 10, la cual se realiza en sesión conjunta con apoyo del equipo del grupo de investigación, como parte del desarrollo del proyecto en el que se enmarca esta tesis y aprovechando su conocimiento sobre la ciudad por los estudios previos realizados.

Ilustración 10 Distribución de Factores de hora pico, de acuerdo con las comunas de Manizales



Fuente: Elaboración propia.

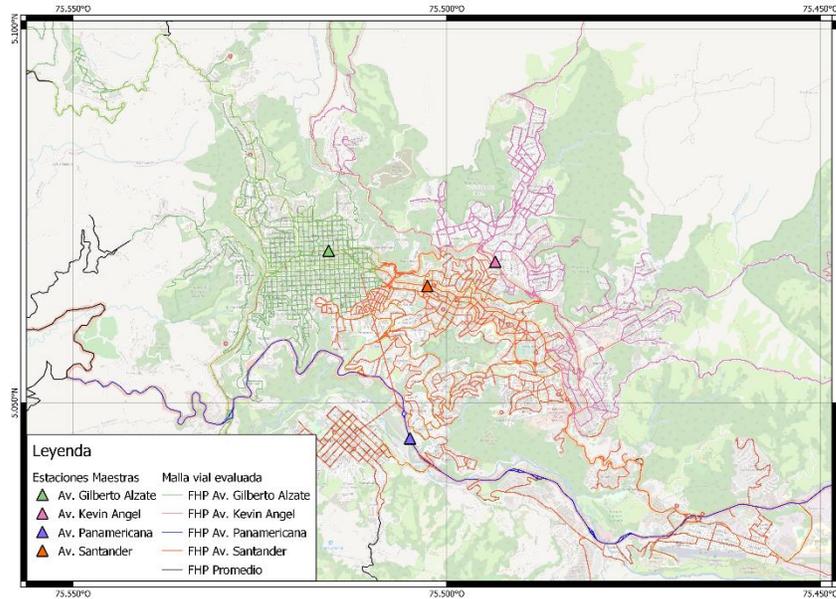
Una vez establecidas las áreas de influencia de cada estación maestra, se realizó la asignación de los PHF conforme a cada estación maestra, sobre la malla vial, como se presenta en la Ilustración 11.

Es importante aclarar que dadas las condiciones de operación y la información disponible se tuvieron 3 consideraciones adicionales:

- 1) La Vía Panamericana, por su condición de vía de conectividad nacional, se procesa de forma individual y sus factores de hora pico solo son aplicados sobre esa vía.
- 2) Dadas las características propias del municipio de Villamaría, se asigna la distribución de factores de hora pico de la estación maestra Av. Santander.
- 3) Para las demás vías que se encuentran por fuera de la zona delimitada por las comunas de la ciudad de Manizales, se asignan factores de hora pico promedio entre las estaciones maestras.
- 4) Para esta evaluación fue empleada la malla vial que es simulada en el modelo de transporte, que al contrastarla con la malla vial real de la ciudad se puede considerar una representatividad adecuada, todas las vías primarias y secundarias están incluidas, respecto a las vías terciarias o locales, únicamente algunas vías de acceso a predios se

encuentran excluidas, sin embargo estas no representarían un aporte significativo a la estimación.

Ilustración 11 Distribución de Factores de hora pico en la malla vial evaluada



Fuente: Elaboración propia

### 2.2.2 Determinación de volúmenes equivalentes en las 24 horas del día para cada link.

Se emplean los resultados del paso anterior ( $Vol_{24}$ ) y los factores de vehículos equivalentes del modelo de transporte en la siguiente ecuación.

$$Voleq_{ij} = \sum_t Vol_{ijt} * FVE_t \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$Voleq_{ij}$  = Matriz de Volúmenes equivalentes en la hora i para en el arco j

$Vol_{ijt}$  = Matriz de volúmenes por hora, por arco de red y por tipología vehicular

$FVE_t$  = Factor de vehículos equivalentes para la tipología vehicular t (Ver Tabla 7)

Tabla 7 Factores de vehículos equivalentes

Categoría vehicular	Factor de vehículos equivalentes (FVE)
Livianos	1
Buses	1.25
Camiones de 2 ejes	1.25
Camiones de más de 2 ejes	1.5
Motos	1
taxis	1

Fuente: Elaboración propio, basado en modelo de planeación de transporte PMM 2017

### 2.2.3 Estimación de velocidad medias por link en las 24 horas del día

Se emplea la matriz de vehículos equivalentes ( $Voleq_{ij}$ ), las curvas VDF y el vector de longitud de cada arco de la red.

$$V_{ij} = \frac{L_j}{T_{ij}} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

$V_{ij}$  = Velocidad promedio en km/h, en el arco j en la hora i

$L_j$  = Longitud del arco j en km

$T_{ij}$  = Tiempo promedio para recorrer el arco j en la hora i

$$T_{ij} = \begin{cases} T_{0j} * (1 + a * sat^b) & \text{si: } sat \leq sat_{crit} \\ T_{0j} * (1 + a * sat^{b'}) & \text{si: } sat > sat_{crit} \end{cases} \quad \text{Ecuación 6}$$

$T_0$  = Tiempo promedio de recorrido en el arco j en el periodo de modelación

$sat$  = Saturación del arco j en la hora i

$$sat_{ij} = \frac{Voleq_{ij}}{Q_{max_j} * c} \quad \text{Ecuación 7}$$

$Q_{max_j}$  = Capacidad máxima de cada arco de la red

Los factores A, B, B' y C son constantes (ver Tabla 8) que dependen del tipo de vía a la que se esté evaluando.

**Tabla 8. Factores constantes para curvas VDF**

TIPO DE VÍA	A	B	B'	C
PRINCIPAL	1	2.5	4	1
CONECTORES	1.2	1.5	4	1
SECUNDARIAS	1.1	2	4	1

LOCAL 2 CARRILES	1.2	0.75	3	1
LOCAL 1 CARRIL	1.2	0.5	3	1

Fuente: Proyecto alianzas

### 2.2.4 Ponderación de los factores de emisión por tipología vehicular

En este punto se emplean las entradas XIII y IX, distribución de la flota vehicular y los factores de emisión en función de la velocidad, que son extraídos de forma directa del software 5.4 para cada velocidad y transformados en una ecuación polinómica en función de la velocidad para cada tecnología vehicular, las cuales agrupados en único factor para la cada categoría vehicular con la siguiente ecuación:

$$FE(v)_{tc} = \sum_w PFV_{wtc} * FE(v)_{wtc} \quad \text{Ecuación 8}$$

$FE_t$  = Factor de emisión del contaminante c para la tipología vehicular t en función de la velocidad (g/km)

$PFV_{wt}$  = Porcentaje de participación de la tecnología vehicular w en la tipología vehicular t (%)

$FE(v)_{wt}$  = Factor de emisión del contaminante c para la tecnología vehicular w en la tipología vehicular t en función de la velocidad. (g/km)

### 2.2.5 Estimación de emisiones por contaminante

En este, el último ítem para la estimación del inventario se emplea los resultados de numeral a, c, d y el insumo inicial de longitud de cada arco de la red, realizando la siguiente operación:

$$E_{cijt} = Vol_{ijt} * L_j * FE(V_{ij})_{tc} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$E_{cijt}$  = Emisiones del contaminante c en la hora i sobre el arco j generadas por la tipología vehicular t.

Dentro de la ecuación anterior la expresión  $Vol_{ijt} * L_j$  se puede definir como los VKT (vehicles kilometers traveled) o vehículos kilómetro recorrido, los cuales fueron estimados como la multiplicación de la matriz de volúmenes vehiculares para cada tramo vial y hora del día con el vector de longitudes de la malla vial. Los resultados se presentan desagregados por categoría vehicular en la Tabla 9 y los resultados desagregados se presentan en el anexo B.

Tabla 9 Actividad vehicular diaria calculada para los escenarios con año base 2017

Tipología vehicular	VKT día
Livianos	1,761,961
TPC	274,516
C2	117,970
C2+	89,713
Moto	1,776,201

TaxiO	234,318
TaxiD	337,924

Fuente: Elaboración propia

## 2.3 Resultados escenario base

Posterior a la realización del proceso de estimación descrito en la Ilustración 6 se obtienen los resultados de emisiones para las 24 horas del día típico evaluado, las cuales son extrapoladas a un año, empleando como factor de equivalencia 330 días típicos. (ver Tabla 10)

Tabla 10 Resultados generales de emisiones día típico y año base 2017

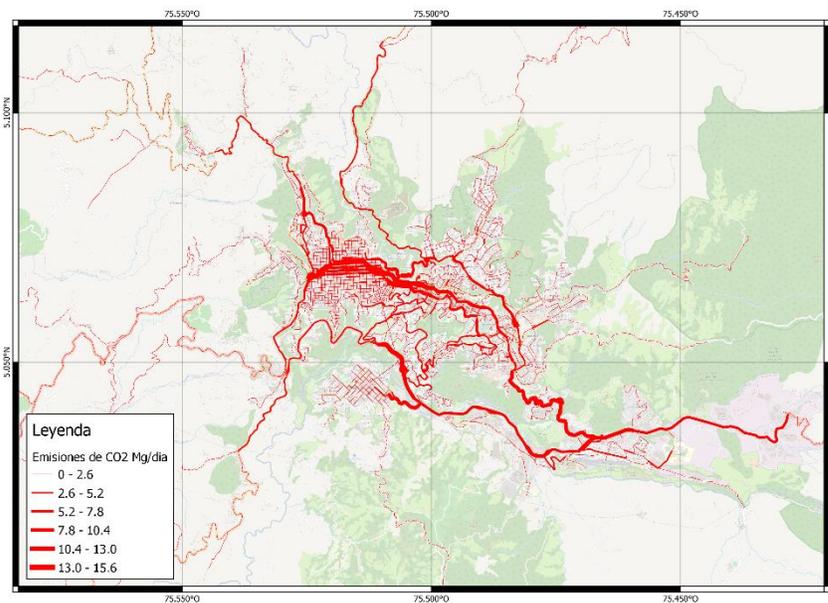
Contaminante	Día típico 2017 (kg)	Año base 2017 (ton)
BC	106	35.0
CH4	454	149.8
CO	45,389	14978.4
CO2	1,134,400	374352.0
COV	8,904	2938.3
N2O	47	15.5
NOx	6,643	2192.2
PM10	361	119.1
PM2.5	300	99.0
SO2	69	22.8

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.1 Distribución geográfica de emisiones

Debido a que el proceso de estimación de emisiones se realizó de forma individual para cada una de las vías o links, representados en el modelo de transporte, se puede tener una distribución espacial de la generación de los contaminantes, identificando las vías con mayores aportes. En la Ilustración 12 se presenta un ejemplo de la distribución espacial de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas durante el día típico evaluado, sin embargo, en el Anexo C se podrán encontrar los mapas de emisión para cada uno de los contaminantes evaluado.

Ilustración 12 Mapa de generación de emisiones de CO<sub>2</sub> día típico evaluado



Fuente: Elaboración propia

Esta distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles permite posteriores evaluaciones de la concentración de contaminantes y análisis de la calidad del aire. Tal como se puede evidenciar en (Cifuentes et al., 2021) que empleó resultados de la presente investigación, en el marco del proyecto asociado a esta investigación, para la simulación de concentraciones de contaminantes.

### **2.3.2 Distribución Temporal de emisiones**

Por otra parte, la metodología de cálculo realizó estimaciones horarias de las emisiones generales para zona de estudio, permitiendo evidenciar las horas más críticas en términos de generación de emisiones para la ciudad de Manizales y municipios aledaños. En la Ilustración 13 se presenta el perfil de contaminación diario para el contaminante CO<sub>2</sub> donde se pueden apreciar picos en los periodos horarios de 6:45 a.m.–7:45 a.m., 11:45 a.m.–12:45 p.m. y 17:45 a.m.– 18:45 a.m., adicionalmente, en el anexo C se presentan los perfiles diarios por cada uno de los contaminantes evaluados.

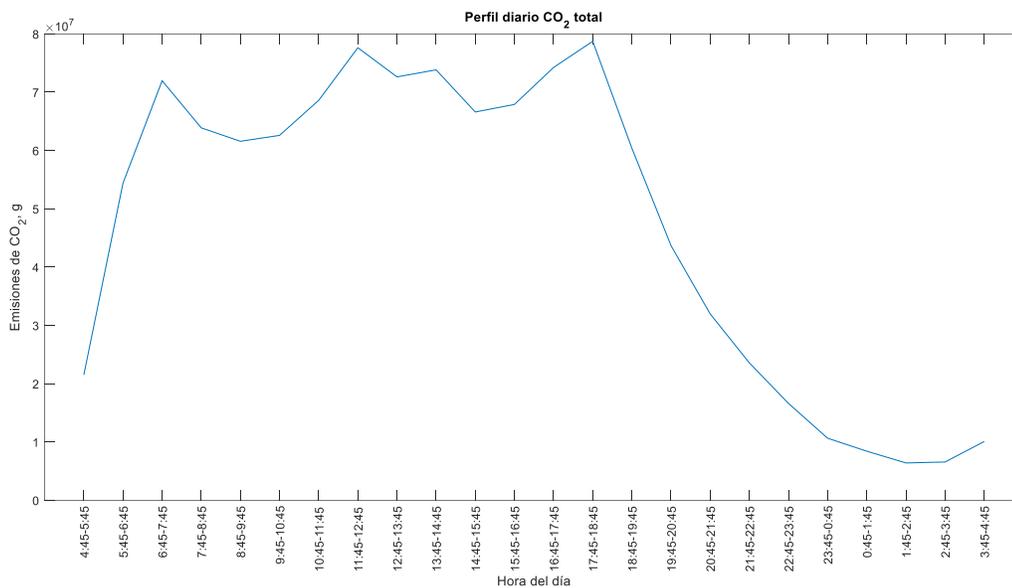


Ilustración 13 Perfil diario de emisiones de CO<sub>2</sub> del día típico en la ciudad de Manizales

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.3 Emisiones generadas por tipologías vehiculares

La participación en la generación de emisiones por categoría vehicular puede representarse de bajo dos esquemas, por un lado, el perfil diario por tipo de vehículo evaluado, y por el otro la distribución de participación diaria por contaminante.

En la Ilustración 14 se presenta el perfil diario de emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por las diferentes categorías vehiculares. Allí se puede evidenciar algunas diferencias de comportamiento en la emisión de cada categoría, viendo como los vehículos livianos (Automóviles, Camionetas y Camperos) y la Motos presentan pico de emisión marcados, en la mañana, medio día y

noche. Mientras que para los vehículos de TPC (transporte público colectivo) se presenta un piso más marcado en la mañana (6:45–7:45) y emisiones relativamente constantes a lo largo del día hasta la 18:45 cuando inicia un descenso en las emisiones. Para el caso de los camiones de más de 2 ejes se presentan las mayores emisiones entre 9:45 y 10:45. Para las demás tipologías vehiculares no se evidencian picos marcados de emisiones, permaneciendo estas relativamente constantes entre 6:45 y 18:45.

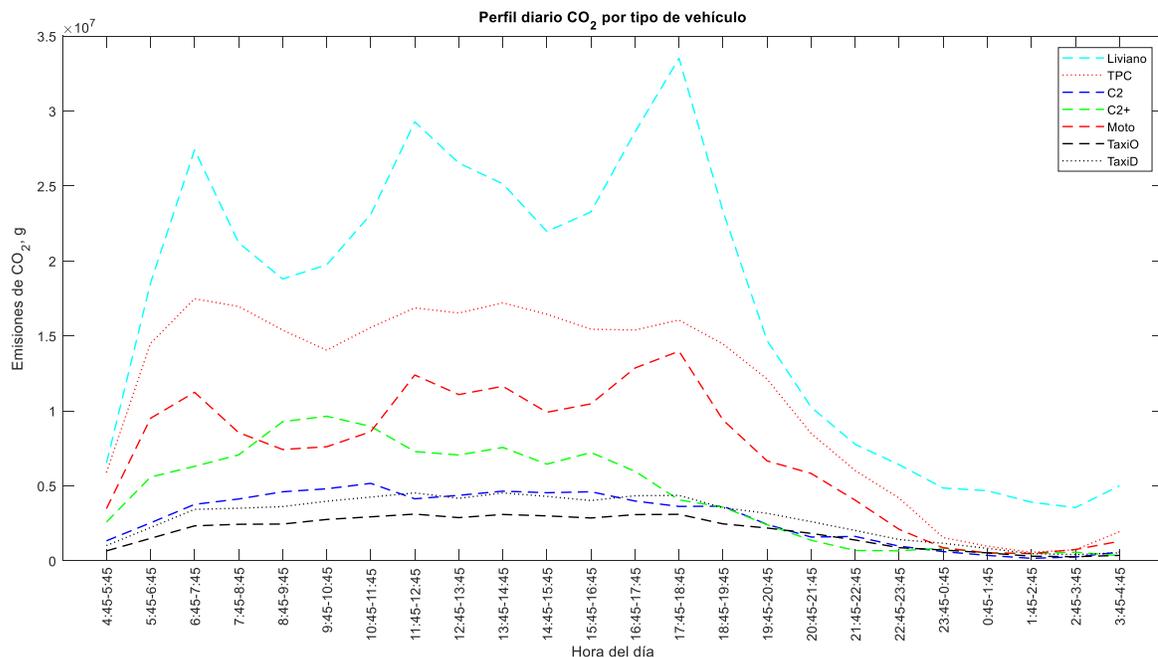


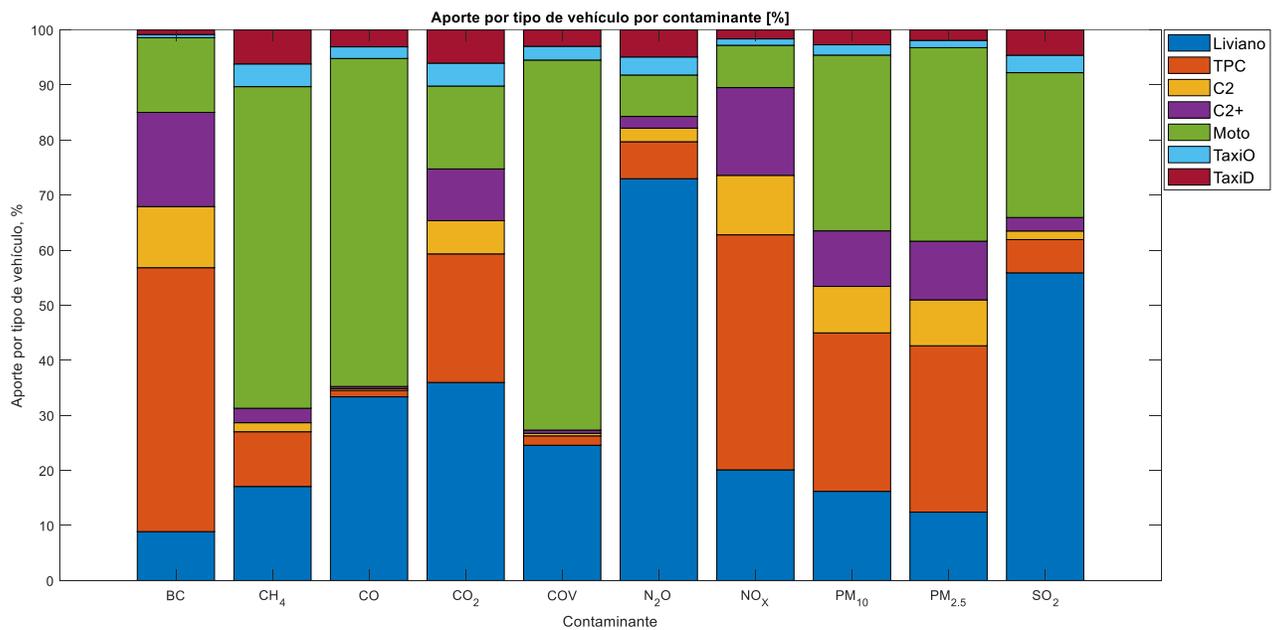
Ilustración 14 Perfil diario de emisiones de CO<sub>2</sub> por tipología vehicular

Fuente: Elaboración propia

De forma agrupada, para el día de estimación, la *Ilustración 15* y la Tabla 11 presentan el aporte que realiza cada una de las categorías vehiculares a la emisión total diaria de cada contaminante. Allí se puede apreciar que tipo

de vehículos son más susceptibles a realizar a portes algunos contaminantes específicos. Por ejemplo: Para el caso del BC y NO<sub>x</sub> se presentan los mayores aportes por parte de categorías TPC, C2 y C2+ sumando entre estas el 76,1% y 69.4% de los aportes de estos contaminantes respectivamente. En el caso del CH<sub>4</sub> y CO el mayor aportante son las Motocicletas, con el 58.4% y 59.6% respectivamente. Para el contaminante N<sub>2</sub>O los mayores aportantes son los vehículos livianos, con el 73% de las emisiones de ese contaminante.

Ilustración 15 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según categoría vehicular



Fuente: Elaboración propia

Tabla 11 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según categoría vehicular

Tipo de vehículo	BC	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	COV	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	PM 10	PM 2.5	SO <sub>2</sub>
Liviano	8.9%	17.1%	33.4%	36.0%	24.6%	73.0%	20.1%	16.2%	12.4%	55.9%
TPC	47.9%	9.9%	1.2%	23.3%	1.7%	6.7%	42.7%	28.8%	30.2%	6.0%
C2	11.1%	1.6%	0.3%	6.0%	0.5%	2.5%	10.8%	8.4%	8.3%	1.6%
C2+	17.1%	2.6%	0.4%	9.4%	0.6%	2.1%	15.9%	10.1%	10.7%	2.5%
Moto	13.6%	58.4%	59.6%	15.1%	67.2%	7.5%	7.7%	31.9%	35.1%	26.3%
TaxiO	0.6%	4.1%	2.1%	4.2%	2.5%	3.3%	1.2%	1.9%	1.3%	3.2%
TaxiD	0.8%	6.2%	3.1%	6.0%	3.0%	4.9%	1.6%	2.7%	1.9%	4.6%

Fuente: Elaboración propia

### 2.3.4 Contaminación por tipo de combustible

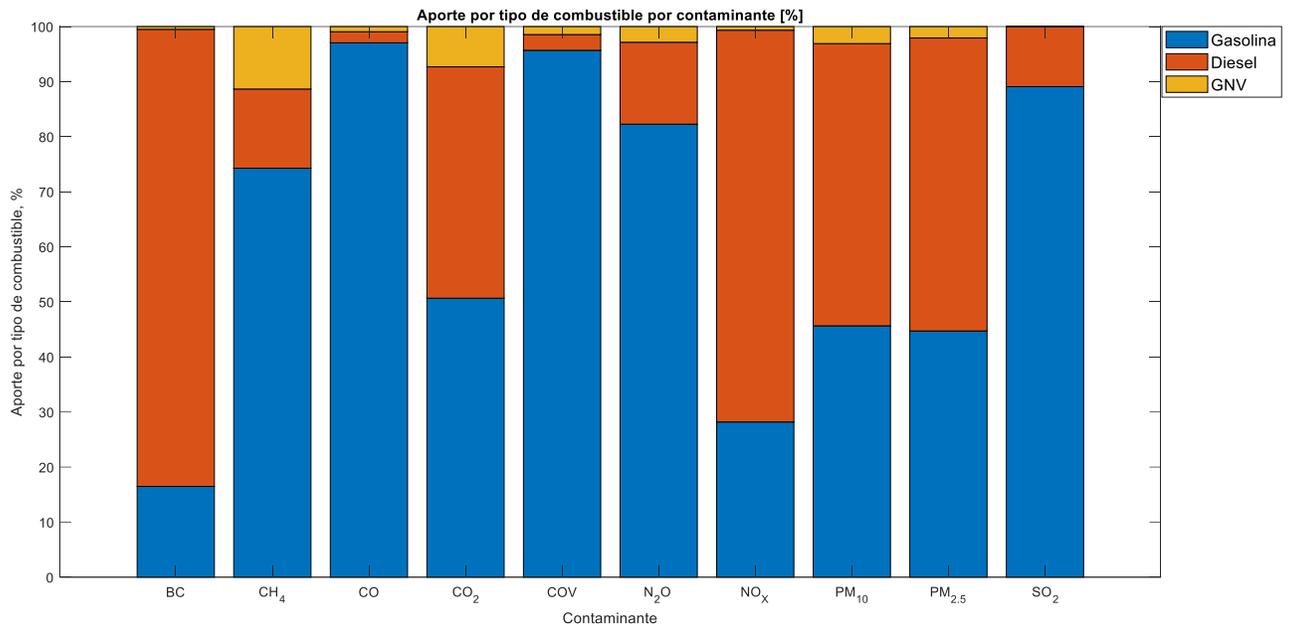
Para el caso de aportes a contaminantes por tipo de combustible, se

dividen las emisiones en tres tipos: Gasolina, Diesel y Gas Natural

Vehicular (GNV), estos aportes son presentados en la Ilustración 16 y la

Tabla 12.

Ilustración 16 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados por tipo de combustible



Fuente: Elaboración propia

Tabla 12 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados por tipo de combustible

Tipo de combustibles	BC	CH4	CO	CO2	COV	N2O	NOx	PM10	PM2.5	SO2
Gasolina	16.5%	74.3%	97.0%	50.7%	97.7%	82.3%	28.2%	45.7%	44.7%	89.1%
Diesel	83.0%	14.4%	2.0%	42.0%	2.1%	14.9%	71.1%	51.3%	53.2%	10.9%
GNV	0.5%	11.4%	0.9%	7.3%	0.2%	2.9%	0.7%	3.1%	2.1%	0.0%*

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar como en 6 de los 9 contaminantes evaluados, hay una predominancia clara de alguno de los combustibles. Por el lado del Diesel, se presentan los mayores aportes en BC con 83.0% y NO<sub>x</sub> con el 71.1%. Para el caso de la Gasolina se presentan aportes significativos en CH<sub>4</sub> con 74.4%, CO con 97.0%, N<sub>2</sub>O con 82.3% y SO<sub>2</sub> con 89.1%.

Para los demás contaminantes, los aportes varían entre 45 y 55% de aporte entre Gasolina y Diesel, representando esto un aporte similar entre estos dos combustibles. Para el caso de los aportes de GNV el contaminante en el que más aportes se presenta es CH<sub>4</sub> con 11.4%, para los demás contaminantes se presentan aportes menores al 8%.

## **2.4 Discusión y validación de resultados**

Para esta investigación la validación de la herramienta de estimación de emisiones se basa en la comparación de las emisiones presentadas en la sección anterior con otros resultados de inventarios de emisiones de la ciudad de Manizales del año 2017. En primer lugar se realizará la comparación con el inventario de emisiones de fuentes móviles bajo la metodología Top-Down con factores de emisión de una campaña IVE (Cifuentes et al., 2021) ver Tabla 13.

De manera general la estimación realiza por esta investigación presenta menores emisiones en todos los contaminantes, para el caso del CH<sub>4</sub> y el BC con una diferencia significativa del 1002% Y 940%, por otra parte, el material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> presentan diferencia del 367% y el 479%. En los demás contaminantes no se presentan diferencias mayores al 100% respecto al inventario Bottom-Up, destacando la similitud de emisiones de N<sub>2</sub>O con 14.4% de diferencia y SO<sub>2</sub> con 24.4% de diferencia.

Tabla 13 Comparación inventario Bottom-Up COPERT con Inventario Top-Down-IVE año base 2017

Contaminante	Año 2017 Bottom-Up COPERT (ton)	Año 2017 Top-Down IVE (ton)	Diferencia respecto Bottom-Up
BC	35.0	364.1*	940.29%
CH <sub>4</sub>	149.8	1650.9	1002.07%
CO	14978.4	25082	67.45%
CO <sub>2</sub>	374352.0	517948.0	38.36%
N <sub>2</sub> O	15.5	17.8	14.84%
NO <sub>x</sub>	2192.2	4358.7	98.83%
PM <sub>10</sub>	119.1	555.6	366.50%
PM <sub>2.5</sub>	99.0	573.4*	479.19%
SO <sub>2</sub>	22.8	28.4	24.56%

Fuente: Elaboración propia, con base en (Cifuentes et al., 2021) y \* (Trejos et al., 2019),

Para el caso de la comparación con el inventario de emisiones de fuentes móviles bajo la metodología Top-Down con factores de emisión de COPERT (Cifuentes et al., 2021) ver Tabla 14, se presentan menores diferencias.

En términos absolutos el contaminante que mayor diferencia presenta en el PM<sub>10</sub> el cual presenta una diferencia de -25.5%, por otra parte, el CO presentan una diferencia de -23.3%, seguido de PM<sub>2.5</sub> y SO<sub>2</sub> con una diferencia alrededor de -10%, NO<sub>x</sub> y BC presentan diferencia cercanas al 15%. Se destaca la similitud de las emisiones estimadas de CO<sub>2</sub> que son apenas del -1,7%.

Tabla 14 Comparación inventario Bottom-Up COPERT con Inventario Top-Down-COPERT año base 2017

Contaminante	Año 2017 Bottom-Up COPERT (ton)	Año 2017 Top-Down COPERT (ton)	Diferencia respecto Bottom-Up
BC	35.0	40.5	15.71%
CH4	149.8	157.9	5.41%
CO	14,978.4	11,483.7	-23.33%
CO2	374,352.0	367,907.7	-1.72%
N2O	15.5	17.2	10.97%
NOx	2,192.2	2,518.4	14.88%
PM10	119.1	88.7	-25.52%
PM2.5	99.0	88.7	-10.40%
SO2	22.8	20.5	-10.09%

Fuente: Elaboración propia, con base en (Cifuentes et al., 2021)

De forma general, se puede establecer que las emisiones estimadas con factores de emisión de la metodología IVE, presenta una sobreestimación en todos los contaminantes comparada con las estimaciones realizadas con factores de emisión del software COPERT.

Por otra parte, se puede evidenciar como al utilizar la misma metodología de factores de emisión para la estimación de emisiones, en este caso COPERT, se obtienen resultados similares entre los enfoques Top-Down y Bottom-Up, con diferencias absolutas menores al 26% en todos los contaminantes.

### **3. Escenarios de cambios de oferta y demanda del sistema de transporte**

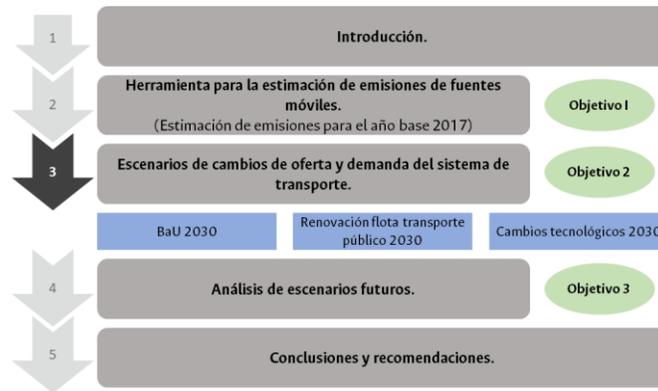
A lo largo del presente capítulo se presentará el proceso de definición de escenarios futuros de modelación. Dichos escenarios tienen como año de referencia el 2030, año que es definido ya que se configura como el año de finalización del Plan Maestro de Movilidad actual, de la ciudad de Manizales, y adicionalmente se establece como año de cumplimiento de reducción de las emisiones del Acuerdo de París, y en cual se establecen metas de disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> de un 20% respecto a un escenario Business As Usual a nivel nacional.

Por lo anterior el primer escenario de modelación futuro a definir corresponde a un escenario Business As Usual, que cumplirá la función de referencia al momento de hacer comparaciones entre los demás escenarios futuros, los cuales junto con el escenario BaU, serán detallados en los siguientes títulos según de método de definición.

El presente capítulo da cumplimiento al objetivo específico II (Ver Ilustración 17), y establece un punto de partida clave en las diferencias de los enfoques de estimación de emisiones (Bottom-Up y Top-Down) y es a partir de aquí

donde la metodología Bottom-Up permitirá tener un mejor desempeño al permitir la proyección de variables de actividad desagregadas, según los criterios que se definen.

Ilustración 17 Flujograma del desarrollo de la investigación, capítulo 3



Fuente: Elaboración propia

### 3.1 Metodología para la definición de escenarios de modelación

La definición de escenario de modelación, fue concertada en sesión conjunta con el equipo del proyecto de investigación *“Herramienta para la Gestión de la Calidad del Aire en Manizales a partir de modelos de transporte y factores de emisión”* en donde establecieron los posibles escenarios a desarrollar:

- 1) **Escenario Business as Usual:** A partir de la información histórica se generan modelos de proyección de la motorización, posteriormente

se estima el parque automotor y con las tasas de crecimiento del mismo, se proyecta la matriz de livianos y motocicletas. Finalmente se realizan las asignaciones haciendo uso del modelo de transporte.

- 2) **Renovación de la flota de transporte público:** Considerando una sobreoferta del 10% (Pico y Placa) y la caracterización de la edad de la flota actual, se define un plan de ascenso tecnológico que relaciona para cada año la nueva composición de la flota está compuesta en forma parcial por vehículos eléctrico. se definirá la distribución de la flota sobre cada link de la red y los factores de emisión.
- 3) **Cambios tecnológicos generales:** A partir de una encuesta a expertos, se plantearán los cambios tecnológicos que dichos encuestados, conforme a su experiencia en los sectores relacionados con el transporte, consideran se van a dar en Manizales para el año 2030.
- 4) **Etiquetado vehicular:** Considerando el impacto ambiental generado por el material rodante, se definen restricciones de circulación asociado a la tecnología y/o modelo del vehículo. Partiendo de la hipótesis de que la restricción se realiza en toda la red, se descontarán la asignación los vehículos a los cuales aplique la impedancia y se aplicarían los factores de emisión correspondientes.
- 5) **Mejores combustibles:** Partiendo de una asignación BaU, se calculan nuevos factores de emisiones que reflejen las variaciones asociadas a la calidad del combustible que se tiene proyectado para el país al año 2030.

- 6) **Macroproyecto de renovación urbana – San José:** Partiendo de los usos del suelo actuales y proyectados se estima una nueva demanda asociada a la renovación urbana. Las nuevas matrices alimentan el modelo de transporte para la simulación de la condición de desarrollo del proyecto.
- 7) **Pico y Placa en franjas horarias:** Definidas las franjas horarias hipotéticas de aplicación de pico y placa, se descontarían de las matrices los volúmenes en la red de transporte en función del número de dígitos y luego se realizarían las asignaciones en el modelo de transporte. Finalmente se redefiniría el perfil de la demanda en función del número de vehículo restringidos y las franjas horarias. Se parte de los supuestos de que el pico y placa no genera compra de 2dos vehículos y que la demanda no tiene una elasticidad en cuanto a la hora de viaje.
- 8) **Restricciones circulación en el centro de la ciudad:** Considerado una peatonalización total de un sector del centro histórico de la ciudad, se redefinen las matrices del modelo de transporte y se deshabilitan los modos motorizados en la zona de restricción. Se realiza posteriormente la asignación del modelo para generar los inputs necesarios.

Una vez expuestos los anteriores escenarios, se realizó la selección de 4 escenarios de modelación dadas las limitaciones, donde se tuvo en cuenta, criterios como la escalabilidad del escenario y los requerimientos de modificación sobre el modelo de planeación de transporte, esto a través de una votación al interior del equipo de trabajo del proyecto marco de esta tesis. En la Tabla 15 se presenta los escenarios seleccionados para la evaluación de acuerdo al criterio del grupo de investigación, en su orden de prioridad.

Tabla 15 Resultado de orden de prioridad definidos para la modelación de escenarios

Orden de prioridad	Nombre del escenario
1	Escenario Business as usual
2	Renovación de flota del transporte público
3	Cambios tecnológicos generales (Encuesta a expertos)
4	Mejoras de combustibles

Fuente: Elaboración propia

Cada uno de estos escenarios priorizados por el grupo de investigación contiene una metodología para su desarrollo, los cuales se presentan en los títulos 3.1.1 al 3.1.3

### **3.1.1 Escenario Business As Usual**

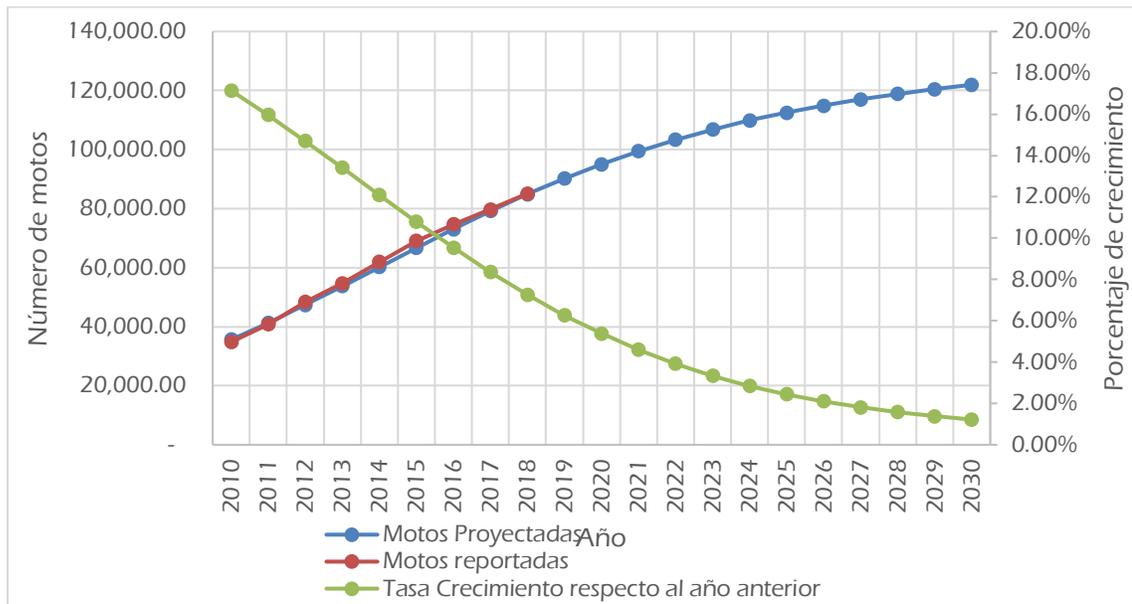
Para la definición del presente escenario se establecieron las siguientes consideraciones:

- 1) El crecimiento del parque automotor se presenta en vehículos de tipo motocicleta y livianos.
- 2) Dado que se considera que la flota de transporte público para la ciudad de Manizales tiene una sobre oferta estimada del 10%, el parque automotor, la frecuencia y rutas se mantiene constante a pesar del crecimiento poblacional.
- 3) De igual forma el transporte de carga permanecerá constante en el tiempo.

Una vez se establecidas estas consideraciones se presenta la estimación del parque automotor de la ciudad de Manizales estimada por el equipo de investigación del proyecto asociado, el cual fue estimado a partir del método Tanner para la determinación de los parámetros de la curva logística que representará el crecimiento del parque automotor hasta el año 2030 con base de los datos disponibles de años anteriores (2010–2018).

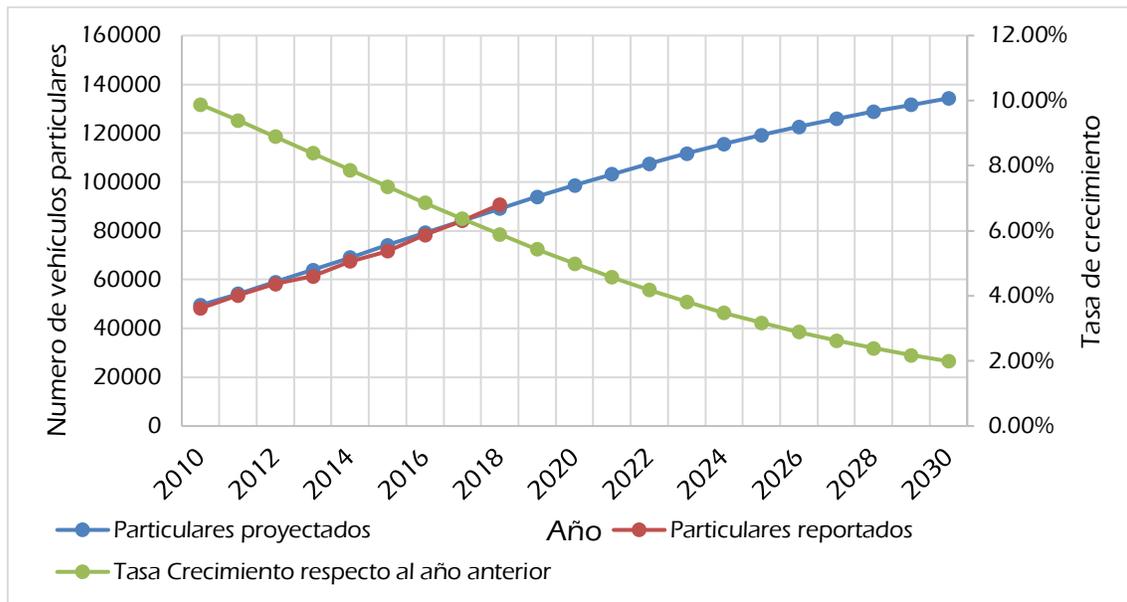
A partir de esta metodología y con base en los datos reportados en Manizales Cómo Vamos 2018, se realiza la proyección del crecimiento del parque de vehículos motocicletas y vehículos particulares entre el año 2010 y 2030, como se presente en las ilustraciones Ilustración 18 Ilustración 19.

Ilustración 18 Proyección del parque automotor de motocicletas



Fuente: Elaboración propia, con base (Manizales Cómo Vamos, 2018) y equipo de investigación.

Ilustración 19 Proyección del parque automotor de autos particulares



Fuente: Elaboración propia, con base (Manizales Cómo Vamos, 2018) y equipo de investigación.

A partir de esta metodología y las gráficas presentadas se determinan los siguientes cambios (Tabla 16) que afectan la demanda de transporte sobre la red vial de la ciudad en el escenario BaU, respecto al escenario base 2017 modelado.

Tabla 16 Cambios en el número de vehículos del parque automotor 2017-2030

Tipo de vehículo	Número de vehículos 2017	Número de vehículos 2030	% Crecimiento 2017 a 2030
Autos particulares	48,242	134,289	178.4%
Motos	34,838	121,959	250.1%

Fuente: Elaboración propia

Una vez aplicados estos cambios de en la demanda del sistema de transporte asociado al aumento de la motorización fueron estimada la actividad por categoría vehicular que es empleada en el escenario BaU 2030 y todos los demás escenarios con proyección a ese año, dicha actividad se presenta en la Tabla 17

Tabla 17 Actividad vehicular diaria calculada para los escenarios con año de referencia 2030

Tipología vehicular	VKT día
Livianos	3,163,158
TPC	274,516
C2	128,914
C2+	99,218
Moto	2,971,538
TaxiO	271,956
TaxiD	420,419

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, se realiza la estimación de la distribución tecnológica proyectada para el mismo año, según el comportamiento del mercado, identificado sobre la incorporación de tecnologías vehiculares para moto y autos particulares entre los años 2016 y 2019 de acuerdo con los registros de vehículos vendidos reportados por la plataforma Andemos.org.

Según el análisis, se identificó que, para la categoría de autos particulares, los modelos de autos vendidos más representativos en el periodo analizado corresponden a tecnología Euro IV y Euro V, por lo que se determina que el número de vehículos de tecnología anteriores a estas permanecerá constante, y solo se incrementará el parque automotor en las tecnologías más recientes.

En cuanto al kilometraje acumulado se determinó un aumento de 8250 km/año (Trejos Zapata, 2019) con respecto al kilometraje reportado del

parque automotor para el año base. En cuanto a las tecnologías que no se encuentran en el escenario base, se toma como tiempo de uso la diferencia de años entre el año 2018 y el año 2030 y se asume la misma actividad anual.

Respecto a las motocicletas, se realiza un análisis equivalente, sin embargo, este contiene un condicionante adicional, definido por la ley 1972, que establece que a partir del año 2021 solo se puede importar, fabricar o ensamblar motocicletas con tecnologías euro III o superior, por tal motivo solo incorporan vehículos nuevos de tecnología euro II hasta el año 2021, posterior a este, los vehículos nuevos que se incorporan al parque automotor se asumen de tecnologías Euro III y Euro IV de forma proporcional a lo identificado por el análisis de vehículos nuevos.

Por lo anterior la definición del parque automotor para el escenario BaU, se presenta el Anexo A que contiene la distribución de flota vehicular, que fue empleada para la estimación de los factores de emisión a través de COPERT 5.4.

### **3.1.2 Escenario de renovación de flota de transporte público colectivo**

Para la estimación de los parámetros requeridos en este escenario de modelación, se identificó inicialmente la edad de la flota vehicular del

transporte público colectivo de la ciudad, esto con el fin de realizar el proceso de renovación conforme a lo estipulado por el artículo 6 de la Ley 105 de 1993 que dicta: *“La vida útil máxima de los vehículos terrestres de servicio público colectivo de pasajeros y/o mixto será de veinte (20) años”*.

Por la anterior la renovación de flota vehicular se realiza sobre los vehículos que llegan al límite de dicha vida útil. Para la identificación de los tipos de vehículos y tecnologías a incorporar, en reemplazo de los vehículos salientes, fue revisado el Plan Maestro de Movilidad de la Ciudad de Manizales 2017–2030. Sin embargo, dentro de las estrategias no está propuesta la integración cuantificada de una participación específica de tecnologías cero o bajas emisiones.

Por otra parte, al hacer la revisión normativa se encuentra que la Ley 1964 de 2019 *“Por medio de la cual se promueve el uso de vehículos eléctricos en Colombia y se dictan otras disposiciones”* Sin embargo esta ley establece especificaciones adquisición de flota para entidades públicas y para ciudad con Sistemas Integrados de Transporte Masivo (SITM) que según la definición establecida en la ley 1753 de 2015, corresponde a *“las soluciones de transporte público para municipios o áreas metropolitanas con población superior a los 600.000 habitantes”*.

La ciudad actualmente tiene planteada a implementación de un Sistema Estratégico de Transporte Público (SETP), para poblaciones entre 250.000 y

600.000 habitantes, y por esta razón la flota de transporte público colectivo de la ciudad de Manizales no es objeto de dicha normatividad.

Por otra parte, uno de los supuestos establecidos para la modelación de este escenario consiste en mantener constante el número de vehículos, ruta y frecuencia que cumplen los recorridos del Sistema de Transporte Público Colectivo de la ciudad de Manizales desde el año 2017 y únicamente evaluar los beneficios de la renovación de flota. La cual se definió de igual forma con el equipo de investigación de proyecto asociado y se presenta en la Tabla 18

Tabla 18 Composición tecnológica de vehículos de reemplazo en el Sistema de Transporte Público Colectivo.

Tipo de combustible/tecnología	Porcentaje
Diesel	60%
GNV	30%
Eléctrico	10%

Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, teniendo en cuenta la restricción de vehicular similar al “Pico y Placa” a vehículos de Transporte Público Colectivo que para la fecha del año base existía en Manizales, que genera la interpretación de una sobreoferta de transporte, equivalente al número de vehículos con

restricción al día, que corresponde 20%, donde se limita la circulación de los vehículos terminados en una de las 10 letras posibles que antecede el código lateral de cada vehículo del TPC. Por consiguiente, se decide eliminar de la flota inicial de 928 unidades, el 20%, que corresponde a 186 vehículos, y se procede a realizar el análisis de renovación flota vehicular TPC con un total de 742 vehículos. Se puede consultar la flota vehicular del escenario, tecnologías y porcentajes de participación en el Anexo A.

### **3.1.3 Escenario de cambios tecnológicos**

Para el desarrollo de este escenario se empleó un recurso empleado un encuesta a expertos, que se plantea como una opción de identificar, diagnosticar o intentar predecir condiciones desconocidas o sin mucha información (J. Zhang et al., 2021), para este caso la distribución tecnológica del parque automotor en la ciudad de Manizales para el año 2030.

Dentro de los análisis que se han realizado, por (J. Zhang et al., 2021) en donde se revisaron 40 artículos donde se realiza aplicación de encuesta a expertos en temas relacionados con policías de transporte, se encuentra que en promedio las encuestas se realizaron con cerca de 69 expertos, sin embargo en algunos estudios se emplea un número de expertos mucho más bajo, cómo es el caso de (Jittrapirom et al., 2019) que emplea encuestas de 4 expertos, sin embargo para efectos de dicho estudio los resultados son contrastados con una muestra de no expertos mucho más grande.

Por otra parte, con el fin de tener un panorama más claro de la aplicación de encuesta a expertos en el sector transporte, específicamente para a la identificación o definición de escenarios futuros relacionado con cambio tecnológico en el transporte o disminución de impacto ambiental, se presenta en la Tabla 19 un análisis de algunos de los estudios más recientes que emplean esta metodología y su enfoque u objetivo específico.

Tabla 19 Estudios que emplean encuestas a expertos para la definición de escenarios futuros en políticas de transporte o impacto climático

<b>Estudio</b>	<b>Enfoque</b>	<b>Número de encuestas</b>
(Goletz et al., 2020)	Intermodalidad en el futuro para algunas ciudades de Europa	Encuesta 1: 67 Encuesta 2: 47
(Kattirtzi & Winskel, 2020)	Futuro energético del Reino Unido	Encuesta 1: 127 Encuesta 2: 69
(Kester et al., 2020)	Movilidad eléctrica en países nórdicos	227
(Krause et al., 2016)	Emisiones de CO2 para el año 2030 en Alemania	15
(Nogués et al., 2020)	Movilidad autónoma en el futuro y sus retos en la planeación urbana	55
(Melander et al., 2019)	Transporte de mercancías en Suecia para el año 2050	Encuesta 1: 40 Encuesta 2: 27
(Ülengin et al., 2018)	Políticas de reducción del sector transporte en el impacto climático	15
(Kester et al., 2018)	Mecanismos para acelerar la adopción de	227

Estudio	Enfoque	Número de encuestas
	vehículos eléctricos en países nórdicos	
(Sovacool et al., 2018)	Desafíos del transporte y políticas climáticas en el norte de Europa.	227
(AlSabbagh et al., 2017)	Evaluación de medidas para la disminución de CO2 aportadas por el sector transporte	40

Fuente: Elaboración propia con base en (J. Zhang et al., 2021)

De lo anterior se puede identificar que algunas de las encuestas relacionadas emplean el metodología de encuesta Delphi, el cual base las encuesta 2 rondas, tenido para la primera una recopilación simple de opinión individual de cada experto para luego realizar una segunda ronda los expertos pueden evaluar su primera opinión teniendo como base la respuesta de los demás expertos (Angelidou et al., 2022).

Adicionalmente, se presentan encuestas simples, que recogen la opinión o posición directa del experto sin requerir una comparación de las respuestas entre los mismos expertos. Dentro de los estudios que emplean este tipo de encuesta se destacan aquellos cuya intención va directamente enfocada a la definición de escenarios futuro de transporte para la disminución de emisiones como (AlSabbagh et al., 2017; Krause et al., 2016).

Para el presente estudio se empleó una encuesta simple a expertos, cuyo objetivo es recolectar las opiniones informadas al respecto de la composición tecnológica, enfocada en la distribución del tipo de

combustible para cada categoría vehicular, que se considera a llegar a poseer la ciudad de Manizales para el año 2030.

### ***Estructuración de la encuesta a expertos***

La estructura de la encuesta se planteó con base en la desarrollada por (Mangones et al., 2017) y fueron definidas las siguientes secciones, las cuales se pueden evidenciar en el anexo A que contiene la encuesta completa:

- 1) Introducción: Define el contexto y la intención de la encuesta, para que se realiza, quien la realiza
- 2) Contenido de la encuesta: Da a conocer la composición de cada una de las secciones de la encuesta de forma general.
- 3) Sesión 1: Contexto de la ciudad de Manizales, transporte, demografía, ubicación y algunos indicadores económicos.
- 4) Sesión 2: Definición de escenarios, con base en el registro del parque automotor de la ciudad de Manizales se presenta un escenario base 2021 de la distribución del parque automotor para las categorías Autos, Motos, Bus, Camión de acuerdo al tipo de combustible que emplea.

Posteriormente se solicita diligenciar la misma tabla de distribución de usos de combustibles para cada categoría vehicular, pero con una

proyección al año 2030, baso 3 escenarios posibles: optimista, moderado y pesimista siendo el optimista aquel que incorpora una mayor cantidad de vehículos con tecnologías de cero y bajas emisiones.

- 5) Sesión 3: Se solicita información respecto a la experiencia profesional, nivel académico, edad y sector en el que desarrolla las labores.

### ***Resultados de la encuesta a expertos***

Una vez formulada la encuesta, se realizó la distribución a 20 expertos de diferentes sectores, relacionados con la movilidad, políticas públicas, sector energético y academia. La encuesta fue aplicada entre julio y agosto del año 2021, una vez finalizado este periodo, se lograron recolectar un total de 11 respuesta totalmente diligenciadas.

Dentro de las características principales de los expertos que respondieron la encuesta se destaca una media de edad de 42 años, y media de experiencia profesional de 19 años, contando con opinión informada de expertos de sectores como ONG, Banca, Operación de transporte público, academia y entidades públicas encargadas de la planeación del sector.

Para plantear el escenario de cambios tecnológicos sobre el cual se realizará la simulación se procede a determinar los valores medios en cada escenario

para la distribución de la flota vehicular, los cuales se presentan en las tablas Tabla 20, Tabla 21 y Tabla 22.

Tabla 20 Resultado promedio del escenario Optimista

<b>Combustible</b>	<b>Auto</b>	<b>Moto</b>	<b>Bus</b>	<b>Camión</b>
Gasolina	62%	74%	18%	21%
Diesel	6%	0%	42%	51%
Eléctrico	12%	26%	27%	14%
Gas Gasolina	4%	0%	1%	1%
Gasolina- Eléctrico	7%	0%	0%	1%
GNV	6%	0%	9%	8%
Diesel - Eléctrico	2%	0%	2%	3%
GLP	2%	0%	1%	1%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21 Resultado promedio del escenario moderado

<b>Combustible</b>	<b>Auto</b>	<b>Moto</b>	<b>Bus</b>	<b>Camión</b>
--------------------	-------------	-------------	------------	---------------

Gasolina	72%	84%	23%	24%
Diesel	7%	0%	54%	59%
Eléctrico	7%	16%	13%	8%
Gas Gasolina	4%	0%	3%	2%
Gasolina- Eléctrico	4%	0%	0%	0%
GNV	5%	0%	6%	5%
Diesel - Eléctrico	0%	0%	1%	2%
GLP	1%	0%	1%	1%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22 Resultado promedio del escenario pesimista

<b>Combustible</b>	<b>Auto</b>	<b>Moto</b>	<b>Bus</b>	<b>Camión</b>
Gasolina	81%	95%	21%	25%
Diesel	8%	0%	65%	67%
Eléctrico	3%	5%	6%	1%
Gas Gasolina	3%	0%	2%	1%
Gasolina- Eléctrico	2%	0%	0%	0%
GNV	3%	0%	4%	4%

Diesel – Eléctrico	0%	0%	1%	1%
GLP	0%	0%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia

Al tener los valores medios de cada uno de los escenarios que fueron determinados, en sesión conjunta del grupo de investigación, se definió como escenario de modelación para el estudio el presentado en la Tabla 21. Ya que por las características de la toma de información puede representar un escenario más acercado a la realidad conforme a las condiciones de la ciudad evaluada.

### 3.1.4 Escenario de mejora de combustibles

Para la definición del escenario de mejora en los combustibles, se define inicialmente que la composición de tecnologías vehiculares y actividad vehicular corresponden a las reportadas para el escenario BaU. Por otra parte, se plantea una revisión de la normatividad que actualmente plantea las características de los combustibles proyectadas para el año 2030, en la Tabla 23 se presenta la dicha revisión.

Tabla 23 Proyección normativa de la calidad de los combustibles a 2030 en Colombia.

Documento normativo	Diesel	Gasolina
CONPES 3943	Antes de 2025 máximo 10 ppm azufre	Entre 2026 y 2030 máximo 10 ppm azufre
Ley 1972 de 2019	A partir de 1 de 2025 máximo 10 ppm azufre	-
Resolución 40177 de 2020	Desde el 1 de diciembre de 2025 máximo 10 ppm azufre	Máximo 50 ppm hasta el 31 de diciembre de 2030

Fuente: Elaboración propia

Con base en lo anterior, se establece que las prioridades sobre el mejoramiento de combustibles, en los competentes a la normatividad nacional, se enfoca en la disminución del contenido de azufre en los combustibles. Teniendo en cuenta las características el escenario base 2017 (Trejos Zapata, 2019) se plantea en la Tabla 24 la diferencia en el contenido de azufre según el combustible para este escenario y las cuales fueron ingresadas al software COPERT 5.4 para el recalcu de los factores de emisión.

Tabla 24 Diferencia en el contenido de azufre de combustibles según escenario

Escenario	Contenido de azufre (ppm) según combustible		
	Diesel	Gasolina	GNV
Base 2017	26.34	173.89	0.1

---

Mejora de combustibles a 2030	10	50	0.1
----------------------------------	----	----	-----

Fuente: Elaboración propia

### 3.2 Comparación de escenarios

El objeto de definir la forma de comparación de cada escenario de modelación, es poder tener claros los parámetros sobre los cuales se evaluarán las diferencias en los resultados obtenidos. Por lo cual, y teniendo en cuenta un enfoque cuantitativo y basados en la definición de los escenarios, se definen 3 componentes generales, que presentan cambios y que son tenidos en cuenta para la construcción y resultados de un inventario de emisiones

- 1) **Flota vehicular:** número de vehículos por combustible y tecnología.
- 2) **Actividad vehicular:** kilómetros recorridos por tipo de vehículo.
- 3) **Emisiones de contaminantes:** Emisiones totales, distribución espacial, aporte por categoría vehicular.

Una vez establecidas estos parámetros sobre los cuales se realizará la comparación, se pueden establecer las diferencias entre los escenarios

evaluados y cuales representan una mayor reducción de las emisiones de contaminantes y sus diferencias absolutas, temporal y espacial, como lo presentan diferentes estudios de comparación de escenarios (Cheng et al., 2021; Dalmau et al., 2022; Koomey et al., 2022) y que se verán en capítulo 4.



## **4. Resultados y análisis de escenarios futuros**

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos de la proyección de emisiones en el escenario BaU y la estimación de emisiones por fuentes móviles para los escenarios tres escenarios futuros analizados, evaluando los cambios en las emisiones totales de contaminantes. En este contexto se presenta la desagregación temporal de las emisiones para cada hora de un día típico. De igual forma la desagregación espacial que comprende la distribución de emisiones, de cada uno de los contaminantes, sobre la malla vial evaluada con base en el modelo de planeación transporte.

Esta sección del documento da cumplimiento al objetivo número 3 de la investigación, por lo que adicional a la presentación de resultados, se realiza la comparación de los escenarios, utilizando los criterios presentados en el título 3.1, del presente documento.

Todas las emisiones diarias que se presentan en este capítulo fueron obtenidas por medio del proceso de cálculo presentado en el título 2.1 aplicando los cambios de los parámetros definidos para los escenarios futuros de modelación. Para la obtención de las emisiones anuales empleándose emplea un factor de 330 (Trejos Zapata, 2019), ya que este

factor representa la transformación al año, en términos de actividad de tráfico, de un día típico, , teniendo en cuenta la disminución de actividad vehicular durante fines de semana, días feriados y periodos vacacionales.

Ilustración 20 Flujoograma del desarrollo de la investigación, capítulo 4



Fuente: Elaboración propia.

## 4.1 Escenario Business as Usual 2030

Para este escenario, que por definición se establece como un escenario de referencia, considerando un crecimiento tendencial, se reporta un aumento general en las emisiones de todos los contaminantes. Los mayores aumentos suceden en contaminantes como SO<sub>2</sub> con 65.4%, CO<sub>2</sub> con 45.4% y CH<sub>4</sub> con 36.7%. Los contaminantes que menor aumento presentaron son BC con 11.1% y NO<sub>x</sub> con 12.8% (ver Tabla 25 e Ilustración 21). De igual forma es importante precisar que este escenario tuvo en cuenta incremento de la actividad vehicular y edad del parque automotor de los vehículos en las

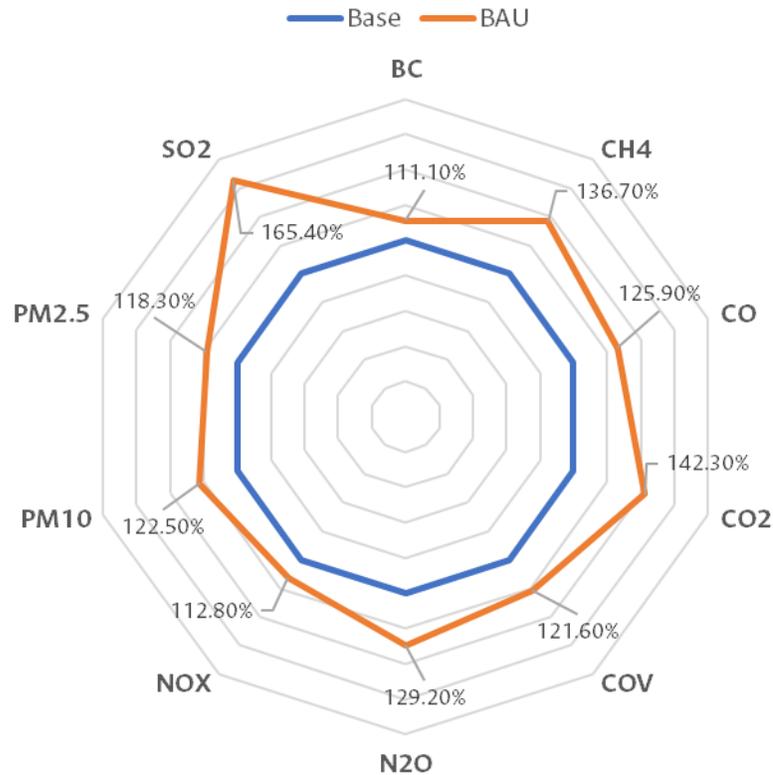
categorías Livianos y Motocicletas, vehículos que en su mayor parte emplean gasolina como combustible.

Tabla 25 Emisiones totales para el escenario Business as Usual 2030

Contaminante	kg/día	ton/año	Diferencia respecto BASE 2017
BC	117.4	38.7	11.1%
CH4	620.4	204.7	36.7%
CO	57,147.9	18,858.8	25.9%
CO2	1,614,823.6	532,891.8	42.3%
COV	10,825.0	3,572.2	21.6%
N2O	61.1	20.2	29.2%
NOX	7,496.4	2,473.8	12.8%
PM10	442.5	146.0	22.5%
PM2.5	355.4	117.3	18.3%
SO2	114.2	37.7	65.4%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 21 Comparativo de emisiones del escenario BAU con respecto al escenario base



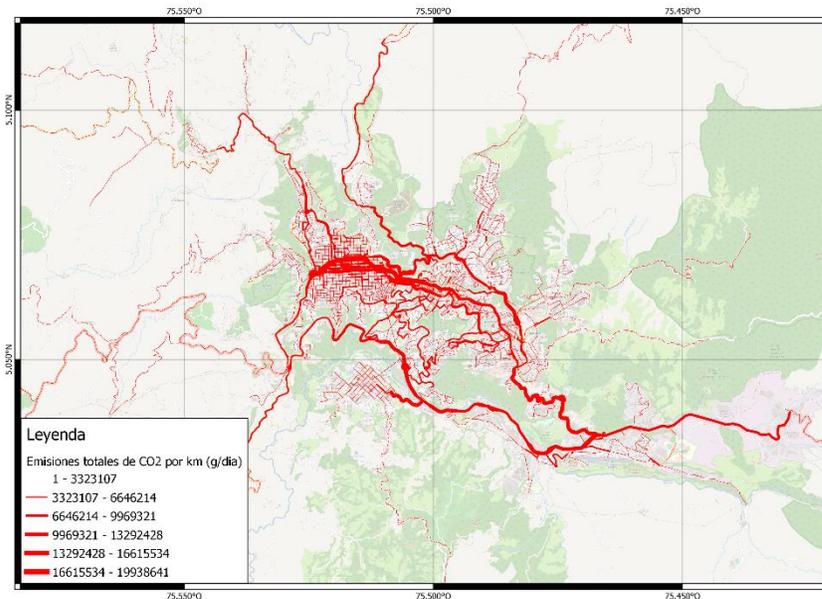
Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.1 Distribución espacial de emisiones

Al hacer la revisión de la distribución espacial de las generadas para este escenario, sólo presenta cambios de magnitud en la distribución de las emisiones, ya que se siguen presentando las mayores emisiones en vías principales como la Vía Panamericana, Av. Santander, Av. Kevin Ángel, por otra parte, hacia el centro de la ciudad se destacan emisiones que se generan no solo en la Av. Gilberto Alzate, sino también sobre las carreras 20, 21 y 22. En la Ilustración 22 se presenta el caso de la emisiones de CO<sub>2</sub>,

la distribución espacial de los demás contaminantes se encuentra en el anexo C.

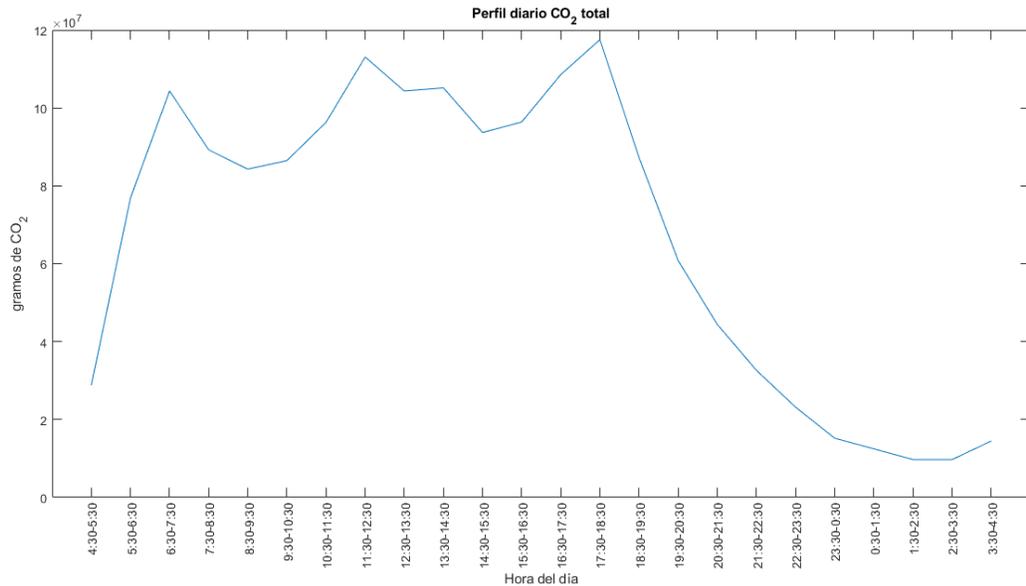
Ilustración 22 Mapa de generación de emisiones de CO<sub>2</sub> día típico, escenario Business as Usual 2030



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2 Distribución temporal de emisiones

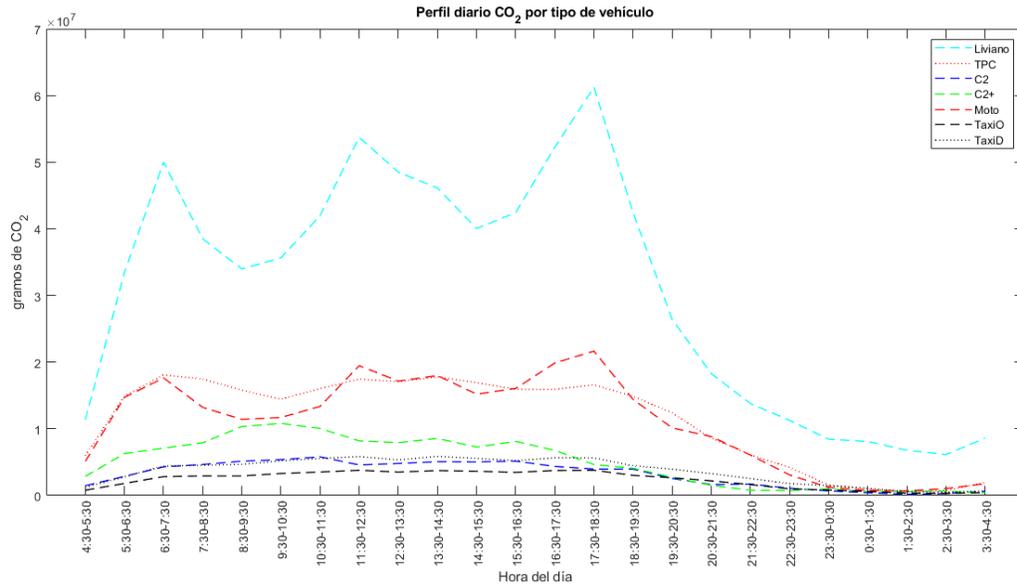
De manera general y cómo se muestra en la Ilustración 23 para el caso de las emisiones de CO<sub>2</sub>, en la ciudad Manizales se presentan 3 horas pico de generación de emisiones distribuidas en la mañana (6:45–7:45), medio día (11:30–12:30) y tarde (17:30–18:30) (ver Ilustración 23). Sin embargo, estos picos son más o menos pronunciados dependiendo del tipo de vehículo que lo genere, los perfiles de emisión diaria para todos los contaminantes se presentan en el anexo C.

Ilustración 23 Perfil diario de emisiones de CO<sub>2</sub> total, escenario Business as Usual 2030

Fuente: Elaboración propia

El perfil de emisiones por categoría vehicular se presenta en la Ilustración 24, y se puede evidenciar cuál de las tipologías vehiculares es la que tiene mayor aporte, de acuerdo a cada hora del día. Para el caso presentado de CO<sub>2</sub>, se presenta que el mayor aportante son los vehículos livianos, sin embargo, si se realiza el mismo análisis para el BC se observa que los vehículos del Transporte Público Colectivo presentan mayor aporte, en contraste con los COV donde son las motocicletas las mayores aportantes.

Ilustración 24 Perfil diario de emisiones de CO<sub>2</sub> por categoría vehicular, escenario Business as Usual 2030



Fuente: Elaboración propia

### 4.1.3 Aportes a la contaminación por tipología vehicular y combustible

En cuanto a los aportes generales de cada categoría a la emisión de contaminantes se pueden evidenciar cómo hay categorías que aportan más del 50% de las emisiones de un contaminante, como es el caso de las motocicletas, que presentan aportes del 63.5%, 61.1% y 54.4% de las emisiones de COV, CH<sub>4</sub> y CO. Por su parte los vehículos livianos aportan el 72.3% de las emisiones de N<sub>2</sub>O y el 45.8% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. (Ver Tabla 26)

Tabla 26 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según categoría vehicular, escenario Business as Usual 2030

	Contaminante
--	--------------

Tipo de vehículo	BC	CH4	CO	CO2	COV	N2O	NOX	PM10	PM2.5	SO2
Liviano	10.8 %	17.3 %	38.2 %	45.8 %	28.8 %	72.3 %	22.4 %	22.3 %	17.0 %	63.3 %
TPC	44.4 %	7.3%	1.0%	16.9 %	1.5%	5.2%	39.0 %	24.0 %	26.2 %	3.8%
C2	11.1 %	1.3%	0.3%	4.7%	0.4%	2.1%	10.6 %	7.6%	7.8%	1.0%
C2+	17.4 %	2.1%	0.4%	7.4%	0.6%	1.8%	15.8 %	9.3%	10.2 %	1.7%
Moto	14.8 %	61.2 %	54.4 %	16.3 %	63.5 %	9.7%	9.1%	32.2 %	35.6 %	24.4 %
TaxiO	0.6%	4.3%	2.3%	3.5%	2.1%	3.4%	1.2%	1.8%	1.3%	2.3%
TaxiD	0.9%	6.6%	3.5%	5.4%	3.1%	5.4%	1.9%	2.7%	2.0%	3.6%

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los combustibles, los resultados dejan clara la predominancia sobre la emisión de ciertos contaminantes, donde el Diesel tiene aportes significativos en BC (80.4%) y NOx (67%). Por su parte la Gasolina presenta sus mayores aportes en CO (97.2%, COV (96.0%), SO2 (92.8%) y N2O (84.4%) y CH4 (77.6%), sin embargo, en contaminantes como CO2, PM10 Y PM2.5 aún aporta cerca del 50% de las emisiones este combustible. Para el GNV sus mayores aportes se presentan en CH4 con 11.6% y CO2 con 6.3% de las emisiones totales, en los demás contaminantes los aportes son inferiores al 3%. (ver Tabla 27)

Tabla 27 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según combustible, escenario Business as Usual 2030

Contaminante	Tipo de combustible		
	Gasolina	Diesel	GNV
BC	19.0%	80.4%	0.5%
CH4	77.6%	10.9%	11.6%
CO	97.2%	1.7%	1.1%
CO2	61.6%	32.1%	6.3%
COV	96.0%	2.6%	1.5%
N2O	84.4%	12.9%	2.8%
NOX	31.8%	67.5%	0.7%
PM10	52.0%	45.0%	3.0%
PM2.5	49.6%	48.3%	2.1%
SO2	92.8%	7.2%	0.0%

Fuente: Elaboración propia

## 4.2 Escenario de renovación de la flota de transporte público colectivo

La renovación de flota del transporte público planteada a 2030, únicamente presenta disminución de emisiones en BC respecto al escenario base 2017, con una reducción del 18.8% de las emisiones totales. Para los demás contaminantes se presentaron aumentos desde el 3.0% (NOX) hasta el 86.0% (N2O) (ver Tabla 28 e Ilustración 25)

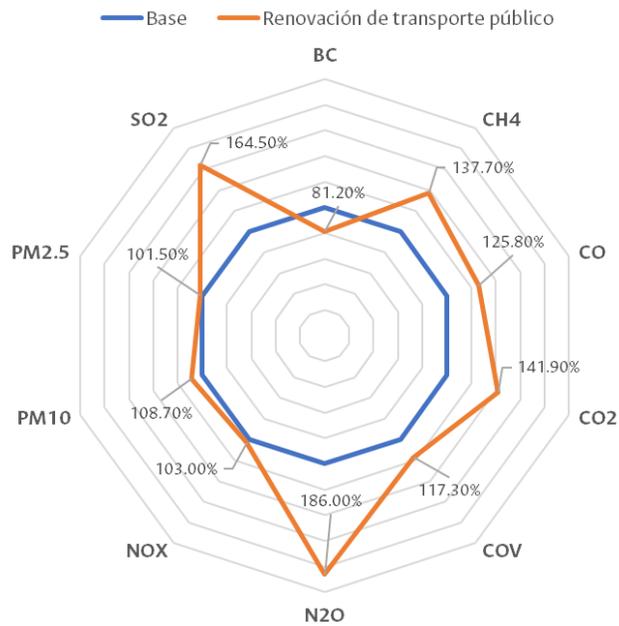
Tabla 28 Emisiones totales para el escenario de renovación del transporte público 2030

Contaminante	Kg/día	ton/año	Diferencia respecto BASE 2017

BC	85.7	28.3	-18.8%
CH4	624.9	206.2	37.7%
CO	57,090.6	18,839.9	25.8%
CO2	1,610,054.7	531,318.0	41.9%
COV	10,445.9	3,447.1	17.3%
N2O	87.9	29.0	86.0%
NOX	6,840.6	2,257.4	3.0%
PM10	392.6	129.6	8.7%
PM2.5	304.8	100.6	1.5%
SO2	113.6	37.5	64.5%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 25 Comparativo de emisiones del escenario de renovación de transporte público respecto al escenario base.

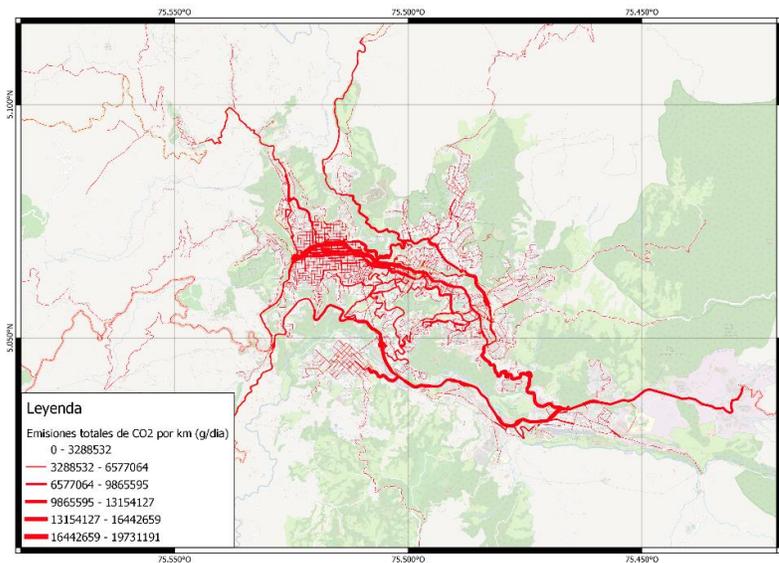


Fuente: Elaboración propia

### 4.2.1 Distribución espacial de emisiones

En cuanto a la distribución de emisiones se sigue presentando el mismo comportamiento que en los dos escenarios previos, donde se presenta mayor emisión sobre los corredores principales y un aumento en la generación de contaminantes hacia el centro de la ciudad (ver Ilustración 26). Es ejercicio de graficación se continúa haciendo en los demás escenarios de modelación como una comprobación de un correcto procedimiento en el código de cálculo.

Ilustración 26 Mapa de generación de emisiones de CO2 día típico, escenario de renovación del transporte público 2030



Fuente: Elaboración propia

### 4.2.2 Aportes a la contaminación por tipología vehicular y combustible

Cómo se mencionó anteriormente para este escenario se destacan las reducciones de BC, donde ahora los vehículos de transporte público no predominan a emisión, sino que tiene aportes similares a los Camiones de más de 3 ejes y las motocicletas. (ver Tabla 29)

Tabla 29 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según categoría vehicular, escenario renovación de transporte público 2030

Tipo de vehículo	Contaminante									
	BC	CH4	CO	CO2	COV	N2O	NOX	PM10	PM2.5	SO2
Liviano	14.8 %	17.1 %	38.3 %	45.9 %	29.9 %	50.3 %	24.5 %	25.1%	19.8 %	63.6 %
TPC	23.8 %	7.9%	0.9%	16.6 %	0.9%	34.1 %	33.1 %	14.4%	13.9 %	3.2%
C2	15.2 %	1.3%	0.3%	4.7%	0.4%	1.4%	11.6 %	8.6%	9.1%	1.1%
C2+	23.8 %	2.1%	0.4%	7.4%	0.6%	1.3%	17.4 %	10.5%	11.9 %	1.7%
Moto	20.2 %	60.7 %	54.4 %	16.3 %	65.8 %	6.8%	10.0 %	36.3%	41.4 %	24.5 %
TaxiO	0.8%	4.2%	2.3%	3.5%	0.9%	2.4%	1.3%	2.0%	1.5%	2.3%
TaxiD	1.3%	6.6%	3.5%	5.5%	1.5%	3.7%	2.0%	3.1%	2.3%	3.6%

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los aportes por tipo de combustible, se destacan cambios en el aporte del Diesel al BC que paso del 80.4% en el escenario Business as Usual 2030 a 73.1% en el escenario de renovación de transporte público. Sin embargo, los cambios más significativos, están en GNV que paso de

representar el 11.6% del CH4 en el escenario BaU 2030 a 16.9% es este escenario y el N2O que pasó de 2.8% a 31.8%. (ver Tabla 30)

Tabla 30 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según tipo de combustible, escenario renovación de transporte público 2030

Contaminante	Tipo de combustible		
	Gasolina	Diesel	GNV
BC	26.0%	73.1%	0.8%
CH4	77.0%	6.1%	16.9%
CO	97.3%	1.6%	1.1%
CO2	61.8%	29.8%	8.4%
COV	96.6%	1.7%	1.8%
N2O	58.6%	9.6%	31.8%
NOX	34.8%	60.5%	4.7%
PM10	58.6%	37.2%	4.1%
PM2.5	57.8%	39.2%	3.0%
SO2	93.3%	6.7%	0.0%

Fuente: Elaboración propia

### 4.3 Escenario de cambios tecnológico

Dentro de los cambios más significativos en los resultados del presente este escenario, se encuentra la incorporación del gas licuado de petróleo (GLP) como una de los combustibles asociado al cambio tecnológico identificado en la encuesta a experto. Adicionalmente en este escenario se presenta disminución de emisiones respecto al escenario base 2017 en 4 contaminantes BC (-23%), NOX (-13.6%), PM2.5 (-8.2%), PM10(-2.4). En

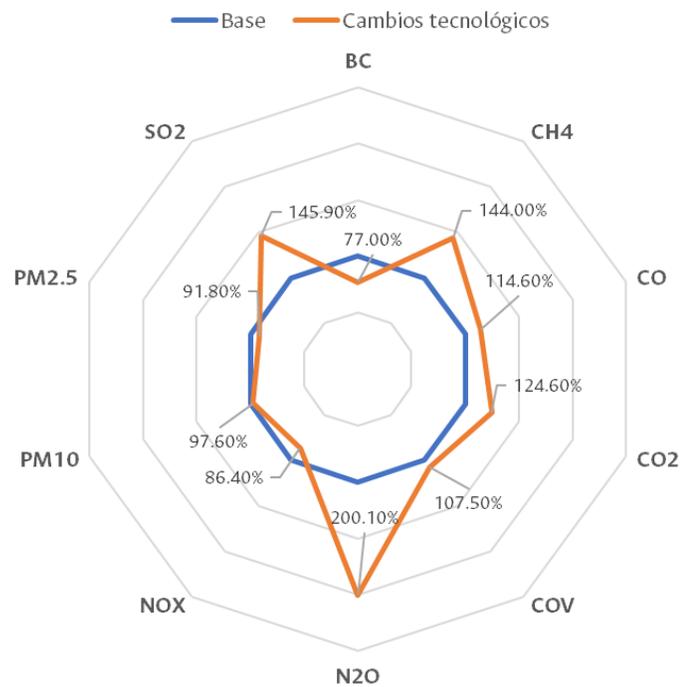
contraste, se presentó un aumento del 100% de las emisiones de N2O. (ver Tabla 31 e Ilustración 27)

Tabla 31 Emisiones totales para el escenario de cambios tecnológicos 2030

Contaminante	kg/día	ton/año	Diferencia respecto BASE 2017
BC	81.3	26.8	-23.0%
CH4	653.8	215.8	44.0%
CO	52,017.4	17,165.7	14.6%
CO2	1,413,137.5	466,335.4	24.6%
COV	9575.6	3,160.0	7.5%
N2O	94.6	31.2	100.1%
NOX	5,737.6	1,893.4	-13.6%
PM10	352.5	116.3	-2.4%
PM2.5	275.8	91.0	-8.2%
SO2	100.7	33.2	45.9%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 27 Comparativo de emisiones del escenario de cambios tecnológicos respecto al escenario base.



Fuente: Elaboración propia

### 4.3.1 Aportes a la contaminación por tipología vehicular y combustible

Para los aportes de emisiones por tipología vehicular, permanecen algunos previamente mencionados con cambios en su porcentaje, como es el caso de los vehículos livianos, con un aporte de 58% de las emisiones de SO<sub>2</sub> y 49.7% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, en cuanto a las motocicletas presentan aporte de 50,2% y 48.7% para CO y CH<sub>4</sub> respectivamente.

Tabla 32 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según categoría vehicular, escenario de cambios tecnológicos 2030

Tipo de vehículo	Contaminante									
	BC	CH4	CO	CO2	COV	N2O	NOX	PM10	PM2.5	SO2
Liviano	15.3 %	19.4 %	35.8 %	49.7 %	28.6 %	38.9 %	26.2 %	27.6 %	21.6%	58.0 %
TPC	34.2 %	16.9 %	2.1%	13.9 %	2.2%	28.8 %	32.4 %	17.6 %	19.0%	2.4%
C2	8.6%	5.5%	1.6%	4.0%	0.5%	10.9 %	8.2%	5.5%	5.7%	3.3%
C2+	20.6 %	5.3%	0.8%	7.2%	0.5%	8.4%	17.2 %	9.6%	10.8%	1.6%
Moto	17.9 %	48.7 %	50.2 %	15.6 %	60.3 %	5.3%	10.0 %	34.0 %	38.5%	23.2 %
TaxiO	1.3%	1.7%	3.8%	3.7%	3.2%	3.0%	2.3%	2.2%	1.7%	4.6%
TaxiD	2.0%	2.6%	5.9%	5.8%	4.7%	4.7%	3.5%	3.4%	2.7%	7.1%

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de las emisiones por tipo de combustible, como se mencionó antes y a diferencia de otros escenarios, este agrega el GLP como uno de los combustibles empleados, donde se destaca su alto aporte en CH4 similar al del GNV con cerca del 16% de las emisiones, por otra parte, para este escenario, los aportes de GNV rondan el 32% para el caso del N2O. En cuanto a la gasolina, se presenta que este es el mayor aporte para todos los contaminantes excepto BC y NOx

Tabla 33 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según combustible, escenario de cambios tecnológicos 2030

Contaminante	Tipo de combustible			
	Gasolina	Diesel	GNV	GLP
BC	23.8%	75.5%	0.3%	0.4%
CH4	62.5%	5.9%	15.8%	15.8%
CO	96.7%	1.3%	0.5%	1.5%
CO2	66.5%	25.6%	4.8%	3.1%
COV	95.7%	1.8%	0.7%	1.7%
N2O	59.4%	7.9%	32.7%	0.0%
NOX	37.5%	55.4%	5.1%	2.0%
PM10	58.9%	37.2%	2.0%	1.9%
PM2.5	56.5%	40.7%	1.4%	1.4%
SO2	94.5%	5.5%	0.0%	0.0%

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 Escenario de mejoras de combustible.

Cómo se precisó en el planteamiento del escenario de mejora de combustibles, este sólo se constituye por un cambio referente al contenido de azufre en la gasolina y el Diesel, lo que se puede evidenciar en la Tabla 34 e Ilustración 28, ya que el único contaminante que presentó reducción de emisiones respecto al escenario base es el SO2 con una reducción del 41%.

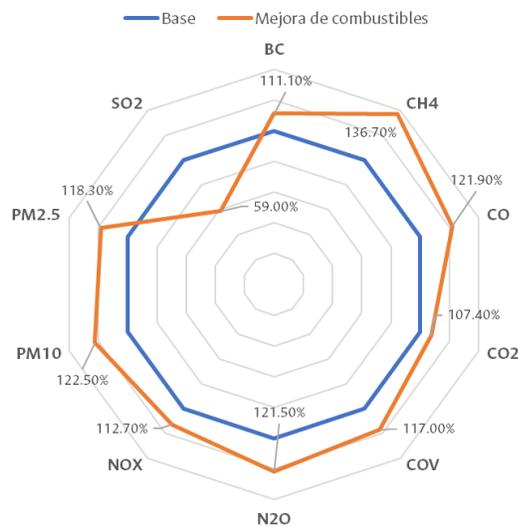
Tabla 34 Emisiones totales para el escenario de mejora de combustibles 2030

Contaminante	kg/día	ton/año	Diferencia respecto BASE 2017
BC	117.4	38.7	11.1%
CH4	620.4	204.7	36.7%

CO	55,340.7	18,262.4	21.9%
CO2	1,218,482.8	402,099.3	7.4%
COV	10,413.7	3,436.5	17.0%
N2O	57.4	19.0	21.5%
NOX	7,486.4	2,470.5	12.7%
PM10	442.5	146.0	22.5%
PM2.5	355.4	117.3	18.3%
SO2	40.8	13.5	-41.0%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 28 Comparativo de emisiones del escenario de mejora de combustibles respecto al escenario base.



Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.1 Aportes a la contaminación por tipología vehicular y combustible

Para este escenario nuevamente se destaca el aporte al BC que presentan los vehículos de transporte público colectivo, con un 44.4%, de igual forma

el aporte que tienen las motocicletas en las emisiones de COV, CH4 y CO con 63.4%, 61.2% y 54.0% respectivamente. En cuanto a los vehículos livianos tienen aportes significativos del 70.9% para N2O y 70.0% en SO2.

Tabla 35 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según categoría vehicular, escenario de mejora de combustibles 2030

Tipo de vehículo	Contaminante									
	BC	CH4	CO	CO2	COV	N2O	NOX	PM10	PM2.5	SO2
Liviano	10.8 %	17.3 %	38.4 %	28.2 %	29.8 %	70.9 %	22.8 %	22.3%	17.0%	70.0 %
TPC	44.4 %	7.3%	1.0%	22.4 %	1.5%	5.5%	39.0 %	24.0%	26.2%	4.1%
C2	11.1 %	1.3%	0.3%	6.2%	0.4%	2.2%	10.6 %	7.6%	7.8%	1.1%
C2+	17.4 %	2.1%	0.4%	9.8%	0.6%	1.9%	15.9 %	9.3%	10.2%	1.9%
Moto	14.8 %	61.2 %	54.0 %	21.5 %	63.4 %	10.3 %	8.9%	32.2%	35.6%	21.9 %
TaxiO	0.6%	4.3%	2.3%	4.7%	1.6%	3.6%	1.1%	1.8%	1.3%	0.4%
TaxiD	0.9%	6.6%	3.6%	7.2%	2.5%	5.5%	1.7%	2.7%	2.0%	0.6%

Fuente: Elaboración propia

Los aportes porcentuales para cada tipo de combustibles no presentaron variaciones representativas respecto al escenario BaU 2030, sin embargo, se destaca el aumento del aporte de GNV que llegó al 8.3% de CO2, al igual que las emisiones de CO2 para el Diesel que aumentaron hasta el 42.6%. (Ver Tabla 36)

Tabla 36 Porcentaje de aporte en los contaminantes evaluados según combustible, escenario de mejora de combustibles 2030

Contaminante	Tipo de combustible		
	Gasolina	Diesel	GNV
BC	19.0%	80.4%	0.5%
CH4	77.6%	10.9%	11.6%
CO	97.1%	1.8%	1.1%
CO2	49.1%	42.6%	8.3%
COV	95.8%	2.7%	1.5%
N2O	83.4%	13.7%	2.9%
NOX	31.7%	67.6%	0.7%
PM10	52.0%	45.0%	3.0%
PM2.5	49.6%	48.3%	2.1%
SO2	92.2%	7.8%	0.0%

Fuente: Elaboración propia

## 4.5 Comparación y discusión de los resultados

Una vez presentados los resultados de cada uno de los escenarios modelados, se realiza una comparación entre los resultados de emisiones totales para cada uno de los contaminantes, respecto al año base, encontrando que en la mayoría de los contaminantes de cada escenario se presentan aumentos (ver Tabla 37). Dentro de los contaminantes que

presentan aumentos, respecto al escenario base 2017, en todos los escenarios evaluados se destacan CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, COV y N<sub>2</sub>O.

Respecto a los que presentan disminución de emisiones se destaca el BC que presenta reducciones en el escenario de renovación del transporte público y cambios tecnológico, por su parte el SO<sub>2</sub> presenta reducciones en el escenario de mejora de combustibles y NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> reducciones en el escenario de cambios tecnológicos.

Tabla 37 Diferencia porcentual de emisiones respecto al escenario base 2017

Contaminante	BAU 2030	Renovación TPC	Cambios tecnológicos	Mejora de combustibles
BC	11.1%	-18.8%	-23.0%	11.1%
CH <sub>4</sub>	36.7%	37.7%	44.0%	36.7%
CO	25.9%	25.8%	14.6%	21.9%
CO <sub>2</sub>	42.3%	41.9%	24.6%	7.4%
COV	21.6%	17.3%	7.5%	17.0%
N <sub>2</sub> O	29.2%	86.0%	100.1%	21.5%
NO <sub>x</sub>	12.8%	3.0%	-13.6%	12.7%
PM <sub>10</sub>	22.5%	8.7%	-2.4%	22.5%
PM <sub>2.5</sub>	18.3%	1.5%	-8.2%	18.3%
SO <sub>2</sub>	65.4%	64.5%	45.9%	-41.0%

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el análisis de disminución de emisiones, como se define metodológicamente, es necesario hacer una comparación con el escenario BaU 2030, en la Tabla 38 e Ilustración 29 se presenta la reducción de emisiones respecto de este escenario de referencia. Allí se puede evidenciar como hay contaminantes que presenta disminución en todos los escenarios

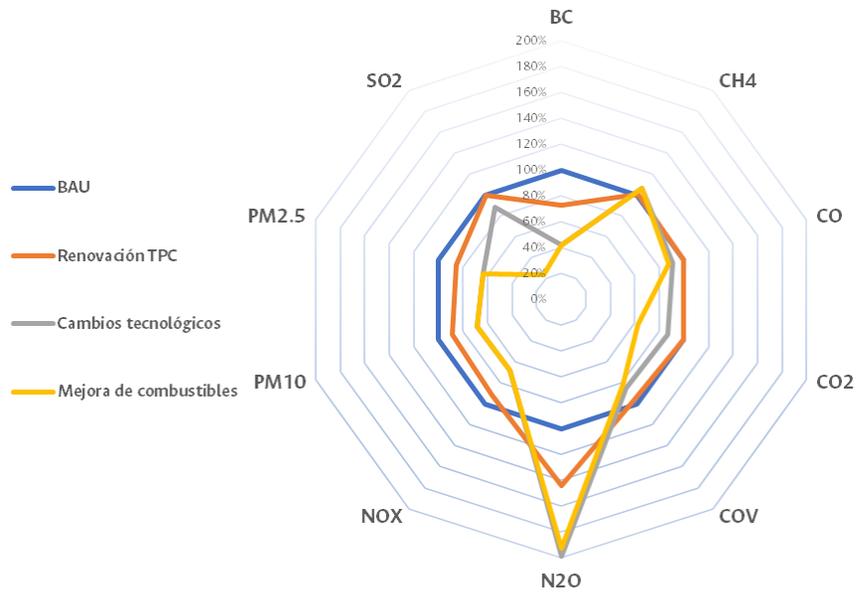
comparados, como el CO que cambia entre -0.1% y -9.0%, CO2 entre -0.3% y -24.5% , NOx entre -0.1% y -23.5%, SO2 entre -0.5% y 64.3%.

Tabla 38 Diferencia de emisiones respecto al escenario Business as Usual

Contaminante	Renovación TPC 230	Cambios tecnológicos	Mejora de combustibles
BC	-27.0%	-30.7%	0.0%
CH4	0.7%	5.4%	0.0%
CO	-0.1%	-9.0%	-3.2%
CO2	-0.3%	-12.5%	-24.5%
COV	-3.5%	-11.5%	-3.8%
N2O	43.9%	54.9%	-6.0%
NOX	-8.7%	-23.5%	-0.1%
PM10	-11.3%	-20.3%	0.0%
PM2.5	-14.2%	-22.4%	0.0%
SO2	-0.5%	-11.8%	-64.3%

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 29 Comparativo de emisiones de escenario de proyección 2030  
 respecto al escenario BAU



Fuente: Elaboración propia

### 4.5.1 Comparación de flota vehicular

Respecto a la flota vehicular, es necesario aclarar que todos escenarios tuvieron a lo sumo, modificaciones parciales respecto al escenario base, como se mencionó en los títulos anteriores, cómo se puede ver en la Tabla 39

Tabla 39 Cambios de flota vehicular (SI/NO) en escenarios futuros respecto al escenario Business as Usual 2030

Categoría vehicular	Renovación TPC	Cambios tecnológicos	Mejora de combustibles
Livianos	NO	SI	NO
TPC	SI	SI	NO
C2	NO	SI	NO
C2+	NO	SI	NO
Motos	NO	SI	NO
Taxis	NO	NO	NO

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.2 Comparación de actividad vehicular

Si bien el escenario de proyección al año 2030 se estimó con proyección de crecimiento del parque automotor únicamente para vehículos livianos y moto este cambio tuvo repercusiones en las demás categorías, excepto TPC ya esta tipología tiene rutas y frecuencias que no se ven alteradas.

Las diferencias en actividad más significativas se encuentran en las categorías livianos y motos, con aumentos del 79.5% y 67.3%. Adicional a estas se presentan aumentos en Taxis Desocupados de 24.4% y Taxis ocupados de 16.1%. En cuanto a los vehículos de carga se presentan aumentos de alrededor de 10%. De forma agrupada los escenarios de proyección al año 2030 tienen un aumento en la actividad vehicular del 59.6% respecto al escenario base 2017.

Tabla 40 VKTs según escenario evaluado

Tipología vehicular	VKTs día (año base2017)	VKTs día (proyección 2030)	Variación
Livianos	1,761,961	3,163,158	79.5%
TPC	274,516	274,516	0.0%

C2	117,970	128,914	9.3%
C2+	89,713	99,218	10.6%
Moto	1,776,201	2,971,538	67.3%
TaxiO	234,318	271,956	16.1%
TaxiD	337,924	420,419	24.4%
TOTAL	4,592,603	7,329,719	59.6%

Fuente: Elaboración propia

### 4.5.3 Comparación de distribución de emisiones

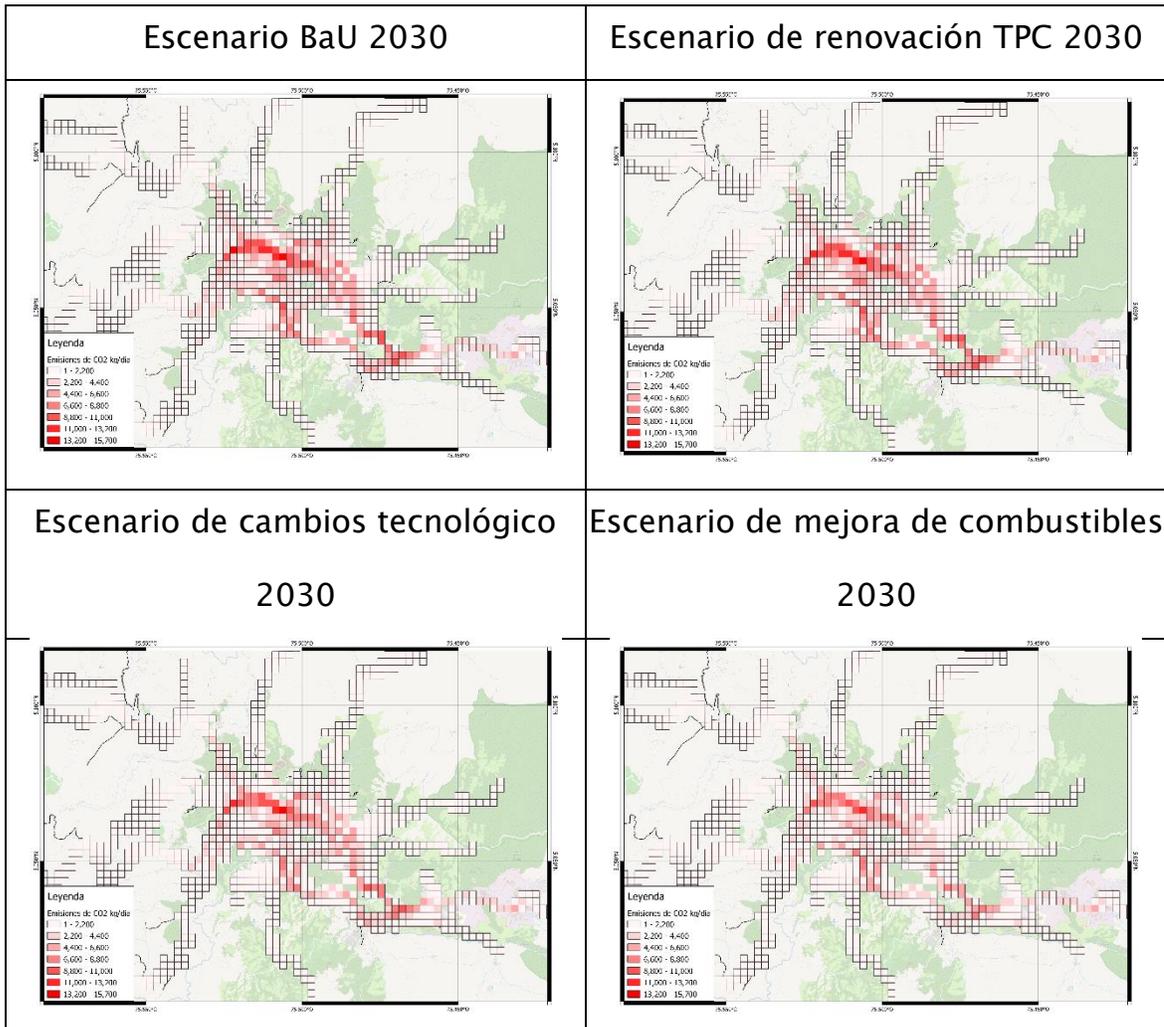
Para este ejercicio de comparación de la distribución de emisiones se realiza un ejercicio de contraste entre los diferentes resultados, tanto temporales, como espaciales, una vez realizado se identifica que en muchos casos las diferencias no son perceptibles gráficamente, y por esa razón a pesar que en el anexo C se presentan todas gráficas de distribución de emisiones temporal y espacialmente a continuación se presentan algunas de las más destacadas.

#### Distribución espacial

Para el análisis de comparativo en a la distribución espacial de las emisiones, se realiza un proceso de agrupación por cuadrículas de 250 metros, esto con el fin de encontrar las zonas de la ciudad con mayores emisiones. Recordando que el análisis realizado al tener discretizadas las emisiones por cada vía y puede llegar a agruparse en el tamaño de cuadrícula que se considere pertinente.

Para este caso de evaluación y dada su importancia como gas de efecto invernadero se realiza el análisis comparativo de la distribución espacial diaria del CO<sub>2</sub> (ver Tabla 41), donde se puede apreciar, que las mayores concentraciones se presentan hacia la misma zona del centro de la ciudad y sobre las vías principales, únicamente presenta cambios en el orden de magnitud. Situación que se presenta para todos los contaminantes evaluados.

Tabla 41 Comparación de la distribución espacial del CO2



Fuente: Elaboración propia

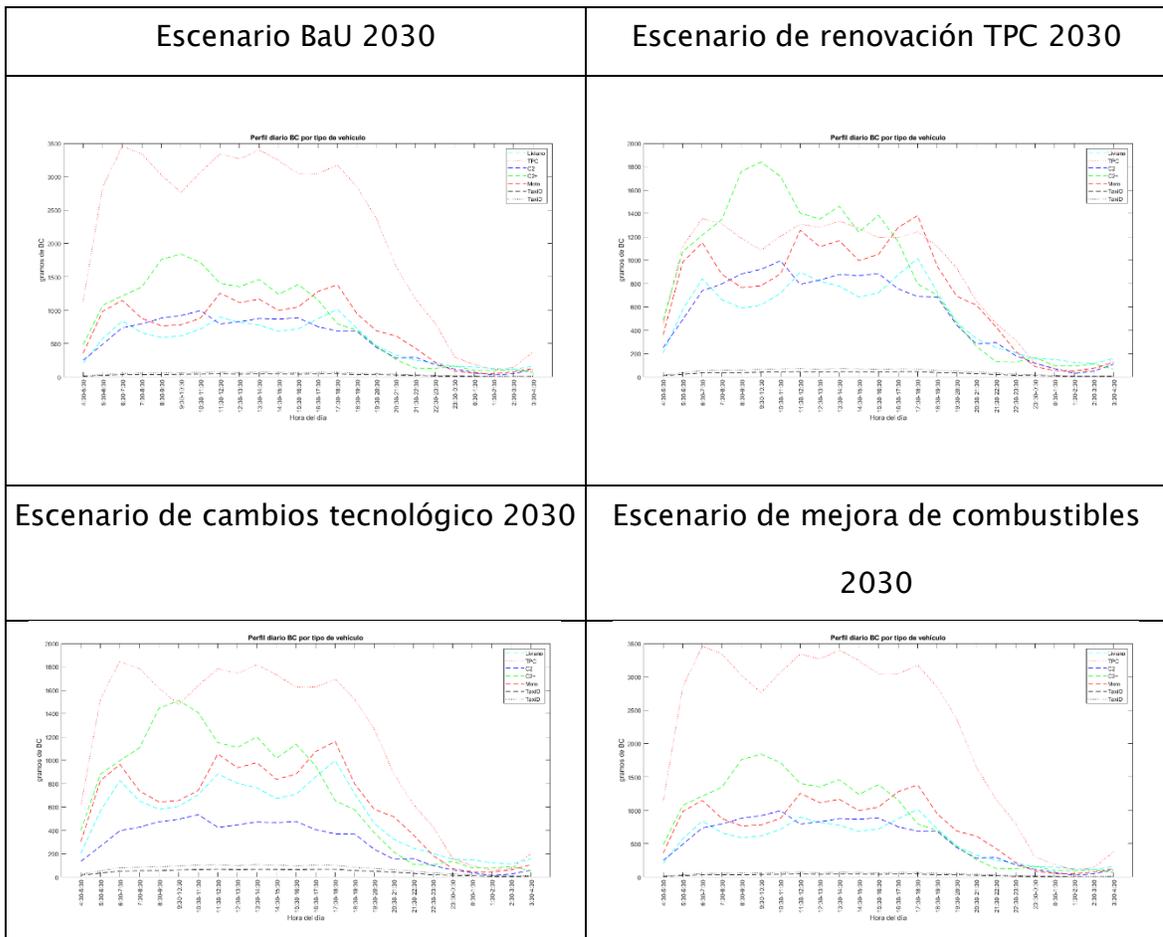
### Distribución temporal

Respecto de la distribución temporal de las emisiones, realiza un contraste de los perfiles diarios de emisiones por tipo de vehículos, estos contrastes se realizaron para los contaminantes que mayores variaciones presentan entre los escenarios de proyección 2030 BC, CO2, N2O y SO2.

Para el caso de las emisiones de BC, se puede evidenciar como para el escenario BaU 2030 y mejora de combustibles 2030 presentan un

comportamiento exactamente igual, si embargo para el caso del escenario de renovación del Transporte Público Colectivo se presenta una disminución significativa de la emisión de TPC, disminuyendo su actividad incluso estando por debajo de las emisiones de los C2+ en un periodo de la mañana y la tarde. Para el escenario de cambios tecnológicos se presenta una reducción de la emisión en TPC y C2. (ver Tabla 42)

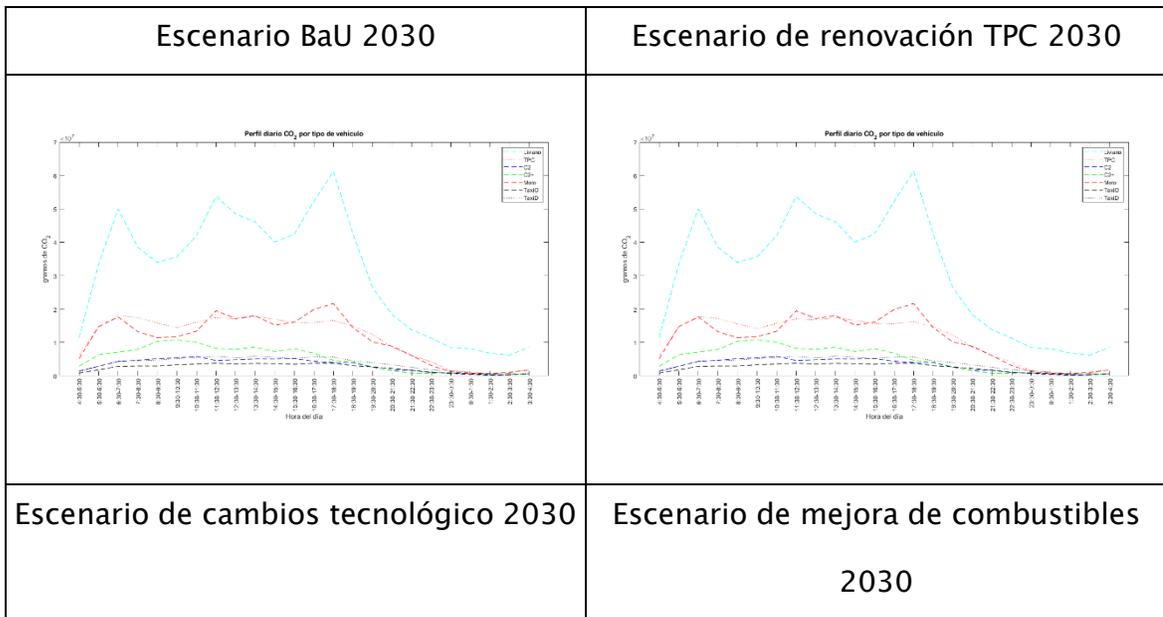
Tabla 42 Comparación de perfiles diarios de emisión de BC por tipo de vehículo

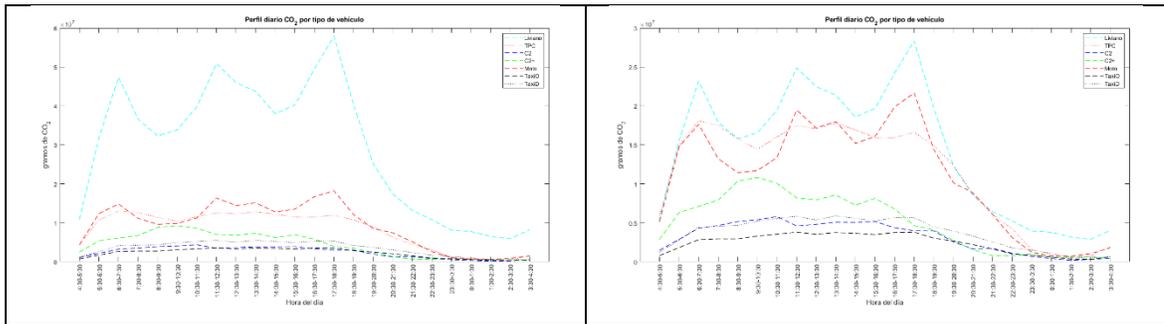


Fuente: Elaboración propia

Las emisiones de CO2 por su parte presentan un comportamiento muy similar para los 3 primero escenarios expuestos, donde la magnitud y el perfil son semejantes, sin embargo, para el escenario de mejoramiento de combustibles se presenta una disminución significaba de las emisiones para los vehículos livianos, dando una mayor representatividad porcentual al resto de los vehículos. (ver Tabla 43)

Tabla 43 Comparación de perfiles diarios de emisión de CO2 por tipo de vehículo



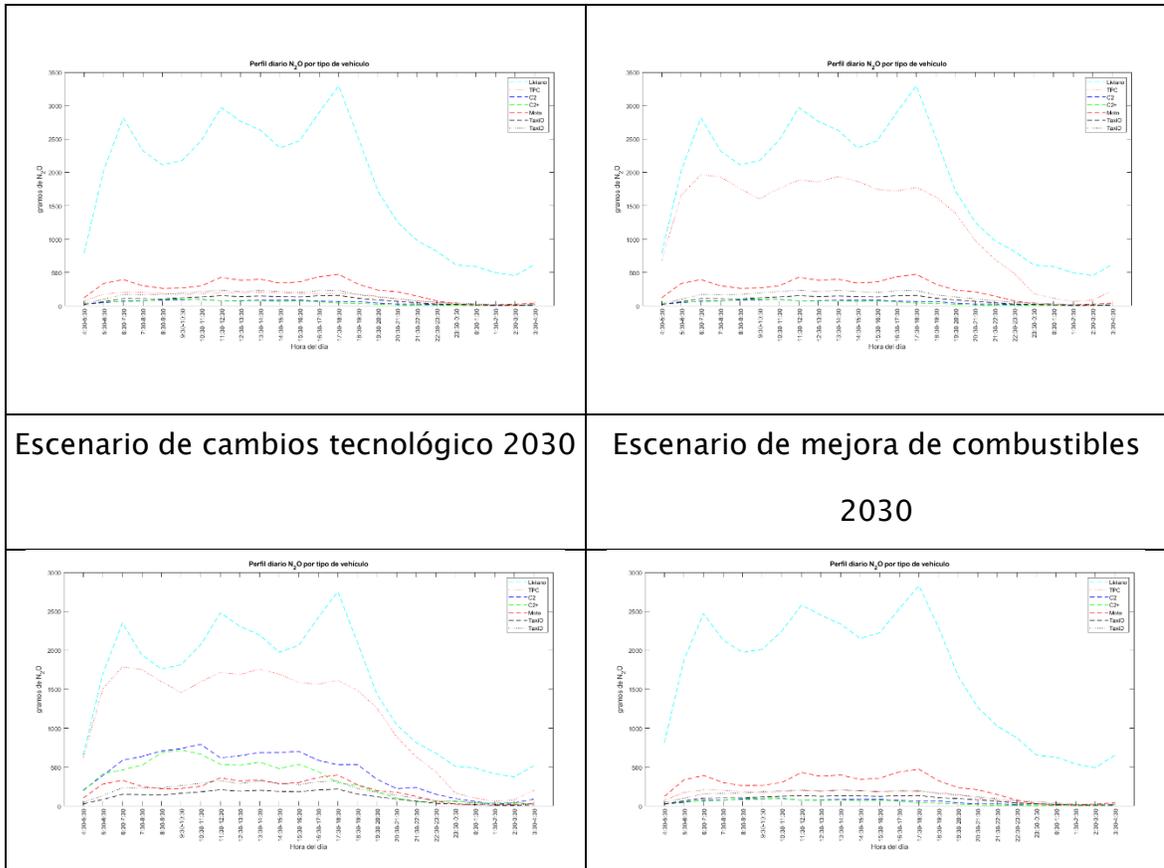


Fuente: Elaboración propia

Respecto a las emisiones de N<sub>2</sub>O, los escenarios BaU y mejora de combustibles 2030, no presentan cambios en su comportamiento, respecto al escenario de Renovación de TPC y cambios tecnológicos se presenta un perfil similar para los vehículos tipo Liviano y TPC, con una magnitud mayor para el primero, sin embargo la diferencia es más representativa en el comportamiento de los vehículos de carga, donde la emisión es más alta a lo largo del día para el escenario de cambios tecnológicos.

Tabla 44 Comparación de perfiles diarios de emisión de N<sub>2</sub>O por tipo de vehículo

Escenario BaU 2030	Escenario de renovación TPC 2030
--------------------	----------------------------------



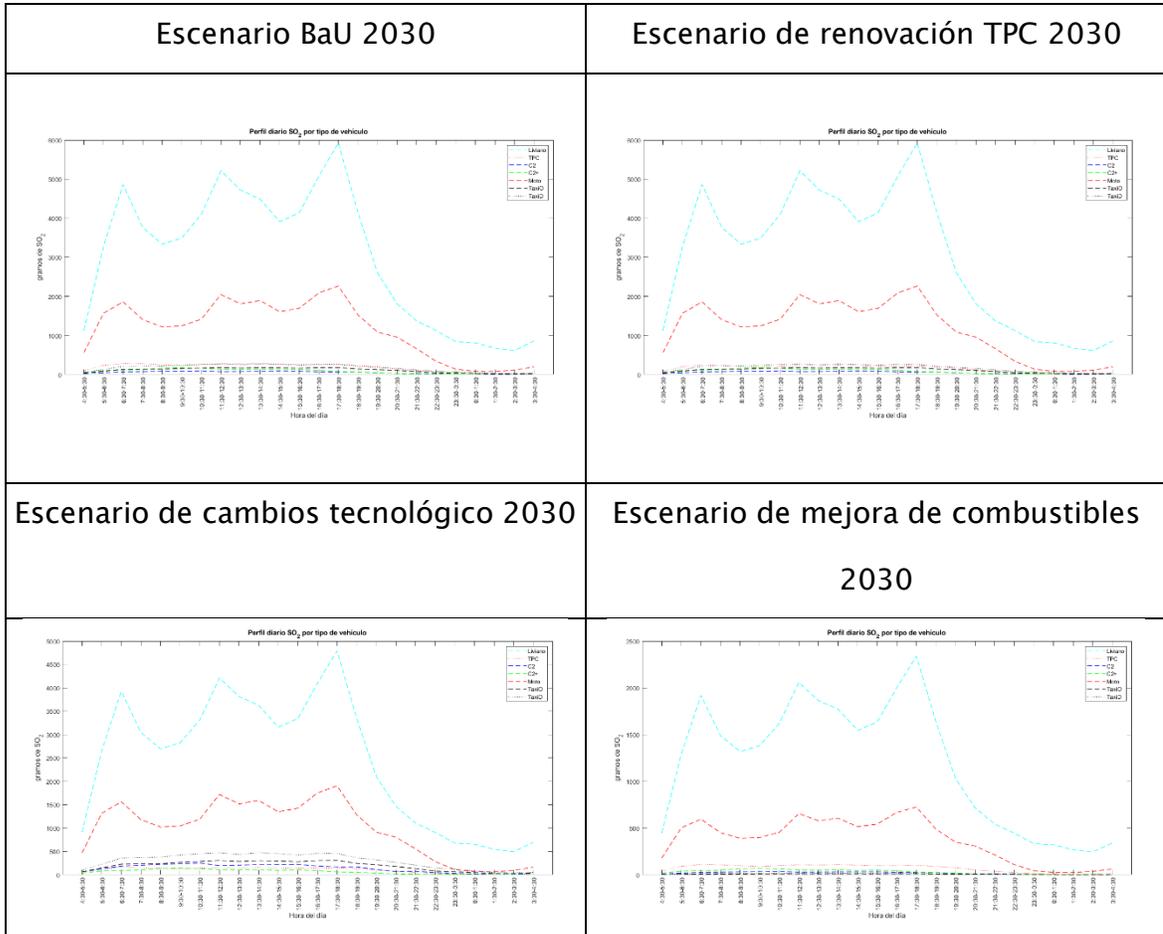
Escenario de cambios tecnológico 2030

Escenario de mejora de combustibles  
2030

Fuente: Elaboración propia

Para el caso del SO<sub>2</sub>, se presentan perfiles de emisión de comportamiento similar, variando la magnitud, principalmente para el caso del escenario de mejora de combustibles que reduce su magnitud para todos los tipos de vehículo.

Tabla 45 Comparación de perfiles diarios de emisión de SO<sub>2</sub> por tipo de vehículo



Fuente: Elaboración propia

## **5. Conclusiones, recomendaciones y oportunidades de mejora**

Una vez establecidos los resultados y con base al problema que da origen a la investigación, se puede establecer que, a partir de los resultados obtenidos y la metodología planteada, pueden evidenciarse los cambios en los contaminantes, permitiendo identificar fortalezas y debilidades asociadas a cada escenario, y posteriormente ajustarlo de acuerdo a las necesidades.

### **5.1 Conclusiones**

- El panorama del año 2017 para la ciudad de Manizales, con emisiones de CO<sub>2</sub> por fuentes móviles superiores al 80% respecto al total de emisiones de este contaminante en la ciudad, permite identificar la importancia que puede tener las medidas de planeación de la movilidad respecto a la emisión de GEI.
- La comparación del método de cálculo con el método de referencia Top-Down, arroja diferencias que no superan en ningún caso el 26% menores a las realizadas con otras estimaciones, por lo que podría definirse como adecuado teniendo en cuenta todos los supuestos del análisis.
- Es posible establecer escenarios futuros para la estimación de inventarios por fuentes móviles, siempre y cuando se cuente con

información base adecuada, sin embargo, el reto en la identificación de escenarios futuros se encuentra en las políticas que hagan que dicho escenario ocurra.

- Se definen escenarios futuros conforme a parámetros técnicos, si bien los factores políticos y económicos son relevantes dentro de las proyecciones futuras, el equipo de trabajo fue moderado en la definición de escenarios, así mismo se incluyó la percepción de expertos de diversas áreas relacionadas a la movilidad y su planeación
- Respecto al escenario BaU 2030, sólo el escenario de Mejora de Combustibles obtuvo una reducción de CO<sub>2</sub> superior al 20%, y en SO<sub>2</sub> superiores al 60%, sin embargo se puede identificar como otros escenarios tienen reducciones mayores sobre otras GEI o contaminantes criterios.
- Se destaca del escenario de mejora de combustibles, que el supuesto con el cual se realizó el análisis ya se encuentra normado por una Ley de la República, por lo que su probabilidad de ocurrencia es más alta respecto a los demás.
- El escenario de renovación del Transporte Público Colectivo, a pesar de presenta modificación en una flota de menos de 800 vehículos, representa disminuciones del BC en -27.0%, COV -3.5%, NOx -8.7%, PM10 -11.3%, PM2.5 -14.2%, y SO2 en -0.5%.

- El escenario de cambios tecnológicos, estimado por medio de la encuesta a expertos, es el que presentan reducción en un mayor número de contaminantes, con reducciones entre el 9.0% y el 30.7% dependiendo del contaminante.
- El CH<sub>4</sub> no presentó disminución en ninguno de los escenarios planteados, por el contrario, presentó aumentos en los escenarios de Renovación de TPC y cambios tecnológicos.
- El N<sub>2</sub>O presentó aumentos en los escenarios de renovación de TPC y cambios tecnológicos, aumento que se puede relacionar con un aumento en el uso de vehículos que emplean GNV como combustible, principalmente en buses.
- Los taxis que se encuentran desocupados (solo el conductor), presentan un mayor aporte a todos los contaminantes que los taxis ocupados (con pasajeros), esto se debe a que, según el modelo de planeación de transporte, los taxis realizan mayores recorridos sin pasajeros que con estos.
- En caso de presentar alertas por altas concentraciones de contaminantes en periodos de tiempo definidos, con el un perfil de diario de emisiones por categoría vehicular, es posible identificar qué tipo de vehículo tiene el mayor aporte y con ello tomar medidas de restricción o gestión para disminuir su impacto
- El aumento proyectado a 2030, de la demanda en el uso de vehículos livianos y motos, genero un aumento en la actividad vehicular

(expresada como kilómetros vehículo recorridos) en las demás categorías vehicular, con excepción de Transporte Público Colectivos, ya que sus frecuencias y rutas no fueron alteradas. Posiblemente desvíense a la busca de rutas alternas ante la congestión de las rutas más cortos.

## **5.2 Recomendaciones y oportunidades de mejora**

Para una mayor precisión y ajuste a las condiciones propias de la zona de estudio, en estudios futuros se podrían llevar a cabo campañas de medición de factores de emisión en ruta, ya que la topografía de la ciudad de Manizales presenta condiciones por fuera de los parámetros normales de la metodología COPERT, especialmente en lo relacionado con la pendiente de las vías.

El factor de transformación anual que se emplea para calcular las emisiones anuales a partir de las emisiones diarias, puede tener un mejor acercamiento si se emplea un estudio temporal de ventas de combustibles, estableciendo una relación directamente proporcional entre actividad vehicular y ventas de combustible en estaciones de servicio de la ciudad.

Si bien esta metodología fue aplicada a la ciudad de Manizales, puede ser adaptada a otras ciudades, de la misma forma los escenarios de modelación futura pueden ser definidos de igual manera que en este estudio o adaptarlos a requerimientos propios del lugar de estudio.

Dada la segregación de los resultados se podría relacionar la generación de emisiones con enfermedades o afectaciones a la salud por contaminantes específicos, y enfocar las necesidades que se presenten en este ámbito.

Para efectos de esta investigación, se evaluaron escenarios con cambios desde una perspectiva individual, una oportunidad de mejora de la estimación de emisión puede estar asociada a la combinación de diferentes escenarios.



## A. Anexo: Factores de emisión y flota vehicular

Tabla de factores de emisión según el tipo de vehículo para el escenario base 2017.

Categoría vehicular	Combustible	Subcategoría	Tecnología	# Vehículos	% aporte de vehículos por categoría vehicular	ID	BC	CH4	
PC	Gasolina	Light	ECE 15/04	5510	6.75%	1	$-1 \cdot 10^{-09} \cdot V^3 + 8 \cdot 10^{-08} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-06} \cdot V + 0.0018$	0.1515	
			Open Loop	1167	1.43%	2	$-1 \cdot 10^{-09} \cdot V^3 + 8 \cdot 10^{-08} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-06} \cdot V + 0.0021$	0.1515	
			Euro I	18626	22.81%	3	$-1 \cdot 10^{-09} \cdot V^3 + 6 \cdot 10^{-08} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-06} \cdot V + 0.002$	$2 \cdot 10^{-09} \cdot V^5 - 3 \cdot 10^{-07} \cdot V^4 + 2 \cdot 10^{-05} \cdot V^3 - 0.0005 \cdot V^2 + 0.0057 \cdot V + 0.0125$	
			Euro II	2247	2.75%	4	$-1 \cdot 10^{-09} \cdot V^3 + 6 \cdot 10^{-08} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-06} \cdot V + 0.002$	$3 \cdot 10^{-09} \cdot V^5 - 6 \cdot 10^{-07} \cdot V^4 + 4 \cdot 10^{-05} \cdot V^3 - 0.0011 \cdot V^2 + 0.0119 \cdot V - 0.0002$	
			Euro III	5553	6.80%	5	$-1 \cdot 10^{-09} \cdot V^3 + 6 \cdot 10^{-08} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-06} \cdot V + 0.0013$	$3 \cdot 10^{-09} \cdot V^5 - 5 \cdot 10^{-07} \cdot V^4 + 3 \cdot 10^{-05} \cdot V^3 - 0.001 \cdot V^2 + 0.0105 \cdot V - 0.0087$	
	Diesel	Light	Convencional	217	0.27%	6	$1 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0015 \cdot V + 0.1349$	0.0262	
			Euro IV	43	0.05%	7	$1 \cdot 10^{-06} \cdot V^2 - 0.0002 \cdot V + 0.0309$	0.0011	
	Gas Gasolina	Light	Euro IV	1280	1.57%	8	$-1 \cdot 10^{-09} \cdot V^3 + 6 \cdot 10^{-08} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-06} \cdot V + 0.0013$	$-1 \cdot 10^{-06} \cdot V^3 + 0.0002 \cdot V^2 - 0.0098 \cdot V + 0.1847$	
	Gasolina		Medium	ECE 15/04	3004	3.68%	9	$-1 \cdot 10^{-09} \cdot V^3 + 8 \cdot 10^{-08} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-06} \cdot V + 0.0018$	0.1515
				Open Loop	346	0.42%	10	$-1 \cdot 10^{-09} \cdot V^3 + 8 \cdot 10^{-08} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-06} \cdot V + 0.0018$	0.1515

Categoría vehicular	Combustible	Subcategoría	Tecnología	# Vehículos	% aporte de vehículos por categoría vehicular	ID	BC	CH4	
			Euro I	18194	22.28%	11	$-1*10^{-09}*V^3 + 6*10^{-08}*V^2 - 1*10^{-06}*V + 0.002$	$2*10^{-09}*V^5 - 3*10^{-07}*V^4 + 2*10^{-05}*V^3 - 0.0005*V^2 + 0.0057*V + 0.0125$	
			Euro II	2463	3.02%	12	$-1*10^{-09}*V^3 + 6*10^{-08}*V^2 - 1*10^{-06}*V + 0.002$	$3*10^{-09}*V^5 - 6*10^{-07}*V^4 + 4*10^{-05}*V^3 - 0.0011*V^2 + 0.0119*V - 0.0002$	
			Euro III	10264	12.57%	13	$-1*10^{-09}*V^3 + 6*10^{-08}*V^2 - 1*10^{-06}*V + 0.0013$	$3*10^{-09}*V^5 - 5*10^{-07}*V^4 + 3*10^{-05}*V^3 - 0.001*V^2 + 0.0105*V - 0.0087$	
			Convencional	239	0.29%	14	$1*10^{-05}*V^2 - 0.0015*V + 0.1349$	0.0262	
			Euro II	1474	1.81%	15	$3*10^{-06}*V^2 - 0.0004*V + 0.0446$	0.0067	
			Euro III	87	0.11%	16	$2*10^{-06}*V^2 - 0.0003*V + 0.0328$	0.0030	
			Euro IV	3968	4.86%	17	$1*10^{-06}*V^2 - 0.0002*V + 0.0309$	0.0011	
			Gas Gasolina	Euro IV	2669	3.27%	18	$-1*10^{-09}*V^3 + 6*10^{-08}*V^2 - 1*10^{-06}*V + 0.0013$	$-1*10^{-06}*V^3 + 0.0002*V^2 - 0.0098*V + 0.1847$
			Gasolina	Heavy	ECE 15/04	735	0.90%	19	$-1*10^{-09}*V^3 + 8*10^{-08}*V^2 - 1*10^{-06}*V + 0.0018$
	Euro I	1167			1.43%	20	$-1*10^{-09}*V^3 + 6*10^{-08}*V^2 - 1*10^{-06}*V + 0.002$	$2*10^{-09}*V^5 - 3*10^{-07}*V^4 + 2*10^{-05}*V^3 - 0.0005*V^2 + 0.0057*V + 0.0125$	
	Euro II	22			0.03%	21	$-1*10^{-09}*V^3 + 6*10^{-08}*V^2 - 1*10^{-06}*V + 0.002$	$3*10^{-09}*V^5 - 6*10^{-07}*V^4 + 4*10^{-05}*V^3 - 0.0011*V^2 + 0.0119*V - 0.0002$	
	Euro III	194			0.24%	22	$-1*10^{-09}*V^3 + 6*10^{-08}*V^2 - 1*10^{-06}*V + 0.0013$	$3*10^{-09}*V^5 - 5*10^{-07}*V^4 + 3*10^{-05}*V^3 - 0.001*V^2 + 0.0105*V - 0.0087$	
	Convencional	217			0.27%	23	$1*10^{-05}*V^2 - 0.0015*V + 0.1349$	0.0262	
	Euro II	108			0.13%	24	$3*10^{-06}*V^2 - 0.0004*V + 0.0446$	0.0067	
	Euro IV	1323			1.62%	25	$1*10^{-06}*V^2 - 0.0002*V + 0.0309$	0.0011	
	Gas Gasolina	Euro IV			542	0.66%	26	$-1*10^{-09}*V^3 + 6*10^{-08}*V^2 - 1*10^{-06}*V + 0.0013$	$-1*10^{-06}*V^3 + 0.0002*V^2 - 0.0098*V + 0.1847$
	Camion Pequeño	Diesel			<=7500	Convencional	64	3.47%	27
			Euro I	770		41.65%	28	$1*10^{-05}*V^2 - 0.0012*V + 0.1117$	0.0850
Euro II			124	6.72%		29	$3*10^{-06}*V^2 - 0.0003*V + 0.0567$	0.0544	

Categoría vehicular	Combustible	Subcategoría	Tecnología	# Vehículos	% aporte de vehículos por categoría vehicular	ID	BC	CH4		
			Euro III	88	4.77%	30	$6*10^{\wedge}-06*V^{\wedge}2 - 0.0007*V + 0.0614$	0.0476		
			Euro IV	249	13.45%	31	$-4*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}3 + 6*10^{\wedge}-06*V^{\wedge}2 - 0.0002*V + 0.0215$	0.0026		
		7500-12000	Convencional	233	12.58%	32	$4*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0037*V + 0.25$	0.0850		
			Euro I	120	6.51%	33	$3*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0024*V + 0.188$	0.0850		
			Euro III	16	0.87%	34	$1*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0014*V + 0.1043$	0.0476		
			Euro IV	148	8.03%	35	$-8*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}3 + 1*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0004*V + 0.0336$	0.0026		
		12000-14000	Convencional	16	0.87%	36	$-1*10^{\wedge}-06*V^{\wedge}3 + 0.0002*V^{\wedge}2 - 0.0079*V + 0.3103$	0.0850		
			Euro I	20	1.08%	37	$-8*10^{\wedge}-07*V^{\wedge}3 + 0.0001*V^{\wedge}2 - 0.0053*V + 0.2345$	0.0850		
		Camion Grande	Diesel	14000-20000	Convencional	24	2.47%	38	$6*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.006*V + 0.3718$	0.1750
					Euro I	433	44.44%	39	$5*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0044*V + 0.2872$	0.1750
Euro II	8				0.82%	40	$1*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0011*V + 0.1358$	0.1120		
Euro III	48				4.94%	41	$3*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0025*V + 0.1606$	0.0980		
Euro IV	112				11.52%	42	$-1*10^{\wedge}-07*V^{\wedge}3 + 1*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0006*V + 0.0473$	0.0053		
>20000	Convencional			8	0.82%	43	$5*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0048*V + 0.3747$	0.1750		
	Euro I			56	5.76%	44	$6*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.006*V + 0.3852$	0.1750		
	Euro III			32	3.29%	45	$3*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0032*V + 0.2055$	0.0980		
>26000	Convencional			8	0.82%	46	$5*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0048*V + 0.3856$	0.1750		
	Euro I			120	12.35%	47	$6*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0055*V + 0.3931$	0.1750		
	Euro II			4	0.41%	48	$1*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0015*V + 0.1887$	0.1120		
	Euro III			28	2.88%	49	$3*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0031*V + 0.2097$	0.0980		
	Euro IV			76	7.82%	50	$-1*10^{\wedge}-07*V^{\wedge}3 + 2*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0008*V + 0.0632$	0.0053		
>28000	Euro I			16	1.65%	51	$5*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0049*V + 0.4209$	0.1750		
Buses	Diesel			<=15000	Convencional	11	0.43%	52	$0.0001*V^{\wedge}2 - 0.0097*V + 0.5176$	0.1750
		Euro I	2175		83.51%	53	$3*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0029*V + 0.2248$	0.1750		
		Euroll	194		7.44%	54	$1*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0013*V + 0.122$	0.1138		

Categoría vehicular	Combustible	Subcategoría	Tecnología	# Vehículos	% aporte de vehículos por categoría vehicular	ID	BC	CH4
			EuroIII	222	8.51%	55	$2*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0016*V + 0.1199$	0.1033
		>15000	Euro I	3	0.11%	56	$4*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0036*V + 0.3095$	0.1750
Motocicletas 2T	Gasolina	>50	Convencional	14761	18.51%	57	$-5*10^{\wedge}-10*V^{\wedge}3 + 3*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 7*10^{\wedge}-07*V + 0.0205$	0.1500
Motocicletas 4T	Gasolina	<250	Convencional	7832	9.82%	58	$-5*10^{\wedge}-10*V^{\wedge}3 + 3*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 7*10^{\wedge}-07*V + 0.0035$	0.2000
			Euro I	53997	67.72%	59	$-5*10^{\wedge}-10*V^{\wedge}3 + 3*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 7*10^{\wedge}-07*V + 0.0055$	0.1420
		>=250	Convencional	358	0.45%	60	$-5*10^{\wedge}-10*V^{\wedge}3 + 3*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 7*10^{\wedge}-07*V + 0.0035$	0.2000
			Euro I	2165	2.72%	61	$-5*10^{\wedge}-10*V^{\wedge}3 + 3*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 7*10^{\wedge}-07*V + 0.0055$	0.1480
		>750	Convencional	38	0.05%	62	$-5*10^{\wedge}-10*V^{\wedge}3 + 3*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 7*10^{\wedge}-07*V + 0.0035$	0.2000
			Euro I	584	0.73%	63	$-5*10^{\wedge}-10*V^{\wedge}3 + 3*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 7*10^{\wedge}-07*V + 0.0055$	0.0920
PC (Taxi)	Gasolina	Light	ECE 15/04	65	2.82%	64	$-1*10^{\wedge}-09*V^{\wedge}3 + 6*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 1*10^{\wedge}-06*V + 0.0018$	0.1515
			Euro I	183	7.89%	65	$-9*10^{\wedge}-10*V^{\wedge}3 + 5*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 9*10^{\wedge}-07*V + 0.002$	$1*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}4 - 2*10^{\wedge}-06*V^{\wedge}3 + 0.0001*V^{\wedge}2 - 0.0033*V + 0.0483$
			Euro II	7	0.28%	66	$-9*10^{\wedge}-10*V^{\wedge}3 + 5*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 9*10^{\wedge}-07*V + 0.002$	$3*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}4 - 4*10^{\wedge}-06*V^{\wedge}3 + 0.0003*V^{\wedge}2 - 0.0069*V + 0.0745$
			Euro III	588	25.35%	67	$-9*10^{\wedge}-10*V^{\wedge}3 + 5*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 9*10^{\wedge}-07*V + 0.0013$	$2*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}4 - 4*10^{\wedge}-06*V^{\wedge}3 + 0.0002*V^{\wedge}2 - 0.0061*V + 0.0573$
	Diesel	Light	Convencional	7	0.28%	68	$9*10^{\wedge}-06*V^{\wedge}2 - 0.0013*V + 0.1287$	0.0262
			Euro IV	59	2.55%	69	$9*10^{\wedge}-07*V^{\wedge}2 - 0.0001*V + 0.0302$	0.0011
	Gas Gasolina	Medium	Euro IV	412	17.74%	70	$-9*10^{\wedge}-10*V^{\wedge}3 + 5*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 9*10^{\wedge}-07*V + 0.0013$	$1*10^{\wedge}-07*V^{\wedge}4 - 2*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}3 + 0.0012*V^{\wedge}2 - 0.0274*V + 0.2601$
	Gasolina		Euro I	118	5.07%	71	$-9*10^{\wedge}-10*V^{\wedge}3 + 5*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 9*10^{\wedge}-07*V + 0.002$	$1*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}4 - 2*10^{\wedge}-06*V^{\wedge}3 + 0.0001*V^{\wedge}2 - 0.0033*V + 0.0483$
	Diesel		Euro IV	13	0.57%	72	$9*10^{\wedge}-07*V^{\wedge}2 - 0.0001*V + 0.0302$	0.0011
	Gas Gasolina		Euro IV	869	37.46%	73	$-9*10^{\wedge}-10*V^{\wedge}3 + 5*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 9*10^{\wedge}-07*V + 0.0013$	$1*10^{\wedge}-07*V^{\wedge}4 - 2*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}3 + 0.0012*V^{\wedge}2 - 0.0274*V + 0.2601$

ID	CO	CO2	COV	COVNM	N2O
1	$0.009 \cdot V^2 - 0.8621 \cdot V + 29.522$	$-0.0022 \cdot V^3 + 0.2662 \cdot V^2 - 10.896 \cdot V + 307.64$	$-3 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 + 0.0033 \cdot V^2 - 0.146 \cdot V + 4.3446$	$-0.00003 \cdot V^3 + 0.0033 \cdot V^2 - 0.146 \cdot V + 4.1931$	0.01
2	$-0.1119 \cdot V + 13.228$	$0.013 \cdot V^2 - 1.5404 \cdot V + 196.29$	$-0.0122 \cdot V + 1.9273$	$0.0001 \cdot V^2 - 0.0203 \cdot V + 1.8825$	0.01
3	$0.0081 \cdot V^2 - 0.6808 \cdot V + 17.4$	$-0.0015 \cdot V^3 + 0.1792 \cdot V^2 - 7.5843 \cdot V + 260.4$	$-9 \cdot 10^{-7} \cdot V^4 + 8 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 - 0.001 \cdot V^2 - 0.0813 \cdot V + 2.315$	$-2 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 + 0.0031 \cdot V^2 - 0.1429 \cdot V + 2.5547$	$2 \cdot 10^{-9} \cdot V^5 - 3 \cdot 10^{-7} \cdot V^4 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 - 0.0006 \cdot V^2 + 0.0064 \cdot V + 0.0119$
4	$-0.0001 \cdot V^3 + 0.0144 \cdot V^2 - 0.6631 \cdot V + 10.705$	$-0.0016 \cdot V^3 + 0.1988 \cdot V^2 - 8.5699 \cdot V + 271.92$	$-4 \cdot 10^{-7} \cdot V^4 + 3 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 + 3 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 - 0.0544 \cdot V + 1.2562$	$-1 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 + 0.0019 \cdot V^2 - 0.0811 \cdot V + 1.3292$	$9 \cdot 10^{-10} \cdot V^5 - 2 \cdot 10^{-7} \cdot V^4 + 1 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 - 0.0003 \cdot V^2 + 0.0031 \cdot V + 0.0048$
5	$-0.000005 \cdot V^4 + 0.0005 \cdot V^3 - 0.0145 \cdot V^2 - 0.0976 \cdot V + 5.9423$	$-0.0013 \cdot V^3 + 0.1595 \cdot V^2 - 6.979 \cdot V + 258.46$	$-3 \cdot 10^{-7} \cdot V^4 + 3 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 - 0.0008 \cdot V^2 - 0.0127 \cdot V + 0.5242$	$-6 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 + 0.0008 \cdot V^2 - 0.0355 \cdot V + 0.5937$	$4 \cdot 10^{-10} \cdot V^5 - 7 \cdot 10^{-8} \cdot V^4 + 5 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 - 0.0001 \cdot V^2 + 0.0015 \cdot V + 0.0006$
6	$0.0002 \cdot V^2 - 0.0187 \cdot V + 1.0841$	$0.0142 \cdot V^2 - 2.1112 \cdot V + 224.01$	$-4 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 + 0.0005 \cdot V^2 - 0.0212 \cdot V + 0.4565$	$-4 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 + 0.0005 \cdot V^2 - 0.0212 \cdot V + 0.4302$	0.010754183
7	$0.00004 \cdot V^2 - 0.0043 \cdot V + 0.1773$	$0.0239 \cdot V^2 - 2.3504 \cdot V + 204.97$	$5 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 - 0.0005 \cdot V + 0.024$	$5 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 - 0.0005 \cdot V + 0.0229$	0.0108
8	$-0.000001 \cdot V^4 + 0.0001 \cdot V^3 - 0.0032 \cdot V^2 - 0.02 \cdot V + 1.3736$	$-0.0009 \cdot V^3 + 0.1232 \cdot V^2 - 5.6789 \cdot V + 248.22$	$7 \cdot 10^{-9} \cdot V^5 - 1 \cdot 10^{-6} \cdot V^4 + 7 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 - 0.0017 \cdot V^2 + 0.0087 \cdot V + 0.1889$	$-9 \cdot 10^{-7} \cdot V^3 + 0.0001 \cdot V^2 - 0.006 \cdot V + 0.0977$	$2 \cdot 10^{-10} \cdot V^5 - 3 \cdot 10^{-8} \cdot V^4 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 - 6 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 + 0.0007 \cdot V + 0.0007$
9	$0.009 \cdot V^2 - 0.8621 \cdot V + 29.522$	$-0.0019 \cdot V^3 + 0.2349 \cdot V^2 - 10.243 \cdot V + 341.3$	$-3 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 + 0.0033 \cdot V^2 - 0.146 \cdot V + 4.4427$	$-3 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 + 0.0033 \cdot V^2 - 0.146 \cdot V + 4.2912$	0.01
10	$0.0012 \cdot V^2 - 0.1344 \cdot V + 7.6852$	$0.0187 \cdot V^2 - 2.2054 \cdot V + 237.95$	$-0.0046 \cdot V + 1.1311$	$7 \cdot 10^{-7} \cdot V^3 - 4 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 - 0.0065 \cdot V + 1.0127$	0.01
11	$0.0062 \cdot V^2 - 0.5225 \cdot V + 13.252$	$-0.0014 \cdot V^3 + 0.1772 \cdot V^2 - 7.9367 \cdot V + 302.96$	$-2 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 + 0.0032 \cdot V^2 - 0.1453 \cdot V + 2.5081$	$-2 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 + 0.0032 \cdot V^2 - 0.1446 \cdot V + 2.4705$	$2 \cdot 10^{-9} \cdot V^5 - 3 \cdot 10^{-7} \cdot V^4 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 - 0.0005 \cdot V^2 + 0.006 \cdot V + 0.0116$
12	$-0.00008 \cdot V^3 + 0.0112 \cdot V^2 - 0.5106 \cdot V + 8.212$	$-0.0024 \cdot V^3 + 0.289 \cdot V^2 - 11.822 \cdot V + 341.62$	$-1 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 + 0.0019 \cdot V^2 - 0.0824 \cdot V + 1.3176$	$-1 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 + 0.0019 \cdot V^2 - 0.0809 \cdot V + 1.2655$	$9 \cdot 10^{-10} \cdot V^5 - 2 \cdot 10^{-7} \cdot V^4 + 1 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 - 0.0003 \cdot V^2 + 0.0031 \cdot V + 0.0048$
13	$-0.00005 \cdot V^3 + 0.0073 \cdot V^2 - 0.3522 \cdot V + 5.8898$	$-0.0015 \cdot V^3 + 0.1956 \cdot V^2 - 8.6531 \cdot V + 314.55$	$-3 \cdot 10^{-7} \cdot V^4 + 3 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 - 0.0007 \cdot V^2 - 0.0153 \cdot V + 0.5226$	$-6 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 + 0.0008 \cdot V^2 - 0.0365 \cdot V + 0.585$	$4 \cdot 10^{-10} \cdot V^5 - 7 \cdot 10^{-8} \cdot V^4 + 5 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 - 0.0001 \cdot V^2 + 0.0015 \cdot V + 0.0006$
14	$0.0002 \cdot V^2 - 0.0187 \cdot V + 1.0841$	$0.0142 \cdot V^2 - 2.1112 \cdot V + 224.01$	$-4 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 + 0.0005 \cdot V^2 - 0.0212 \cdot V + 0.4565$	$0.0001 \cdot V^2 - 0.0103 \cdot V + 0.3408$	0.004
15	$-0.0044 \cdot V + 0.4655$	$0.0267 \cdot V^2 - 2.7172 \cdot V + 217.91$	$1 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0.0013 \cdot V + 0.0651$	$1 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0.0013 \cdot V + 0.0584$	0.0037
16	$0.00003 \cdot V^2 - 0.0031 \cdot V + 0.1664$	$0.0239 \cdot V^2 - 2.3504 \cdot V + 204.97$	$7 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 - 0.0007 \cdot V + 0.0345$	$7 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 - 0.0007 \cdot V + 0.0315$	0.0108
17	$0.00004 \cdot V^2 - 0.0043 \cdot V + 0.1773$	$0.0239 \cdot V^2 - 2.3504 \cdot V + 204.97$	$5 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 - 0.0005 \cdot V + 0.024$	$5 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 - 0.0005 \cdot V + 0.0229$	0.0108
18	$-0.000001 \cdot V^4 + 0.0001 \cdot V^3 - 0.0032 \cdot V^2 - 0.02 \cdot V + 1.3736$	$-0.0009 \cdot V^3 + 0.1232 \cdot V^2 - 5.6789 \cdot V + 248.22$	$7 \cdot 10^{-9} \cdot V^5 - 1 \cdot 10^{-6} \cdot V^4 + 7 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 - 0.0017 \cdot V^2 + 0.0087 \cdot V + 0.1889$	$-9 \cdot 10^{-7} \cdot V^3 + 0.0001 \cdot V^2 - 0.006 \cdot V + 0.0977$	$2 \cdot 10^{-10} \cdot V^5 - 3 \cdot 10^{-8} \cdot V^4 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 - 6 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 + 0.0007 \cdot V + 0.0007$
19	$0.009 \cdot V^2 - 0.8621 \cdot V + 29.522$	$-0.0022 \cdot V^3 + 0.2936 \cdot V^2 - 13.877 \cdot V + 436.55$	$-3 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 + 0.0033 \cdot V^2 - 0.146 \cdot V + 4.5898$	$-3 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 + 0.0033 \cdot V^2 - 0.146 \cdot V + 4.4383$	0.01
20	$0.0044 \cdot V^2 - 0.3745 \cdot V + 9.5826$	$-0.0014 \cdot V^3 + 0.1876 \cdot V^2 - 8.7996 \cdot V + 375.18$	$3 \cdot 10^{-8} \cdot V^5 - 5 \cdot 10^{-6} \cdot V^4 + 0.0003 \cdot V^3 - 0.0058 \cdot V^2 - 0.0091 \cdot V + 1.4815$	$-2 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 + 0.0023 \cdot V^2 - 0.1041 \cdot V + 1.8059$	$1 \cdot 10^{-9} \cdot V^5 - 3 \cdot 10^{-7} \cdot V^4 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 - 0.0005 \cdot V^2 + 0.0053 \cdot V + 0.0112$

ID	CO	CO2	COV	COVNM	N2O
21	$0.003 \cdot V^2 - 0.2467 \cdot V + 5.5606$	$0.0002 \cdot V^4 - 0.032 \cdot V^3 + 1.6854 \cdot V^2 - 39.673 \cdot V + 611.65$	$-1 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 3 + 0.0016 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0667 \cdot V + 1.0841$	$-1 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 3 + 0.0016 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0653 \cdot V + 1.032$	$9 \cdot 10^{\wedge} - 10 \cdot V^{\wedge} 5 - 2 \cdot 10^{\wedge} - 07 \cdot V^{\wedge} 4 + 1 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 3 - 0.0003 \cdot V^{\wedge} 2 + 0.0031 \cdot V + 0.005$
22	$-0.00003 \cdot V^3 + 0.005 \cdot V^2 - 0.2404 \cdot V + 4.1745$	$-0.0017 \cdot V^3 + 0.2167 \cdot V^2 - 9.8212 \cdot V + 374.7$	$-2 \cdot 10^{\wedge} - 07 \cdot V^{\wedge} 4 + 2 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 3 - 0.0004 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0113 \cdot V + 0.3724$	$-4 \cdot 10^{\wedge} - 06 \cdot V^{\wedge} 3 + 0.0006 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0246 \cdot V + 0.4$	$4 \cdot 10^{\wedge} - 10 \cdot V^{\wedge} 5 - 7 \cdot 10^{\wedge} - 08 \cdot V^{\wedge} 4 + 5 \cdot 10^{\wedge} - 06 \cdot V^{\wedge} 3 - 0.0001 \cdot V^{\wedge} 2 + 0.0015 \cdot V + 0.0006$
23	$0.0002 \cdot V^2 - 0.0187 \cdot V + 1.0841$	$0.0142 \cdot V^2 - 2.1112 \cdot V + 224.01$	$-4 \cdot 10^{\wedge} - 06 \cdot V^{\wedge} 3 + 0.0005 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0212 \cdot V + 0.4565$	$-4 \cdot 10^{\wedge} - 06 \cdot V^{\wedge} 3 + 0.0005 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0212 \cdot V + 0.4302$	0.0037
24	$-0.0044 \cdot V + 0.4655$	$0.0344 \cdot V^2 - 3.415 \cdot V + 279.86$	$-1 \cdot 10^{\wedge} - 06 \cdot V^{\wedge} 3 + 0.0002 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0073 \cdot V + 0.2165$	$-1 \cdot 10^{\wedge} - 06 \cdot V^{\wedge} 3 + 0.0002 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0073 \cdot V + 0.2098$	0.0037
25	$0.00004 \cdot V^2 - 0.0043 \cdot V + 0.1773$	$0.0344 \cdot V^2 - 3.415 \cdot V + 279.86$	$5 \cdot 10^{\wedge} - 06 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0005 \cdot V + 0.024$	$5 \cdot 10^{\wedge} - 06 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0005 \cdot V + 0.0229$	0.0108
26	$-0.000001 \cdot V^4 + 0.0001 \cdot V^3 - 0.0032 \cdot V^2 - 0.02 \cdot V + 1.3736$	$-0.0009 \cdot V^3 + 0.1232 \cdot V^2 - 5.6789 \cdot V + 248.22$	$7 \cdot 10^{\wedge} - 09 \cdot V^{\wedge} 5 - 1 \cdot 10^{\wedge} - 06 \cdot V^{\wedge} 4 + 7 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 3 - 0.0017 \cdot V^{\wedge} 2 + 0.0087 \cdot V + 0.1889$	$-9 \cdot 10^{\wedge} - 07 \cdot V^{\wedge} 3 + 0.0001 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.006 \cdot V + 0.0977$	$2 \cdot 10^{\wedge} - 10 \cdot V^{\wedge} 5 - 3 \cdot 10^{\wedge} - 08 \cdot V^{\wedge} 4 + 2 \cdot 10^{\wedge} - 06 \cdot V^{\wedge} 3 - 6 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 2 + 0.0007 \cdot V + 0.0007$
27	$0.0004 \cdot V^2 - 0.0369 \cdot V + 2.8897$	$0.0556 \cdot V^2 - 5.3026 \cdot V + 613.55$	$0.0003 \cdot V^2 - 0.0279 \cdot V + 1.5951$	$0.0003 \cdot V^2 - 0.0279 \cdot V + 1.5101$	0.03
28	$0.0001 \cdot V^2 - 0.0122 \cdot V + 0.9825$	$0.0405 \cdot V^2 - 3.7155 \cdot V + 513.94$	$5 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0049 \cdot V + 0.3262$	$5 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0049 \cdot V + 0.2412$	0.006
29	$1 \cdot 10^{\wedge} - 04 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0095 \cdot V + 0.8246$	$0.0345 \cdot V^2 - 3.1758 \cdot V + 488.43$	$4 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0035 \cdot V + 0.2206$	$4 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0035 \cdot V + 0.1662$	0.005
30	$0.0001 \cdot V^2 - 0.0122 \cdot V + 0.893$	$-0.0012 \cdot V^3 + 0.1597 \cdot V^2 - 7.2363 \cdot V + 553.58$	$3 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0031 \cdot V + 0.2013$	$3 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0031 \cdot V + 0.1537$	0.003
31	$8 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0077 \cdot V + 0.5425$	$0.0248 \cdot V^2 - 2.2702 \cdot V + 501.95$	$-9 \cdot 10^{\wedge} - 08 \cdot V^{\wedge} 3 + 1 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0006 \cdot V + 0.0357$	$-9 \cdot 10^{\wedge} - 08 \cdot V^{\wedge} 3 + 1 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0006 \cdot V + 0.0331$	0.006
32	$0.0006 \cdot V^2 - 0.0529 \cdot V + 3.673$	$-0.0033 \cdot V^3 + 0.4404 \cdot V^2 - 20.01 \cdot V + 1056.8$	$0.0003 \cdot V^2 - 0.0261 \cdot V + 1.2659$	$0.0003 \cdot V^2 - 0.0261 \cdot V + 1.1809$	0.03
33	$0.0002 \cdot V^2 - 0.0214 \cdot V + 1.6635$	$-0.0023 \cdot V^3 + 0.316 \cdot V^2 - 14.438 \cdot V + 908.11$	$1 \cdot 10^{\wedge} - 04 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0097 \cdot V + 0.5505$	$1 \cdot 10^{\wedge} - 04 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0097 \cdot V + 0.4655$	0.006
34	$0.0002 \cdot V^2 - 0.0223 \cdot V + 1.5306$	$-0.0022 \cdot V^3 + 0.2921 \cdot V^2 - 13.453 \cdot V + 907.5$	$6 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0061 \cdot V + 0.3417$	$6 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0061 \cdot V + 0.2941$	0.003
35	$0.0001 \cdot V^2 - 0.0127 \cdot V + 0.9012$	$-0.0016 \cdot V^3 + 0.2245 \cdot V^2 - 10.357 \cdot V + 878.21$	$-3 \cdot 10^{\wedge} - 07 \cdot V^{\wedge} 3 + 4 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0017 \cdot V + 0.067$	$8 \cdot 10^{\wedge} - 06 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0007 \cdot V + 0.0556$	0.006
36	$0.0006 \cdot V^2 - 0.06 \cdot V + 4.1136$	$-0.0039 \cdot V^3 + 0.5146 \cdot V^2 - 23.387 \cdot V + 1198.1$	$1 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 3 + 0.0014 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0633 \cdot V + 1.6962$	$0.0003 \cdot V^2 - 0.03 \cdot V + 1.3137$	0.03
37	$0.0003 \cdot V^2 - 0.0248 \cdot V + 1.8844$	$-0.0027 \cdot V^3 + 0.369 \cdot V^2 - 16.922 \cdot V + 1031.9$	$0.0001 \cdot V^2 - 0.0111 \cdot V + 0.6134$	$0.0001 \cdot V^2 - 0.0111 \cdot V + 0.5284$	0.011
38	$0.001 \cdot V^2 - 0.0928 \cdot V + 5.5107$	$0.1748 \cdot V^2 - 16.524 \cdot V + 1420.5$	$0.0004 \cdot V^2 - 0.0441 \cdot V + 2.0741$	$0.0004 \cdot V^2 - 0.0441 \cdot V + 1.8991$	0.03
39	$0.0004 \cdot V^2 - 0.0393 \cdot V + 2.5117$	$-0.0038 \cdot V^3 + 0.5054 \cdot V^2 - 23.315 \cdot V + 1294.4$	$0.0002 \cdot V^2 - 0.0162 \cdot V + 0.8663$	$0.0002 \cdot V^2 - 0.0162 \cdot V + 0.6913$	0.011
40	$0.0002 \cdot V^2 - 0.0231 \cdot V + 2.0686$	$-0.0033 \cdot V^3 + 0.4388 \cdot V^2 - 20.364 \cdot V + 1232$	$0.0001 \cdot V^2 - 0.011 \cdot V + 0.5771$	$0.0001 \cdot V^2 - 0.011 \cdot V + 0.4651$	0.011
41	$0.0004 \cdot V^2 - 0.0377 \cdot V + 2.3854$	$-0.0035 \cdot V^3 + 0.4765 \cdot V^2 - 22.109 \cdot V + 1292.6$	$0.0001 \cdot V^2 - 0.0107 \cdot V + 0.5427$	$0.0001 \cdot V^2 - 0.0107 \cdot V + 0.4447$	0.005
42	$0.0002 \cdot V^2 - 0.0211 \cdot V + 1.3965$	$-0.0026 \cdot V^3 + 0.3592 \cdot V^2 - 16.772 \cdot V + 1220.9$	$1 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0011 \cdot V + 0.0805$	$1 \cdot 10^{\wedge} - 05 \cdot V^{\wedge} 2 - 0.0011 \cdot V + 0.0753$	0.0112

ID	CO	CO2	COV	COVNM	N2O
43	$0.0006^*V^2 - 0.0614^*V + 3.9492$	$0.1993^*V^2 - 18.86^*V + 1789.5$	$-1^*10^{\wedge}-05^*V^{\wedge}3 + 0.0014^*V^2 - 0.0617^*V + 1.5056$	$-1^*10^{\wedge}-05^*V^{\wedge}3 + 0.0014^*V^2 - 0.0617^*V + 1.3306$	0.03
44	$0.0005^*V^2 - 0.0471^*V + 3.302$	$-0.0045^*V^{\wedge}3 + 0.6056^*V^2 - 28.211^*V + 1670.5$	$-7^*10^{\wedge}-06^*V^{\wedge}3 + 0.001^*V^2 - 0.0446^*V + 1.3056$	$0.0002^*V^2 - 0.0214^*V + 0.9232$	0.011
45	$0.0004^*V^2 - 0.0438^*V + 2.9964$	$-0.0041^*V^{\wedge}3 + 0.5573^*V^2 - 26.2^*V + 1657.7$	$-5^*10^{\wedge}-06^*V^{\wedge}3 + 0.0007^*V^2 - 0.0304^*V + 0.8235$	$-5^*10^{\wedge}-06^*V^{\wedge}3 + 0.0007^*V^2 - 0.0304^*V + 0.7255$	0.005
46	$0.0006^*V^2 - 0.0632^*V + 4.0511$	$-0.0058^*V^{\wedge}3 + 0.7855^*V^2 - 36.281^*V + 2028.5$	$-1^*10^{\wedge}-05^*V^{\wedge}3 + 0.0014^*V^2 - 0.0595^*V + 1.507$	$-1^*10^{\wedge}-05^*V^{\wedge}3 + 0.0014^*V^2 - 0.0595^*V + 1.332$	0.03
47	$0.0004^*V^2 - 0.0417^*V + 3.3404$	$-0.0043^*V^{\wedge}3 + 0.5786^*V^2 - 27.043^*V + 1735.1$	$-8^*10^{\wedge}-06^*V^{\wedge}3 + 0.001^*V^2 - 0.044^*V + 1.3241$	$-8^*10^{\wedge}-06^*V^{\wedge}3 + 0.001^*V^2 - 0.044^*V + 1.1491$	0.011
48	$0.0003^*V^2 - 0.0289^*V + 2.7193$	$-0.0038^*V^{\wedge}3 + 0.5111^*V^2 - 24.009^*V + 1670.2$	$-5^*10^{\wedge}-06^*V^{\wedge}3 + 0.0006^*V^2 - 0.0291^*V + 0.8704$	$-5^*10^{\wedge}-06^*V^{\wedge}3 + 0.0006^*V^2 - 0.0291^*V + 0.7584$	0.011
49	$0.0004^*V^2 - 0.044^*V + 3.0689$	$-0.0039^*V^{\wedge}3 + 0.5312^*V^2 - 25.097^*V + 1725.9$	$-5^*10^{\wedge}-06^*V^{\wedge}3 + 0.0007^*V^2 - 0.0294^*V + 0.8303$	$-5^*10^{\wedge}-06^*V^{\wedge}3 + 0.0007^*V^2 - 0.0294^*V + 0.7323$	0.005
50	$0.0003^*V^2 - 0.0245^*V + 1.7532$	$-0.003^*V^{\wedge}3 + 0.4174^*V^2 - 19.896^*V + 1675.2$	$-5^*10^{\wedge}-07^*V^{\wedge}3 + 6^*10^{\wedge}-05^*V^{\wedge}2 - 0.0028^*V + 0.1242$	$-5^*10^{\wedge}-07^*V^{\wedge}3 + 6^*10^{\wedge}-05^*V^{\wedge}2 - 0.0028^*V + 0.119$	0.0112
51	$0.0004^*V^2 - 0.0394^*V + 3.7195$	$-0.004^*V^{\wedge}3 + 0.5467^*V^2 - 25.839^*V + 1925.1$	$-7^*10^{\wedge}-06^*V^{\wedge}3 + 0.0009^*V^2 - 0.0411^*V + 1.344$	$0.0002^*V^2 - 0.0201^*V + 0.9816$	0.017
52	$0.0012^*V^2 - 0.1093^*V + 6.4307$	$0.1371^*V^2 - 13.042^*V + 1234.2$	$-2^*10^{\wedge}-05^*V^{\wedge}3 + 0.0032^*V^2 - 0.1456^*V + 3.896$	$0.0007^*V^2 - 0.0688^*V + 3.0361$	0.03
53	$0.0004^*V^2 - 0.037^*V + 2.2938$	$-0.0029^*V^{\wedge}3 + 0.3868^*V^2 - 18.072^*V + 1101.4$	$-3^*10^{\wedge}-06^*V^{\wedge}3 + 0.0005^*V^2 - 0.022^*V + 0.7333$	$0.0001^*V^2 - 0.0115^*V + 0.4644$	0.012
54	$0.0004^*V^2 - 0.0394^*V + 2.128$	$-0.0025^*V^{\wedge}3 + 0.3392^*V^2 - 15.932^*V + 1057.8$	$-3^*10^{\wedge}-06^*V^{\wedge}3 + 0.0004^*V^2 - 0.0169^*V + 0.5175$	$8^*10^{\wedge}-05^*V^{\wedge}2 - 0.0082^*V + 0.3254$	0.012
55	$0.0004^*V^2 - 0.04^*V + 2.0977$	$-0.0027^*V^{\wedge}3 + 0.3681^*V^2 - 17.258^*V + 1115.2$	$-3^*10^{\wedge}-06^*V^{\wedge}3 + 0.0003^*V^2 - 0.0152^*V + 0.4678$	$8^*10^{\wedge}-05^*V^{\wedge}2 - 0.0074^*V + 0.2948$	0.0060
56	$0.0005^*V^2 - 0.0456^*V + 3.1728$	$-0.004^*V^{\wedge}3 + 0.526^*V^2 - 23.903^*V + 1505.3$	$-5^*10^{\wedge}-06^*V^{\wedge}3 + 0.0006^*V^2 - 0.0291^*V + 0.9619$	$0.0002^*V^2 - 0.0151^*V + 0.6616$	0.0120
57	$0.0026^*V^2 - 0.2125^*V + 20.905$	$0.0197^*V^2 - 1.8177^*V + 124.31$	$0.0027^*V^2 - 0.2598^*V + 13.686$	$0.0027^*V^2 - 0.2598^*V + 13.536$	0.0020
58	$0.0031^*V^2 - 0.2756^*V + 21.551$	$-0.0004^*V^{\wedge}3 + 0.0544^*V^2 - 2.4821^*V + 122.36$	$0.0004^*V^2 - 0.0387^*V + 2.067$	$0.0004^*V^2 - 0.0387^*V + 1.867$	0.0020
59	$0.0021^*V^2 - 0.1706^*V + 14.75$	$-0.0003^*V^{\wedge}3 + 0.0447^*V^2 - 2.0407^*V + 100.61$	$0.0002^*V^2 - 0.0243^*V + 1.5974$	$0.0002^*V^2 - 0.0243^*V + 1.4554$	0.0020
60	$0.0046^*V^2 - 0.4368^*V + 29.772$	$0.0201^*V^2 - 1.9202^*V + 154.15$	$0.0004^*V^2 - 0.0499^*V + 3.4149$	$0.0004^*V^2 - 0.0499^*V + 3.2149$	0.0020
61	$0.0016^*V^2 - 0.1523^*V + 13.555$	$0.0189^*V^2 - 1.7969^*V + 142.31$	$0.0002^*V^2 - 0.0251^*V + 1.9007$	$0.0002^*V^2 - 0.0251^*V + 1.7527$	0.0020
62	$0.0046^*V^2 - 0.4368^*V + 29.772$	$0.0248^*V^2 - 2.3593^*V + 181$	$0.0004^*V^2 - 0.05^*V + 3.5779$	$0.0004^*V^2 - 0.05^*V + 3.3779$	0.0020
63	$0.0016^*V^2 - 0.1523^*V + 13.555$	$0.0249^*V^2 - 2.4257^*V + 178.13$	$0.0003^*V^2 - 0.0352^*V + 1.9228$	$0.0003^*V^2 - 0.0352^*V + 1.8308$	0.0020
64	$0.0084^*V^2 - 0.8003^*V + 28.032$	$-0.0019^*V^{\wedge}3 + 0.236^*V^2 - 9.6597^*V + 290.21$	$-2^*10^{\wedge}-05^*V^{\wedge}3 + 0.003^*V^2 - 0.1334^*V + 3.9479$	$-2^*10^{\wedge}-05^*V^{\wedge}3 + 0.003^*V^2 - 0.1334^*V + 3.7965$	0.0100

ID	CO	CO2	COV	COVNM	N2O
65	$0.0000002 \cdot V^5 - 0.000002 \cdot V^4 - 0.0004 \cdot V^3 + 0.0695 \cdot V^2 - 2.1543 \cdot V + 24.479$	$-0.0013 \cdot V^3 + 0.1588 \cdot V^2 - 6.7239 \cdot V + 247.31$	$-9 \cdot 10^{-9} \cdot V^6 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot V^5 - 0.0001 \cdot V^4 + 0.0037 \cdot V^3 - 0.0523 \cdot V^2 + 0.1769 \cdot V + 1.8417$	$-9 \cdot 10^{-9} \cdot V^6 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot V^5 - 0.0001 \cdot V^4 + 0.0036 \cdot V^3 - 0.0509 \cdot V^2 + 0.1673 \cdot V + 1.8306$	$1 \cdot 10^{-8} \cdot V^4 - 2 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 + 0.0001 \cdot V^2 - 0.0033 \cdot V + 0.0474$
66	$0.0000001 \cdot V^5 - 0.0000008 \cdot V^4 - 0.0005 \cdot V^3 + 0.0553 \cdot V^2 - 1.5662 \cdot V + 15.078$	$-0.0014 \cdot V^3 + 0.1756 \cdot V^2 - 7.5615 \cdot V + 256.13$	$-5 \cdot 10^{-9} \cdot V^6 + 9 \cdot 10^{-7} \cdot V^5 - 6 \cdot 10^{-5} \cdot V^4 + 0.0019 \cdot V^3 - 0.0259 \cdot V^2 + 0.0636 \cdot V + 1.0933$	$-4 \cdot 10^{-9} \cdot V^6 + 8 \cdot 10^{-7} \cdot V^5 - 5 \cdot 10^{-5} \cdot V^4 + 0.0017 \cdot V^3 - 0.0229 \cdot V^2 + 0.0436 \cdot V + 1.0964$	$7 \cdot 10^{-9} \cdot V^4 - 1 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 + 7 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0.0018 \cdot V + 0.0245$
67	$0.0000001 \cdot V^5 - 0.00001 \cdot V^4 + 0.00008 \cdot V^3 + 0.0305 \cdot V^2 - 1.0614 \cdot V + 10.633$	$-0.0011 \cdot V^3 + 0.1421 \cdot V^2 - 6.2096 \cdot V + 246$	$-3 \cdot 10^{-9} \cdot V^6 + 5 \cdot 10^{-7} \cdot V^5 - 4 \cdot 10^{-5} \cdot V^4 + 0.0012 \cdot V^3 - 0.0178 \cdot V^2 + 0.0747 \cdot V + 0.3763$	$-3 \cdot 10^{-9} \cdot V^6 + 5 \cdot 10^{-7} \cdot V^5 - 3 \cdot 10^{-5} \cdot V^4 + 0.001 \cdot V^3 - 0.0152 \cdot V^2 + 0.0571 \cdot V + 0.3876$	$3 \cdot 10^{-9} \cdot V^4 - 5 \cdot 10^{-7} \cdot V^3 + 3 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0.0009 \cdot V + 0.0099$
68	$0.0002 \cdot V^2 - 0.0166 \cdot V + 1.0315$	$0.0124 \cdot V^2 - 1.848 \cdot V + 214.89$	$-3 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 + 0.0004 \cdot V^2 - 0.019 \cdot V + 0.4221$	$-3 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 + 0.0004 \cdot V^2 - 0.019 \cdot V + 0.3959$	0.010754183
69	$0.0002 \cdot V^2 - 0.0166 \cdot V + 1.0315$	$0.0209 \cdot V^2 - 2.0573 \cdot V + 197.69$	$4 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 - 0.0005 \cdot V + 0.0224$	$1 \cdot 10^{-8} \cdot V^3 + 3 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 - 0.0005 \cdot V + 0.021$	0.0108
70	$0.00000003 \cdot V^5 - 0.000003 \cdot V^4 + 0.00003 \cdot V^3 + 0.0063 \cdot V^2 - 0.225 \cdot V + 2.3413$	$0.0331 \cdot V^2 - 3.1135 \cdot V + 225.51$	$2 \cdot 10^{-7} \cdot V^4 - 4 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 + 0.0019 \cdot V^2 - 0.0442 \cdot V + 0.404$	$-5 \cdot 10^{-10} \cdot V^6 + 8 \cdot 10^{-8} \cdot V^5 - 6 \cdot 10^{-6} \cdot V^4 + 0.0002 \cdot V^3 - 0.0028 \cdot V^2 + 0.0113 \cdot V + 0.0648$	$1 \cdot 10^{-9} \cdot V^4 - 3 \cdot 10^{-7} \cdot V^3 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0.0004 \cdot V + 0.0051$
71	$0.0000001 \cdot V^5 - 0.00001 \cdot V^4 - 0.0004 \cdot V^3 + 0.0544 \cdot V^2 - 1.6482 \cdot V + 18.568$	$-0.0012 \cdot V^3 + 0.1571 \cdot V^2 - 7.0363 \cdot V + 288.08$	$-9 \cdot 10^{-9} \cdot V^6 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot V^5 - 0.0001 \cdot V^4 + 0.0036 \cdot V^3 - 0.0506 \cdot V^2 + 0.1655 \cdot V + 1.8425$	$-9 \cdot 10^{-9} \cdot V^6 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot V^5 - 0.0001 \cdot V^4 + 0.0035 \cdot V^3 - 0.0492 \cdot V^2 + 0.1559 \cdot V + 1.8313$	$1 \cdot 10^{-8} \cdot V^4 - 2 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 + 0.0001 \cdot V^2 - 0.0033 \cdot V + 0.0472$
72	$0.0002 \cdot V^2 - 0.0166 \cdot V + 1.0315$	$0.0209 \cdot V^2 - 2.0573 \cdot V + 197.69$	$4 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 - 0.0005 \cdot V + 0.0224$	$4 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 - 0.0005 \cdot V + 0.0213$	0.0108
73	$0.00000003 \cdot V^5 - 0.000003 \cdot V^4 + 0.00003 \cdot V^3 + 0.0063 \cdot V^2 - 0.225 \cdot V + 2.3413$	$0.0331 \cdot V^2 - 3.1135 \cdot V + 225.51$	$2 \cdot 10^{-7} \cdot V^4 - 4 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 + 0.0019 \cdot V^2 - 0.0442 \cdot V + 0.404$	$-5 \cdot 10^{-10} \cdot V^6 + 8 \cdot 10^{-8} \cdot V^5 - 6 \cdot 10^{-6} \cdot V^4 + 0.0002 \cdot V^3 - 0.0028 \cdot V^2 + 0.0113 \cdot V + 0.0648$	$1 \cdot 10^{-9} \cdot V^4 - 3 \cdot 10^{-7} \cdot V^3 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0.0004 \cdot V + 0.005$

ID	NOx	PM10	PM2.5	SO2
1	$0.0025 \cdot V + 1.7452$	$-0.00000003 \cdot V^3 + 0.000002 \cdot V^2 - 0.00004 \cdot V + 0.0293$	$-0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0172$	$-0.00000002 \cdot V^3 + 0.00003 \cdot V^2 - 0.0012 \cdot V + 0.0337$
2	$0.0061 \cdot V + 1.2564$	$-0.00000003 \cdot V^3 + 0.000002 \cdot V^2 - 0.00004 \cdot V + 0.0293$	$-0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0172$	$0.000001 \cdot V^2 - 0.0002 \cdot V + 0.0215$
3	$-0.0000008 \cdot V^4 + 0.0001 \cdot V^3 - 0.0038 \cdot V^2 + 0.035 \cdot V + 0.863$	$-0.00000003 \cdot V^3 + 0.000002 \cdot V^2 - 0.00003 \cdot V + 0.0292$	$-0.00000001 \cdot V^3 + 0.0000009 \cdot V^2 - 0.00001 \cdot V + 0.0171$	$0.000005 \cdot V^2 - 0.0005 \cdot V + 0.0262$
4	$0.00000002 \cdot V^5 - 0.000004 \cdot V^4 + 0.0003 \cdot V^3 - 0.0075 \cdot V^2 + 0.077 \cdot V + 0.1887$	$-0.00000003 \cdot V^3 + 0.000002 \cdot V^2 - 0.00003 \cdot V + 0.0292$	$-0.00000001 \cdot V^3 + 0.0000009 \cdot V^2 - 0.00001 \cdot V + 0.0171$	$0.000006 \cdot V^2 - 0.0005 \cdot V + 0.0273$
5	$0.00000001 \cdot V^5 - 0.000002 \cdot V^4 + 0.0001 \cdot V^3 - 0.0033 \cdot V^2 + 0.0343 \cdot V + 0.0602$	$-0.00000003 \cdot V^3 + 0.000002 \cdot V^2 - 0.00003 \cdot V + 0.0273$	$-0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0152$	$0.000005 \cdot V^2 - 0.0004 \cdot V + 0.0263$
6	$-0.0021 \cdot V + 0.5604$	$-0.0015 \cdot V + 0.2537$	$-0.0015 \cdot V + 0.2414$	$2 \cdot 10^{-7} \cdot V^2 - 3 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0.0036$
7	$-0.0031 \cdot V + 0.6118$	$-0.0001 \cdot V + 0.0595$	$-0.0001 \cdot V + 0.0473$	$4 \cdot 10^{-7} \cdot V^2 - 4 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0.0033$

ID	NOx	PM10	PM2.5	SO2
8	$0.000000006V^5 - 0.000001V^4 + 0.00006V^3 - 0.0018V^2 + 0.0183V + 0.0508$	$-0.00000003V^3 + 0.000002V^2 - 0.00003V + 0.0273$	$-0.00000001V^3 + 0.0000009V^2 - 0.00001V + 0.0152$	$2 \cdot 10^{-9}V^2 - 2 \cdot 10^{-7}V + 2 \cdot 10^{-5}$
9	$0.005V + 2.1704$	$-0.00000003V^3 + 0.000002V^2 - 0.00004V + 0.0293$	$-0.00000002V^3 + 0.000001V^2 - 0.00002V + 0.0172$	$0.000006V^2 - 0.0005V + 0.0327$
10	$0.0051V + 1.0595$	$-0.00000003V^3 + 0.000002V^2 - 0.00004V + 0.0293$	$-0.00000002V^3 + 0.000001V^2 - 0.00002V + 0.0172$	$0.000002V^2 - 0.0002V + 0.0261$
11	$0.00000003V^5 - 0.000006V^4 + 0.0004V^3 - 0.0099V^2 + 0.0983V + 0.6381$	$-0.00000003V^3 + 0.000002V^2 - 0.00003V + 0.0292$	$-0.00000001V^3 + 0.0000009V^2 - 0.00001V + 0.0171$	$0.000006V^2 - 0.0005V + 0.031$
12	$0.00000002V^5 - 0.000004V^4 + 0.0003V^3 - 0.0072V^2 + 0.0746V + 0.1859$	$-0.00000003V^3 + 0.000002V^2 - 0.00003V + 0.0292$	$-0.00000001V^3 + 0.0000009V^2 - 0.00001V + 0.0171$	$0.000008V^2 - 0.0007V + 0.0337$
13	$0.00000001V^5 - 0.000002V^4 + 0.0001V^3 - 0.0032V^2 + 0.0332V + 0.0607$	$-0.00000003V^3 + 0.000002V^2 - 0.00003V + 0.0273$	$-0.00000001V^3 + 0.0000009V^2 - 0.00001V + 0.0152$	$0.000006V^2 - 0.0006V + 0.032$
14	$-0.0021V + 0.5604$	$-0.0015V + 0.2537$	$-0.0015V + 0.2414$	$2 \cdot 10^{-7}V^2 - 3 \cdot 10^{-5}V + 0.0036$
15	$0.0001V^2 - 0.0126V + 0.8872$	$-0.0002V + 0.0777$	$-0.0002V + 0.0655$	$4 \cdot 10^{-7}V^2 - 4 \cdot 10^{-5}V + 0.0035$
16	$0.0001V^2 - 0.0095V + 0.9018$	$-0.0001V + 0.0612$	$0.000002V^2 - 0.0003V + 0.0508$	$4 \cdot 10^{-7}V^2 - 4 \cdot 10^{-5}V + 0.0033$
17	$-0.003V + 0.6096$	$-0.0001V + 0.0595$	$-0.0001V + 0.0473$	$4 \cdot 10^{-7}V^2 - 4 \cdot 10^{-5}V + 0.0033$
18	$0.000000006V^5 - 0.000001V^4 + 0.00006V^3 - 0.0018V^2 + 0.0183V + 0.0508$	$-0.00000003V^3 + 0.000002V^2 - 0.00003V + 0.0273$	$-0.00000001V^3 + 0.0000009V^2 - 0.00001V + 0.0152$	$2 \cdot 10^{-9}V^2 - 2 \cdot 10^{-7}V + 2 \cdot 10^{-5}$
19	$0.00008V^2 - 0.004V + 2.4833$	$-0.00000003V^3 + 0.000002V^2 - 0.00004V + 0.0293$	$-0.00000002V^3 + 0.000001V^2 - 0.00002V + 0.0172$	$0.000008V^2 - 0.0008V + 0.0422$
20	$0.00000002V^5 - 0.000004V^4 + 0.0003V^3 - 0.0075V^2 + 0.0735V + 0.6098$	$-0.00000003V^3 + 0.000002V^2 - 0.00003V + 0.0292$	$-0.00000001V^3 + 0.0000009V^2 - 0.00001V + 0.0171$	$0.000006V^2 - 0.0006V + 0.0389$
21	$0.00000002V^5 - 0.000003V^4 + 0.0002V^3 - 0.0055V^2 + 0.0562V + 0.3013$	$-0.00000003V^3 + 0.000002V^2 - 0.00003V + 0.0292$	$-0.00000001V^3 + 0.0000009V^2 - 0.00001V + 0.0171$	$-0.0000006V^3 + 0.00007V^2 - 0.0026V + 0.0592$
22	$0.000000008V^5 - 0.000001V^4 + 0.00009V^3 - 0.0024V^2 + 0.0252V + 0.0632$	$-0.00000003V^3 + 0.000002V^2 - 0.00003V + 0.0273$	$-0.00000001V^3 + 0.0000009V^2 - 0.00001V + 0.0152$	$0.000007V^2 - 0.0006V + 0.0384$
23	$0.00004V^2 - 0.0051V + 0.9079$	$-0.0015V + 0.2537$	$-0.0015V + 0.2414$	$2 \cdot 10^{-7}V^2 - 3 \cdot 10^{-5}V + 0.0036$
24	$0.0001V^2 - 0.0126V + 0.8872$	$-0.0002V + 0.0777$	$-0.0002V + 0.0655$	$6 \cdot 10^{-7}V^2 - 5 \cdot 10^{-5}V + 0.0045$
25	$-0.003V + 0.6096$	$-0.0001V + 0.0595$	$-0.0001V + 0.0473$	$6 \cdot 10^{-7}V^2 - 5 \cdot 10^{-5}V + 0.0045$
26	$0.000000006V^5 - 0.000001V^4 + 0.00006V^3 - 0.0018V^2 + 0.0183V + 0.0508$	$-0.00000003V^3 + 0.000002V^2 - 0.00003V + 0.0273$	$-0.00000001V^3 + 0.0000009V^2 - 0.00001V + 0.0152$	$2 \cdot 10^{-9}V^2 - 2 \cdot 10^{-7}V + 2 \cdot 10^{-5}$
27	$-1 \cdot 10^{-5}V^3 + 0.002V^2 - 0.0907V + 7.5203$	$-3 \cdot 10^{-6}V^3 + 0.0003V^2 - 0.0144V + 0.6297$	$7 \cdot 10^{-5}V^2 - 0.0066V + 0.5115$	$9 \cdot 10^{-7}V^2 - 8 \cdot 10^{-5}V + 0.0098$
28	$-1 \cdot 10^{-5}V^3 + 0.0018V^2 - 0.077V + 5.5554$	$1 \cdot 10^{-5}V^2 - 0.0017V + 0.2638$	$2 \cdot 10^{-5}V^2 - 0.0018V + 0.2161$	$6 \cdot 10^{-7}V^2 - 6 \cdot 10^{-5}V + 0.0082$

ID	NOx	PM10	PM2.5	SO2
29	$-2*10^{-05}*V^3 + 0.002*V^2 - 0.0864*V + 5.9189$	$-2*10^{-07}*V^3 + 2*10^{-05}*V^2 - 0.0008*V + 0.1834$	$3*10^{-06}*V^2 - 0.0004*V + 0.1315$	$6*10^{-07}*V^2 - 5*10^{-05}*V + 0.0078$
30	$-2*10^{-05}*V^3 + 0.0027*V^2 - 0.1137*V + 5.0672$	$-3*10^{-07}*V^3 + 4*10^{-05}*V^2 - 0.0018*V + 0.1893$	$7*10^{-06}*V^2 - 0.0009*V + 0.1323$	$-2*10^{-08}*V^3 + 3*10^{-06}*V^2 - 0.0001*V + 0.0089$
31	$4*10^{-07}*V^4 - 6*10^{-05}*V^3 + 0.0037*V^2 - 0.0999*V + 3.5958$	$-2*10^{-07}*V^3 + 1*10^{-05}*V^2 - 0.0005*V + 0.1243$	$-1*10^{-07}*V^3 + 1*10^{-05}*V^2 - 0.0004*V + 0.0749$	$4*10^{-07}*V^2 - 4*10^{-05}*V + 0.008$
32	$-3*10^{-05}*V^3 + 0.004*V^2 - 0.1828*V + 14.901$	$7*10^{-05}*V^2 - 0.0073*V + 0.5905$	$8*10^{-05}*V^2 - 0.0074*V + 0.5429$	$2*10^{-06}*V^2 - 0.0002*V + 0.0155$
33	$-2*10^{-05}*V^3 + 0.0027*V^2 - 0.1209*V + 9.1062$	$3*10^{-05}*V^2 - 0.0036*V + 0.3811$	$4*10^{-05}*V^2 - 0.0037*V + 0.3335$	$-4*10^{-08}*V^3 + 5*10^{-06}*V^2 - 0.0002*V + 0.0145$
34	$-3*10^{-05}*V^3 + 0.0035*V^2 - 0.1564*V + 8.0085$	$-9*10^{-07}*V^3 + 0.0001*V^2 - 0.0046*V + 0.2657$	$2*10^{-05}*V^2 - 0.0019*V + 0.1936$	$-3*10^{-08}*V^3 + 5*10^{-06}*V^2 - 0.0002*V + 0.0145$
35	$-1*10^{-05}*V^3 + 0.0018*V^2 - 0.0776*V + 5.31$	$-2*10^{-07}*V^3 + 2*10^{-05}*V^2 - 0.0007*V + 0.1404$	$-2*10^{-07}*V^3 + 2*10^{-05}*V^2 - 0.0007*V + 0.091$	$-3*10^{-08}*V^3 + 4*10^{-06}*V^2 - 0.0002*V + 0.014$
36	$-3*10^{-05}*V^3 + 0.0046*V^2 - 0.2138*V + 17.115$	$8*10^{-05}*V^2 - 0.0077*V + 0.6402$	$8*10^{-05}*V^2 - 0.0078*V + 0.5926$	$-6*10^{-08}*V^3 + 8*10^{-06}*V^2 - 0.0004*V + 0.0192$
37	$-2*10^{-05}*V^3 + 0.003*V^2 - 0.1369*V + 10.478$	$4*10^{-05}*V^2 - 0.0041*V + 0.4182$	$4*10^{-05}*V^2 - 0.0042*V + 0.3706$	$-4*10^{-08}*V^3 + 6*10^{-06}*V^2 - 0.0003*V + 0.0165$
38	$-5*10^{-05}*V^3 + 0.0065*V^2 - 0.3055*V + 21.965$	$0.0001*V^2 - 0.0119*V + 0.8342$	$0.0001*V^2 - 0.012*V + 0.7865$	$3*10^{-06}*V^2 - 0.0003*V + 0.0228$
39	$-3*10^{-05}*V^3 + 0.0043*V^2 - 0.1964*V + 13.447$	$7*10^{-05}*V^2 - 0.0066*V + 0.5338$	$7*10^{-05}*V^2 - 0.0067*V + 0.4861$	$-6*10^{-08}*V^3 + 8*10^{-06}*V^2 - 0.0004*V + 0.0207$
40	$-4*10^{-05}*V^3 + 0.0053*V^2 - 0.2354*V + 14.609$	$-4*10^{-07}*V^3 + 5*10^{-05}*V^2 - 0.0027*V + 0.3125$	$1*10^{-05}*V^2 - 0.0016*V + 0.2532$	$-5*10^{-08}*V^3 + 7*10^{-06}*V^2 - 0.0003*V + 0.0197$
41	$-4*10^{-05}*V^3 + 0.0054*V^2 - 0.2347*V + 12.037$	$3*10^{-05}*V^2 - 0.0034*V + 0.3218$	$4*10^{-05}*V^2 - 0.0035*V + 0.2741$	$-6*10^{-08}*V^3 + 8*10^{-06}*V^2 - 0.0004*V + 0.0207$
42	$-2*10^{-05}*V^3 + 0.0026*V^2 - 0.1139*V + 7.8492$	$-2*10^{-07}*V^3 + 3*10^{-05}*V^2 - 0.001*V + 0.1588$	$-2*10^{-07}*V^3 + 2*10^{-05}*V^2 - 0.0009*V + 0.1093$	$-4*10^{-08}*V^3 + 6*10^{-06}*V^2 - 0.0003*V + 0.0195$
43	$-5*10^{-05}*V^3 + 0.0068*V^2 - 0.3218*V + 24.8$	$9*10^{-05}*V^2 - 0.0094*V + 0.8465$	$1*10^{-04}*V^2 - 0.0095*V + 0.7963$	$3*10^{-06}*V^2 - 0.0003*V + 0.0287$
44	$-4*10^{-05}*V^3 + 0.0054*V^2 - 0.2424*V + 17.483$	$9*10^{-05}*V^2 - 0.009*V + 0.6916$	$9*10^{-05}*V^2 - 0.0091*V + 0.6414$	$7*10^{-08}*V^3 + 1*10^{-05}*V^2 - 0.0005*V + 0.0268$
45	$-4*10^{-05}*V^3 + 0.0053*V^2 - 0.2443*V + 14.89$	$4*10^{-05}*V^2 - 0.0044*V + 0.3931$	$5*10^{-05}*V^2 - 0.0045*V + 0.3429$	$-7*10^{-08}*V^3 + 9*10^{-06}*V^2 - 0.0004*V + 0.0266$
46	$-5*10^{-05}*V^3 + 0.0064*V^2 - 0.3019*V + 25.722$	$9*10^{-05}*V^2 - 0.0094*V + 0.8683$	$1*10^{-04}*V^2 - 0.0095*V + 0.8181$	$-9*10^{-08}*V^3 + 1*10^{-05}*V^2 - 0.0006*V + 0.0325$
47	$-4*10^{-05}*V^3 + 0.0049*V^2 - 0.2286*V + 18.023$	$8*10^{-05}*V^2 - 0.0083*V + 0.7038$	$9*10^{-05}*V^2 - 0.0084*V + 0.6536$	$-7*10^{-08}*V^3 + 9*10^{-06}*V^2 - 0.0004*V + 0.0278$
48	$-4*10^{-05}*V^3 + 0.0058*V^2 - 0.2676*V + 19.221$	$2*10^{-05}*V^2 - 0.002*V + 0.3893$	$2*10^{-05}*V^2 - 0.0021*V + 0.3391$	$-6*10^{-08}*V^3 + 8*10^{-06}*V^2 - 0.0004*V + 0.0268$
49	$-3*10^{-05}*V^3 + 0.0046*V^2 - 0.2219*V + 14.934$	$4*10^{-05}*V^2 - 0.0043*V + 0.399$	$4*10^{-05}*V^2 - 0.0044*V + 0.3488$	$-6*10^{-08}*V^3 + 9*10^{-06}*V^2 - 0.0004*V + 0.0277$
50	$-1*10^{-05}*V^3 + 0.0018*V^2 - 0.1014*V + 10.053$	$-3*10^{-07}*V^3 + 3*10^{-05}*V^2 - 0.0013*V + 0.1874$	$-2*10^{-07}*V^3 + 3*10^{-05}*V^2 - 0.0012*V + 0.1353$	$-5*10^{-08}*V^3 + 7*10^{-06}*V^2 - 0.0003*V + 0.0267$
51	$-4*10^{-05}*V^3 + 0.005*V^2 - 0.2325*V + 20.387$	$7*10^{-05}*V^2 - 0.0073*V + 0.7465$	$7*10^{-05}*V^2 - 0.0074*V + 0.6963$	$-6*10^{-08}*V^3 + 9*10^{-06}*V^2 - 0.0004*V + 0.0308$
52	$-4*10^{-05}*V^3 + 0.005*V^2 - 0.2347*V + 15.44$	$0.0002*V^2 - 0.0191*V + 1.1274$	$0.0002*V^2 - 0.0192*V + 1.0788$	$2*10^{-06}*V^2 - 0.0002*V + 0.0197$
53	$-3*10^{-05}*V^3 + 0.0044*V^2 - 0.2001*V + 11.822$	$4*10^{-05}*V^2 - 0.0043*V + 0.4395$	$5*10^{-05}*V^2 - 0.0044*V + 0.3909$	$-5*10^{-08}*V^3 + 6*10^{-06}*V^2 - 0.0003*V + 0.0176$

ID	NOx	PM10	PM2.5	SO2
54	$-4 \cdot 10^{-05} \cdot V^3 + 0.0051 \cdot V^2 - 0.2314 \cdot V + 12.713$	$-8 \cdot 10^{-07} \cdot V^3 + 9 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0042 \cdot V + 0.3024$	$-7 \cdot 10^{-07} \cdot V^3 + 9 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0041 \cdot V + 0.2519$	$-4 \cdot 10^{-08} \cdot V^3 + 5 \cdot 10^{-06} \cdot V^2 - 0.0003 \cdot V + 0.0169$
55	$-6 \cdot 10^{-05} \cdot V^3 + 0.0076 \cdot V^2 - 0.3333 \cdot V + 11.838$	$-9 \cdot 10^{-07} \cdot V^3 + 0.0001 \cdot V^2 - 0.0048 \cdot V + 0.2895$	$2 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0022 \cdot V + 0.2166$	$-4 \cdot 10^{-08} \cdot V^3 + 6 \cdot 10^{-06} \cdot V^2 - 0.0003 \cdot V + 0.0178$
56	$-4 \cdot 10^{-05} \cdot V^3 + 0.0055 \cdot V^2 - 0.247 \cdot V + 16.01$	$5 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0053 \cdot V + 0.5697$	$6 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0054 \cdot V + 0.5211$	$-6 \cdot 10^{-08} \cdot V^3 + 8 \cdot 10^{-06} \cdot V^2 - 0.0004 \cdot V + 0.0241$
57	$0.00000002 \cdot V^4 - 0.000003 \cdot V^3 + 0.0001 \cdot V^2 - 0.0032 \cdot V + 0.0536$	$-0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.2117$	$0.000000001 \cdot V^4 - 0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.2062$	$0.000002 \cdot V^2 - 0.0002 \cdot V + 0.0133$
58	$0.00002 \cdot V^2 - 0.0002 \cdot V + 0.3292$	$-0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0317$	$0.000000001 \cdot V^4 - 0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0262$	$0.000002 \cdot V^2 - 0.0002 \cdot V + 0.0124$
59	$0.00002 \cdot V^2 - 0.0006 \cdot V + 0.3539$	$-0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0317$	$0.000000001 \cdot V^4 - 0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0262$	$0.000001 \cdot V^2 - 0.0001 \cdot V + 0.0102$
60	$0.00002 \cdot V^2 - 0.0007 \cdot V + 0.3055$	$-0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0317$	$0.000000001 \cdot V^4 - 0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0262$	$0.000002 \cdot V^2 - 0.0002 \cdot V + 0.0169$
61	$0.00002 \cdot V^2 - 0.0007 \cdot V + 0.298$	$-0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0317$	$0.000000001 \cdot V^4 - 0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0262$	$0.000002 \cdot V^2 - 0.0002 \cdot V + 0.0156$
62	$-0.00000003 \cdot V^4 + 0.000005 \cdot V^3 - 0.0003 \cdot V^2 + 0.0061 \cdot V + 0.0899$	$-0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0317$	$0.000000001 \cdot V^4 - 0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0262$	$0.000003 \cdot V^2 - 0.0003 \cdot V + 0.0198$
63	$0.00003 \cdot V^2 - 0.0022 \cdot V + 0.2066$	$-0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0317$	$0.000000001 \cdot V^4 - 0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0262$	$0.000003 \cdot V^2 - 0.0003 \cdot V + 0.0195$
64	$0.0022 \cdot V + 1.7666$	$-0.00000003 \cdot V^3 + 0.000002 \cdot V^2 - 0.00004 \cdot V + 0.0291$	$0.000000002 \cdot V^4 - 0.00000004 \cdot V^3 + 0.000002 \cdot V^2 - 0.00004 \cdot V + 0.0172$	$-0.0000002 \cdot V^3 + 0.000003 \cdot V^2 - 0.0011 \cdot V + 0.0318$
65	$0.00000003 \cdot V^5 - 0.000004 \cdot V^4 + 0.0002 \cdot V^3 - 0.0019 \cdot V^2 - 0.0329 \cdot V + 1.1941$	$-0.00000003 \cdot V^3 + 0.000002 \cdot V^2 - 0.00004 \cdot V + 0.0291$	$-0.0000000001 \cdot V^4 - 0.00000001 \cdot V^3 + 0.0000007 \cdot V^2 - 0.00001 \cdot V + 0.017$	$0.000005 \cdot V^2 - 0.0004 \cdot V + 0.0251$
66	$0.00000002 \cdot V^5 - 0.000003 \cdot V^4 + 0.0001 \cdot V^3 - 0.0014 \cdot V^2 - 0.0205 \cdot V + 0.6428$	$-0.00000003 \cdot V^3 + 0.000002 \cdot V^2 - 0.00004 \cdot V + 0.0291$	$-0.0000000001 \cdot V^4 - 0.00000001 \cdot V^3 + 0.0000007 \cdot V^2 - 0.00001 \cdot V + 0.017$	$0.000005 \cdot V^2 - 0.0005 \cdot V + 0.0258$
67	$0.000000008 \cdot V^5 - 0.000001 \cdot V^4 + 0.00005 \cdot V^3 - 0.0006 \cdot V^2 - 0.0089 \cdot V + 0.2457$	$-0.00000003 \cdot V^3 + 0.000002 \cdot V^2 - 0.00004 \cdot V + 0.0272$	$-0.0000000001 \cdot V^4 - 0.00000001 \cdot V^3 + 0.0000007 \cdot V^2 - 0.00001 \cdot V + 0.0151$	$0.000004 \cdot V^2 - 0.0004 \cdot V + 0.0252$
68	$-0.0018 \cdot V + 0.5439$	$-0.0013 \cdot V + 0.2442$	$-0.0013 \cdot V + 0.232$	$2 \cdot 10^{-07} \cdot V^2 - 3 \cdot 10^{-05} \cdot V + 0.0034$
69	$-0.0026 \cdot V + 0.5879$	$-0.0001 \cdot V + 0.0586$	$-0.0001 \cdot V + 0.0465$	$3 \cdot 10^{-07} \cdot V^2 - 3 \cdot 10^{-05} \cdot V + 0.0031$
70	$0.000000005 \cdot V^5 - 0.0000006 \cdot V^4 + 0.00003 \cdot V^3 - 0.0003 \cdot V^2 - 0.0052 \cdot V + 0.1497$	$-0.00000003 \cdot V^3 + 0.000002 \cdot V^2 - 0.00003 \cdot V + 0.0271$	$-0.00000001 \cdot V^3 + 0.0000007 \cdot V^2 - 0.00001 \cdot V + 0.0151$	$0.00000002 \cdot V^2 - 0.000002 \cdot V + 0.00002$
71	$0.00000003 \cdot V^5 - 0.000003 \cdot V^4 + 0.0002 \cdot V^3 - 0.0018 \cdot V^2 - 0.0322 \cdot V + 1.1784$	$-0.00000003 \cdot V^3 + 0.000002 \cdot V^2 - 0.00004 \cdot V + 0.0291$	$-0.0000000001 \cdot V^4 - 0.00000001 \cdot V^3 + 0.0000007 \cdot V^2 - 0.00001 \cdot V + 0.017$	$0.000005 \cdot V^2 - 0.0005 \cdot V + 0.0296$
72	$-0.0026 \cdot V + 0.5879$	$-0.0001 \cdot V + 0.0586$	$-0.0001 \cdot V + 0.0465$	$3 \cdot 10^{-07} \cdot V^2 - 3 \cdot 10^{-05} \cdot V + 0.0031$
73	$0.000000005 \cdot V^5 - 0.0000006 \cdot V^4 + 0.00003 \cdot V^3 - 0.0003 \cdot V^2 - 0.0052 \cdot V + 0.1497$	$-0.00000003 \cdot V^3 + 0.000002 \cdot V^2 - 0.00003 \cdot V + 0.0271$	$-0.00000001 \cdot V^3 + 0.0000007 \cdot V^2 - 0.00001 \cdot V + 0.0151$	$0.00000002 \cdot V^2 - 0.000002 \cdot V + 0.00002$

Tabla de factores de emisión según el tipo de vehículo para escenario BaU 2030 (Únicamente aquellos que cambian)

Categoría vehicular	Combustible	Subcategoría	COPERT	% de de vehículos por categoría vehicular	ID	BC	CH4	CO
PC	Gasolina	Light	ECE 15/04	4.2%	1	$-1 \cdot 10^{-09} \cdot V^3 + 8 \cdot 10^{-08} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-06} \cdot V + 0.0018$	0.1515	$-0.0003 \cdot V^3 + 0.0409 \cdot V^2 - 1.7882 \cdot V + 37.07$
			Open Loop	0.9%	2	$-1 \cdot 10^{-09} \cdot V^3 + 8 \cdot 10^{-08} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-06} \cdot V + 0.0021$	0.1515	$0.0016 \cdot V^2 - 0.2201 \cdot V + 14.663$
			Euro I	14.3%	3	$-1 \cdot 10^{-09} \cdot V^3 + 6 \cdot 10^{-08} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-06} \cdot V + 0.002$	$2 \cdot 10^{-09} \cdot V^5 - 3 \cdot 10^{-07} \cdot V^4 + 2 \cdot 10^{-05} \cdot V^3 - 0.0005 \cdot V^2 + 0.0057 \cdot V + 0.0125$	$-0.0002 \cdot V^3 + 0.0222 \cdot V^2 - 1.0392 \cdot V + 19.637$
			Euro II	1.7%	4	$-1 \cdot 10^{-09} \cdot V^3 + 6 \cdot 10^{-08} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-06} \cdot V + 0.002$	$3 \cdot 10^{-09} \cdot V^5 - 6 \cdot 10^{-07} \cdot V^4 + 4 \cdot 10^{-05} \cdot V^3 - 0.0011 \cdot V^2 + 0.0119 \cdot V - 0.0002$	$-0.0001 \cdot V^3 + 0.0165 \cdot V^2 - 0.7395 \cdot V + 12.207$
			Euro III	4.3%	5	$-1 \cdot 10^{-09} \cdot V^3 + 6 \cdot 10^{-08} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-06} \cdot V + 0.0013$	$3 \cdot 10^{-09} \cdot V^5 - 5 \cdot 10^{-07} \cdot V^4 + 3 \cdot 10^{-05} \cdot V^3 - 0.001 \cdot V^2 + 0.0105 \cdot V - 0.0087$	$-6 \cdot 10^{-05} \cdot V^3 + 0.0096 \cdot V^2 - 0.4661 \cdot V + 7.8215$
			Euro IV	33.5%	6	$-1 \cdot 10^{-09} \cdot V^3 + 6 \cdot 10^{-08} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-06} \cdot V + 0.0013$	$1 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0013 \cdot V + 0.0288$	$-2 \cdot 10^{-05} \cdot V^3 + 0.0027 \cdot V^2 - 0.1303 \cdot V + 2.2657$
			Euro V	0.6%	7	$-1 \cdot 10^{-09} \cdot V^3 + 1 \cdot 10^{-07} \cdot V^2 - 4 \cdot 10^{-06} \cdot V + 0.0014$	$1 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0013 \cdot V + 0.0288$	$-2 \cdot 10^{-05} \cdot V^3 + 0.0027 \cdot V^2 - 0.1333 \cdot V + 2.3544$
	Diesel		Convencional	0.2%	8	$1 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0015 \cdot V + 0.1349$	0.0262	$0.0002 \cdot V^2 - 0.0187 \cdot V + 1.0841$
			Euro IV	0.0%	9	$1 \cdot 10^{-06} \cdot V^2 - 0.0002 \cdot V + 0.0309$	0.0011	$0.00004 \cdot V^2 - 0.0043 \cdot V + 0.1773$
	Gas Gasolina		Euro IV	1.0%	10	$-1 \cdot 10^{-09} \cdot V^3 + 6 \cdot 10^{-08} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-06} \cdot V + 0.0013$	$-1 \cdot 10^{-06} \cdot V^3 + 0.0002 \cdot V^2 - 0.0098 \cdot V + 0.1847$	$-0.000001 \cdot V^4 + 0.0001 \cdot V^3 - 0.0032 \cdot V^2 - 0.02 \cdot V + 1.3736$
	Gasolina	Medium	ECE 15/04	2.3%	11	$-1 \cdot 10^{-09} \cdot V^3 + 8 \cdot 10^{-08} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-06} \cdot V + 0.0018$	0.1515	$-0.0003 \cdot V^3 + 0.0409 \cdot V^2 - 1.7882 \cdot V + 37.07$
			Open Loop	0.3%	12	$-1 \cdot 10^{-09} \cdot V^3 + 8 \cdot 10^{-08} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-06} \cdot V + 0.0018$	0.1515	$0.0012 \cdot V^2 - 0.1344 \cdot V + 7.6862$

Categoría vehicular	Combustible	Subcategoría	COPERT	% de de vehículos por categoría vehicular	ID	BC	CH4	CO	
			Euro I	14.0%	13	$-1*10^{\wedge}-09*V^{\wedge}3 + 6*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 1*10^{\wedge}-06*V + 0.002$	$2*10^{\wedge}-09*V^{\wedge}5 - 3*10^{\wedge}-07*V^{\wedge}4 + 2*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}3 - 0.0005*V^{\wedge}2 + 0.0057*V + 0.0125$	$-0.0001*V^{\wedge}3 + 0.0171*V^{\wedge}2 - 0.7992*V + 14.979$	
			Euro II	1.9%	14	$-1*10^{\wedge}-09*V^{\wedge}3 + 6*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 1*10^{\wedge}-06*V + 0.002$	$3*10^{\wedge}-09*V^{\wedge}5 - 6*10^{\wedge}-07*V^{\wedge}4 + 4*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}3 - 0.0011*V^{\wedge}2 + 0.0119*V - 0.0002$	$-9*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}3 + 0.0128*V^{\wedge}2 - 0.5693*V + 9.3097$	
			Euro III	7.9%	15	$-1*10^{\wedge}-09*V^{\wedge}3 + 6*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 1*10^{\wedge}-06*V + 0.0013$	$3*10^{\wedge}-09*V^{\wedge}5 - 5*10^{\wedge}-07*V^{\wedge}4 + 3*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}3 - 0.001*V^{\wedge}2 + 0.0105*V - 0.0087$	$-5*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}3 + 0.0074*V^{\wedge}2 - 0.3541*V + 5.9688$	
			Euro IV	2.0%	16	$-1*10^{\wedge}-09*V^{\wedge}3 + 6*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 1*10^{\wedge}-06*V + 0.0013$	$1*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0013*V + 0.0288$	$-1*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}3 + 0.002*V^{\wedge}2 - 0.0988*V + 1.7393$	
	Diesel			Convencional	0.2%	17	$1*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0015*V + 0.1349$	0.0262	$0.0002*V^{\wedge}2 - 0.0187*V + 1.0841$
				Euro II	1.1%	18	$3*10^{\wedge}-06*V^{\wedge}2 - 0.0004*V + 0.0446$	0.0067	$-0.0044*V + 0.4655$
				Euro III	0.1%	19	$2*10^{\wedge}-06*V^{\wedge}2 - 0.0003*V + 0.0328$	0.0030	$0.00003*V^{\wedge}2 - 0.0031*V + 0.1664$
				Euro IV	3.0%	20	$1*10^{\wedge}-06*V^{\wedge}2 - 0.0002*V + 0.0309$	0.0011	$0.00004*V^{\wedge}2 - 0.0043*V + 0.1773$
				Euro V	0.7%	21	$-4*10^{\wedge}-09*V^{\wedge}3 + 5*10^{\wedge}-07*V^{\wedge}2 - 2*10^{\wedge}-05*V + 0.002$	0.000075	$-1*10^{\wedge}-06*V^{\wedge}2 - 0.0002*V + 0.0471$
	Gas Gasolina			Euro IV	2.0%	22	$-1*10^{\wedge}-09*V^{\wedge}3 + 6*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 1*10^{\wedge}-06*V + 0.0013$	$-1*10^{\wedge}-06*V^{\wedge}3 + 0.0002*V^{\wedge}2 - 0.0098*V + 0.1847$	$-0.00001*V^{\wedge}4 + 0.0001*V^{\wedge}3 - 0.0032*V^{\wedge}2 - 0.02*V + 1.3736$
				ECE 15/04	0.6%	23	$-1*10^{\wedge}-09*V^{\wedge}3 + 8*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 1*10^{\wedge}-06*V + 0.0018$	0.1515	$-0.0003*V^{\wedge}3 + 0.0409*V^{\wedge}2 - 1.7882*V + 37.07$
	Gasolina		Heavy	Euro I	0.9%	24	$-1*10^{\wedge}-09*V^{\wedge}3 + 6*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 1*10^{\wedge}-06*V + 0.002$	$2*10^{\wedge}-09*V^{\wedge}5 - 3*10^{\wedge}-07*V^{\wedge}4 + 2*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}3 - 0.0005*V^{\wedge}2 + 0.0057*V + 0.0125$	$-9*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}3 + 0.0124*V^{\wedge}2 - 0.5819*V + 11.028$
				Euro II	0.0%	25	$-1*10^{\wedge}-09*V^{\wedge}3 + 6*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 1*10^{\wedge}-06*V + 0.002$	$3*10^{\wedge}-09*V^{\wedge}5 - 6*10^{\wedge}-07*V^{\wedge}4 + 4*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}3 - 0.0011*V^{\wedge}2 + 0.0119*V - 0.0002$	$-7*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}3 + 0.0094*V^{\wedge}2 - 0.4148*V + 6.7566$
				Euro III	0.1%	26	$-1*10^{\wedge}-09*V^{\wedge}3 + 6*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 1*10^{\wedge}-06*V + 0.0013$	$3*10^{\wedge}-09*V^{\wedge}5 - 5*10^{\wedge}-07*V^{\wedge}4 + 3*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}3 - 0.001*V^{\wedge}2 + 0.0105*V - 0.0087$	$-3*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}3 + 0.0051*V^{\wedge}2 - 0.2423*V + 4.2535$
				Convencional	0.2%	27	$1*10^{\wedge}-05*V^{\wedge}2 - 0.0015*V + 0.1349$	0.0262	$0.0002*V^{\wedge}2 - 0.0187*V + 1.0841$
	Diesel			Euro II	0.1%	28	$3*10^{\wedge}-06*V^{\wedge}2 - 0.0004*V + 0.0446$	0.0067	$-0.0044*V + 0.4655$
				Euro IV	1.5%	29	$1*10^{\wedge}-06*V^{\wedge}2 - 0.0002*V + 0.0309$	0.0011	$0.00004*V^{\wedge}2 - 0.0043*V + 0.1773$
				Euro IV	0.4%	30	$-1*10^{\wedge}-09*V^{\wedge}3 + 6*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 1*10^{\wedge}-06*V + 0.0013$	$-1*10^{\wedge}-06*V^{\wedge}3 + 0.0002*V^{\wedge}2 - 0.0098*V + 0.1847$	$-0.00001*V^{\wedge}4 + 0.0001*V^{\wedge}3 - 0.0032*V^{\wedge}2 - 0.02*V + 1.3736$
	Gas Gasolina			Euro IV	0.4%	30	$-1*10^{\wedge}-09*V^{\wedge}3 + 6*10^{\wedge}-08*V^{\wedge}2 - 1*10^{\wedge}-06*V + 0.0013$	$-1*10^{\wedge}-06*V^{\wedge}3 + 0.0002*V^{\wedge}2 - 0.0098*V + 0.1847$	$-0.00001*V^{\wedge}4 + 0.0001*V^{\wedge}3 - 0.0032*V^{\wedge}2 - 0.02*V + 1.3736$

Categoría vehicular	Combustible	Subcategoría	COPERT	% de de vehículos por categoría vehicular	ID	BC	CH4	CO
Motocicletas 2T	Gasolina	>50	Convencional	12.0%	31	$-5 \cdot 10^{\wedge} - 10^*V^{\wedge}3 + 3 \cdot 10^{\wedge} - 08^*V^{\wedge}2 - 7 \cdot 10^{\wedge} - 07^*V + 0.0205$	0.1500	$0.0026^*V^{\wedge}2 - 0.2125^*V + 20.908$
Motocicletas 4T		<250	Convencional	6.4%	32	$-5 \cdot 10^{\wedge} - 10^*V^{\wedge}3 + 3 \cdot 10^{\wedge} - 08^*V^{\wedge}2 - 7 \cdot 10^{\wedge} - 07^*V + 0.0035$	0.2000	$0.0031^*V^{\wedge}2 - 0.2756^*V + 21.554$
			Euro I	44.0%	33	$-5 \cdot 10^{\wedge} - 10^*V^{\wedge}3 + 3 \cdot 10^{\wedge} - 08^*V^{\wedge}2 - 7 \cdot 10^{\wedge} - 07^*V + 0.0055$	0.1420	$0.0021^*V^{\wedge}2 - 0.1706^*V + 14.752$
			Euro II	3.7%	34	$-5 \cdot 10^{\wedge} - 10^*V^{\wedge}3 + 3 \cdot 10^{\wedge} - 08^*V^{\wedge}2 - 7 \cdot 10^{\wedge} - 07^*V + 0.0017$	0.1360	$0.0013^*V^{\wedge}2 - 0.0992^*V + 6.1933$
			Euro III	30.3%	35	$-5 \cdot 10^{\wedge} - 10^*V^{\wedge}3 + 3 \cdot 10^{\wedge} - 08^*V^{\wedge}2 - 7 \cdot 10^{\wedge} - 07^*V + 0.0017$	0.0820	$8 \cdot 10^{\wedge} - 05^*V^{\wedge}2 - 0.0076^*V + 0.6924$
			Euro IV	1.1%	36	$-5 \cdot 10^{\wedge} - 10^*V^{\wedge}3 + 3 \cdot 10^{\wedge} - 08^*V^{\wedge}2 - 7 \cdot 10^{\wedge} - 07^*V + 0.0017$	0.0820	$0.0002^*V^{\wedge}2 - 0.0166^*V + 0.8727$
		>=250	Convencional	0.3%	37	$-5 \cdot 10^{\wedge} - 10^*V^{\wedge}3 + 3 \cdot 10^{\wedge} - 08^*V^{\wedge}2 - 7 \cdot 10^{\wedge} - 07^*V + 0.0035$	0.2000	$0.0046^*V^{\wedge}2 - 0.4369^*V + 29.776$
			Euro I	1.8%	38	$-5 \cdot 10^{\wedge} - 10^*V^{\wedge}3 + 3 \cdot 10^{\wedge} - 08^*V^{\wedge}2 - 7 \cdot 10^{\wedge} - 07^*V + 0.0055$	0.1480	$0.0016^*V^{\wedge}2 - 0.1523^*V + 13.557$
		>750	Convencional	0.0%	39	$-5 \cdot 10^{\wedge} - 10^*V^{\wedge}3 + 3 \cdot 10^{\wedge} - 08^*V^{\wedge}2 - 7 \cdot 10^{\wedge} - 07^*V + 0.0035$	0.2000	$0.0046^*V^{\wedge}2 - 0.4369^*V + 29.776$
			Euro I	0.5%	40	$-5 \cdot 10^{\wedge} - 10^*V^{\wedge}3 + 3 \cdot 10^{\wedge} - 08^*V^{\wedge}2 - 7 \cdot 10^{\wedge} - 07^*V + 0.0055$	0.0920	$0.0016^*V^{\wedge}2 - 0.1523^*V + 13.557$

ID	CO2	COV	COVNM	N2O
1	$-0.0022*V^3 + 0.2662*V^2 - 10.896*V + 307.64$	$-3*10^{-05}*V^3 + 0.0033*V^2 - 0.1461*V + 4.3449$	$-2*10^{-05}*V^3 + 0.0024*V^2 - 0.1093*V + 3.6553$	0.01
2	$0.013*V^2 - 1.5404*V + 196.29$	$0.0001*V^2 - 0.0203*V + 2.0341$	$0.0001*V^2 - 0.0212*V + 1.8456$	0.01
3	$-0.0015*V^3 + 0.1792*V^2 - 7.5843*V + 260.4$	$-2*10^{-05}*V^3 + 0.0031*V^2 - 0.1436*V + 2.5924$	$-3*10^{-05}*V^3 + 0.0037*V^2 - 0.1498*V + 2.4062$	$2*10^{-07}*V^3 - 9*10^{-07}*V^2 - 0.0008*V + 0.0408$
4	$-0.0016*V^3 + 0.1988*V^2 - 8.5699*V + 271.92$	$-2*10^{-05}*V^3 + 0.0021*V^2 - 0.0918*V + 1.588$	$-2*10^{-05}*V^3 + 0.0022*V^2 - 0.087*V + 1.3905$	$8*10^{-08}*V^3 - 5*10^{-07}*V^2 - 0.0004*V + 0.0196$
5	$-0.0013*V^3 + 0.1595*V^2 - 6.979*V + 258.46$	$-5*10^{-06}*V^3 + 0.0008*V^2 - 0.0369*V + 0.6922$	$-8*10^{-06}*V^3 + 0.001*V^2 - 0.0382*V + 0.6241$	$3*10^{-08}*V^3 - 2*10^{-07}*V^2 - 0.0002*V + 0.007$
6	$-0.0008*V^3 + 0.1124*V^2 - 5.638*V + 253.22$	$-3*10^{-06}*V^3 + 0.0004*V^2 - 0.0203*V + 0.4279$	$-4*10^{-06}*V^3 + 0.0005*V^2 - 0.0207*V + 0.3841$	$4*10^{-10}*V^5 - 6*10^{-08}*V^4 + 4*10^{-06}*V^3 - 0.0001*V^2 + 0.0013*V + 0.0016$
7	$-0.0008*V^3 + 0.1124*V^2 - 5.638*V + 253.21$	$-3*10^{-06}*V^3 + 0.0004*V^2 - 0.0205*V + 0.4236$	$-4*10^{-06}*V^3 + 0.0005*V^2 - 0.0209*V + 0.3791$	$8*10^{-11}*V^5 - 1*10^{-08}*V^4 + 9*10^{-07}*V^3 - 3*10^{-05}*V^2 + 0.0003*V + 0.0013$
8	$0.0142*V^2 - 2.1112*V + 224.01$	$-4*10^{-06}*V^3 + 0.0005*V^2 - 0.0212*V + 0.4565$	$-3*10^{-06}*V^3 + 0.0004*V^2 - 0.0161*V + 0.354$	0.01075418
9	$0.0239*V^2 - 2.3504*V + 204.97$	$5*10^{-06}*V^2 - 0.0005*V + 0.024$	$-4*10^{-08}*V^3 + 1*10^{-05}*V^2 - 0.0007*V + 0.0228$	0.0108
10	$-0.0009*V^3 + 0.1232*V^2 - 5.6789*V + 248.22$	$7*10^{-09}*V^5 - 1*10^{-06}*V^4 + 7*10^{-05}*V^3 - 0.0017*V^2 + 0.0087*V + 0.1889$	$-3*10^{-8}*V^4 + 2*10^{-6}*V^3 + 2*10^{-5}*V^2 - 0.0043*V + 0.0834$	$2*10^{-10}*V^5 - 3*10^{-08}*V^4 + 2*10^{-06}*V^3 - 6*10^{-05}*V^2 + 0.0007*V + 0.0007$
11	$-0.0019*V^3 + 0.2349*V^2 - 10.243*V + 341.3$	$-3*10^{-05}*V^3 + 0.0033*V^2 - 0.1461*V + 4.4429$	$1*10^{-06}*V^4 - 0.0001*V^3 + 0.0082*V^2 - 0.2141*V + 4.3766$	0.01
12	$0.0187*V^2 - 2.2054*V + 237.95$	$5*10^{-05}*V^2 - 0.0077*V + 1.1724$	$7*10^{-05}*V^2 - 0.0087*V + 1.0138$	0.01
13	$-0.0014*V^3 + 0.1772*V^2 - 7.9367*V + 302.96$	$-2*10^{-05}*V^3 + 0.0032*V^2 - 0.1453*V + 2.5083$	$-3*10^{-05}*V^3 + 0.0037*V^2 - 0.1501*V + 2.3117$	$2*10^{-09}*V^5 - 3*10^{-07}*V^4 + 2*10^{-05}*V^3 - 0.0006*V^2 + 0.0066*V + 0.012$
14	$-0.0024*V^3 + 0.289*V^2 - 11.822*V + 341.62$	$-2*10^{-05}*V^3 + 0.0021*V^2 - 0.0921*V + 1.4926$	$-2*10^{-05}*V^3 + 0.0022*V^2 - 0.0869*V + 1.2924$	$9*10^{-10}*V^5 - 2*10^{-07}*V^4 + 1*10^{-05}*V^3 - 0.0003*V^2 + 0.0032*V + 0.0054$
15	$-0.0015*V^3 + 0.1956*V^2 - 8.6531*V + 314.55$	$-6*10^{-06}*V^3 + 0.0008*V^2 - 0.0377*V + 0.6398$	$-8*10^{-06}*V^3 + 0.001*V^2 - 0.0385*V + 0.5676$	$4*10^{-10}*V^5 - 7*10^{-08}*V^4 + 5*10^{-06}*V^3 - 0.0001*V^2 + 0.0014*V + 0.0006$
16	$-0.0011*V^3 + 0.149*V^2 - 6.8672*V + 300.07$	$-3*10^{-06}*V^3 + 0.0005*V^2 - 0.0209*V + 0.3816$	$-4*10^{-06}*V^3 + 0.0005*V^2 - 0.021*V + 0.3354$	$4*10^{-10}*V^5 - 6*10^{-08}*V^4 + 4*10^{-06}*V^3 - 0.0001*V^2 + 0.0013*V + 0.0016$
17	$0.0142*V^2 - 2.1112*V + 224.01$	$-4*10^{-06}*V^3 + 0.0005*V^2 - 0.0212*V + 0.4565$	$-3*10^{-06}*V^3 + 0.0004*V^2 - 0.0161*V + 0.354$	0.004
18	$0.0267*V^2 - 2.7172*V + 217.91$	$1*10^{-05}*V^2 - 0.0013*V + 0.0651$	$-2*10^{-07}*V^3 + 4*10^{-05}*V^2 - 0.0019*V + 0.0593$	0.0037

ID	CO2	COV	COVNM	N2O
19	$0.0239*V^2 - 2.3504*V + 204.97$	$7*10^{-6}*V^2 - 0.0007*V + 0.0345$	$-2*10^{-7}*V^3 + 2*10^{-5}*V^2 - 0.001*V + 0.0321$	0.0108
20	$0.0239*V^2 - 2.3504*V + 204.97$	$5*10^{-6}*V^2 - 0.0005*V + 0.024$	$-4*10^{-8}*V^3 + 1*10^{-5}*V^2 - 0.0007*V + 0.0228$	0.0108
21	$-0.0006*V^3 + 0.0862*V^2 - 4.1565*V + 219.6$	$-1*10^{-8}*V^3 + 2*10^{-6}*V^2 - 8*10^{-5}*V + 0.0022$	$-0.00000001*V^3 + 0.000001*V^2 - 0.00006*V + 0.0019$	0.0107541826875
22	$-0.0009*V^3 + 0.1232*V^2 - 5.6789*V + 248.22$	$7*10^{-9}*V^5 - 1*10^{-6}*V^4 + 7*10^{-5}*V^3 - 0.0017*V^2 + 0.0087*V + 0.1889$	$-3*10^{-8}*V^4 + 2*10^{-6}*V^3 + 2*10^{-5}*V^2 - 0.0043*V + 0.0834$	$2*10^{-10}*V^5 - 3*10^{-8}*V^4 + 2*10^{-6}*V^3 - 6*10^{-5}*V^2 + 0.0007*V + 0.0007$
23	$-0.0022*V^3 + 0.2936*V^2 - 13.877*V + 436.55$	$-3*10^{-5}*V^3 + 0.0033*V^2 - 0.1461*V + 4.5901$	$-2*10^{-5}*V^3 + 0.0024*V^2 - 0.1093*V + 3.9005$	0.01
24	$-0.0014*V^3 + 0.1876*V^2 - 8.7996*V + 375.18$	$-2*10^{-5}*V^3 + 0.0024*V^2 - 0.1061*V + 1.8821$	$-2*10^{-5}*V^3 + 0.0026*V^2 - 0.1072*V + 1.7132$	$2*10^{-9}*V^5 - 3*10^{-7}*V^4 + 2*10^{-5}*V^3 - 0.0006*V^2 + 0.0062*V + 0.0118$
25	$0.0002*V^4 - 0.032*V^3 + 1.6854*V^2 - 39.673*V + 611.65$	$-1*10^{-5}*V^3 + 0.0016*V^2 - 0.0696*V + 1.139$	$-1*10^{-5}*V^3 + 0.0016*V^2 - 0.0626*V + 0.9571$	$9*10^{-10}*V^5 - 2*10^{-7}*V^4 + 1*10^{-5}*V^3 - 0.0003*V^2 + 0.0033*V + 0.0056$
26	$-0.0017*V^3 + 0.2167*V^2 - 9.8212*V + 374.7$	$-4*10^{-6}*V^3 + 0.0006*V^2 - 0.0259*V + 0.4554$	$-5*10^{-6}*V^3 + 0.0006*V^2 - 0.0254*V + 0.3905$	$4*10^{-10}*V^5 - 7*10^{-8}*V^4 + 5*10^{-6}*V^3 - 0.0001*V^2 + 0.0014*V + 0.0006$
27	$0.0142*V^2 - 2.1112*V + 224.01$	$-4*10^{-6}*V^3 + 0.0005*V^2 - 0.0212*V + 0.4565$	$-3*10^{-6}*V^3 + 0.0004*V^2 - 0.0161*V + 0.354$	0.0037
28	$0.0344*V^2 - 3.415*V + 279.86$	$-1*10^{-6}*V^3 + 0.0002*V^2 - 0.0073*V + 0.2165$	$-9*10^{-7}*V^3 + 0.0001*V^2 - 0.0058*V + 0.1853$	0.0037
29	$0.0344*V^2 - 3.415*V + 279.86$	$5*10^{-6}*V^2 - 0.0005*V + 0.024$	$-4*10^{-8}*V^3 + 1*10^{-5}*V^2 - 0.0007*V + 0.0228$	0.0108
30	$-0.0009*V^3 + 0.1232*V^2 - 5.6789*V + 248.22$	$7*10^{-9}*V^5 - 1*10^{-6}*V^4 + 7*10^{-5}*V^3 - 0.0017*V^2 + 0.0087*V + 0.1889$	$-3*10^{-8}*V^4 + 2*10^{-6}*V^3 + 2*10^{-5}*V^2 - 0.0043*V + 0.0834$	$2*10^{-10}*V^5 - 3*10^{-8}*V^4 + 2*10^{-6}*V^3 - 6*10^{-5}*V^2 + 0.0007*V + 0.0007$
31	$0.0197*V^2 - 1.8177*V + 124.31$	$0.0027*V^2 - 0.2598*V + 13.687$	$5*10^{-7}*V^4 - 9*10^{-5}*V^3 + 0.0052*V^2 - 0.1387*V + 1.7105$	0.0020
32	$-0.0004*V^3 + 0.0544*V^2 - 2.4821*V + 122.36$	$0.0004*V^2 - 0.0387*V + 2.0672$	$0.0004*V^2 - 0.0387*V + 1.8672$	0.0020
33	$-0.0003*V^3 + 0.0447*V^2 - 2.0407*V + 100.61$	$0.0002*V^2 - 0.0243*V + 1.5975$	$0.0002*V^2 - 0.0243*V + 1.4555$	0.0020
34	$-0.0003*V^3 + 0.0432*V^2 - 2.0059*V + 89.98$	$0.0001*V^2 - 0.0092*V + 0.7179$	$0.0001*V^2 - 0.0092*V + 0.5819$	0.0020
35	$-0.0004*V^3 + 0.0518*V^2 - 2.3089*V + 80.468$	$7*10^{-6}*V^2 - 0.0007*V + 0.1423$	0.07982863	0.0020
36	$-0.0004*V^3 + 0.0463*V^2 - 1.9243*V + 74.058$	$1*10^{-5}*V^2 - 0.001*V + 0.1713$	$1*10^{-8}*V^4 - 2*10^{-6}*V^3 + 0.0001*V^2 - 0.0026*V + 0.103$	0.0020

ID	CO2	COV	COVNM	N2O
37	$0.0201*V^2 - 1.9202*V + 154.15$	$0.0002*V^2 - 0.0161*V + 1.0605$	$0.0004*V^2 - 0.0499*V + 3.2152$	0.0020
38	$0.0189*V^2 - 1.7969*V + 142.31$	$0.0002*V^2 - 0.0251*V + 1.9008$	$0.0004*V^2 - 0.0499*V + 3.2152$	0.0020
39	$0.0248*V^2 - 2.3593*V + 181$	$0.0004*V^2 - 0.05*V + 3.5782$	$0.0004*V^2 - 0.05*V + 3.3782$	0.0020
40	$0.0249*V^2 - 2.4257*V + 178.13$	$0.0003*V^2 - 0.0353*V + 1.923$	$0.0003*V^2 - 0.0353*V + 1.831$	0.0020

ID	NOx	PM10	PM2.5	SO2
1	$3*10^{-5}*V^2 + 0.0007*V + 1.7692$	$-0.00000003*V^3 + 0.000002*V^2 - 0.00004*V + 0.0293$	$-0.00000002*V^3 + 0.000001*V^2 - 0.00002*V + 0.0172$	$-0.00000002*V^3 + 0.00003*V^2 - 0.0012*V + 0.0337$
2	$-0.0001*V^2 + 0.0133*V + 1.1619$	$-0.00000003*V^3 + 0.000002*V^2 - 0.00004*V + 0.0293$	$-0.00000002*V^3 + 0.000001*V^2 - 0.00002*V + 0.0172$	$0.000001*V^2 - 0.0002*V + 0.0215$
3	$1*10^{-6}*V^3 + 0.0002*V^2 - 0.026*V + 1.1342$	$-0.00000003*V^3 + 0.000002*V^2 - 0.00003*V + 0.0292$	$-0.00000001*V^3 + 0.0000009*V^2 - 0.00001*V + 0.0171$	$0.000005*V^2 - 0.0005*V + 0.0262$
4	$2*10^{-8}*V^5 - 4*10^{-6}*V^4 + 0.0003*V^3 - 0.0075*V^2 + 0.0766*V + 0.3392$	$-0.00000003*V^3 + 0.000002*V^2 - 0.00003*V + 0.0292$	$-0.00000001*V^3 + 0.0000009*V^2 - 0.00001*V + 0.0171$	$0.000006*V^2 - 0.0005*V + 0.0273$

ID	NOx	PM10	PM2.5	SO2
5	$1*10^{-8}V^5 - 2*10^{-6}V^4 + 0.0001V^3 - 0.0033V^2 + 0.0343V + 0.0602$	$-0.00000003V^3 + 0.000002V^2 - 0.00003V + 0.0273$	$-0.00000002V^3 + 0.000001V^2 - 0.00002V + 0.0152$	$0.000005V^2 - 0.0004V + 0.0263$
6	$6*10^{-9}V^5 - 1*10^{-6}V^4 + 7*10^{-5}V^3 - 0.0019V^2 + 0.0189V + 0.0503$	$-3*10^{-8}V^3 + 2*10^{-6}V^2 - 3*10^{-5}V + 0.0273$	$-2*10^{-8}V^3 + 1*10^{-6}V^2 - 2*10^{-5}V + 0.0152$	$4*10^{-6}V^2 - 0.0004V + 0.0265$
7	$6*10^{-9}V^5 - 1*10^{-6}V^4 + 7*10^{-5}V^3 - 0.0018V^2 + 0.0187V + 0.0264$	$-3*10^{-8}V^3 + 2*10^{-6}V^2 - 5*10^{-5}V + 0.0277$	$-2*10^{-8}V^3 + 2*10^{-6}V^2 - 5*10^{-5}V + 0.0158$	$4*10^{-6}V^2 - 0.0004V + 0.0265$
8	$-0.0021V + 0.5604$	$-0.0015V + 0.2537$	$-0.0015V + 0.2414$	$2*10^{-7}V^2 - 3*10^{-5}V + 0.0036$
9	$-0.0031V + 0.6118$	$-0.0001V + 0.0595$	$-0.0001V + 0.0473$	$4*10^{-7}V^2 - 4*10^{-5}V + 0.0033$
10	$0.00000006V^5 - 0.000001V^4 + 0.00006V^3 - 0.0018V^2 + 0.0183V + 0.0508$	$-0.00000003V^3 + 0.000002V^2 - 0.00003V + 0.0273$	$-0.00000001V^3 + 0.000009V^2 - 0.00001V + 0.0152$	$2*10^{-9}V^2 - 2*10^{-7}V + 2*10^{-5}$
11	$0.005V + 2.1707$	$-0.00000003V^3 + 0.000002V^2 - 0.00004V + 0.0293$	$-0.00000002V^3 + 0.000001V^2 - 0.00002V + 0.0172$	$0.000006V^2 - 0.0005V + 0.0327$
12	$-9*10^{-5}V^2 + 0.0111V + 0.9805$	$-0.00000003V^3 + 0.000002V^2 - 0.00004V + 0.0293$	$-0.00000002V^3 + 0.000001V^2 - 0.00002V + 0.0172$	$0.000002V^2 - 0.0002V + 0.0261$
13	$3*10^{-8}V^5 - 6*10^{-6}V^4 + 0.0004V^3 - 0.0099V^2 + 0.0983V + 0.6382$	$-0.00000003V^3 + 0.000002V^2 - 0.00003V + 0.0292$	$-0.00000001V^3 + 0.000009V^2 - 0.00001V + 0.0171$	$0.000006V^2 - 0.0005V + 0.031$
14	$2*10^{-8}V^5 - 4*10^{-6}V^4 + 0.0003V^3 - 0.0073V^2 + 0.0741V + 0.341$	$-0.00000003V^3 + 0.000002V^2 - 0.00003V + 0.0292$	$-0.00000001V^3 + 0.000009V^2 - 0.00001V + 0.0171$	$0.000008V^2 - 0.0007V + 0.0337$
15	$1*10^{-8}V^5 - 2*10^{-6}V^4 + 0.0001V^3 - 0.0032V^2 + 0.033V + 0.0743$	$-0.00000003V^3 + 0.000002V^2 - 0.00003V + 0.0273$	$-0.00000001V^3 + 0.000009V^2 - 0.00001V + 0.0152$	$0.000006V^2 - 0.0006V + 0.032$
16	$-1*10^{-6}V^3 + 0.0002V^2 - 0.0098V + 0.2027$	$-3*10^{-8}V^3 + 2*10^{-6}V^2 - 3*10^{-5}V + 0.0273$	$-2*10^{-8}V^3 + 1*10^{-6}V^2 - 2*10^{-5}V + 0.0152$	$5*10^{-6}V^2 - 0.0005V + 0.0311$
17	$-0.0021V + 0.5604$	$-0.0015V + 0.2537$	$-0.0015V + 0.2414$	$2*10^{-7}V^2 - 3*10^{-5}V + 0.0036$
18	$0.0001V^2 - 0.0126V + 0.8872$	$-0.0002V + 0.0777$	$-0.0002V + 0.0655$	$4*10^{-7}V^2 - 4*10^{-5}V + 0.0035$
19	$0.0001V^2 - 0.0095V + 0.9018$	$-0.0001V + 0.0612$	$0.000002V^2 - 0.0003V + 0.0508$	$4*10^{-7}V^2 - 4*10^{-5}V + 0.0033$
20	$-0.003V + 0.6096$	$-0.0001V + 0.0595$	$-0.0001V + 0.0473$	$4*10^{-7}V^2 - 4*10^{-5}V + 0.0033$
21	$5*10^{-5}V^2 - 0.0061V + 0.6548$	$-4*10^{-8}V^3 + 4*10^{-6}V^2 - 0.0001V + 0.0298$	$-3*10^{-8}V^3 + 3*10^{-6}V^2 - 0.0001V + 0.018$	$4*10^{-7}V^2 - 4*10^{-5}V + 0.0033$

ID	NOx	PM10	PM2.5	SO2
22	$0.000000006 \cdot V^5 - 0.000001 \cdot V^4 + 0.00006 \cdot V^3 - 0.0018 \cdot V^2 + 0.0183 \cdot V + 0.0508$	$-0.00000003 \cdot V^3 + 0.000002 \cdot V^2 - 0.00003 \cdot V + 0.0273$	$-0.00000001 \cdot V^3 + 0.0000009 \cdot V^2 - 0.00001 \cdot V + 0.0152$	$2 \cdot 10^{-9} \cdot V^2 - 2 \cdot 10^{-7} \cdot V + 2 \cdot 10^{-5}$
23	$8 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0.004 \cdot V + 2.4837$	$-0.00000003 \cdot V^3 + 0.000002 \cdot V^2 - 0.00004 \cdot V + 0.0293$	$-0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0172$	$0.000008 \cdot V^2 - 0.0008 \cdot V + 0.0422$
24	$1 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 + 0.0002 \cdot V^2 - 0.0206 \cdot V + 1.0145$	$-0.00000003 \cdot V^3 + 0.000002 \cdot V^2 - 0.00003 \cdot V + 0.0292$	$-0.00000001 \cdot V^3 + 0.0000009 \cdot V^2 - 0.00001 \cdot V + 0.0171$	$0.000006 \cdot V^2 - 0.0006 \cdot V + 0.0389$
25	$2 \cdot 10^{-8} \cdot V^5 - 3 \cdot 10^{-6} \cdot V^4 + 0.0002 \cdot V^3 - 0.0055 \cdot V^2 + 0.056 \cdot V + 0.3482$	$-0.00000003 \cdot V^3 + 0.000002 \cdot V^2 - 0.00003 \cdot V + 0.0292$	$-0.00000001 \cdot V^3 + 0.0000009 \cdot V^2 - 0.00001 \cdot V + 0.0171$	$-0.0000006 \cdot V^3 + 0.00007 \cdot V^2 - 0.0026 \cdot V + 0.0592$
26	$8 \cdot 10^{-9} \cdot V^5 - 1 \cdot 10^{-6} \cdot V^4 + 9 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 - 0.0024 \cdot V^2 + 0.025 \cdot V + 0.0769$	$-0.00000003 \cdot V^3 + 0.000002 \cdot V^2 - 0.00003 \cdot V + 0.0273$	$-0.00000001 \cdot V^3 + 0.0000009 \cdot V^2 - 0.00001 \cdot V + 0.0152$	$0.000007 \cdot V^2 - 0.0006 \cdot V + 0.0384$
27	$0.00004 \cdot V^2 - 0.0051 \cdot V + 0.9079$	$-0.0015 \cdot V + 0.2537$	$-0.0015 \cdot V + 0.2414$	$2 \cdot 10^{-7} \cdot V^2 - 3 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0.0036$
28	$0.0001 \cdot V^2 - 0.0126 \cdot V + 0.8872$	$-0.0002 \cdot V + 0.0777$	$-0.0002 \cdot V + 0.0655$	$6 \cdot 10^{-7} \cdot V^2 - 5 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0.0045$
29	$-0.003 \cdot V + 0.6096$	$-0.0001 \cdot V + 0.0595$	$-0.0001 \cdot V + 0.0473$	$6 \cdot 10^{-7} \cdot V^2 - 5 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0.0045$
30	$0.000000006 \cdot V^5 - 0.000001 \cdot V^4 + 0.00006 \cdot V^3 - 0.0018 \cdot V^2 + 0.0183 \cdot V + 0.0508$	$-0.00000003 \cdot V^3 + 0.000002 \cdot V^2 - 0.00003 \cdot V + 0.0273$	$-0.00000001 \cdot V^3 + 0.0000009 \cdot V^2 - 0.00001 \cdot V + 0.0152$	$2 \cdot 10^{-9} \cdot V^2 - 2 \cdot 10^{-7} \cdot V + 2 \cdot 10^{-5}$
31	$2 \cdot 10^{-8} \cdot V^4 - 3 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 + 0.0001 \cdot V^2 - 0.0032 \cdot V + 0.0536$	$-0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.2117$	$0.000000001 \cdot V^4 - 0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.2062$	$0.000002 \cdot V^2 - 0.0002 \cdot V + 0.0133$
32	$-7 \cdot 10^{-7} \cdot V^3 + 9 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0.0023 \cdot V + 0.346$	$-0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0317$	$0.000000001 \cdot V^4 - 0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0262$	$0.000002 \cdot V^2 - 0.0002 \cdot V + 0.0124$
33	$-1 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 + 0.0001 \cdot V^2 - 0.0036 \cdot V + 0.3786$	$-0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0317$	$0.000000001 \cdot V^4 - 0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0262$	$0.000001 \cdot V^2 - 0.0001 \cdot V + 0.0102$
34	$-7 \cdot 10^{-7} \cdot V^3 + 1 \cdot 10^{-4} \cdot V^2 - 0.0036 \cdot V + 0.3232$	$-2 \cdot 10^{-8} \cdot V^3 + 1 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 - 2 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0.0167$	$-8 \cdot 10^{-9} \cdot V^3 + 5 \cdot 10^{-7} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0.0112$	$1 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 - 0.0001 \cdot V + 0.0091$
35	$-4 \cdot 10^{-7} \cdot V^3 + 5 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0.0025 \cdot V + 0.1004$	$-2 \cdot 10^{-8} \cdot V^3 + 1 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 - 2 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0.0167$	$-8 \cdot 10^{-9} \cdot V^3 + 5 \cdot 10^{-7} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0.0112$	$2 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 - 0.0001 \cdot V + 0.0078$
36	$4 \cdot 10^{-9} \cdot V^4 - 6 \cdot 10^{-7} \cdot V^3 + 3 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0.0006 \cdot V + 0.0363$	$-2 \cdot 10^{-8} \cdot V^3 + 1 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 - 2 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0.0167$	$-8 \cdot 10^{-9} \cdot V^3 + 5 \cdot 10^{-7} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0.0112$	$1 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 - 1 \cdot 10^{-4} \cdot V + 0.0072$
37	$-5 \cdot 10^{-7} \cdot V^3 + 7 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0.0021 \cdot V + 0.3171$	$-0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0317$	$0.000000001 \cdot V^4 - 0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0262$	$0.000002 \cdot V^2 - 0.0002 \cdot V + 0.0169$
38	$-2 \cdot 10^{-7} \cdot V^3 + 4 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0.0012 \cdot V + 0.3022$	$-0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0317$	$0.000000001 \cdot V^4 - 0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0262$	$0.000002 \cdot V^2 - 0.0002 \cdot V + 0.0156$

ID	NOx	PM10	PM2.5	SO2
39	$1 \cdot 10^{-9} \cdot V^5 - 2 \cdot 10^{-7} \cdot V^4 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot V^3 - 0.0006 \cdot V^2 + 0.0104 \cdot V + 0.0698$	$-0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0317$	$0.000000001 \cdot V^4 - 0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0262$	$0.000003 \cdot V^2 - 0.0003 \cdot V + 0.0198$
40	$3 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0.0022 \cdot V + 0.2066$	$-0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0317$	$0.000000001 \cdot V^4 - 0.00000002 \cdot V^3 + 0.000001 \cdot V^2 - 0.00002 \cdot V + 0.0262$	$0.000003 \cdot V^2 - 0.0003 \cdot V + 0.0195$

Tabla de factores de emisión según el tipo de vehículo para escenario de renovación de transporte público (Únicamente aquellos que cambian).

Categoría vehicular	Combustible	Subcategoría	Tecnología	% de de vehículos por categoría vehicular	ID	BC	CH4	CO
Buses	Diesel	<=15000	Euro I	6.3%	1	$3 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0.0029 \cdot V + 0.2248$	0.1750	$0.0004 \cdot V^2 - 0.037 \cdot V + 2.2938$
			Euro II	12.5%	2	$1 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 - 0.0013 \cdot V + 0.122$	0.1138	$0.0004 \cdot V^2 - 0.0394 \cdot V + 2.128$

		Euro III	29.6%	3	$2 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0016 \cdot V + 0.1199$	0.1033	$0.0004 \cdot V^2 - 0.04 \cdot V + 2.0977$
		Euro IV	16.0%	4	$3 \cdot 10^{-06} \cdot V^2 - 0.0003 \cdot V + 0.0378$	0.0053	$0.0002 \cdot V^2 - 0.0176 \cdot V + 1.1006$
		Euro V	22.8%	5	$5 \cdot 10^{-06} \cdot V^2 - 0.0005 \cdot V + 0.0445$	0.0053	$2 \cdot 10^{-06} \cdot V^4 - 0.0003 \cdot V^3 + 0.0159 \cdot V^2 - 0.357 \cdot V + 4.3911$
	Gas natural	Euro III / EEV	9.6%	6	$-3 \cdot 10^{-09} \cdot V^3 + 2 \cdot 10^{-07} \cdot V^2 - 3 \cdot 10^{-06} \cdot V + 0.0032$	1.2800	1
	Electrico	Electrico	3.1%	7			

ID	CO2	COV	COVNM	N2O
1	$-0.0029 \cdot V^3 + 0.3868 \cdot V^2 - 18.072 \cdot V + 1101.4$	$-3 \cdot 10^{-06} \cdot V^3 + 0.0005 \cdot V^2 - 0.022 \cdot V + 0.7333$	$0.0001 \cdot V^2 - 0.0115 \cdot V + 0.4644$	0.0120
2	$-0.0025 \cdot V^3 + 0.3392 \cdot V^2 - 15.932 \cdot V + 1057.8$	$-3 \cdot 10^{-06} \cdot V^3 + 0.0004 \cdot V^2 - 0.0169 \cdot V + 0.5175$	$8 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0082 \cdot V + 0.3254$	0.0120
3	$-0.0027 \cdot V^3 + 0.3681 \cdot V^2 - 17.258 \cdot V + 1115.2$	$-3 \cdot 10^{-06} \cdot V^3 + 0.0003 \cdot V^2 - 0.0152 \cdot V + 0.4678$	$8 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0074 \cdot V + 0.2948$	0.0060
4	$-0.0015 \cdot V^3 + 0.2065 \cdot V^2 - 10.017 \cdot V + 1021.4$	$6 \cdot 10^{-06} \cdot V^2 - 0.0006 \cdot V + 0.0616$	$-2 \cdot 10^{-07} \cdot V^3 + 3 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0012 \cdot V + 0.0617$	0.0128
5	$-0.0035 \cdot V^3 + 0.4209 \cdot V^2 - 17.095 \cdot V + 1045.6$	$-6 \cdot 10^{-07} \cdot V^3 + 7 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0026 \cdot V + 0.0679$	$-6 \cdot 10^{-07} \cdot V^3 + 7 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0026 \cdot V + 0.0626$	0.0332
6	1274.15	1.3000	0.0200	1.0000
7				

ID	NOx	PM10	PM2.5	SO2
1	$-3 \cdot 10^{-05} \cdot V^3 + 0.0044 \cdot V^2 - 0.2001 \cdot V + 11.822$	$4 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0043 \cdot V + 0.4395$	$5 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0044 \cdot V + 0.3909$	$-5 \cdot 10^{-08} \cdot V^3 + 6 \cdot 10^{-06} \cdot V^2 - 0.0003 \cdot V + 0.0176$
2	$-4 \cdot 10^{-05} \cdot V^3 + 0.0051 \cdot V^2 - 0.2314 \cdot V + 12.713$	$-8 \cdot 10^{-07} \cdot V^3 + 9 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0042 \cdot V + 0.3024$	$-7 \cdot 10^{-07} \cdot V^3 + 9 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0041 \cdot V + 0.2519$	$-4 \cdot 10^{-08} \cdot V^3 + 5 \cdot 10^{-06} \cdot V^2 - 0.0003 \cdot V + 0.0169$
3	$-6 \cdot 10^{-05} \cdot V^3 + 0.0076 \cdot V^2 - 0.3333 \cdot V + 11.838$	$-9 \cdot 10^{-07} \cdot V^3 + 0.0001 \cdot V^2 - 0.0048 \cdot V + 0.2895$	$2 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0022 \cdot V + 0.2166$	$-4 \cdot 10^{-08} \cdot V^3 + 6 \cdot 10^{-06} \cdot V^2 - 0.0003 \cdot V + 0.0178$
4	$0.0006 \cdot V^2 - 0.0585 \cdot V + 6.1735$	$-2 \cdot 10^{-07} \cdot V^3 + 2 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.001 \cdot V + 0.1515$	$-2 \cdot 10^{-07} \cdot V^3 + 2 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0009 \cdot V + 0.1009$	$9 \cdot 10^{-07} \cdot V^2 - 9 \cdot 10^{-05} \cdot V + 0.0156$
5	$4 \cdot 10^{-06} \cdot V^4 - 0.0005 \cdot V^3 + 0.029 \cdot V^2 - 0.7076 \cdot V + 8.9645$	$-2 \cdot 10^{-07} \cdot V^3 + 2 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0009 \cdot V + 0.1571$	$-9 \cdot 10^{-08} \cdot V^3 + 1 \cdot 10^{-05} \cdot V^2 - 0.0008 \cdot V + 0.1069$	$-6 \cdot 10^{-08} \cdot V^3 + 7 \cdot 10^{-06} \cdot V^2 - 0.0003 \cdot V + 0.0167$
6	10.0000	$-1 \cdot 10^{-07} \cdot V^3 + 8 \cdot 10^{-06} \cdot V^2 - 0.0001 \cdot V + 0.1116$	$-5 \cdot 10^{-08} \cdot V^3 + 3 \cdot 10^{-06} \cdot V^2 - 6 \cdot 10^{-05} \cdot V + 0.0612$	0.0001
7				



## B. Anexo: Actividad vehicular

Tabla de VKT por hora del día según categoría vehicular para el escenario base 2017

Hora	VKT por categoría vehicular						
	Livianos	TPC	C2	C2+	Moto	Taxi O	Taxi D
04:45-05:45	29706.0	6273.6	2344.3	2213.2	37623.9	3477.5	5302.6
05:45-06:45	80688.3	15174.7	4390.1	4700.2	99898.4	7582.1	11185.5
06:45-07:45	116169.9	17990.2	6522.6	5277.2	116329.7	11475.0	16833.7
07:45-08:45	92104.8	17657.3	7181.5	5958.3	89480.9	12135.8	17312.6
08:45-09:45	82408.0	16093.8	8023.9	7822.1	78075.9	12284.6	17894.5
09:45-10:45	86047.1	14648.6	8363.9	8151.5	79720.8	13714.3	19503.8
10:45-11:45	99610.0	16093.4	8961.8	7553.9	89703.4	14467.4	20724.5
11:45-12:45	123122.1	17251.5	7064.1	6097.9	127187.4	15159.5	21981.0
12:45-13:45	112732.9	17004.9	7437.7	5951.7	114165.0	14085.0	20304.7
13:45-14:45	106856.7	17699.5	7921.0	6364.6	119752.1	15085.4	21965.1
14:45-15:45	94604.4	17053.9	7819.9	5426.1	102621.7	14802.2	21044.8
15:45-16:45	99663.7	15974.8	7946.3	6066.5	108185.2	14054.8	19656.9
16:45-17:45	120154.0	15725.6	6748.2	4994.2	131303.2	14942.7	20986.3
17:45-18:45	139046.8	16229.6	6103.9	3353.5	141698.5	14914.8	21007.8
18:45-19:45	100510.4	14953.8	6189.7	2990.7	97474.5	12268.4	17590.2
19:45-20:45	65417.2	12692.7	4133.1	2043.1	70701.4	11162.6	16100.9
20:45-21:45	46378.5	8968.9	2732.7	1176.2	62533.3	9416.3	13309.4
21:45-22:45	35607.8	6387.5	2842.1	593.8	43783.7	7212.2	10364.8
22:45-23:45	29586.1	4452.4	1729.5	573.2	22841.5	4561.8	7231.6
23:45-00:45	22376.1	1671.9	1088.2	749.6	9510.4	3766.7	5959.4
00:45-01:45	21546.9	1059.2	644.6	438.0	5852.8	2782.7	4258.0
01:45-02:45	18112.9	603.5	293.4	424.7	5364.8	1610.4	2474.7
02:45-03:45	16504.8	799.5	459.4	498.2	8295.4	1453.7	2144.4
03:45-04:45	23005.8	2055.4	1028.1	294.1	14096.6	1902.8	2787.3

Tabla de VKT por hora del día según categoría vehicular para los escenarios de proyección 2030

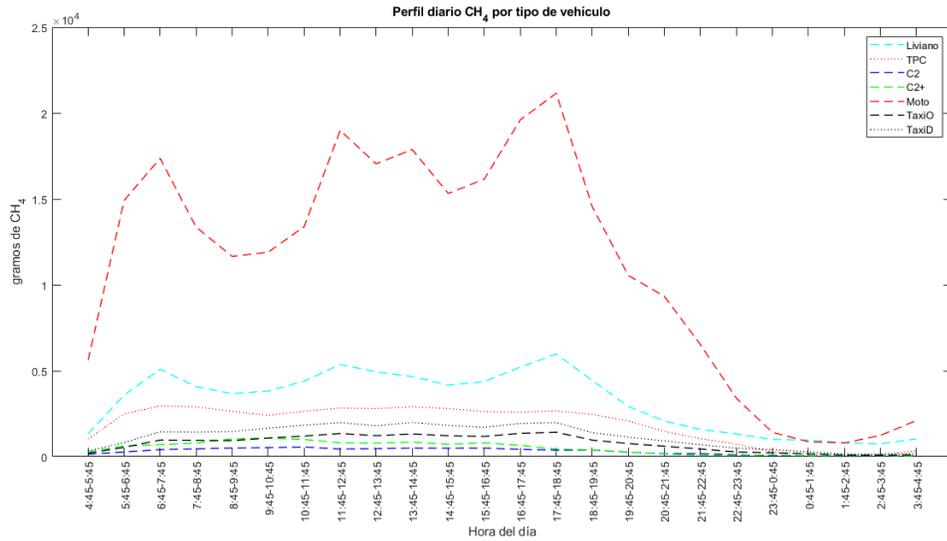
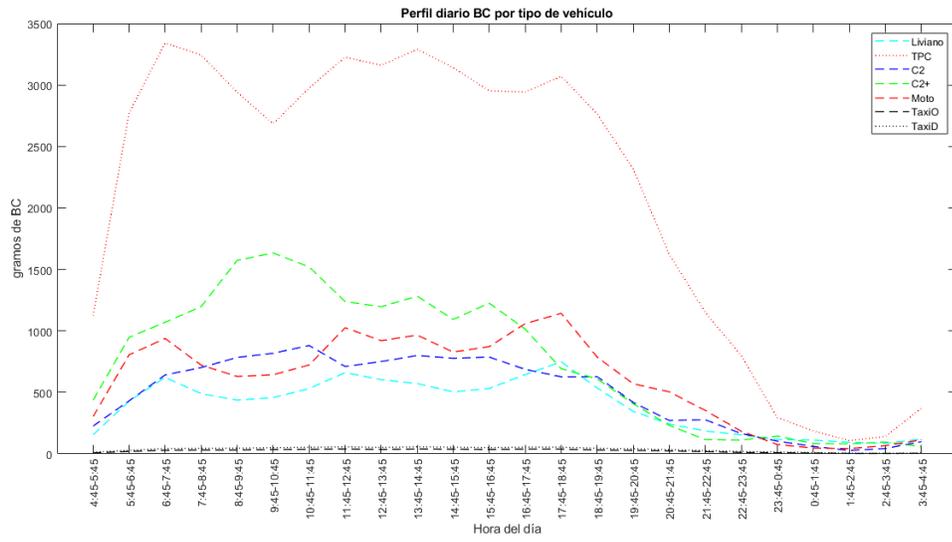
Hora	VKT por categoría vehicular						
	Livianos	TPC	C2	C2+	Moto	Taxi O	Taxi D
04:45- 05:45	52457.4	6273.6	2565.4	2432.2	61650.3	4047.5	6321.3
05:45- 06:45	143986.0	15174.7	4901.1	5196.5	168552.3	8828.8	13575.2
06:45- 07:45	207979.4	17990.2	7344.2	5820.8	196870.2	13290.6	20797.0
07:45- 08:45	165241.6	17657.3	7998.6	6565.6	150515.1	14071.1	21723.7
08:45- 09:45	147895.7	16093.8	8872.3	8599.0	131265.9	14165.0	22477.4
09:45- 10:45	153972.6	14648.6	9248.6	9016.8	133825.6	15832.4	24810.1
10:45- 11:45	178549.1	16093.4	9917.9	8342.6	151262.5	16700.7	26263.4
11:45- 12:45	221697.3	17251.5	7723.0	6714.1	215207.2	17603.6	27197.1
12:45- 13:45	202826.6	17004.9	8080.9	6560.4	191043.4	16414.1	25035.6
13:45- 14:45	192961.0	17699.5	8530.1	7076.8	199871.8	17450.3	27407.0
14:45- 15:45	170326.2	17053.9	8574.7	6009.7	170773.6	17212.4	26305.2
15:45- 16:45	179328.6	15974.8	8781.1	6702.3	179782.5	16380.4	24667.3
16:45- 17:45	216067.8	15725.6	7305.3	5539.2	219200.9	17392.7	26358.9
17:45- 18:45	250095.2	16229.6	6599.3	3725.8	236804.1	17423.3	26090.5
18:45- 19:45	180711.1	14953.8	6634.3	3331.5	162515.5	14387.6	21357.4
19:45- 20:45	117506.1	12692.7	4271.1	2261.2	118276.6	13103.3	19433.5

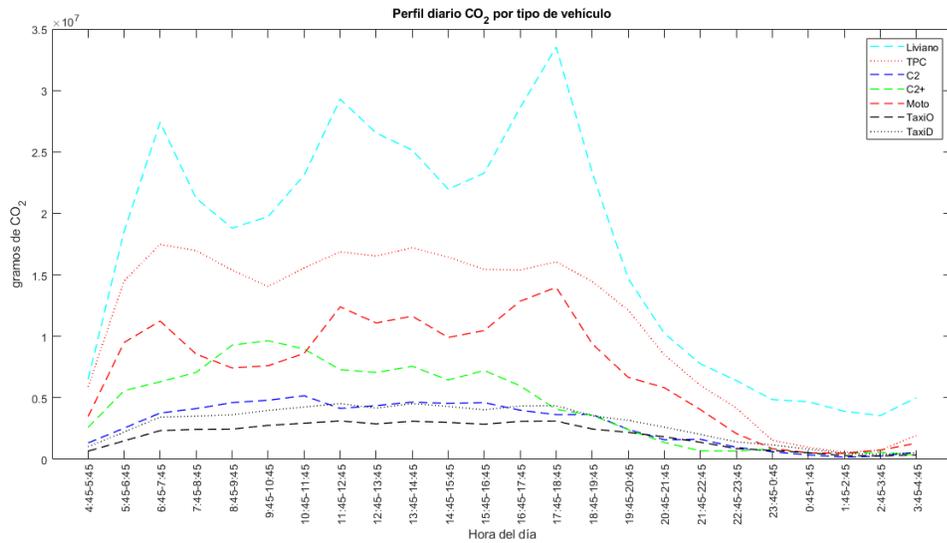
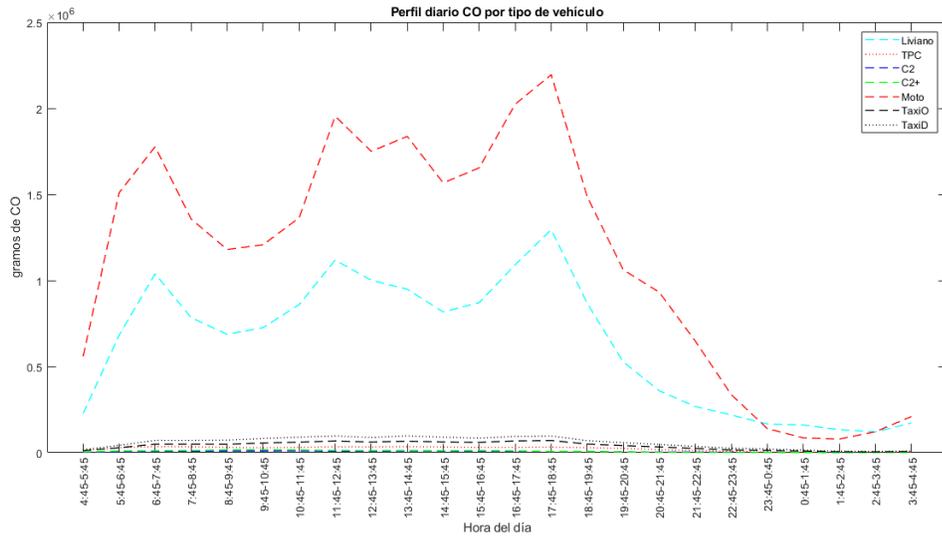
20:45- 21:45	83551.9	8968.9	2797.8	1304.3	105461.9	11028.3	16391.9
21:45- 22:45	64331.5	6387.5	2990.3	660.2	73671.7	8387.2	12875.1
22:45- 23:45	53280.1	4452.4	1902.7	643.5	37821.7	5149.2	9068.1
23:45- 00:45	39908.7	1671.9	1211.8	852.4	15077.5	4232.8	7566.2
00:45- 01:45	38348.9	1059.2	729.4	496.6	9207.2	3149.7	5429.0
01:45- 02:45	32299.2	603.5	305.0	482.0	8605.7	1829.6	3119.1
02:45- 03:45	29362.1	799.5	513.6	562.5	12914.4	1672.5	2688.6
03:45- 04:45	40474.3	2055.4	1115.6	322.2	21360.9	2203.4	3460.9

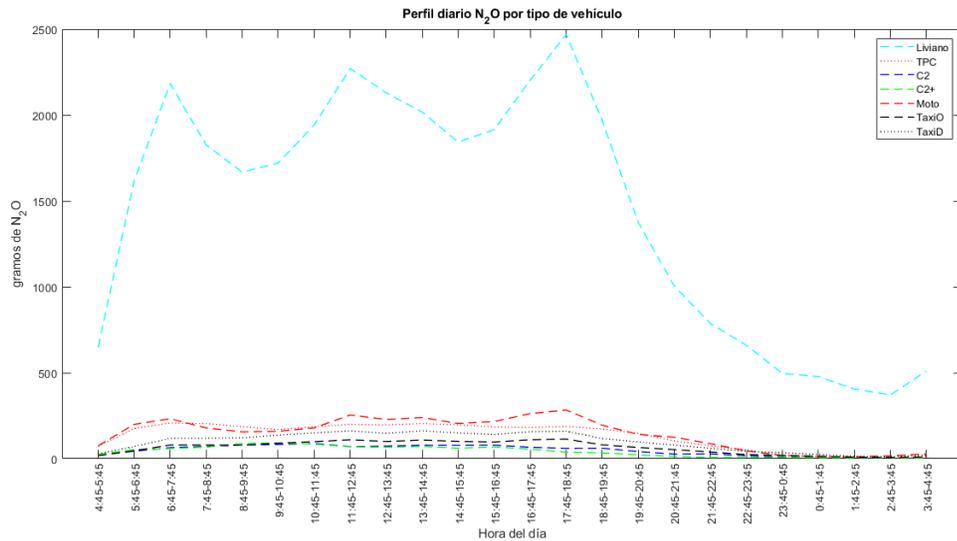
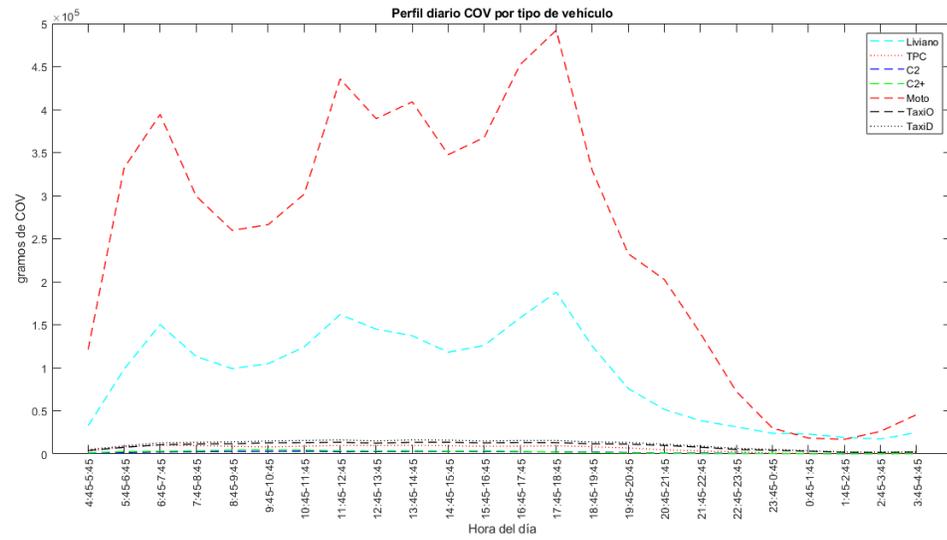
## C. Anexo: Gráficas

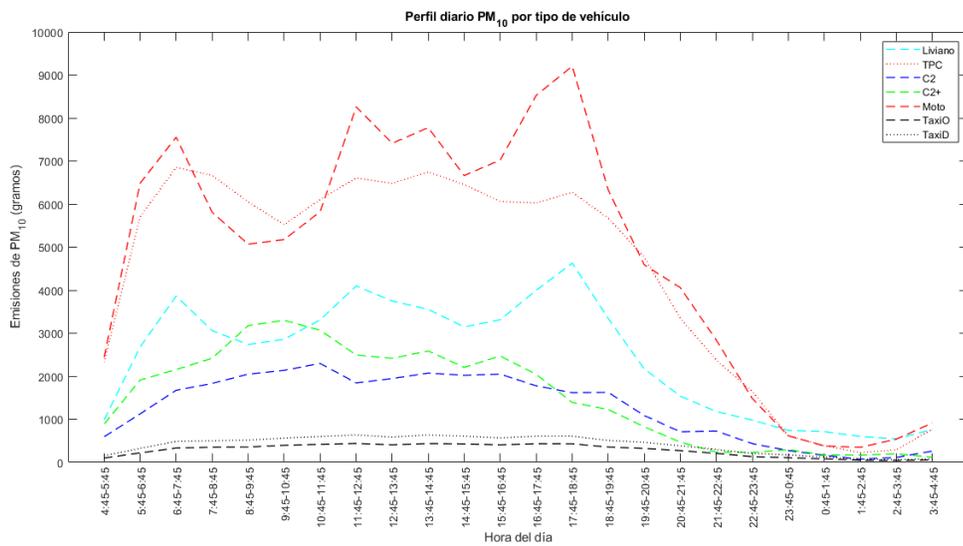
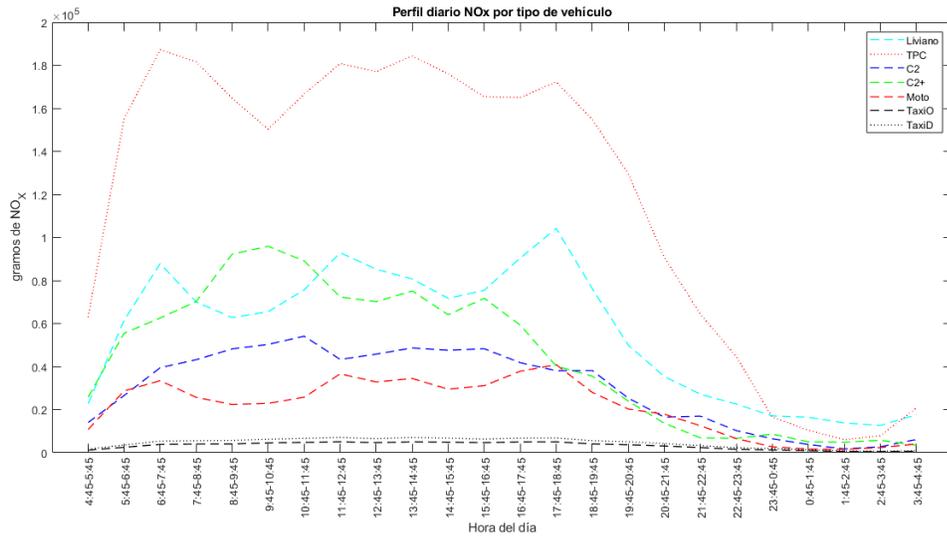
Perfiles diarios de contaminación según tipología vehicular para cada escenario de evaluado.

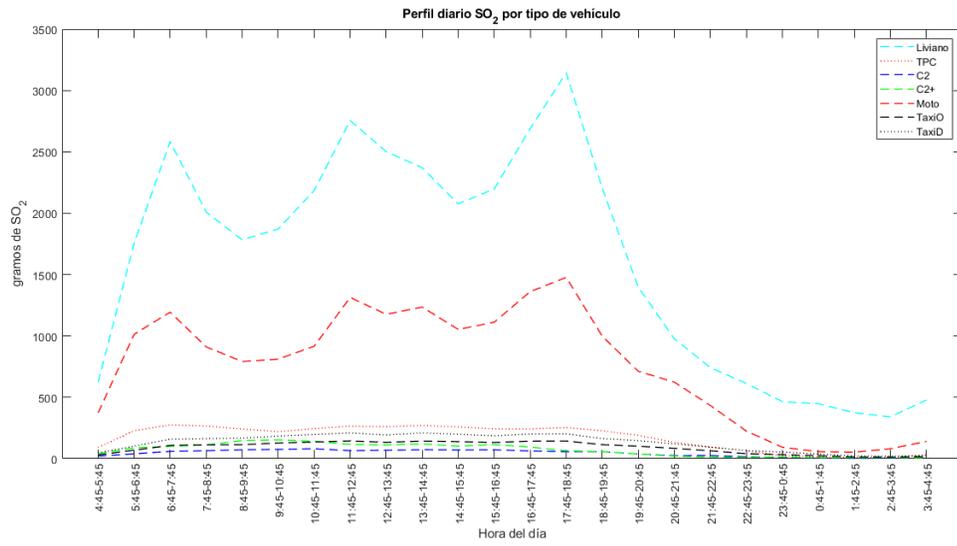
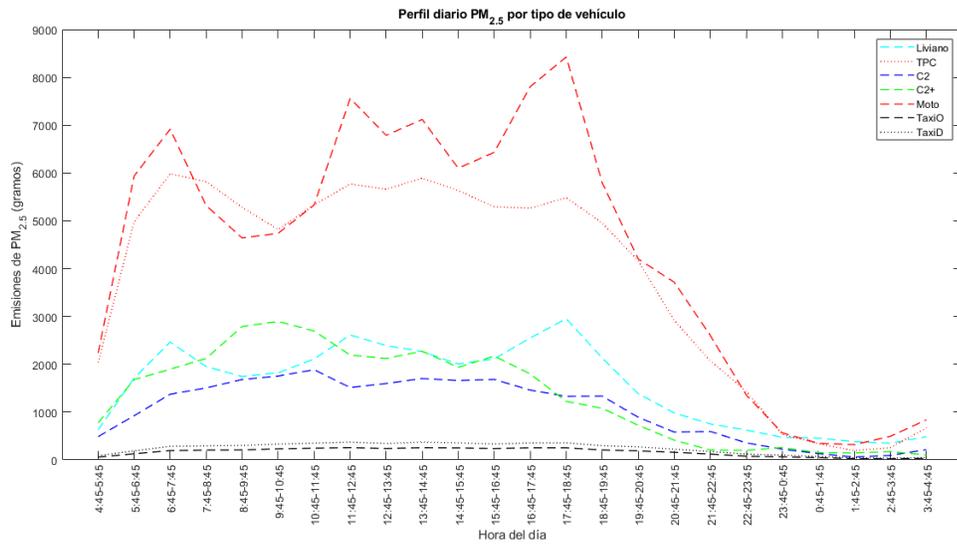
### Escenario Base



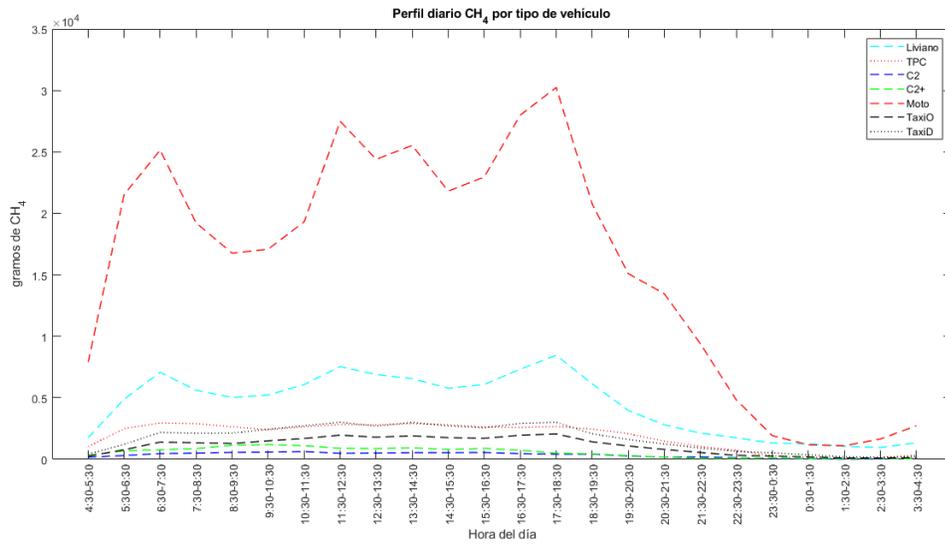
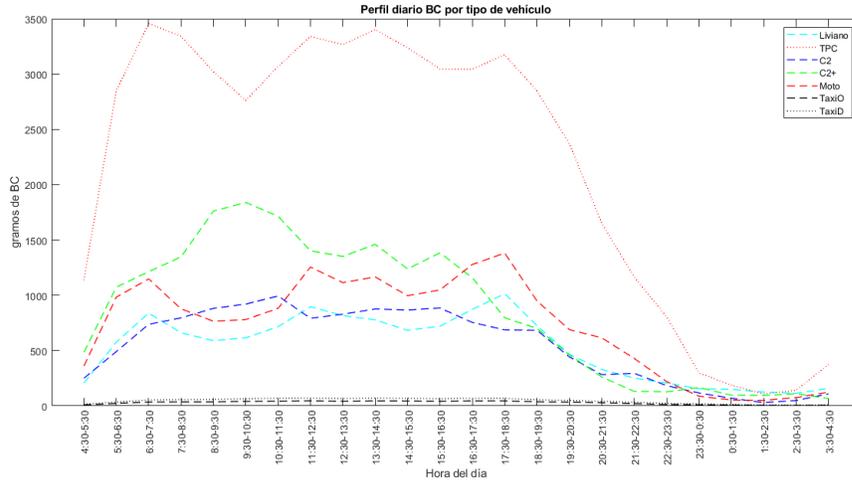


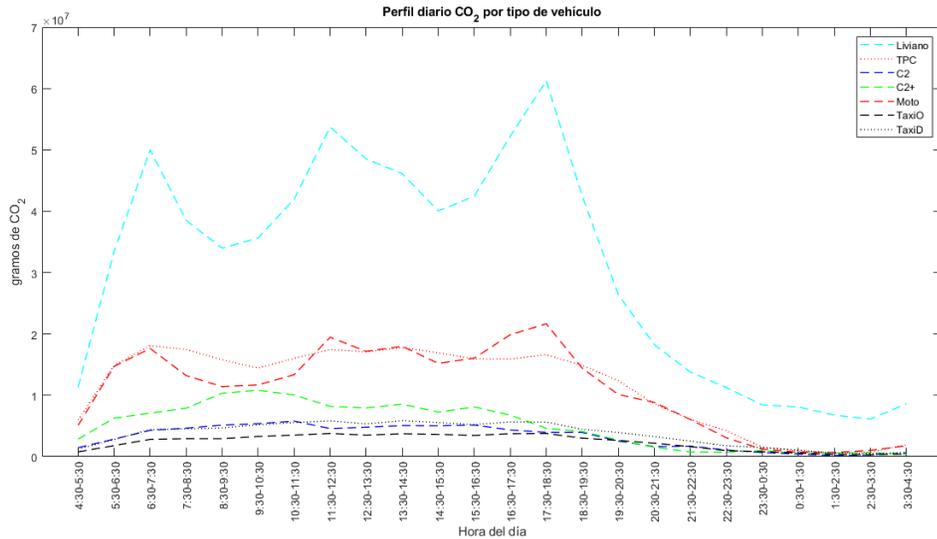
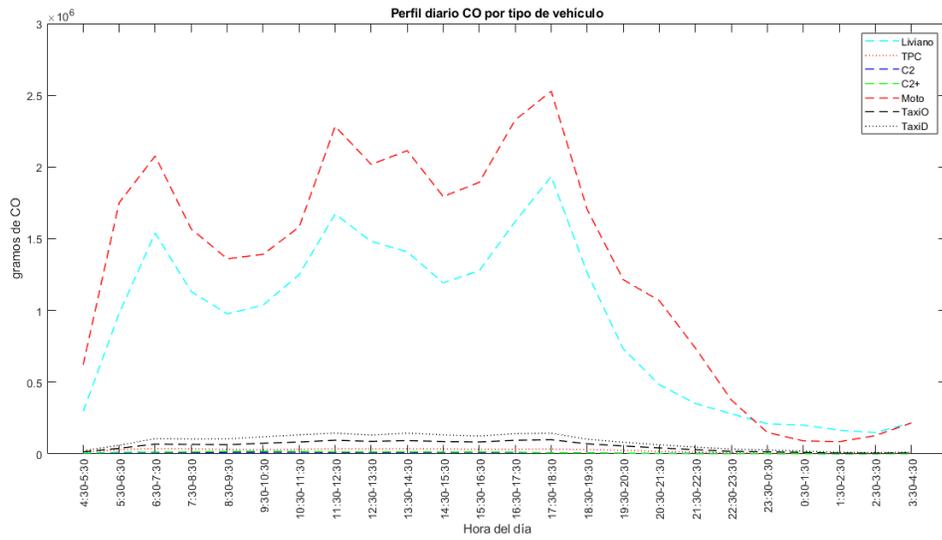


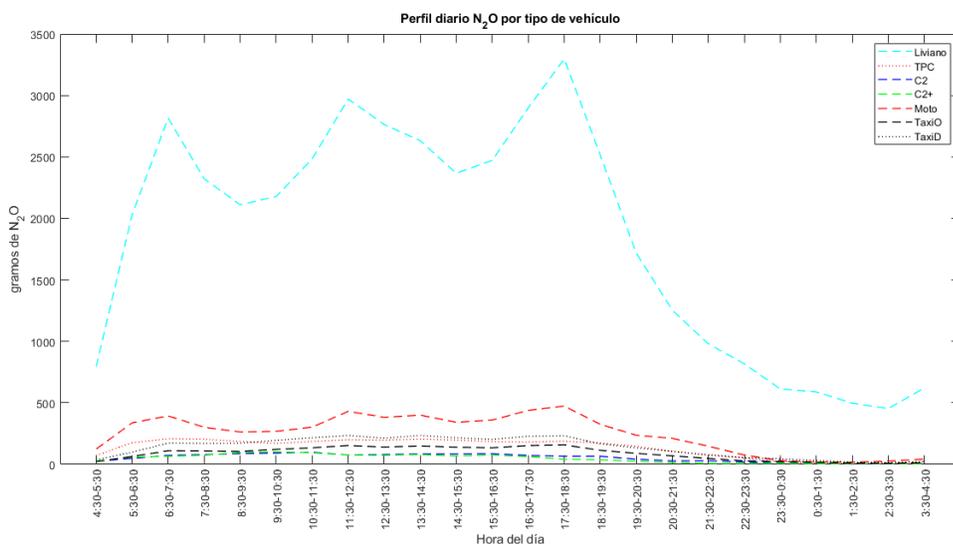
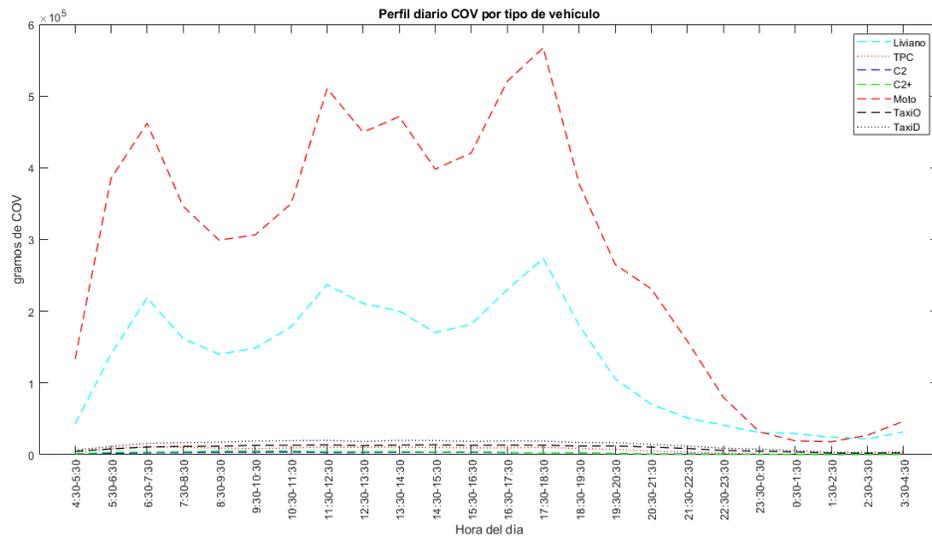


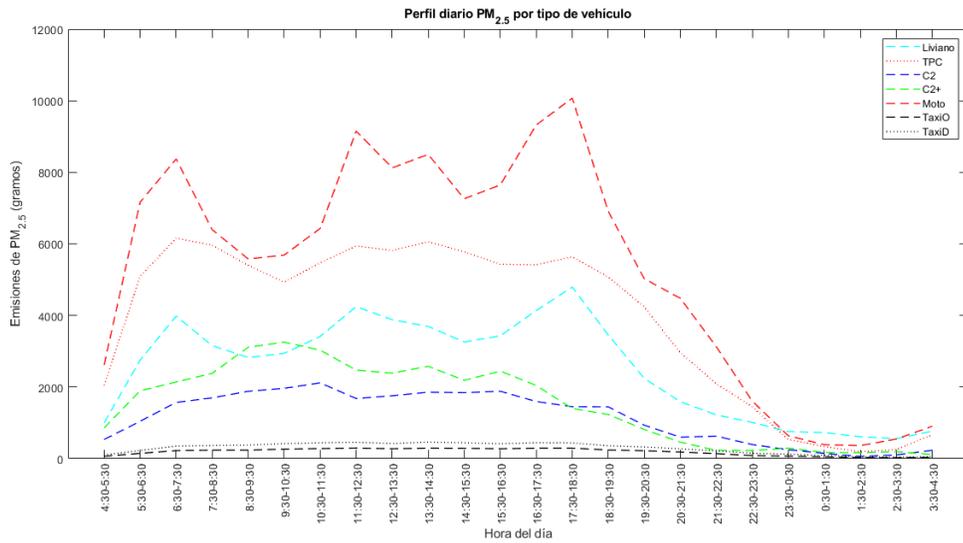
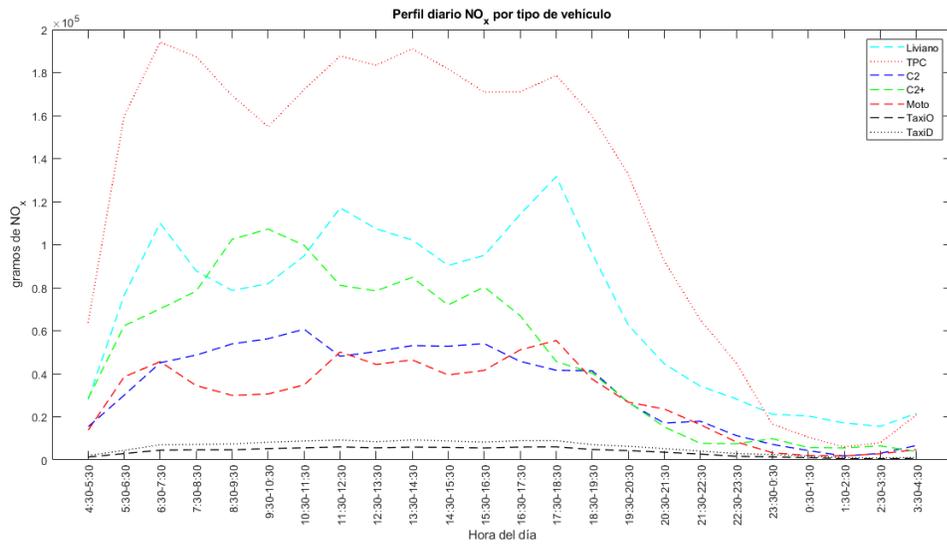


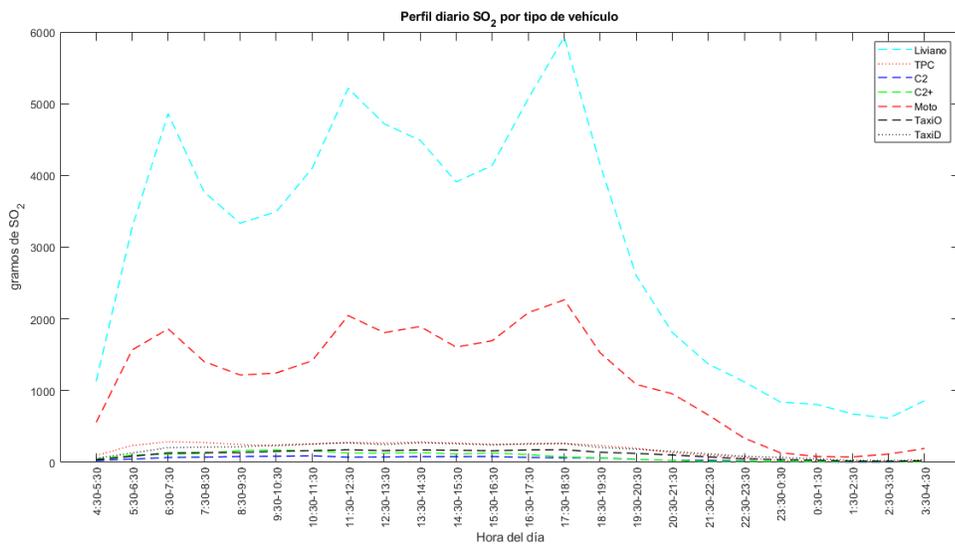
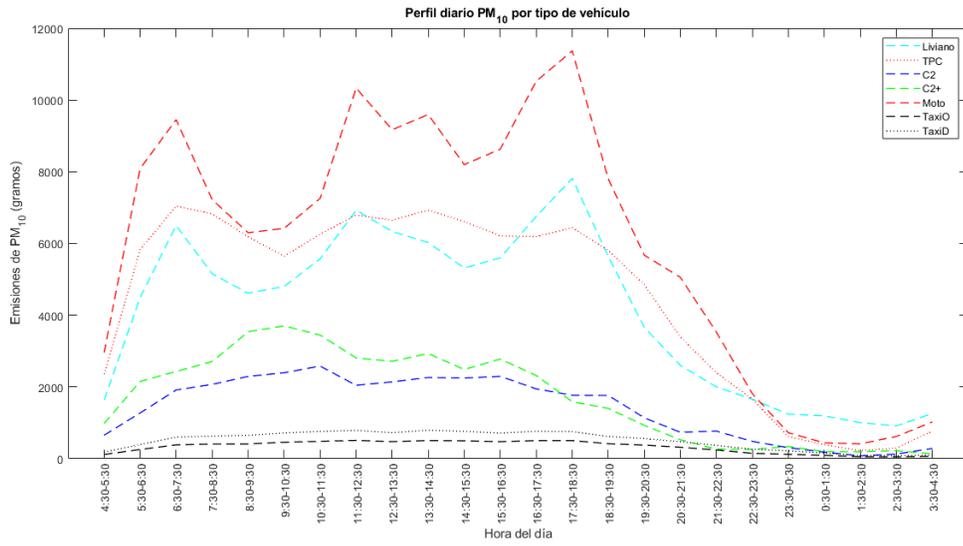
Escenario BAU



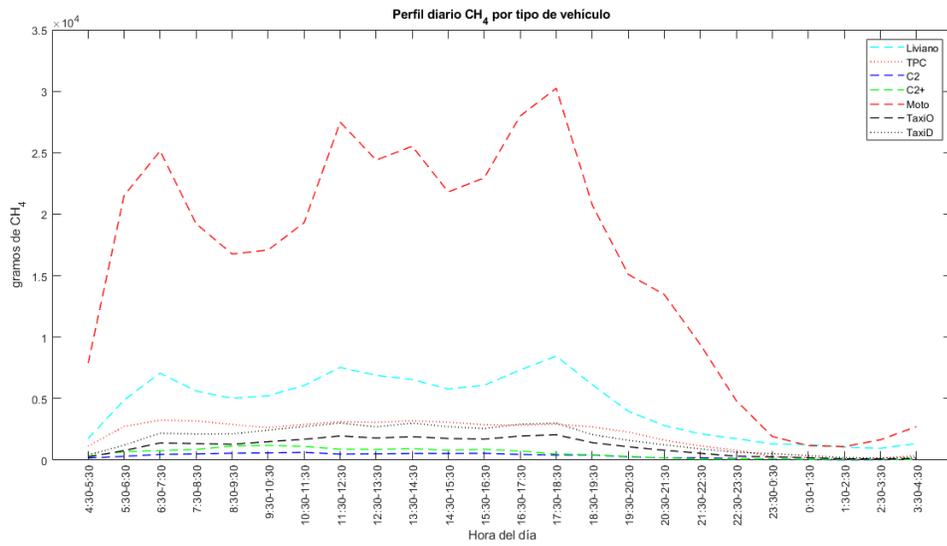
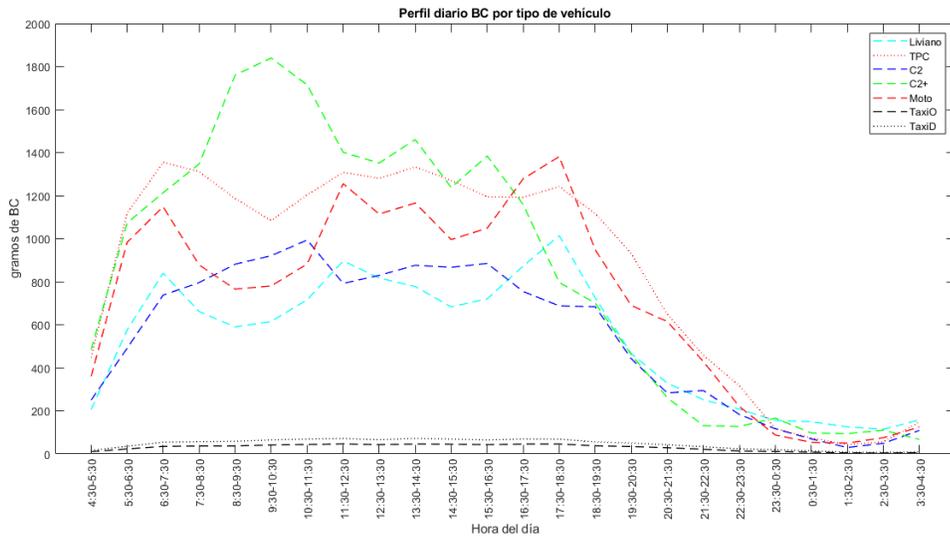


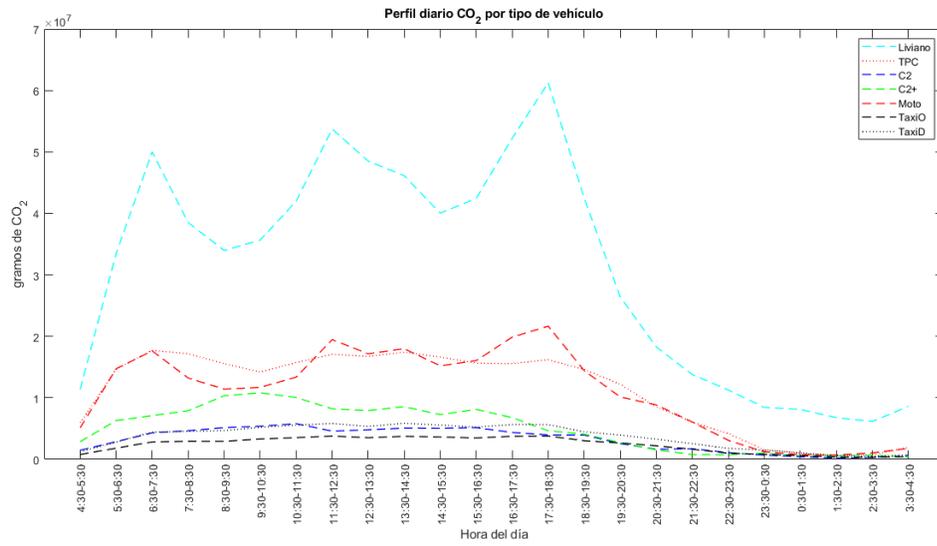
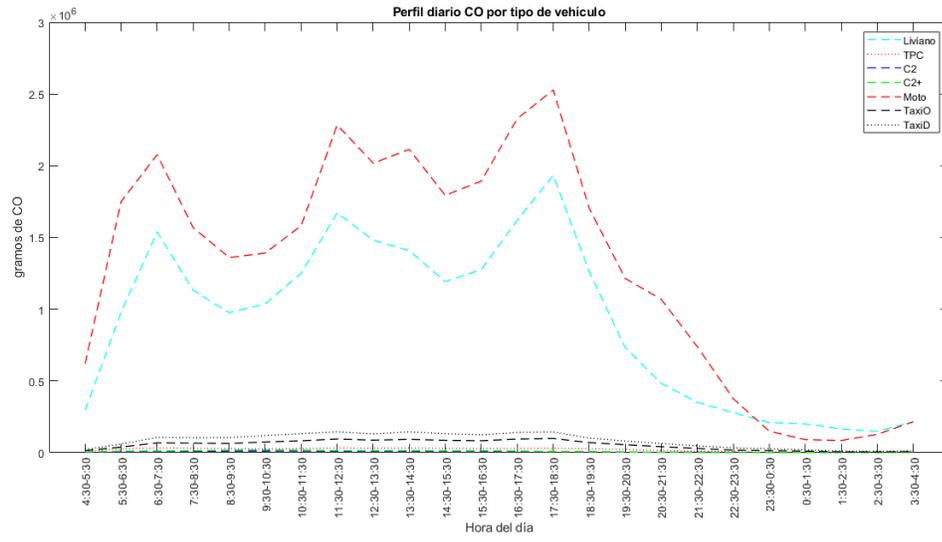


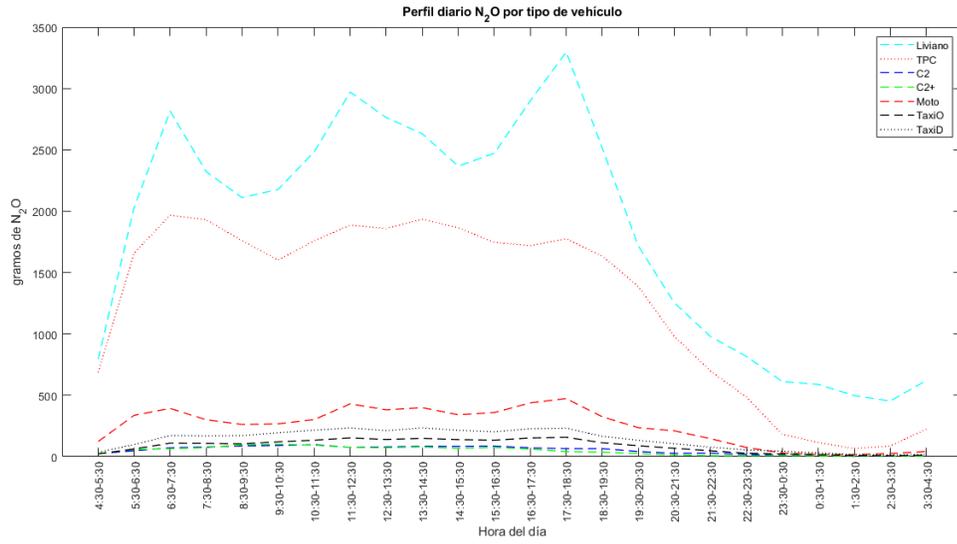
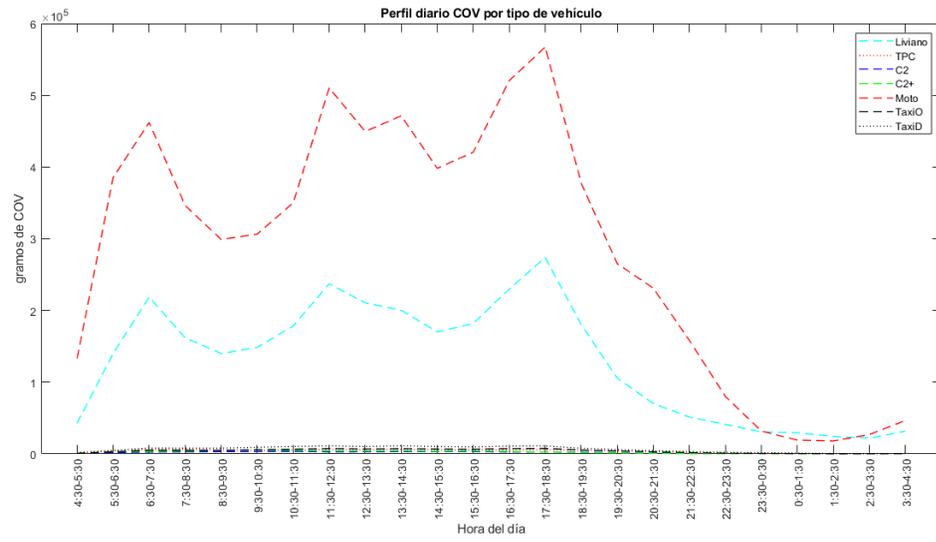


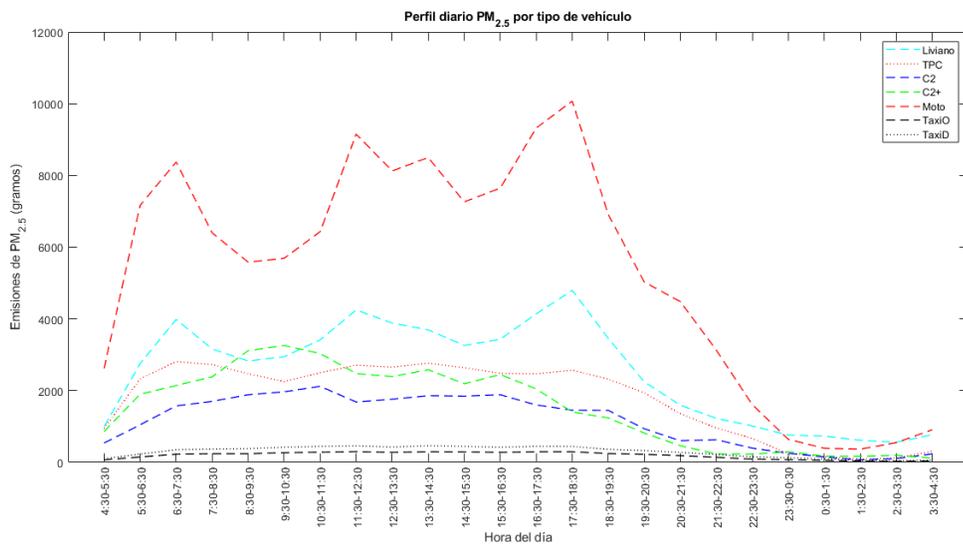
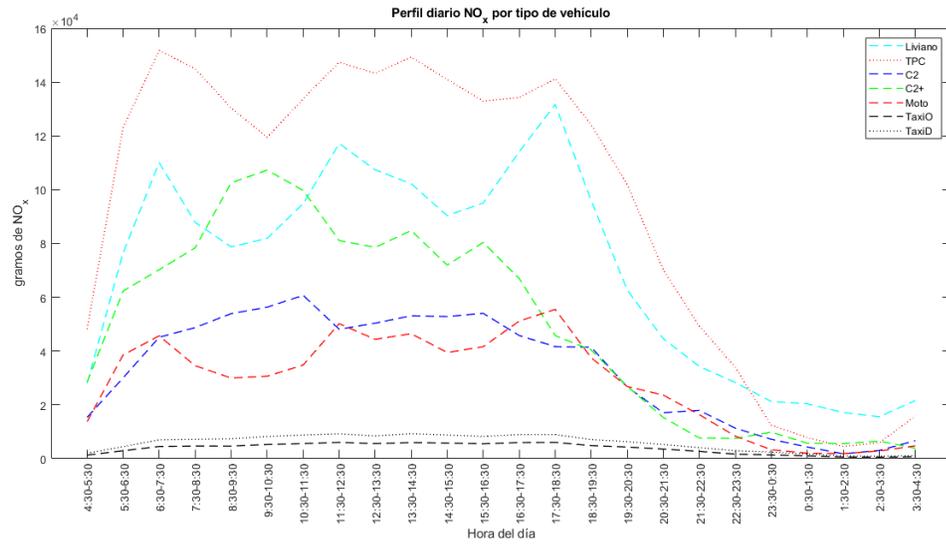


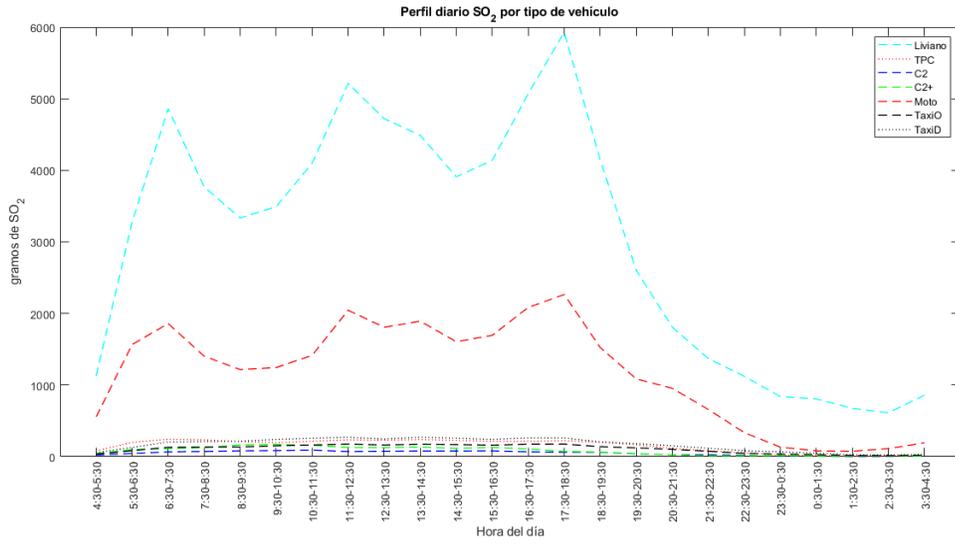
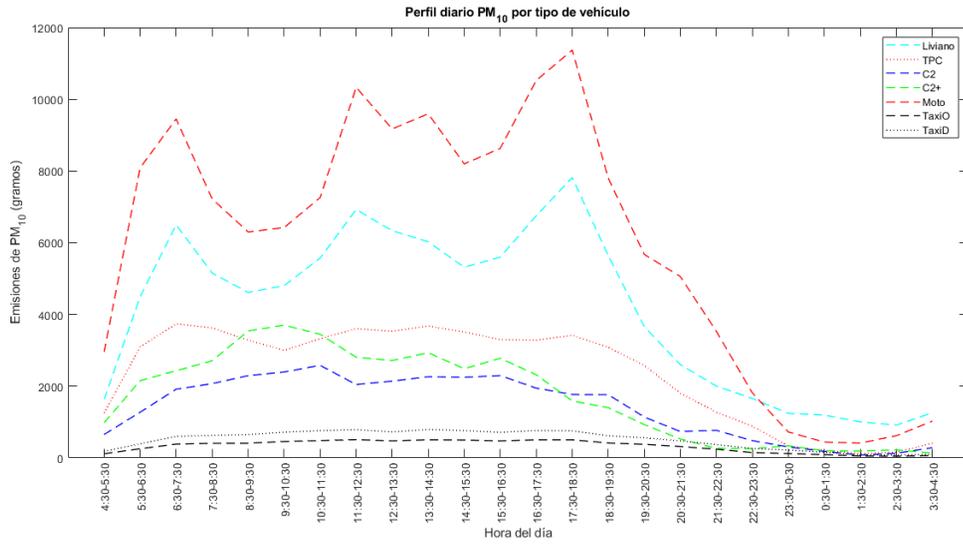
**Escenario de renovación TPC**











## D. Anexo: Factores de hora pico

Tabla de factores de hora pico (PHF) según la hora del día y la categoría vehicular.

Hora	LIVIANOS	TPC	C2	C2+	MOTOS	TAXIS
00:45-01:45	0.07887324	0.01226994	0	0.15642458	0.03341763	0.16422082
01:45-02:45	0.08626761	0.00701139	0	0.15642458	0.03341763	0.08805031
02:45-03:45	0.10369718	0.00876424	0	0.15642458	0.03919798	0.10552061
03:45-04:45	0.11883803	0.00701139	0	0	0.03901734	0.12089448
04:45-05:45	0.16725352	0.23663453	0.20300752	0.30167598	0.16871387	0.22292103
05:45-06:45	0.60088028	0.79666959	0.39849624	0.89385475	0.74078757	0.66387142
06:45-07:45	1	1	1	1	1	1
07:45-08:45	0.92746479	0.99474145	1.12030075	1.08938547	0.70339595	1.13766597
08:45-09:45	0.82605634	0.93076249	1.31578947	1.27374302	0.58236994	1.04751922
09:45-10:45	0.87711268	0.84574934	1.55639098	1.80446927	0.59953035	1.27253669
10:45-11:45	0.9875	0.84399649	1.40601504	1.57541899	0.64812139	1.23200559
11:45-12:45	1.17816901	0.95705521	0.94736842	1.17318436	0.98410405	1.30118798
12:45-13:45	1.17394366	0.95092025	1.07518797	1.25698324	0.83598266	1.02725367
13:45-14:45	1.16478873	1.06748466	1.2481203	1.74301676	0.89035405	1.15653389
14:45-15:45	0.94260563	1.00964067	1.32330827	1.23463687	0.61723266	1.24877708
15:45-16:45	0.9915493	0.89307625	1.60150376	1.26256983	0.77546965	1.32424878
16:45-17:45	1.33485915	0.87379492	0.9924812	1.22346369	1.02023121	1.36897275
17:45-18:45	1.3959507	0.84224365	0.95488722	0.78212291	1.11560694	1.32494759
18:45-19:45	0.93397887	0.78878177	0.93984962	0.7150838	0.67232659	1.07267645
19:45-20:45	0.63274648	0.63628396	0.35338346	0.40782123	0.48645231	0.91754018
20:45-21:45	0.47147887	0.42068361	0.18045113	0.26256983	0.43370665	0.77148847
21:45-22:45	0.35862676	0.23751096	0.18045113	0.12849162	0.25921243	0.53598882

22:45-23:45	0.2068662	0.1340929	0.09774436	0.15642458	0.10205925	0.21034242
23:45-00:45	0.06971831	0.01577564	0	0.31284916	0.02221821	0.15234102

## Bibliografía

- AlSabbagh, M., Siu, Y. L., Guehnemann, A., & Barrett, J. (2017). Integrated approach to the assessment of CO<sub>2</sub>e-mitigation measures for the road passenger transport sector in Bahrain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71(June 2015), 203–215. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.052>
- Angelidou, M., Politis, C., Panori, A., Bakratsas, T., & Fellnhofer, K. (2022). Emerging smart city , transport and energy trends in urban settings : Results of a pan-European foresight exercise with 120 experts. *Technological Forecasting & Social Change*, 183(March), 121915. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121915>
- Banco Mundial. (2014). *Emisiones de CO<sub>2</sub> originadas por el transporte*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/en.co2.tran.zs>
- Cheng, H., Wang, W., van Oel, P. R., Lu, J., Wang, G., & Wang, H. (2021). Impacts of different human activities on hydrological drought in the Huaihe River Basin based on scenario comparison. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 37(September), 100909. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100909>
- Cifuentes, F., Gonz, C. M., Trejos, E. M., Luis, D. L., Sandoval, F. J., Cuellar, O. A., Mangones, S. C., Rojas, N. Y., & Aristiz, B. H. (2021). *Comparison of Top-Down and Bottom-Up Road Transport Emissions through High-Resolution Air Quality Modeling in a City of Complex Orography*.
- Congreso de Colombia. (2019). Ley 1964 de 2019. *Diario Oficial de La República de Colombia*, 1–6. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Dalmau, R., Gawinowski, G., & Anoraud, C. (2022). Comparison of various temporal air traffic flow management models in critical scenarios. *Journal of Air Transport Management*, 105(May), 102284. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2022.102284>
- Gantuz, M. Á., & Puliafito, J. L. (2015). FUENTES MÓVILES Y LA CARACTERIZACIÓN DE VÍAS DE CIRCULACIÓN: UNA APROXIMACIÓN A LOS MODELOS DE EMISIÓN GRILLADOS. *Mecánica Computacional*, 23(February), 1761–1786.
- García Arbeláez, C., Vallejo, G., M. L. H., & E. M. Escobar. (2016). *El acuerdo de París, Así actuará Colombia frente al cambio climático*. <http://www.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2009/04316.pdf>
- Goletz, M., Hausteijn, S., Wolking, C., & L'Hostis, A. (2020). Intermodality in European

- metropolises: The current state of the art, and the results of an expert survey covering Berlin, Copenhagen, Hamburg and Paris. *Transport Policy*, 94(April 2019), 109–122. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.04.011>
- Ho, Q. B. (2010). *Optimal Methodology to Generate Road Traffic Emissions for Air Quality Modeling : Application to Ho Chi Minh City*. 4793.
- Jittrapirom, P., van Neerven, W., Martens, K., Trampe, D., & Meurs, H. (2019). The Dutch elderly's preferences toward a smart demand-responsive transport service. *Research in Transportation Business and Management*, 30(April), 100383. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2019.100383>
- Kattirtzi, M., & Winskel, M. (2020). When experts disagree: Using the Policy Delphi method to analyse divergent expert expectations and preferences on UK energy futures. *Technological Forecasting and Social Change*, 153(February), 119924. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119924>
- Kester, J., Noel, L., Zarazua de Rubens, G., & Sovacool, B. K. (2018). Policy mechanisms to accelerate electric vehicle adoption: A qualitative review from the Nordic region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94(May), 719–731. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.067>
- Kester, J., Sovacool, B. K., Zarazua de Rubens, G., & Noel, L. (2020). Novel or normal? Electric vehicles and the dialectic transition of Nordic automobility. *Energy Research and Social Science*, 69(June), 101642. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101642>
- Khan, J., Kakosimos, K., Jensen, S. S., Hertel, O., Sørensen, M., Gulliver, J., & Ketzel, M. (2020). The spatial relationship between traffic-related air pollution and noise in two Danish cities: Implications for health-related studies. *Science of the Total Environment*, 726, 138577. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138577>
- Koomey, J., Schmidt, Z., Hausker, K., & Lashof, D. (2022). Exploring the black box: Applying macro decomposition tools for scenario comparisons. *Environmental Modelling and Software*, 155(May), 105426. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105426>
- Krause, J., Small, M. J., Haas, A., & Jaeger, C. C. (2016). An expert-based bayesian assessment of 2030 German new vehicle CO2 emissions and related costs. *Transport Policy*, 52, 197–208. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2016.08.005>
- Leong, L. V. (2017). Delay functions in trip assignment for transport planning process. *AIP Conference Proceedings*, 1892. <https://doi.org/10.1063/1.5005717>
- Mangones, S. C., Fischbeck, P., & Jaramillo, P. (2017). Safety-related risk and benefit-cost analysis of crash avoidance systems applied to transit buses: Comparing New York City vs. Bogota, Colombia. *Safety Science*, 91, 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.08.003>
- Mangones, S. C., Jaramillo, P., Fischbeck, P., & Rojas, N. Y. (2019). Development of a high-resolution traffic emission model: Lessons and key insights from the case of Bogotá, Colombia. *Environmental Pollution*, 253, 552–559.

- <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.008>
- Manizales. (2017). *Plan maestro de movilidad*.
- Manizales Cómo Vamos. (2018). *Cómo Vamos en Movilidad*.  
[http://manizalescomovamos.org/wp-content/uploads/2019/10/08\\_Movilidad.pdf](http://manizalescomovamos.org/wp-content/uploads/2019/10/08_Movilidad.pdf)
- Manizales Cómo Vamos. (2020). *Informe de Calidad de vida 2020*. 23(27), 2017.  
<https://manizalescomovamos.org/informes-calidad/informe-de-calidad-de-vida-de-manizales-2020/>
- Melander, L., Dubois, A., Hedvall, K., & Lind, F. (2019). Future goods transport in Sweden 2050: Using a Delphi-based scenario analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 138(March 2017), 178–189. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.08.019>
- Ministerio De Ambiente Vivienda Y Desarrollo Territorial. (2008). Resolución 910 de 2008. *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Resolución Número 910, 33*.  
<http://www.ideam.gov.co/documents/51310/63322/RESOLUCION+910+DE+2008+FUENTES+MOVILES.pdf/ae4ea6bb-c877-43e2-b360-c07a003df1b3>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). *Resolución 1111 de septiembre de 2013*.  
[http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones\\_atmosfericas\\_contaminantes/fuentes\\_moviles/Resolución\\_1111\\_de\\_2013\\_-\\_Modifica\\_parcialmente\\_Resolución\\_910\\_de\\_2008.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones_atmosfericas_contaminantes/fuentes_moviles/Resolución_1111_de_2013_-_Modifica_parcialmente_Resolución_910_de_2008.pdf)
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2017). *Guía para la elaboración Inventarios de emisiones atmosféricas*.  
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/gestion-del-aire/emisiones-contaminantes>
- Nogués, S., González-González, E., & Cordera, R. (2020). New urban planning challenges under emerging autonomous mobility: evaluating backcasting scenarios and policies through an expert survey. *Land Use Policy*, 95(March), 104652.  
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104652>
- Rojas-Rueda, D., de Nazelle, A., Teixidó, O., & Nieuwenhuijsen, M. J. (2012). Replacing car trips by increasing bike and public transport in the greater Barcelona metropolitan area: A health impact assessment study. *Environment International*, 49, 100–109.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.08.009>
- Sovacool, B. K., Noel, L., Kester, J., & Zarazua de Rubens, G. (2018). Reviewing Nordic transport challenges and climate policy priorities: Expert perceptions of decarbonisation in Denmark, Finland, Iceland, Norway, Sweden. *Energy*, 165, 532–542. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.110>
- Steer Davis Glave. (2017). Modelo 4 Etapas. In Findeter (Ed.), *Plan Maestro de Movilidad de Manizales* (1st. Ed., pp. 1–149). Steer Davis Glave.
- Tang, J., McNabola, A., & Misstear, B. (2019). The potential impacts of different traffic management strategies on air pollution and public health for a more sustainable city:

- A modelling case study from Dublin, Ireland. *Sustainable Cities and Society*, 116544. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2019.116544>
- Trejos, E. M., Hernández, W., Gonzáles, C. M., Aristizábal, B. H., & Velasco, M. (2019). Actualización del inventario de emisiones atmosféricas en la ciudad de Manizales año base 2017. *Universidad Nacional de Colombia*, 1–21.
- Trejos Zapata, E. M. (2019). *ESTIMACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS POR FUENTES MÓVILES EN RUTA APLICANDO LA METODOLOGÍA COPERT Y DETERMINACIÓN DE LAS EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO RESUSPENDIDO CON INFORMACIÓN LOCAL (MANIZALES – AÑO BASE 2017)*. 9–25.
- Tuia, D., Ossés de Eicker, M., Zah, R., Osses, M., Zarate, E., & Clappier, A. (2007). Evaluation of a simplified top-down model for the spatial assessment of hot traffic emissions in mid-sized cities. *Atmospheric Environment*, 41(17), 3658–3671. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.12.045>
- Ülengin, F., Işık, M., Ekici, Ş. Ö., Özyayın, Ö., Kabak, Ö., & Topçu, Y. İ. (2018). Policy developments for the reduction of climate change impacts by the transportation sector. *Transport Policy*, 61(October 2017), 36–50. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.09.008>
- Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, & Corpocaldas. (2014). *Componente inventario de emisiones por fuentes fijas puntuales. Año base 2014*. 104. [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find\\_ef\\_main.php](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef_main.php)
- World Health Organization. (2016). *Global report on urban health: equitable, healthier cities for sustainable development*. [http://www.who.int/about/licensing/copy-right\\_form/index.html](http://www.who.int/about/licensing/copy-right_form/index.html)
- Zhang, J., Hayashi, Y., & Frank, L. D. (2021). COVID-19 and transport: Findings from a world-wide expert survey. *Transport Policy*, 103(January), 68–85. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.01.011>
- Zhang, X. Q. (2016). The trends, promises and challenges of urbanisation in the world. *Habitat International*, 54(13), 241–252. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.11.018>