



POLITÉCNICA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid
Tel.: 91 336 3060
info.industriales@upm.es

www.industriales.upm.es



Carmen Romera Navarro

05 TRABAJO FIN DE MASTER

INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MASTER

ESTUDIO COMPARATIVO DE DISTINTOS MODELOS DE CÁLCULO DE EMISIONES DEL TRÁFICO RODADO: APLICACIÓN A UN CASO DE ESTUDIO

JUNIO 2024

Carmen Romera Navarro

DIRECTOR DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER:

Javier Pérez Rodríguez

TRABAJO FIN DE MÁSTER
PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MÁSTER EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL



POLITÉCNICA

ESTUDIO COMPARATIVO DE DISTINTOS MODELOS DE CÁLCULO DE EMISIONES DEL TRÁFICO RODADO: APLICACIÓN A UN CASO DE ESTUDIO

Carmen Romera Navarro
Máster en Ingeniería Industrial

Dirigido por: Javier Pérez Rodríguez



POLITÉCNICA

Especialidad Organización Industrial
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
Universidad Politécnica de Madrid

Junio 2024

Resumen Ejecutivo

Hoy en día, la contaminación atmosférica ocupa el primer puesto en cuanto a riesgos medioambientales para la salud humana. Pese a que, en las últimas dos décadas, las emisiones de los principales contaminantes atmosféricos se han reducido en la Unión Europea (UE), la exposición prolongada a éstos está asociada a problemas de salud como las enfermedades cardíacas, enfermedades respiratorias o el cáncer. Asimismo, estas emisiones están relacionadas con daños en el medioambiente como la acidificación de suelos, daños en la vegetación, corrosión de edificaciones o con el cambio climático, entre otros.

En la UE, el tráfico rodado es el culpable de un alto porcentaje de las emisiones de los contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero (GEI). Por tanto, se han impuesto legislaciones que establecen unos límites de emisión para el tráfico rodado muy conservadores en los últimos años (normativas Euro) y se han desarrollado tecnologías con el propósito de reducir esas emisiones y/o convertirlas en sustancias menos tóxicas.

Con el fin de asistir a los investigadores en el estudio de las emisiones de contaminantes atmosféricos y GEI, se han creado herramientas para el cálculo de estas emisiones del tráfico rodado. A pesar de ello, en cada entorno geográfico la legislación es diferente, por tanto, las emisiones resultantes de cada modelo podrían fluctuar.

El presente Trabajo de Fin de Máster (TFM) tiene como objetivo realizar un estudio comparativo de distintos modelos de cálculo de emisiones de tráfico rodado que hay en el mercado. Para ello:

- Se realiza un estudio inicial de los distintos modelos existentes en el mercado, para seleccionar los más adecuados para el TFM (teniendo en cuenta la rigurosidad, los contaminantes atmosféricos y GEIs estimados, así como las características propias y las limitaciones de cada modelo).
- Se toman los datos de circulación del tráfico rodado de la ciudad de Madrid como caso de estudio para calcular las emisiones con los modelos seleccionados.
- Se realiza un análisis comparativo de los resultados: estudiando diferencias, similitudes y debilidades de cada modelo.

Los contaminantes atmosféricos objeto de estudio son NO_x y $\text{PM}_{2,5}$ (procedente de la combustión, sin considerar el originado por desgaste de frenos y neumáticos y abrasión del pavimento); así como el GEI mayoritario: CO_2 .

Por otro lado, el estudio se ha realizado dividiendo la flota de Madrid en cuatro grupos de vehículos, según combustible: gasolina, diésel, híbridos de gasolina y un grupo compuesto por vehículos de GNC y GLP; y calculando las emisiones de cada grupo en las siguientes zonas del municipio Madrid:

- zona A: interior M30/Calle 30,
- zona B: M30/Calle 30,
- zona C: entre M30/Calle 30 y M40,
- zona D: M40, y
- zona E: exterior M40.

Tras realizar el análisis de los modelos del mercado, estudiando las características de mayor relevancia de cada modelo, se han elegido las siguientes herramientas: COPERT, IVE Model, MOVES3 y GREET.

El modelo COPERT ha sido desarrollado por la Agencia Europea de Medioambiente (EEA) para calcular las emisiones del tráfico rodado siguiendo la metodología de cálculo propuesta por la UE: EMEP/EEA. La versión utilizada en este TFM es la 5.2.2 y los datos de entrada introducidos por este modelo se clasifican en cuatro tipos:

- datos meteorológicos,
- características del trayecto,
- características de la flota y
- características del combustible.

El modelo IVE fue financiado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), con el fin de reducir las emisiones de vehículos motorizados en países en vías de desarrollo. Se ha utilizado la versión 2.0.2 y los datos de entrada se clasifican en:

- localidad,
- variables ambientales,
- características de la flota y
- características del combustible.

El modelo MOVES también fue desarrollado por la EPA para calcular las emisiones del tráfico rodado de los Estados Unidos (EE.UU.). Se ha utilizado la versión MOVES 3.0, conocida como MOVES3, y los datos de entrada que solicita el modelo se clasifican en:

- ubicación,
- meteorología,
- características de la carretera,
- características del combustible y
- población vehicular.

GREET es un proyecto desarrollado por el Laboratorio Nacional de Argonne, con el objetivo de promover los beneficios de los biocombustibles, bioproductos y bioenergía. GREET se divide en dos módulos: el primero, que calcula las emisiones de todo el ciclo de vida del combustible, y el segundo, que calcula las emisiones del ciclo vida completo del vehículo.

Con GREET, al igual que en los anteriores, se calculan las emisiones relativas al uso del combustible en el vehículo, etapa *Tank-to-Wheels* (TtW), y, adicionalmente, las emisiones originadas por la producción del combustible, *Well-to-Tank* (WtT). La suma de ambas etapas supone el ciclo de vida completo del combustible/fuente energética (*Well-to-Wheels*, WtW). La versión de GREET utilizada es la 2022 y los datos de entrada necesarios se clasifican en: población vehicular y características del combustible.

Una vez calculados los datos por los cuatro modelos, se comparan los resultados de IVE, MOVES3 y GREET con los de COPERT. Se ha seleccionado COPERT como referencia porque utiliza la metodología de cálculo propuesta por la UE. Asimismo, se contrastan las emisiones TtW frente a las WtW, ambas calculadas con el modelo GREET.

En el conjunto de los resultados, se puede observar cómo hay datos de COPERT que difieren significativamente del resto de los modelos. Estas diferencias se pueden relacionar con

las aproximaciones que se han realizado para poder clasificar la flota de la ciudad de Madrid en los modelos que han sido desarrollados en EE.UU. o con las debilidades que presentan los modelos.

El modelo IVE:

- Presenta una desventaja importante, ya que solicita como entrada información del comportamiento de conducción, que es compleja de conseguir. Por tanto, se ha de seleccionar una de las ciudades que IVE tiene en su base de datos por defecto, en la cual no está incluida Madrid.
- La última versión de IVE fue desarrollada en el año 2010, por lo que no recoge vehículos Euro 5 y Euro 6/VI.
- Calcula unas emisiones de CO₂ muy próximas a las de COPERT.
- Las emisiones de NO_x resultan mayores o menores a las de COPERT según el tipo de combustible, debido a las aproximaciones a la hora de clasificar ciertos tipos de vehículos en el modelo.
- Únicamente calcula emisiones de PM₁₀, incluyendo abrasión del pavimento y desgaste de frenos y neumáticos, sin dar opción a excluirlas.

El modelo MOVES3:

- Presenta una gran complejidad a la hora de clasificar vehículos, ya que no realiza una clasificación por normativa Euro, sino por edad del vehículo (aplicando así la legislación estadounidense, con límites de emisión muy diferentes).
- Asimismo, no tiene en cuenta el tamaño del vehículo dentro de cada categoría, influyendo notablemente en los resultados, ya que los vehículos americanos, por lo general, son de mayor cilindrada que los europeos y consumen mayor cantidad de combustible.
- Debido a la dificultad de clasificación, las emisiones de CO₂ y de NO_x calculadas por MOVES3, en su mayoría, son superiores a las de COPERT.
- Por otro lado, las emisiones de PM_{2,5} tienden a ser mayores, ya que MOVES3 también incluye las correspondientes a la abrasión de pavimento y desgaste de frenos y neumáticos.

El modelo GREET:

- Al haber sido desarrollado en EE.UU., presenta la misma dificultad de clasificación de vehículos que MOVES3: no clasifica según la normativa Euro, sino según la edad del vehículo, y no considera el tamaño del vehículo dentro de cada categoría.
- Por ser un modelo destinado al cálculo de los ciclos de vida completos del combustible y del vehículo, presenta debilidades en cuanto a los datos de entrada, ya que no solicita parámetros tan importantes como la velocidad media y/o el tipo de carretera por la que circula el vehículo, centrándose en otras variables.
- Al igual que MOVES3, GREET calcula unas emisiones de CO₂ muy superiores a las de COPERT. Sin embargo, las emisiones de NO_x difieren según el combustible: para gasolina e híbridos de gasolina son mayores, mientras que para los diésel, GNC y GLP son menores que las del modelo europeo.
- Calcula emisiones de PM_{2,5} relativas a la combustión, abrasión y desgaste, por lo que, en general, también estima cantidades mayores que COPERT.

En cuanto a la comparativa de emisiones TtW frente a las WtW calculadas por GREET, se observa en los resultados que las emisiones de CO₂ son originadas en su mayoría en la etapa TtW, las emisiones de PM_{2,5} son mayores en la etapa WtT y que las emisiones de NO_x varían según el combustible del vehículo.

Como conclusión, ninguno de los modelos estudiados se adapta adecuadamente a los vehículos europeos: IVE no se actualiza desde hace 14 años, por lo que con el paso de los años va perdiendo utilidad y, por otro lado, para la utilización de los modelos americanos son necesarias una serie de aproximaciones en la flota que compromete la exactitud de los resultados. Por último, se destaca la utilidad de GREET, ya que es de gran ayuda para determinar en qué parte de los ciclos de vida del combustible y del vehículo se emiten más contaminantes atmosféricos y GEI.

Palabras clave: contaminantes atmosféricos, GEI, emisiones, tráfico rodado, normativa Euro, COPERT, CO₂, NO_x, PM, *Well-to-Wheels*, *Tank-to-Wheels*.

Códigos UNESCO: 250105 – 330306 – 330804 – 220801– 3317

Contenido

1.	Introducción	11
1.1	Transporte rodado	13
1.2	Modelos de cálculo de emisiones de tráfico rodado	15
1.2.1	COPERT	16
1.2.2	IVE Model	16
1.2.3	EMFAC.....	17
1.2.4	HBEFA	17
1.2.5	MOBILE6	17
1.2.6	MOVES.....	18
1.2.7	GREET	18
1.2.8	ADVISOR 2002	19
2.	Objetivos	20
3.	Metodología	21
3.1	Datos del parque circulante de la ciudad de Madrid.....	21
3.2	Estudio de los modelos de cálculo de emisiones del tráfico rodado	22
3.3	COPERT 5.2.2.....	24
3.3.1	Datos de entrada en COPERT 5.2.2.....	24
3.3.2	Datos de salida en COPERT 5.2.2.....	27
3.3.3	Resumen de debilidades de COPERT 5.2.2.....	27
3.4	IVE Model 2.0.2.....	28
3.4.1	Datos de entrada en IVE 2.0.2	28
3.4.2	Datos de salida en IVE	33
3.4.3	Resumen de debilidades de IVE	33
3.5	MOVES3	34
3.5.1	Datos de entrada en MOVES3	34
3.5.2	Datos de salida de MOVES3.....	37
3.5.3	Resumen de debilidades de MOVES3.....	37
3.6	GREET	39
3.6.1	Datos de entrada en GREET	39
3.6.2	Datos de salida en GREET	41
3.6.3	Resumen de debilidades de GREET	41
4.	Resultados y discusión.....	42
4.1	Emisiones CO ₂ (<i>Tank-to-Wheels</i>)	42
4.2	Emisiones NO _x (<i>Tank-to-Wheels</i>).....	46
4.3	Emisiones PM _{2,5} (<i>Tank-to-Wheels</i>)	49

4.4	Comparativa de emisiones <i>Tank-to-Wheels</i> frente emisiones <i>Well-to-Wheels</i>	53
5.	Conclusiones.....	55
5.1	Consideraciones previas y debilidades del proyecto	55
5.2	Conclusiones del estudio comparativo	56
5.2.1	IVE.....	56
5.2.2	MOVES3.....	56
5.2.3	GREET (<i>Tank-to-Wheels</i>)	57
5.2.4	GREET (<i>Well-to-Wheels</i>)	58
5.2.5	Conclusiones generales	58
6.	Valoración de aspectos ambientales, sociales y económicos.....	59
7.	Líneas futuras	60
8.	Planificación y presupuesto.....	61
8.1	Planificación temporal	61
8.2	Estructura y descomposición del TFM	63
8.3	Presupuesto	63
8.3.1	Recursos humanos.....	63
8.3.2	Recursos materiales.....	63
	Acrónimos y especies químicas.....	65
	Anexo I: Flota vehicular de la ciudad de Madrid por zonas	67
	Anexo II: Actividad de la flota vehicular de la ciudad de Madrid por zonas (km)	81
	Bibliografía	92

Índice de tablas

Tabla 1-1. Principales contaminantes con relevancia en la calidad del aire (FGNF, 2018)	11
Tabla 1-2 Clasificación de los vehículos (metodología EMEP/EEA-COPERT)	14
Tabla 3-1. Zonificación del municipio de Madrid de acuerdo al estudio del Parque Circulante 2017. (ETSII, 2018).....	21
Tabla 3-2. Resumen de los modelos de cálculo del tráfico rodado	23
Tabla 4-1. Emisiones de CO ₂ de la flota de Madrid	43
Tabla 4-2. Comparativa de las emisiones de CO ₂ calculadas por IVE frente a las de COPERT por zonas.....	45
Tabla 4-3. Comparativa de las emisiones de CO ₂ calculadas por MOVES3 frente a las de COPERT por zonas	45
Tabla 4-4. Comparativa de las emisiones de CO ₂ calculadas por GREET (TtW) frente a las de COPERT por zonas	46
Tabla 4-5. Emisiones de NO _x de la flota de Madrid.....	46
Tabla 4-6. Comparativa de las emisiones de NO _x calculadas por IVE frente a las de COPERT por zonas.....	48
Tabla 4-7. Comparativa de las emisiones de NO _x calculadas por MOVES3 frente a las de COPERT por zonas	49
Tabla 4-8. Comparativa de las emisiones de NO _x calculadas por GREET frente a las de COPERT por zonas	49
Tabla 4-9. Emisiones de PM _{2,5} de la flota de Madrid	50
Tabla 4-10. Comparativa de las emisiones de PM* calculadas por IVE frente a las de COPERT por zonas.....	52
Tabla 4-11. Comparativa de las emisiones de PM _{2,5} calculadas por MOVES3 frente a las de COPERT por zonas	52
Tabla 4-12. Comparativa de las emisiones de PM _{2,5} calculadas por GREET frente a las de COPERT por zonas	53
Tabla 4-13. Porcentaje que representan las emisiones de CO ₂ de la etapa TtW respecto de las de la etapa WtW.....	53
Tabla 4-14. Porcentaje que representan las emisiones de NO _x de la etapa TtW respecto de las de la etapa WtW.....	54
Tabla 4-15. Porcentaje que representan las emisiones de PM _{2,5} de la etapa TtW respecto de las de la etapa WtW.....	54
Tabla 8-1. Planificación de fases del TFM.....	61
Tabla 8-2. Coste de los recursos humanos requeridos en el TFM	63

Índice de ilustraciones

Ilustración 1-1 Emisiones relativas de los principales contaminantes atmosféricos en la UE-28 respecto a 2000 (Comisión Europea, 2021)	12
Ilustración 1-2 Penetración de diversos contaminantes en el sistema respiratorio (FGNF, 2018)	12
Ilustración 1-3 Principales sectores de emisión de los estados miembros de la UE de NH ₃ , NO ₂ , COVNM, SO ₂ , PM _{2,5} , PM ₁₀ , BC (carbono negro) y CO en 2021 (EEA, 2022)	13
Ilustración 1-4 Ciclo completo de la energía relativo al tráfico rodado (Burnham et al., 2006) .	19
Ilustración 3-1. Zonificación establecida en el estudio del Parque Circulante 2017 (ETSII, 2018)	22
Ilustración 3-2. Datos de entrada de COPERT 5.2.2	24
Ilustración 3-3. Datos de entrada de IVE 2.0.2	28
Ilustración 3-4. Datos de entrada de MOVES3	34
Ilustración 3-5. Datos de entrada de GREET 2022.....	39
Ilustración 4-1. Emisiones de CO ₂ de los vehículos de gasolina calculadas por los diferentes modelos.....	43
Ilustración 4-2. Emisiones de CO ₂ de los vehículos diésel calculadas por los diferentes modelos	44
Ilustración 4-3. Emisiones de CO ₂ de los vehículos híbridos de gasolina calculadas por los diferentes modelos.....	44
Ilustración 4-4. Emisiones de CO ₂ de los vehículos de GNC y GLP calculadas por los diferentes modelos.....	44
Ilustración 4-5. Emisiones de NO _x de los vehículos de gasolina calculadas por los diferentes modelos.....	47
Ilustración 4-6. Emisiones de NO _x de los vehículos diésel calculadas por los diferentes modelos	47
Ilustración 4-7. Emisiones de NO _x de los vehículos híbridos de gasolina calculadas por los diferentes modelos.....	47
Ilustración 4-8. Emisiones de NO _x de los vehículos de GNC y GLP calculadas por los diferentes modelos.....	48
Ilustración 4-9. Emisiones de PM _{2,5} de los vehículos de gasolina calculadas por los diferentes modelos*	50
Ilustración 4-10. Emisiones de PM _{2,5} de los vehículos diésel calculadas por los diferentes modelos*	51
Ilustración 4-11. Emisiones de PM _{2,5} de los vehículos híbridos de gasolina calculadas por los diferentes modelos*	51
Ilustración 4-12. Emisiones de PM _{2,5} de los vehículos de GNC y GLP calculadas por los diferentes modelos*	51
Ilustración 8-1. Diagrama de Gantt del TFM	62
Ilustración 8-2. Estructura de Descomposición del Proyecto para el TFM.....	63

1. Introducción

Un entorno limpio y libre de sustancias tóxicas es esencial para la salud humana y el medioambiente. Sin embargo, debido a las emisiones ligadas a la actividad humana, la contaminación atmosférica ha incrementado notablemente, llegando a ser el principal problema de salud ambiental en la Unión Europea (UE). Asimismo, se ha relacionado con daños en la vegetación, con la acidificación y eutrofización de suelos y aguas, con la reducción de las cosechas, con el cambio climático o con la corrosión de los edificios. En la tabla 1-1, se muestran los impactos de los principales contaminantes. (FGNF, 2018)

Tabla 1-1. Principales contaminantes con relevancia en la calidad del aire (FGNF, 2018)

Contaminante	Origen	Tiempo de vida ⁽¹⁾	Impactos
SO ₂	Uso de combustibles con azufre	Días	Salud, acidificación, precursor de partículas
NO _x	Procesos de combustión de cualquier combustible	< 1 día	Salud, acidificación, eutrofización, precursores de PM y O ₃
PM	Inquemados de combustión, abrasión (erosión, desgaste, etc.), industria alta temperatura, resuspensión, fuentes naturales, procesos secundarios	Desde horas a semanas (en función de su diámetro)	Salud, visibilidad, clima, ecosistemas
O ₃ ⁽²⁾	Secundario a partir de NO _x y COVs	Días	Salud, vegetación, clima
NH ₃	Gestión de residuos, agricultura, ganadería y catalizadores vehículos	Días	Acidificación, eutrofización, precursor de partículas
CO	Combustión incompleta	Meses	Salud

¹ Orden de magnitud del tiempo de vida en la atmósfera urbana

² Contaminante secundario (no emitido directamente a la atmósfera por ninguna fuente emisora)

Si bien es cierto que en los últimos veinte años las emisiones de los principales contaminantes atmosféricos, así como sus concentraciones en el aire, han disminuido significativamente en Europa (véase la ilustración 1-1), la contaminación atmosférica sigue ocupando el primer puesto en riesgos medioambientales para la salud de la población.

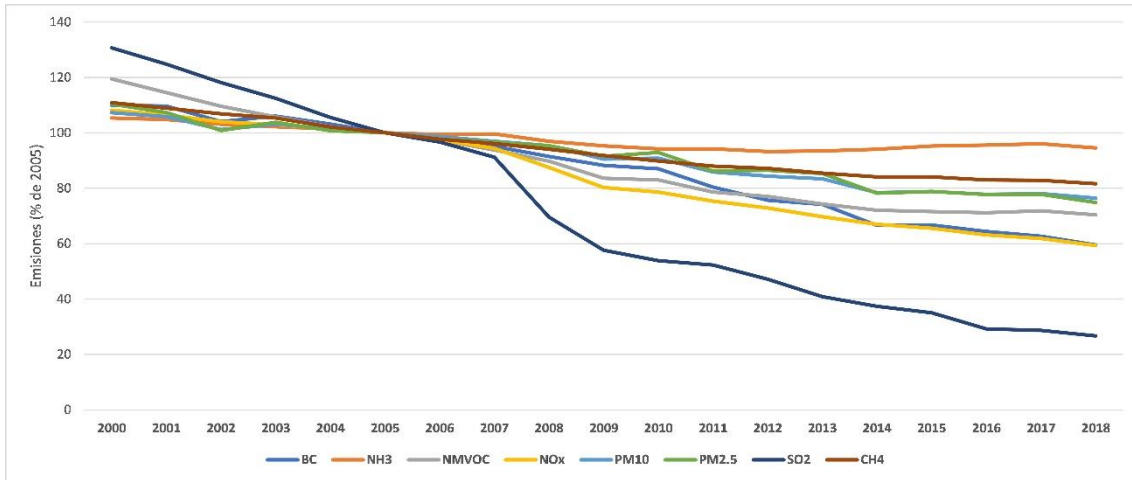


Ilustración 1-1 Emisiones relativas de los principales contaminantes atmosféricos en la UE-28 respecto a 2000 (Comisión Europea, 2021)

Existe evidencia científica de que la exposición a largo plazo a estos contaminantes se asocia al incremento de consecuencias desfavorables para la salud, como son las enfermedades cardíacas, enfermedades respiratorias y el cáncer (EEA, 2022; Chen et al., 2015, Samoli et al., 2016). Los contaminantes que se inhalan no solo se quedan en el sistema respiratorio, sino que pueden llegar a otras partes del cuerpo humano, como se muestra en la ilustración 1-2.

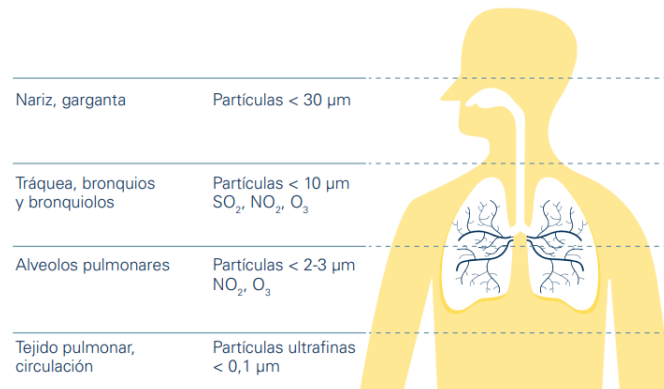


Ilustración 1-2 Penetración de diversos contaminantes en el sistema respiratorio (FGNF, 2018)

Por otro lado, las grandes ciudades, centros de innovaciones científicas, tecnológicas y socioculturales, atraen a una población creciente lo que se traduce en el incremento del consumo energético y, por tanto, un aumento de las emisiones de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero.

Diversos estudios revelan que es más probable que las poblaciones desfavorecidas vivan más próximas de las vías de mayor volumen, donde la concentración de emisiones de vehículos es mayor, lo que además despierta problemas de justicia ambiental. (Tayarani et al., 2020)

En la ilustración 1-3, se indica el porcentaje en el que los principales sectores y actividades contribuyen a la mayoría de los contaminantes atmosféricos en los Estados miembros de la UE en el año 2021. Como se puede observar, el tráfico rodado es el responsable de una parte significativa de la contaminación atmosférica, ya que provoca puntos críticos de emisión a lo largo de carreteras de gran volumen (Matte et al., 2013).

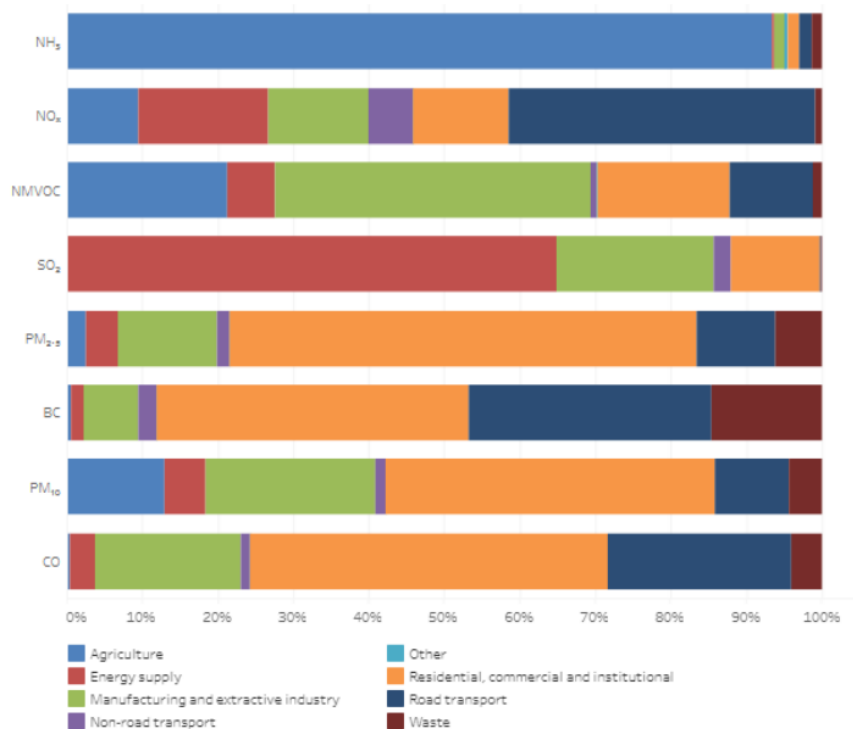


Ilustración 1-3 Principales sectores de emisión de los estados miembros de la UE de NH₃, NO_x, COVNM, SO₂, PM_{2,5}, PM₁₀, BC (carbono negro) y CO en 2021 (EEA, 2022)

Dado que estas emisiones tienen efectos importantes tanto en la salud como en el medioambiente, se han implementado legislaciones y verificaciones para el sector del tráfico rodado en todo el mundo. En particular, la UE ha establecido límites de emisión específicos (emisión por kilómetro recorrido) muy conservadores en las últimas décadas, así como pruebas de certificación de estas emisiones que deben cumplir todos los vehículos nuevos. (Hooftman, 2018).

1.1 Transporte rodado

Las emisiones del transporte rodado están controladas por la legislación europea desde los años 70. Para conseguir llegar a esos restrictivos requisitos impuestos por la legislación, los fabricantes de vehículos han tenido que estar constantemente mejorando las tecnologías de los motores y han introducido diversos sistemas de control de emisiones. Estos sistemas de control de emisiones pueden ser filtros retenedores de material particulado (PM) o catalizadores para la conversión de los gases de escape en sustancias inocuas o menos tóxicas para la salud humana. Ejemplos de ellos son:

- *Exhaust Gas Recirculation*, EGR: sistema de recirculación de gases de escape para la reducción de NO_x.
- *Diesel Particulate Filter*, DFP: filtros de partículas para separar partículas de hollín de los motores diésel. Algunos motores de gasolina más recientes también los tienen.
- Catalizador de tres vías: con los catalizadores de oxidación convierte los CO y HC en CO₂ y CO₂ + H₂O y con los *Lean NO_x Trapping* (LNT) o *NO_x Storage Reduction* (NSR) convierten al NO y NO₂ en N₂ + O₂.

- *Selective Catalytic Reduction, SCR*: se basan en la reacción entre amoníaco/urea y NO y NO₂ para obtener N₂ y H₂O.

Gracias a éstos, los vehículos modernos tienen unos niveles de emisión de contaminantes regulados (CO, NO_x, *Total Hydrocarbon emissions* (THC)), que llegan a ser más de un orden de magnitud inferiores a los de los vehículos que entraron en circulación hace dos décadas.

Dentro de cada tipología de vehículo, éstos se pueden clasificar acorde con su nivel de tecnología de control de emisiones, que, en realidad, se define en función de la legislación sobre emisiones que cumplen. En la tabla 1-2, se recogen las distintas normas que regulan el nivel de emisiones de los vehículos, así como el año en el que se introdujo en el parque de vehículos, según la metodología desarrollada por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) y el programa EMEP (Programa Europeo de Evaluación y Control del Convenio de Ginebra sobre Contaminación Transfronteriza a Larga Distancia). Esta metodología forma parte del “*EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook*”.

Se puede observar que hay una ligera diferencia en la denominación, ya que para los vehículos pesados se utilizan números romanos (Euro I, Euro II...), mientras que para el resto se utilizan números del sistema decimal (Euro 1, Euro 2...).

Tabla 1-2 Clasificación de los vehículos (metodología EMEP/EEA-COPERT)

Categoría vehicular	Combustible/ Propulsión	Normativa europea	Fecha de entrada en vigor de la normativa de reducción de emisiones en función de la cilindrada y/o peso máximo		
			<1,4l	>=1,4l y <=2,0l	> 2,0l
Turismos	Gasolina		<1,4l	>=1,4l y <=2,0l	> 2,0l
		PRE ECE	-1971	-1971	-1971
		ECE 15/00-01	1972-1977	1972-1977	1972-1977
		ECE 15/02	1978-1979	1978-1979	1978-1979
		ECE 15/03	1980-1984	1980-1984	1980-1984
		ECE 15/04	1985-1992	1985-1992	1985-1989
		Euro 1	1993-1996	1993-1996	1990-1996
		Euro 2	1997-1999	1997-1999	1997-1999
		Euro 3	2000-2004	2000-2004	2000-2004
		Euro 4	2005-2010	2005-2010	2005-2010
		Euro 5	2011-2014	2011-2014	2011-2014
		Euro 6	2015-	2015-	2015-
	Motor de dos tiempos				
	Diésel			<=2,0l	> 2,0l
		Convencional	-1992	-1992	-1992
		Euro 1	1993-1996	1993-1996	1993-1996
		Euro 2	1997-1999	1997-1999	1997-1999
		Euro 3	2000-2004	2000-2004	2000-2004
		Euro 4	2005-2010	2005-2010	2005-2010
		Euro 5	2011-2014	2011-2014	2011-2014
		Euro 6	2015-	2015-	2015-
	GLP	Convencional	-1992	-1992	-1992
		Euro 1	1993-1996	1993-1996	1993-1996
		Euro 2	1997-1999	1997-1999	1997-1999
		Euro 3	2000-2004	2000-2004	2000-2004
		Euro 4	2005-2010	2005-2010	2005-2010
		Euro 5	2011-2014	2011-2014	2011-2014
		Euro 6	2015-	2015-	2015-
	GNC	Euro 4	2005-2010	2005-2010	2005-2010
		Euro 5	2011-2014	2011-2014	2011-2014
		Euro 6	2015-	2015-	2015-
	Híbrido	Euro 4	2005-	2005-	2005-

Estudio comparativo de distintos modelos de cálculo de emisiones del tráfico rodado

Categoría vehicular	Combustible/ Propulsión	Normativa europea	Fecha de entrada en vigor de la normativa de reducción de emisiones en función de la cilindrada y/o peso máximo			
			<=7,5t	7,5t-16t	16t-32t	>32t
Ligeros <3,5t (vehículos N1)	Gasolina	Convencional	-1992			
		Euro 1	1993-1996			
		Euro 2	1997-1999			
		Euro 3	2000-2004			
		Euro 4	2005-2010			
		Euro 5	2011-2014			
	Diésel	Convencional	-1992			
		Euro 1	1993-1996			
		Euro 2	1997-1999			
		Euro 3	2000-2004			
		Euro 4	2005-2010			
		Euro 5	2011-2014			
Pesados >3,5t (vehículos N2 y N3)	Gasolina	Convencional				
	Diésel	Convencional	<=7,5t	7,5t-16t	16t-32t	>32t
		Euro I	1992-1994	1992-1994	1992-1994	1992-1994
		Euro II	1995-1999	1995-1999	1995-1999	1995-1999
		Euro III	2000-2004	2000-2004	2000-2004	2000-2004
		Euro IV	2005-2007	2005-2007	2005-2007	2005-2007
		Euro V	2008-2013	2008-2013	2008-2013	2008-2013
		Euro VI	2014-	2014-	2014-	2014-
Autobuses	Diésel	Convencional	-1991			
		Euro I	1992-1994			
		Euro II	1995-1999			
		Euro III	2000-2004			
		Euro IV	2005-2007			
		Euro V	2008-2013			
	Gas Natural	Euro I	1992-1994			
		Euro II	1995-1999			
		Euro III	2000-2004			
		EEV	2005-			
Ciclomotores <50 cm ³	Gasolina	Convencional	-1998			
		Euro 1	1999-2001			
		Euro 2	2002-2013			
		Euro 3	2014-2016			
		Euro 4	2017-			
Motocicletas	Gasolina		2 tiempos > 50cm³	4 tiempos 50-250 cm³	4 tiempos 250-750 cm³	4 tiempos >750 cm³
		Convencional	-1998	-1998	-1998	-1998
		Euro 1	1999-2002	1999-2002	1999-2002	1999-2002
		Euro 2	2003-2005	2003-2005	2003-2005	2003-2005
		Euro 3	2006-2016	2006-2016	2006-2016	2006-2016
		Euro 4	2017 -	2017 -	2017 -	2017 -

1.2 Modelos de cálculo de emisiones de tráfico rodado

Gracias a la evolución tecnológica, se han desarrollado modelos para el cálculo de emisiones de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero. En particular, se han creado herramientas para el cálculo de estas emisiones provocadas por el sector del transporte por carretera. No obstante, en cada entorno geográfico se sigue una legislación diferente y los parámetros y factores de emisión de los distintos modelos pueden variar.

En este apartado se describen algunos de estos modelos.

1.2.1 COPERT

El modelo COPERT (*COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport*) es un software desarrollado por la Agencia Europea del Medioambiente (EEA), para estimar las emisiones generadas por el tráfico vehicular, basado en la velocidad media por la pauta de conducción. Su objetivo es facilitar la elaboración de inventarios de emisiones de transporte por carretera a los países miembros de la UE.

COPERT alberga un conjunto de datos e informes sobre emisiones transparente y estandarizado según con los requisitos de los convenios y protocolos de la UE. Su enfoque metodológico se integra en “*EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook*” para calcular las emisiones de contaminantes atmosféricos.

Dentro de la guía de inventarios de la EEA, los cálculos de COPERT son consistentes ya que ha sido implementado con la llamada “*Metodología Detallada*” o de nivel 3. Esta aproximación recoge la suma de las emisiones con el motor en caliente (temperatura de operación) y durante la transición de frío a caliente, las llamadas emisiones ‘*cold-start*’. Esta distinción se debe a que, durante ambas condiciones, las emisiones son notablemente distintas, ya que en el periodo de transición algunos contaminantes pueden estar en mayor concentración y, por tanto, se utiliza una aproximación metodológica diferente.

Asimismo, para predecir las emisiones de escape con motor caliente, COPERT se basa en la velocidad media de conducción y en la distancia de viaje (distancia total en kilómetros (km) recorrida por vehículo en un periodo dado). Las emisiones totales se calculan como el producto los factores de emisión, y el kilometraje recorrido por vehículo (Ntziachristos y Samaras, 2021).

1.2.2 IVE Model

El modelo *International Vehicle Emissions* (IVE) fue diseñado por el Centro para la Investigación y Tecnología Ambiental (CE-CERT) de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de California en Riverside (UCR) y financiado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), con el objetivo de controlar y reducir las emisiones de vehículos motorizados en los países en vías de desarrollo.

Este modelo calcula las emisiones entorno a tres componentes claves:

- factores de emisión y sus factores de corrección correspondientes,
- actividad vehicular (datos de entrada de localidad) y
- distribución de la flota de vehículos (datos de entrada de flota).

La metodología de IVE parte de unos factores de emisión (FE) base y datos de la localidad elegida que representen y cuantifiquen estas tres entradas clave. Estos FE base posteriormente son multiplicados por factores de corrección y la distancia recorrida según tecnología.

IVE calcula las emisiones de un vehículo según las condiciones de circulación, en particular, en función de la potencia específica vehicular (VSP) y el estrés del motor (IVE, 2008).

1.2.3 EMFAC

Emission Factors (EMFAC), desarrollado por la Junta de Recursos del Aire de California, es un modelo diseñado para calcular las emisiones generadas por el tráfico vehicular. Su objetivo principal es estimar los inventarios de emisiones para el estado de California y sus regiones. La versión más reciente, EMFAC2021, incorpora datos actualizados sobre la población de coches y camiones en California, así como información sobre su actividad y resultados de pruebas de emisiones (California Air Resources Board, 2021).

El modelo estima las actividades vehiculares según las siguientes categorías:

- Millas viajadas (VMT, por sus siglas en inglés): se generan dos tipos, cVMT y eVMT. Siendo el primero las millas recorridas por los vehículos de combustible convencional (gasolina, diésel o gas natural) y el segundo representando los vehículos eléctricos. La suma de ambas componentes es el VMT
- viaje: el número total de viajes se estima por el número de arranques por vehículo y la población vehicular
- población
- consumo energético: se estima basándose en el consumo de electricidad en kilovatios-hora por kilómetro.

1.2.4 HBEFA

Handbook of Emission Factors for Road Transport (HBEFA) fue desarrollado gracias a las agencias de protección medioambiental de Alemania, Austria y Suiza y, a día de hoy, también es apoyado por Suecia, Noruega y Francia y el Centro Común de Investigación (JRC, por sus siglas en inglés) de la Comisión Europea (HBEFA, 2022).

HBEFA es un modelo de cálculo de emisiones atmosféricas del tráfico rodado que se basa en las condiciones de circulación. Utiliza factores de emisión obtenidos mediante simulaciones de diversas situaciones de conducción y categorías vehiculares, empleando la herramienta de simulación *Passenger Car and Heavy Duty Emission Model* (PHEM), desarrollada por la universidad TU Graz (SUMO, 2022).

HBEFA también consta de una versión online gratuita, donde se pueden calcular las emisiones vehiculares en condiciones limitadas. Los parámetros a elegir de esta versión son:

- país: Suiza, Alemania, Austria, Francia, Noruega, Suecia
- categoría de vehículos: Turismos, LDV, HDV, UBus, Coach, MC
- contaminantes: CO₂, CO, consumo de fuel, HC, NO_x, PM
- años: 2000, 2005, 2010, 2015, 2020, 2025, 2030, 2035, 2040, 2045, 2050.

1.2.5 MOBILE6

MOBILE es un programa informático desarrollado por la EPA con el fin de calcular las emisiones producidas por el tráfico rodado en carreteras de 49 estados, excluyendo a California, que ha establecido sus propios estándares de emisiones y creado un modelo independiente. La EPA creó la primera versión de MOBILE para reemplazar la tabla de factores de emisión AP-42, por un método más rápido y accesible (EPA, 2002).

El modelo MOBILE fue el elegido por la EPA durante muchos años para estimar la contaminación de vehículos por carretera. Sin embargo, el MOBILE6.2, publicado en 2004, fue la última versión del modelo, siendo sustituida por MOVES en 2010 (Fujita et al., 2012).

MOBILE estima las emisiones originadas por los gases de escape, emisiones evaporativas y partículas procedentes de frenos y neumáticos. Las salidas de este sistema consisten en emisiones expresadas en términos de cantidad por unidad de tiempo o por unidad de distancia para una flota o un tipo de vehículo.

1.2.6 MOVES

Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES) es un modelo de cálculo de emisiones de vehículos a motor desarrollado por la EPA, sucesor de MOBILE. MOVES estima las emisiones a nivel nacional, de condado y de proyecto (trayecto personalizado), para los contaminantes atmosféricos, los gases de efecto invernadero y los tóxicos atmosféricos.

MOVES calcula las emisiones según las condiciones de circulación y utiliza la información de la población de vehículos para clasificarlos en grupos, llamados “subcategorías de fuente”, según su tipo de combustible, clase regulatoria, año del modelo y edad.

El modelo emplea las especificaciones de los vehículos y los datos de actividad para calcular las horas de operación en distintos modos de funcionamiento dentro de cada subcategoría de fuente. Estos modos se determinan en función de la velocidad instantánea, la aceleración y la potencia estimada del vehículo.

Cada subcategoría de fuente y modo de funcionamiento están asociados a una tasa de emisión. Estas tasas se multiplican por las horas de funcionamiento y se suman para calcular las emisiones en funcionamiento totales (EPA, 2022).

1.2.7 GREET

El modelo GREET (*Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation*) es una herramienta integral que evalúa el ciclo de vida completo de los vehículos, incluyendo su combustible, productos asociados y sistemas energéticos. Su objetivo principal es estimar el impacto que éstos tienen, mediante el cálculo del consumo total de energía, las emisiones de contaminantes y gases efecto invernadero y el consumo de agua.

El proyecto GREET es una iniciativa de la Oficina de Tecnologías de la Bioenergía (BETO) del Departamento de Energía de Estados Unidos (EE.UU.), siendo una herramienta fundamental dentro de su área de Análisis y Sostenibilidad Tecnológica. Financiado por BETO, este modelo ha sido desarrollado por el Laboratorio Nacional de Argonne (ANL), con el propósito de promover los beneficios de los biocombustibles, bioproductos y bioenergía. Asimismo, BETO utiliza este modelo para evaluar el impacto de los avances de I+D (investigación y desarrollo), analizando la sostenibilidad de la cadena de suministro de las principales bioenergéticas (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2019).

GREET se compone de dos modelos: GREET 1, el cual estima la energía y las emisiones relativas a la producción y uso de los combustibles (ciclo de combustible, también conocido como *Well-to-Wheels*) y GREET 2, que calcula la energía y las emisiones procedentes de la

fabricación, funcionamiento y la eliminación del vehículo (ciclo del vehículo) (De Kleine et al., 2014). En la ilustración 1-4 se recoge el esquema de ambos ciclos.

Para el cálculo de las emisiones de la operación del vehículo, GREET 1 utiliza los factores de emisión marcados por la legislación de EE.UU.

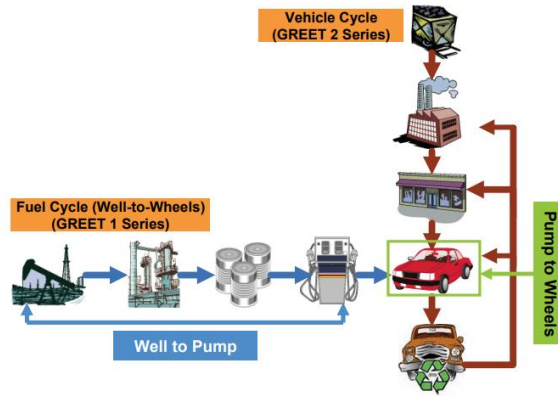


Ilustración 1-4 Ciclo completo de la energía relativo al tráfico rodado (Burnham et al., 2006)

1.2.8 ADVISOR 2002

El modelo *Advanced Vehicle Simulator* (ADVISOR) fue desarrollado por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de EE.UU. en 1994, con el objetivo de ayudar al Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE, por sus siglas en inglés) en el desarrollo de tecnologías para vehículos eléctricos híbridos (HEV), cuantificando el impacto de estas tecnologías en un vehículo.

ADVISOR dispone de tres tipos de fuentes de energía: motor de combustión interna, un sistema de pila de combustible y un sistema de almacenamiento de energía. Y las dos simulaciones más frecuentes en ADVISOR son las siguientes:

- Ciclo de conducción, que consiste en la variación de velocidades del vehículo a lo largo del tiempo. Se disponen de más de 40 ciclos de conducción diferentes en la base de datos de ADVISOR.
- Pruebas de rendimiento, que permiten al usuario evaluar las prestaciones de aceleración y pendiente de un vehículo.

El modelo calcula el gasto de combustible y las emisiones (HC, CO, NO_x, PM), tanto de manera integrada a lo largo de un ciclo como de forma instantánea en cualquier punto del ciclo (Markel et. al, 2002).

2. Objetivos

Como se ha plasmado en el apartado anterior, existen en el mercado numerosos modelos de cálculo de emisiones atmosféricas asociadas al tráfico rodado. Estas herramientas asisten a los investigadores en el desarrollo de tecnologías que reducen las emisiones del tráfico, contribuyendo así a mejorar la calidad de la vida urbana.

Sin embargo, al haber sido elaboradas por entidades de países diferentes y, por tanto, contemplar legislaciones sobre emisiones del tráfico distintas, existe la posibilidad de que haya variaciones en los resultados de los distintos modelos.

El objetivo de este Trabajo de Fin de Máster (TFM) es hacer un estudio comparativo de los diferentes modelos, siguiendo las siguientes fases:

(I) Selección de los modelos de cálculo de emisiones a estudiar

Se lleva a cabo un estudio preliminar de los distintos modelos de cálculo de emisiones de tráfico rodado existentes en el mercado, mencionados en el apartado 1.2, con el fin de seleccionar los que más se ajustan a los requerimientos del trabajo (considerando su rigurosidad, los contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero contemplados, así como sus limitaciones).

(II) Cálculo de las emisiones del tráfico rodado para un caso de estudio mediante el empleo de los modelos seleccionados

Una vez determinados los modelos a utilizar, se procede a calcular, con cada uno de ellos, las emisiones de determinadas sustancias químicas a la atmósfera (CO_2 , NO_x y $\text{PM}_{2,5}$) derivadas de la circulación del tráfico rodado de una ciudad tomada como caso de estudio (en este caso, la ciudad de Madrid).

(III) Comparativa de los resultados obtenidos con los distintos modelos

Finalmente, se realiza una comparativa detallada de los resultados obtenidos con cada una de las herramientas, destacando las diferencias y similitudes, y analizando las posibles debilidades de cada modelo.

3. Metodología

En este apartado se describe la metodología seguida en el desarrollo del proyecto. Como se ha indicado en el apartado anterior, se seleccionan los modelos de cálculo de emisiones que más se ajustan a los requisitos del trabajo y, posteriormente, se estiman las emisiones (CO₂, NO_x y PM_{2,5}) del tráfico rodado de la ciudad de Madrid en el año 2017 para contrastar resultados. Se elige la ciudad de Madrid como caso de estudio, al disponer ésta de un estudio muy detallado del parque circulante. Asimismo, se toma el año 2017, al ser este el último año con estudio del parque circulante publicado, a fecha de inicio del presente TFM.

Este cálculo con los distintos modelos se lleva a cabo en términos de emisiones totales de contaminantes expresadas en toneladas o kilogramos, según se indique.

3.1 Datos del parque circulante de la ciudad de Madrid

Los datos de entrada de la distribución de recorridos, flota y recorridos totales se han tomado del estudio del parque circulante de la ciudad de Madrid realizado en el año 2017, por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) de la Universidad Politécnica de Madrid y la Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial, junto con el modelo de tráfico de la ciudad de Madrid para ese mismo año.

Este estudio del parque circulante fue diseñado para obtener la información de la distribución de los recorridos totales realizados en el municipio según los tres niveles jerárquicos de COPERT, ya que es el programa que integra la metodología EMEP/EEA. Por tanto, recopila los datos del parque de vehículos según sector, subsector y tecnología, recogidos en la tabla 1-2.

Para la recogida de los datos, se dividió el municipio de Madrid en cinco zonas geográficas, según las características propias en términos de recorridos, velocidades medias de circulación y la composición de la flota vehicular de cada área. De este modo, las cinco zonas están delimitadas como se indica en la tabla 3-1 y la ilustración 3-1.

Tabla 3-1. Zonificación del municipio de Madrid de acuerdo al estudio del Parque Circulante 2017. (ETSII, 2018)

Zona	Descripción
A	Interior M30/Calle 30
B	M30/Calle 30
C	Entre M30/Calle 30 y M40
D	M40
E	Exterior M40

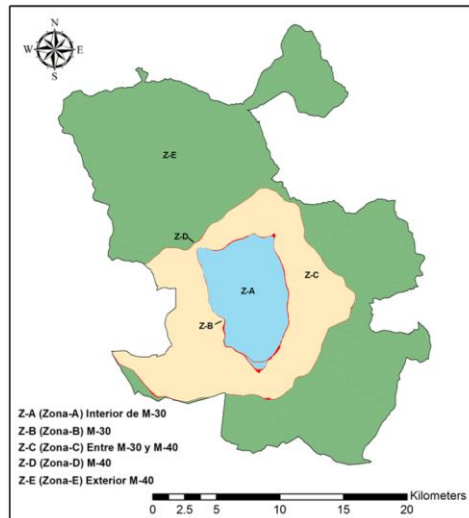


Ilustración 3-1. Zonificación establecida en el estudio del Parque Circulante 2017 (ETSII, 2018)

En los anexos I y II, vienen recogidos por zonas el stock vehicular y los kilómetros recorridos por cada tipología, respectivamente.

3.2 Estudio de los modelos de cálculo de emisiones del tráfico rodado

En la tabla 3-2, se hace un resumen de los modelos de cálculo de emisiones de tráfico rodado comentados en el apartado 1. Se estudian las características más relevantes de cada herramienta:

- entidad creadora,
- si el modelo calcula las emisiones en base a la velocidad media o la pauta de conducción,
- si el modelo calcula las emisiones de los contaminantes atmosféricos más relevantes,
- si el modelo calcula las emisiones de los gases de efecto invernadero,
- rigurosidad de los parámetros de entrada,
- limitaciones que se encuentran a priori,
- y si el modelo puede utilizarse de manera gratuita.

Para este TFM, se descarta el uso de los siguientes modelos:

- EMFAC, ya que solo considera las áreas geográficas y la clasificación de vehículos del estado de California,
- HBEFA, debido a que el software es de pago,
- HBEFA online, dado a que los parámetros de entrada son poco rigurosos,
- MOBILE6, debido a que es poco riguroso y acabó evolucionando a MOVES, modelo con menos limitaciones,
- ADVISOR 2002 porque no contempla las emisiones de CO₂ y se requieren datos de entrada de los que no se disponen.

Por tanto, se realiza el estudio comparativo de las herramientas: COPERT, IVE, MOVES y GREET. Con los tres primeros, se estiman las emisiones *Tank-to-Wheels* (TtW), y con el último modelo, se calculan, además, las emisiones *Well-to-Tank* (WtT), para obtener así las emisiones de todo el ciclo de vida completo del combustible, conocido como *Well-to-Wheels* (WtW).

Tabla 3-2. Resumen de los modelos de cálculo del tráfico rodado

Modelo	Entidad creadora	V _m o PC	Contaminantes atmosféricos	GEIs	Rigurosidad parámetros entrada	Limitación	Gratuito
COPERT	EEA	V _m	Sí	Sí	Buena	-	Sí
IVE	EPA	PC	Sí	Sí	Buena	-	Sí
EMFAC	CARB	PC	Sí	Sí	Mala	Sólo considera las áreas geográficas del estado de California	Sí
HBEFA	JRC	PC	Sí	Sí	Buena	Es de pago	No
HBEFA online	JRC	PC	Sí	Sólo CO ₂	Mala	Pocos parámetros de entrada	Sí
MOBILE6	EPA	PC	Sí	Sólo CO ₂	Mala	<ul style="list-style-type: none"> • Clasifica vehículos según edad (EEUU) • No contempla vehículos de GNC 	Sí
MOVES	EPA	PC	Sí	Sí	Media	Clasifica vehículos según edad (EEUU)	Sí
GREET	BETO	N/A	Sí	Sí	Media	Estudia todo el ciclo de vida, por tanto, es menos exacto en emisiones TtW.	Sí
ADVISOR 2002	NREL	PC	Sí	No	Malo	<ul style="list-style-type: none"> • No calcula GEI • No hay clasificación de vehículos, sino que es necesario introducir las características de cada vehículo (transmisión, motor...) 	Sí

3.3 COPERT 5.2.2

La versión que se utiliza en este TFM es la última disponible a fecha de inicio de éste: COPERT 5.2.2.

3.3.1 Datos de entrada en COPERT 5.2.2

La ilustración 3-2 muestra de manera esquemática los datos de entrada necesarios para ejecutar COPERT 5.2.2 y que devuelva las emisiones correspondientes al parque de circulante.

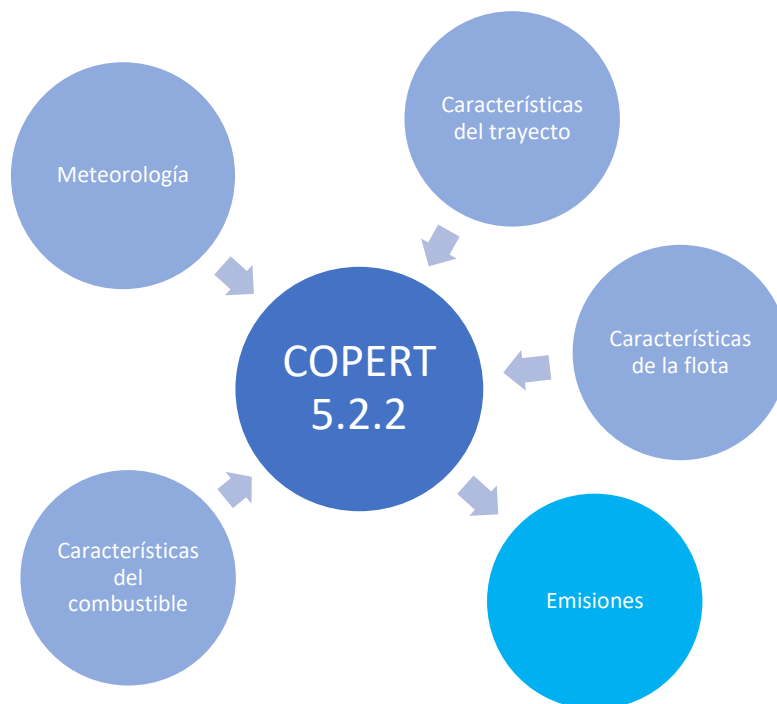


Ilustración 3-2. Datos de entrada de COPERT 5.2.2

3.3.1.1 Meteorología

Los datos que introducir en este apartado son la temperatura ambiente media mínima y máxima en cada mes en la ciudad de Madrid. En la tabla 3-3, se indican las temperaturas introducidas.

Tabla 3-3. Temperaturas ambiente media mínima y máxima, en grados centígrados, por meses en la ciudad de Madrid, introducidas en COPERT

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Mínima	4,6	3,8	3,5	6,9	10,2	15,7	20	19,6	15,7	11,5	5,2	3,8
Máxima	11,7	12,6	15	17,2	21,7	30,7	35,4	24,5	29,6	22,3	13,7	12,3

3.3.1.2 Características del trayecto y conducción

Tanto las características del trayecto como la pauta de conducción son un importante componente en las emisiones del tráfico rodado, por lo que es uno de los *inputs* de COPERT.

En primer lugar, se introducen las velocidades medias de cada zona de Madrid. En la tabla 3-4, se indican éstas.

Tabla 3-4. Velocidades medias (km/h) por zonas de Madrid, introducidas en COPERT

Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
28	67,5	49,5	86,6	84,1

Y, en segundo lugar, se aporta el porcentaje de reparto entre las diferentes pautas de conducción. Cada zona tiene asignada una pauta al 100%. En la tabla 3-5, se pueden ver las pautas asignadas a cada zona.

Tabla 3-5. Pautas de conducción por zonas de Madrid, introducidas en COPERT

Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
Urbana	Interurbana	Urbana	Interurbana	Interurbana

En cuanto a la pendiente del terreno, se ha indicado una inclinación media nula, ya que en cada trayecto puede haber pendiente positiva, negativa o nula. Y, por último, se ha tomado como longitud media de los trayectos 12 km y una duración del viaje de 0,2 h, de acuerdo a datos tipo de la metodología EMEP/EEA.

3.3.1.3 Características de la flota

La principal ventaja de COPERT es la amplia base de datos que tiene en cuanto a las características de los vehículos. Hace clasificaciones atendiendo a diferentes ítems:

- En la tabla 3-6, se recoge la clasificación por categorías de vehículos según COPERT.

Tabla 3-6. Clasificación por categorías de vehículos según COPERT (EEA, 2016)

Categoría	Descripción
<i>Passenger Cars</i>	Turismos (M1)
<i>Light Commercial Vehicles</i>	Vehículos ligeros (N1)
<i>Heavy Duty Trucks</i>	Vehículos pesados (3,5t < N2 ≤ 12t, N3 > 12t)
<i>Buses</i>	Autobuses y autocares (M2 ≤ 5t, M3 > 5t)
<i>L-Category (Mopeds and motorcycles)</i>	Ciclomotores: vehículos motorizados de dos ruedas con una velocidad máxima que no exceda 45 km/h y con una cilindrada menor de 50 cm ³ . Motocicletas: vehículos motorizados de dos o tres ruedas con una velocidad de diseño mayor a 45 km/h y con una cilindrada mayor a 50 cm ³ .

- Asimismo, COPERT hace subdivisiones según la cilindrada o carga máxima:
 - Turismos (según la cilindrada): *mini, small, medium, large-SUV-executive*.
 - Vehículos ligeros (según la carga máxima): N1-I, N1-II, N1-III.
 - Vehículos pesados (según la carga máxima): *rigid* ≤7,5 t, *rigid* 7,5 - 12 t, *rigid* 12 - 14 t, *rigid* 14 - 20 t, *rigid* 20 - 26 t, *rigid* 26 - 28 t, *rigid* 28 - 32 t, *rigid* >32 t,

articulated 14 - 20 t, articulated 20 - 28 t, articulated 28 - 34 t, articulated 34 - 40 t, articulated 40 - 50 t, articulated 50 - 60 t.

- Autobuses (según la carga máxima): *urban buses midi <=15 t, urban buses standard 15 - 18 t, urban buses articulated >18t, coaches standard <=18 t, coaches articulated >18 t, urban CNG buses, urban biodiesel buses.*
- Ciclomotores y motocicletas (según la cilindrada): *mopeds 2-stroke <50 cm³, mopeds 4-stroke <50 cm³, motorcycles 2-stroke >50 cm³, motorcycles 4-stroke <250 cm³, motorcycles 4-stroke 250 - 750 cm³, motorcycles 4-stroke >750 cm³.*
- El combustible que utiliza cada vehículo. En la tabla 3-7, se indican los combustibles considerados por COPERT para cada categoría:

Tabla 3-7. Combustibles considerados por COPERT según la categoría vehicular

Categoría	Gasolina	Híbrido	Diésel	Gases Licuados del Petróleo (GLP)	Gas Natural Comprimido (GNC)
<i>Passenger Cars</i>	x	x	x	x	x
<i>Light Commercial Vehicles</i>	x		x		
<i>Heavy Duty Trucks</i>	x		x		
<i>Buses</i>			x		x
<i>L-Category</i>	x		x		

- Cabe destacar que COPERT, al ser el modelo de cálculo de emisiones de la UE, clasifica los vehículos según la normativa de reducción de emisiones que utilizan los vehículos de Madrid: PRE-ECE, ECE, Euro 1, 2, 3, 4, 5, 6. Por tanto, este modelo utiliza factores de emisión muy próximos a la realidad de estos vehículos.

Como los datos del estudio de la ETSII fueron recogidos según los niveles jerárquicos de COPERT, no se ha necesitado tratar el dato para este apartado. En los anexos I y II, están recogidos los datos de *stock* y la actividad para cada tipología de vehículo que se ha introducido en COPERT.

3.3.1.4 Características del combustible

En cuanto a las características del combustible, se dejan por defecto las que indica COPERT, debido al “Real Decreto 61/2006, del 31 de enero, por el que se fijan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo, se regula el uso de determinados biocarburantes y el contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo” (BOE, 2006).

La presión de vapor Reid a lo largo del año varía según se indica en la tabla 3-8.

Tabla 3-8. Presión de vapor Reid según los meses del año en kPa

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
74	74	74	74	57	57	57	57	57	74	74	74

La legislación fija los siguientes datos:

- La mezcla de combustible
- La energía que aporta cada tipo de combustible [MJ/kg]
- La densidad del combustible [kg/m³]

- La relación hidrógeno/carbono y oxígeno/carbono
- El contenido de ciertos metales y otros elementos químicos (S, Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, Se, Zn, Hg, As) [ppm en masa].

3.3.2 Datos de salida en COPERT 5.2.2

Una vez introducidos los datos de entrada y ejecutado el programa, COPERT devuelve los resultados de las emisiones anuales del tráfico de Madrid desagregado en la clasificación de vehículos antes descrita. Para este TFM, se utilizan los datos de emisiones de CO₂, NO_x y PM_{2,5} (procedente de la combustión, excluyendo las correspondientes a abrasión del pavimento y desgaste de frenos y neumáticos).

3.3.3 Resumen de debilidades de COPERT 5.2.2

Como se ha comentado anteriormente, COPERT se adapta bien a la clasificación vehicular de la base de datos de la ciudad de Madrid ya que es el modelo elegido por la Unión Europea, por tanto, a priori, no presenta ninguna debilidad.

3.4 IVE Model 2.0.2

La versión de IVE utilizada es la 2.0.2, la última a fecha de inicio del presente TFM.

3.4.1 Datos de entrada en IVE 2.0.2

Los datos de entrada de IVE son los indicados en la ilustración 3-3.

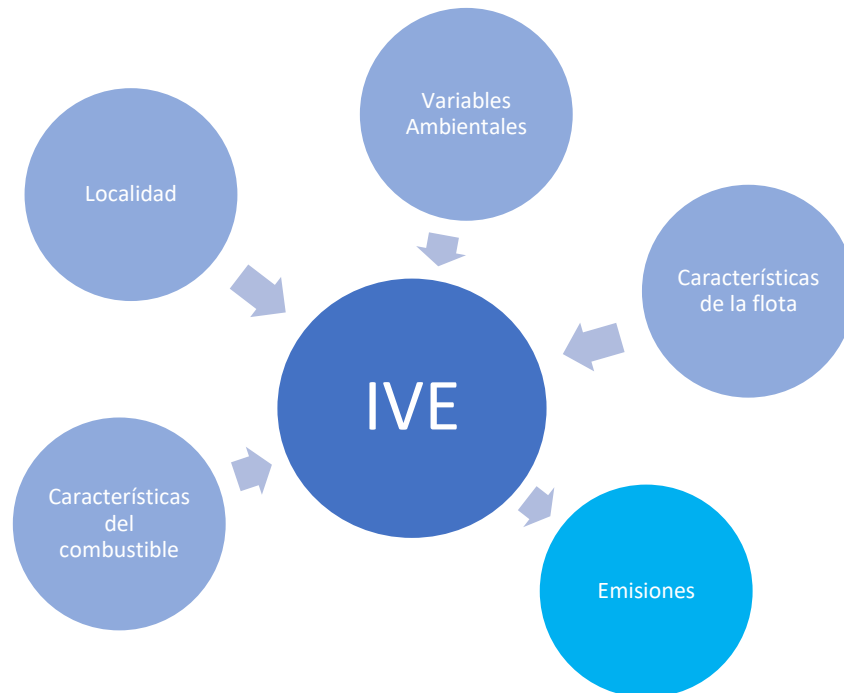


Ilustración 3-3. Datos de entrada de IVE 2.0.2

Al contrario que COPERT, el modelo IVE calcula las emisiones totales de una flota de vehículos. Por tanto, el modelo se ha ejecutado cuatro veces por zona, una por cada grupo de combustibles. Es decir, para cada zona, se han calculado las emisiones de los vehículos de gasolina, de los vehículos diésel, de los vehículos híbridos de gasolina y un último grupo compuesto por vehículos de GNC y GLP, denominado “otros”.

3.4.1.1 Localidad

IVE tiene una base de datos de una serie de ciudades que contempla toda la información de entrada necesarios para ejecutarlo. Estas ciudades son:

- Los Ángeles, EE.UU.
- Santiago, Chile
- Nairobi, Kenia
- Pune, India
- Almaty, Kazajistán
- Ciudad de México, México
- Lima, Perú
- Sao Paulo, Brasil

- Beijing, China
- Shanghái, China
- Tianjin, China
- Bogotá, Colombia
- Estambul, Turquía

Por proximidad de número de habitantes y estructura de las carreteras, se han calculado las emisiones eligiendo dos ciudades, Los Ángeles y Almaty, para luego elegir los resultados que más se ajusten.

Una vez elegida la localidad, el resto de los datos del modelo se cumplimentan automáticamente con la información de ésta. Sin embargo, para este estudio, se van a adaptar ciertos datos a la ciudad de Madrid.

En primer lugar, las velocidades medias de cada zona de Madrid introducidas en IVE pueden observarse en la tabla 3-9.

Tabla 3-9. Velocidades medias (km/h) por zonas de Madrid, introducidas en IVE

Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
28	67,5	49,5	86,6	84,1

Y, en segundo lugar, el comportamiento de conducción es una variable importante en IVE, ya que la velocidad, la aceleración y deceleración tiene un alto impacto en las emisiones a la salida del tubo de escape.

IVE mide este comportamiento a través de dos parámetros: la potencia específica vehicular y el estrés del motor. Ambos parámetros se pueden calcular si se conoce el tipo de vehículo y la traza de velocidad segundo a segundo. Sin embargo, para este TFM, se cogen por defecto las que IVE tiene para las ciudades de Los Ángeles y de Almaty, ya que no se dispone de la información de velocidades instantáneas.

Dentro de ambas ciudades, se puede seleccionar el tipo de carretera (*Residencial, Arterial o Freeway*). Para cada zona de Madrid, se han seleccionado los tipos de carretera que se muestra en la tabla 3-10.

Tabla 3-10. Pautas de conducción por zonas de Madrid, introducidas en IVE

Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
Residencial	Arterial	Residencial	Arterial	Arterial

Asimismo, el número de partidas (arranque en frío del vehículo) tiene un gran efecto en las emisiones de tubo de escape. En este modelo, se ha considerado que no hay partidas en las zonas B y D, ya que son zonas de autovía, y que en el resto de zonas habrá una partida cada 12 km.

3.4.1.2 Variables ambientales

En IVE, únicamente se puede introducir una temperatura media, por lo que se ha introducido la media de todas las temperaturas mensuales de la ciudad de Madrid: 16,6 °C.

En cuanto a la pendiente, al igual que en el resto de los modelos, se ha introducido una pendiente neta nula y en la altitud, se ha indicado la de Madrid: 600 m.

3.4.1.3 Características de la flota

La flota de vehículos se introduce en IVE en porcentajes de tipos de vehículos según la siguiente clasificación:

- La categoría del vehículo. En la tabla 3-11, se describe cada categoría.

Tabla 3-11. Clasificación por categorías de vehículos según IVE

Categoría	Descripción abreviada en IVE	Descripción
Auto/Camioneta	Auto/Sm Truck	Vehículos de pasajeros de peso bruto vehicular menor a 9000 lb.
Camión/Bus	Truck/Bus	Vehículos de peso bruto vehicular mayor a 9000 lb.
Motor pequeño	SmEng	Motocicletas o vehículos de 3 ruedas.

- Asimismo, hace subdivisiones de la categoría Auto/Camioneta según el peso bruto vehicular en liviano (Lt), mediano (Md) y Pesado (Hv).
- El combustible que utiliza cada vehículo. En la tabla 3-12, se pueden observar los combustibles considerados para cada categoría:

Tabla 3-12. Combustibles considerados por IVE según la categoría vehicular

Categoría	Gasolina	Híbrido	Diésel	GLP	GNC
Auto/Camioneta	x	x	x	x	x
Camión/Bus	x		x		x
Motor pequeño	x		x		

- En cuanto a las tecnologías de reducción de emisiones, IVE hace la clasificación indicada en las tablas 3-13 y 3-14.

Estudio comparativo de distintos modelos de cálculo de emisiones del tráfico rodado

Tabla 3-13. Tecnologías de reducción de emisiones en vehículos ligeros según IVE (IVE, 2008)

Light Duty Gasoline Vehicles		Light Duty Diesel Vehicles		Light Duty Vehicles (Ethanol, Natural Gas, Propane, retrofits, etc)		Gasoline and Ethanol Motorcycles	
Carburator	None	Pre-Chamber Inject	None	Carb/Mixer	None	2-Cycle, FI	None
Carburator	2-Way	Pre-Chamber Inject	Improved	Carb/Mixer	2-Way	4-Cycle, Carb	None
Carburator	2-Way/EGR	Direct Injection	EGR+	Carb/Mixer	2-Way/EGR	4-Cycle, Carb	Catalyst
Carburator	3-Way	FI	PM	Carb/Mixer	3-Way	4-Cycle, FI	None
Carburator	3-Way/EGR	FI	PM/Nox	Carb/Mixer	3-Way/EGR	4-Cycle, FI	Catalyst
Single-Pt FI	none	FI	Euro I	Single-Pt FI	2-Way		
Single-Pt FI	none/EGR	FI	Euro II	Single-Pt FI	2-Way/EGR		
Single-Pt FI	2-Way	FI	Euro III	Single-Pt FI	3-Way		
Single-Pt FI	2-Way/EGR	FI	Euro IV	Single-Pt FI	3-Way/EGR		
Single-Pt FI	3-Way	FI	Hybrid	Multi-Pt FI	3-Way		
Single-Pt FI	3-Way/EGR			Multi-Pt FI	3-Way/EGR		
Multi-Pt FI	none						
Multi-Pt FI	none/EGR						
Multi-Pt FI	2-Way						
Multi-Pt FI	2-Way/EGR						
Multi-Pt FI	3-Way						
Multi-Pt FI	3-Way/EGR						
Multi-Pt FI	LEV						
Multi-Pt FI	ULEV						
Multi-Pt FI	SULEV						
Multi-Pt FI	Euro I						
Multi-Pt FI	Euro II						
Multi-Pt FI	Euro III						
Multi-Pt FI	Euro IV						
Multi-Pt FI	Hybrid						

Tabla 3-14. Tecnologías de reducción de emisiones en vehículos pesados según IVE (IVE, 2008)

Heavy Duty Gasoline Vehicles		Heavy Duty Diesel Vehicles		Heavy Duty Vehicles (Ethanol, Natural Gas, Propane, etc.)	
Carburator	None	Pre-Chamber Inject	None	Carburator	None
Carburator	2-Way	Direct Injection	Improved	Carburator	2-Way/EGR
Carburator	2-Way/EGR	Direct Injection	EGR+	Carburator	3-Way/EGR
Carburator	3-Way	FI	PM	FI	3-Way/EGR
Carburator	3-Way/EGR	FI	PM/Nox		
FI	None	FI	Euro I		
FI	2-Way	FI	Euro II		
FI	2-Way/EGR	FI	Euro III		
FI	3-Way	FI	Euro IV		
FI	3-Way/EGR	FI	Euro V		
FI	Euro I	FI	Hybrid		
FI	Euro II				
FI	Euro III				
FI	Euro IV				
FI	Euro V				

Para realizar la clasificación de la flota de vehículos de Madrid según IVE, se han llevado a cabo una serie de aproximaciones:

- IVE no diferencia entre los vehículos *mini* y los *small*, por tanto, ambos se clasifican como *light*.
- No clasifica a los vehículos pesados por tamaño, por lo que se han incluido todos del mismo modo.
- No hay categoría ECE. Como la inyección empieza en la década de los 70, los vehículos de esta categoría se han clasificado como vehículos con carburador.
- En los híbridos de petróleo no se hace distinción entre normativa Euro.
- Los únicos vehículos de GLP del inventario de IVE son motocicletas, por tanto, los demás se han catalogado como vehículos de propano, ya que el GLP es una mezcla de butano y propano.
- No hay clasificación de autobuses de gas natural por normativa Euro, por lo que todos se han clasificado igual.
- No hay distinción entre tamaños de motos, por tanto, se han incluido todas sin distinción.
- IVE no contempla Euro 5 ni Euro 6 para los vehículos ligeros, por tanto, se ha utilizado Euro 4. En la tabla 3-15, se puede observar la proporción de ligeros Euro 4, Euro 5 y Euro 6. La mayoría de ellos son Euro 4, por tanto, se considera que es una aproximación aceptable.
- Tampoco incluye Euro VI para los vehículos pesados, por lo que, utilizando el mismo razonamiento, se ha utilizado la tecnología Euro V para éstos.

Tabla 3-15. Proporción de vehículos ligeros Euro 4, Euro 5 y Euro 6

Tecnología	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
Euro 4	57%	63%	61%	63%	62%
Euro 5	41%	36%	37%	36%	36%
Euro 6	2%	1%	2%	1%	2%

Tabla 3-16. Proporción de vehículos pesados Euro IV, Euro V y Euro VI

Tecnología	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
Euro IV	25%	24%	27%	24%	24%
Euro V	45%	35%	46%	35%	42%
Euro VI	30%	41%	27%	41%	33%

Adicionalmente, IVE solicita en cada ejecución la distancia recorrida total por todos los vehículos. En la tabla 3-17, se pueden observar las distancias para cada zona y combustible.

Tabla 3-17. Distancia total recorrida para cada grupo vehicular por zonas (km) introducida en IVE

Grupo vehicular	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
Gasolina	7.366.786	4.510.048	9.608.469	5.435.053	7.827.862
Diésel	194.625.268	54.178.153	247.583.170	64.536.745	230.624.187
Híbridos	36.291.527	19.850.306	41.509.178	23.921.579	33.867.894
Otros	93.418.591	19.913.729	90.512.308	24.008.650	82.411.989

3.4.1.4 Características del combustible

Al igual que en COPERT, se han dejado por defecto las características del combustible que incluye IVE.

3.4.2 Datos de salida en IVE

Una vez ejecutado, IVE devuelve las emisiones totales de los contaminantes para cada grupo de vehículos.

Para este trabajo, como se ha indicado anteriormente, se han realizado los cálculos para dos ciudades, Los Ángeles y Almaty. Dado a que las emisiones de CO₂ en la ciudad de Almaty distaban más que las de Los Ángeles de las emisiones obtenidas por COPERT, finalmente, se realiza el estudio con los datos de Los Ángeles.

Los datos de salida utilizados en este TFM son los correspondientes a CO₂, NO_x y PM₁₀, incluyendo las correspondientes a abrasión del pavimento y desgaste de frenos neumáticos, dado que IVE no calcula el PM_{2,5} por separado. El hecho de utilizar este tipo de PM implica que las emisiones pueden, al menos, un 100% superiores a las de COPERT (EEA, 2021).

3.4.3 Resumen de debilidades de IVE

Tras el estudio del modelo, se han observado las siguientes debilidades del modelo IVE:

- Como se ha indicado en el apartado de localidad, no contempla la ciudad de Madrid, por lo que hay que modificar datos que son muy complejos de obtener, como puede ser la velocidad instantánea. Por tanto, la pauta de conducción utilizada dista de la real de Madrid y esto se ve reflejado en los resultados.
- No contempla todas las tecnologías de reducción de emisiones europeas (PRE-ECE, ECE, Euro 5, Euro 6/VI).
- No hace clasificación según normativa Euro de todas las tecnologías (híbridos de petróleo, GNC).
- Calcula las emisiones de PM₁₀ procedentes de la combustión, de la abrasión del pavimento y del desgaste de frenos y neumáticos, no pudiéndose extraer únicamente las de combustión.

3.5 MOVES3

Para este estudio se ha utilizado la versión MOVES 3.0, la última disponible a fecha de inicio del proyecto.

3.5.1 Datos de entrada en MOVES3

En la ilustración 3-4, se indican los datos de entrada necesarios para ejecutar MOVES3 y que devuelva las emisiones correspondientes.

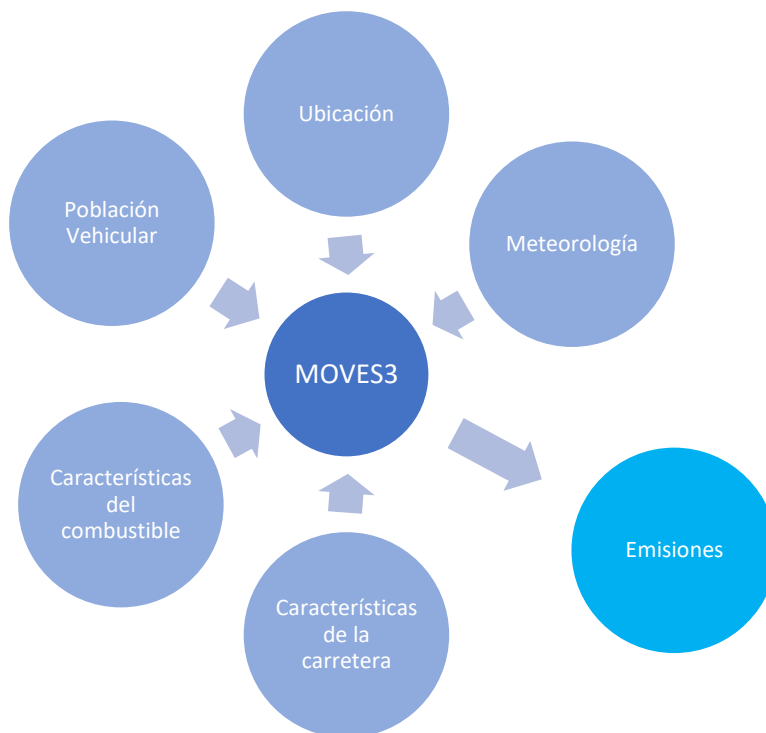


Ilustración 3-4. Datos de entrada de MOVES3

3.5.1.1 Ubicación

MOVES3 ha sido diseñado con el objetivo del cálculo de emisiones del tráfico de EE.UU., por tanto, únicamente se puede seleccionar un estado de este país.

En EE.UU. hay dos tipos de legislaciones de emisiones de tráfico rodado vigentes, Tier y LEV, siendo esta última específica para el estado de California. Como la legislación Tier es la genérica para la mayor parte de los estados, se selecciona uno de los estados que siguen esta norma: Florida.

3.5.1.2 Meteorología

En cuanto a la temperatura, se ha introducido la temperatura media de Madrid por meses. Se indican en la tabla 3-18.

Tabla 3-18. Temperatura ambiente media, en grados centígrados, por meses en la ciudad de Madrid, introducidas en MOVES3

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura	8,2	8,2	9,3	12	15,9	23	28	27	23	17	9,5	8,1

3.5.1.3 Población vehicular

MOVES3 puede recibir los datos de la población vehicular según las siguientes clasificaciones:

- el tipo de vehículo o según una categoría superior, llamada *Highway Performance Monitoring System* (HPMS), indicados en la tabla 3-19. Para este trabajo, se ha hecho la división según el tipo de vehículo, ya que se disponía de la información.

Tabla 3-19. Clasificación vehicular según MOVES3 (EPA, 2020)

Tipo de Vehículo	HPMS
<i>Motorcycle</i>	<i>Motorcycle</i>
<i>Passenger Car</i>	<i>Light Duty Vehicles – Short and Long Wheelbase</i>
<i>Passenger Truck</i>	
<i>Light Commercial Truck</i>	
<i>Other Buses</i>	<i>Buses</i>
<i>Transit Buses</i>	
<i>School Buses</i>	
<i>Refuse Truck</i>	<i>Single Unit Trucks</i>
<i>Single Unit Short-Haul Truck</i>	
<i>Single Unit Long-Haul Truck</i>	
<i>Motor Home</i>	
<i>Combination Short-haul Truck</i>	<i>Combination Trucks</i>
<i>Combination Long-haul Truck</i>	

- Según el tipo de combustible que utiliza cada vehículo. En la tabla 3-20, se recogen los combustibles considerados para cada uno.

Tabla 3-20. Combustibles considerados por MOVES3 según la categoría vehicular

Tipo de vehículo	Gasolina	Híbrido	Diésel	GLP	GNC
<i>Motorcycle</i>	X				
<i>Passenger Car</i>	X		X		
<i>Passenger Truck</i>	X		X		
<i>Light Commercial Truck</i>	X		X		
<i>Other Buses</i>	X		X		X
<i>Transit Buses</i>	X		X		X
<i>School Buses</i>	X		X		X
<i>Refuse Truck</i>	X		X		X
<i>Single Unit Short-Haul Truck</i>	X		X		X
<i>Single Unit Long-Haul Truck</i>	X		X		X
<i>Motor Home</i>	X		X		X
<i>Combination Short-haul Truck</i>	X		X		
<i>Combination Long-haul Truck</i>			X		X

- Según la edad, en años, de cada vehículo.

Para realizar la clasificación de la flota de vehículos de Madrid según MOVES3, se han llevado a cabo una serie de aproximaciones:

- MOVES3 no contempla la opción de vehículos híbridos de gasolina. En este trabajo, se han introducido como vehículos de gasolina y tras la ejecución sólo se han considerado un 60% de las emisiones de éstos.
- Tampoco contempla las tecnologías de GNC y GLP para los turismos. Se han introducido como vehículos de gasolina y, posteriormente, se han aplicado factores de corrección recogidos en las tablas 3-21, 3-22 y 3-23; que han sido calculados a través de los factores de emisión dados por COPERT para dichas tecnologías.

Tabla 3-21. Factores de corrección para emisiones de NO_x en vehículos de GNC y GLP

Tecnología	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
GNC	1,1129	1,0041	1,1129	1,0041	1,0041
GLP	1,1129	1,0041	1,1129	1,0041	1,0041

Tabla 3-22. Factores de corrección para emisiones de PM_{2,5} en vehículos de GNC y GLP

Tecnología	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
GNC	0,9665	0,9684	0,9665	0,9684	0,9684
GLP	0,9665	0,9684	0,9665	0,9684	0,96847

Tabla 3-23. Factores de corrección para emisiones de CO₂ en vehículos de GNC y GLP

Tecnología	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
GNC	0,8122	0,8128	0,8122	0,8128	0,8128
GLP	0,7685	0,9590	0,7685	0,9590	0,9590

- La clasificación en tipos de vehículos no contempla el peso o tamaño de los vehículos, por tanto, se han introducido todos por igual.
- Para la clasificación por años, se ha cogido la edad media de cada normativa europea.

Por otro lado, se han introducido las *Vehicle Miles Traveled* (VMT), que son las millas recorridas por cada tipo de vehículo según la clasificación anterior.

3.5.1.4 Características de la carretera

MOVES3 clasifica los tipos de carretera de la siguiente forma:

- Fuera de la red, 1: todas las localizaciones donde la actividad predominante es arrancar y aparcar (parkings, parada de autobuses, áreas de servicio, etc.).
- Acceso restringido rural, 2: carreteras rurales a las que solo se puede acceder por una rampa de acceso.
- Acceso no restringido rural, 3: todas las demás carreteras rurales (arterias, conectores y calles locales).
- Acceso restringido urbano, 4: carreteras urbanas a las que sólo se puede acceder por una rampa de entrada.
- Acceso no restringido urbano, 5: todas las demás vías urbanas (arterias, conectores y calles locales).

MOVES3 utiliza el tipo de vía para asignar ciclos de conducción por defecto. Por ejemplo, para los tipos de carretera de acceso no restringido, utiliza ciclos de conducción que suponen una conducción de parada, arranque y múltiples aceleraciones, mientras que para los de acceso restringido, MOVES3 utiliza ciclos de conducción que incluyen una mayor fracción de actividad de cruce con menos tiempo dedicado a acelerar o ralentí (EPA, 2020).

En la tabla 3-24, se indica el tipo de carretera seleccionado para cada zona de la ciudad de Madrid.

Tabla 3-24. Clasificación de las carreteras de la ciudad de Madrid introducida en MOVES3

Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
5	4	5	4	3

Adicionalmente, la velocidad media que se ha introducido para cada zona de la ciudad de Madrid viene indicada en la tabla 3-25.

Tabla 3-25. Velocidades medias (km/h) por zonas de Madrid, introducidas en MOVES3

Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
32	64	48	88,5	80,5

3.5.1.5 Características del combustible

Respecto las características del combustible, al igual que en el resto de los modelos, se han dejado las que MOVES3 contiene por defecto.

3.5.2 Datos de salida de MOVES3

Una vez ejecutado para cada zona, MOVES3 devuelve los resultados de las emisiones de cada una de las tipologías de vehículos por separado.

Para este modelo, se han de tratar las emisiones correspondientes a los vehículos híbridos de gasolina y de GNC y GLP, como se ha indicado en el apartado 3.5.1.3.

En este TFM se utilizan los datos de emisiones de CO₂, NO_x y PM_{2,5} (incluyendo las correspondientes a abrasión del pavimento y desgaste de frenos y neumáticos, ya que no se pueden extraer por separado).

3.5.3 Resumen de debilidades de MOVES3

MOVES3 presenta las siguientes debilidades:

- MOVES3 presenta una gran debilidad si se quiere calcular emisiones de localidades fuera de EE.UU. Esto afecta en los resultados por dos motivos:
 - En primer lugar, por lo general, los vehículos de EE.UU. son de mayor cilindrada que los europeos, y MOVES3 no contempla el tamaño de los vehículos como dato de entrada.
 - En segundo lugar, las legislaciones que imponen los límites de emisión del tráfico rodado en ambas localizaciones son diferentes. En las tablas 3-26 y 3-27, se muestran algunos ejemplos desde 2004 a 2017, de los límites de emisión de los vehículos turismos según la legislación de Estados Unidos (Tier

2) y la Unión Europea (Euro). Se puede observar cómo inicialmente en Europa los FE de NO_x fijados son menores que EE.UU., pero en 2017 son mayores.

Tabla 3-26. Límites de emisión según normativa Tier 2 para vehículos turismos (Fuente: DieselNet, 2022)

Combustible	Año de aplicación	Clasificación en Tier 2	FE NO _x (g/km)	FE PM (g/km)
Todos	2004	Bin 11	0,5625	0,075
Todos	2009 - 2017	Bin 5	0,04375	0,00625

Tabla 3-27. Límites de emisión según normativa Euro para vehículos turismos (Fuente: EEA, 2022)

Combustible	Año de aplicación	Normativa Euro	FE NO _x (g/km)	FE PM (g/km)
Gasolina	2004	Euro 3	0,15	-
Gasolina	2009	Euro 5	0,06	0,005
Gasolina	2017	Euro 6	0,06	0,005
Diésel	2004	Euro 3	0,5	0,05
Diésel	2009	Euro 5	0,18	0,005
Diésel	2017	Euro 6	0,08	0,005

- Los tipos de combustible en los vehículos turismos son muy limitados, pues hoy en día hay una gran cantidad de turismos que utilizan GNC y GLP o de tecnología híbrida.
- No devuelve las emisiones de PM_{2,5} correspondientes exclusivamente a la combustión.

3.6 GREET

A diferencia de los tres modelos de cálculo de emisiones anteriores, GREET también calcula las emisiones de todo el ciclo de combustible, es decir, el comúnmente llamado *Well-to-Wheels*, y las emisiones del ciclo de vida del vehículo.

En este trabajo, se utiliza esta herramienta para calcular, en primer lugar, las emisiones *Tank-to-Wheels*, para hacer una comparativa con la estimación de los otros modelos, y, en segundo lugar, las emisiones *Well-to-Wheels*, para estudiar lo que suponen las emisiones de la etapa de producción de combustible respecto a la etapa de uso de éste.

Para este TFM, se ha utilizado la versión GREET 2022, última versión disponible al comienzo de éste.

3.6.1 Datos de entrada en GREET

Como GREET es un modelo destinado al cálculo total de las emisiones del ciclo de vida del combustible y del ciclo de vida del vehículo, los datos de entrada que solicita se centran más en las características del combustible y el origen de la materia prima que en el propio ciclo de conducción del vehículo y las características de la carretera.

En la ilustración 3-5, se observan los datos de entrada necesarios para ejecutar GREET.

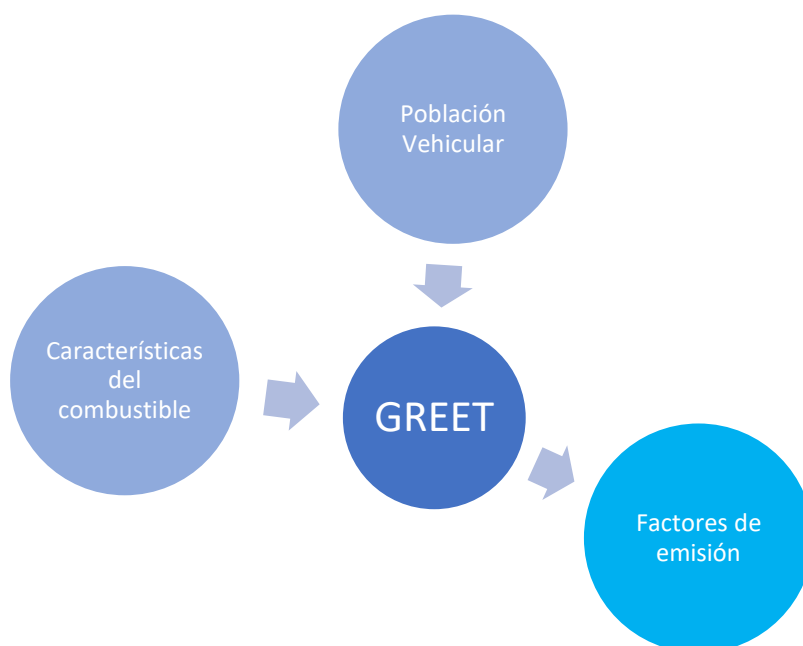


Ilustración 3-5. Datos de entrada de GREET 2022

3.6.1.1 Población vehicular

GREET hace una clasificación de vehículos según:

- Categoría de vehículo, en la tabla 3-28 se indica cada tipo. GREET no calcula emisiones para vehículos de la categoría L (ciclomotores y motocicletas).

Tabla 3-28. Categorías vehiculares según GREET (Wang et al., 2005)

Categoría	Descripción
<i>Passenger cars</i>	Turismos
<i>Light-duty trucks 1</i>	<i>Sports utility vehicles (SUV)</i>
<i>Light-duty trucks 2</i>	<i>Pickup Truck (PUT)</i>
<i>Heavy-duty vehicles</i>	Vehículos pesados

- A su vez, los vehículos pesados pueden clasificarse en las siguientes subcategorías: *Combination Long-Haul Trucks*, *Combination Short-Haul Trucks*, *Heavy Heavy-Duty Vocational Vehicles*, *Medium Heavy-Duty Vocational Vehicles*, *Light Heavy-Duty Vocational Vehicles*, *Heavy-Duty Pick-Up Trucks and Vans*, *Refuse Trucks*, *School Buses*, *Intercity Buses* y *Transit Buses*. Sin embargo, no existen subcategorías para los turismos y vehículos ligeros.
- En cuanto a los combustibles considerados para cada categoría, están recogidos en la tabla 3-29.
- Y, por último, según la edad de cada vehículo.

Tabla 3-29. Combustibles considerados por GREET según la categoría vehicular

Categoría	Gasolina	Híbrido	Diésel	GLP	GNC
<i>Passenger cars</i>	x	x	x	x	x
<i>Light-duty trucks 1</i>	x	x	x	x	x
<i>Light-duty trucks 2</i>	x	x	x	x	x
<i>Heavy-duty vehicles</i>			x	x	x

Para la clasificación de la flota de vehículos de Madrid según GREET, se han llevado a cabo las siguientes aproximaciones:

- No hay tamaños de *passenger cars* ni de *light-duty trucks*, por tanto, se han clasificado todos por igual.
- GREET no calcula emisiones de motocicletas, por tanto, se han calculado como vehículos turismos de gasolina y se han multiplicado por los siguientes factores de conversión, calculados sobre datos de COPERT:
 - Para las emisiones de PM_{2,5}: 11,52
 - Para las emisiones de NO_x: 0,204
 - Para las emisiones de CO₂: 0,686
- Para la clasificación por años, se ha tomado el año central de cada normativa europea.

3.6.1.2 Características del combustible

GREET además de las características propias del combustible de la flota de vehículos, también considera las características de la producción y del transporte, así como el origen de los combustibles.

Una vez más, estos datos se han dejado los que fija el modelo por defecto.

3.6.2 Datos de salida en GREET

Como se ha indicado antes, GREET, debido a que es un modelo creado para el ciclo *Well-to-Wheels* y el ciclo de vida del vehículo, sus cálculos para el ciclo *Tank-to-Wheels* son más inexactos que para el resto de los modelos.

Además, a diferencia del resto de los modelos estudiados, GREET calcula factores de emisión (kg/km), por lo que, tras ejecutar el modelo, se ha de multiplicar los kilómetros recorridos por cada tipología de vehículo por su factor de emisión correspondiente.

Para este TFM se utilizan los datos correspondientes a las emisiones de CO₂, NO_x y PM_{2,5} (correspondientes a la combustión, abrasión del pavimento y desgaste de frenos y neumáticos).

3.6.3 Resumen de debilidades de GREET

GREET presenta las siguientes debilidades:

- Al igual que en MOVES3, presenta una gran debilidad cuando se pretende calcular las emisiones de una flota de EE.UU., ya que se introducen los vehículos por edad y no por legislación, y no hace una clasificación por tamaños dentro de las categorías vehiculares.
- No tiene en cuenta las variables ambientales (temperatura y humedad).
- No se han podido diferenciar las zonas de Madrid según tipología de carretera (urbana, rural o interurbana) ni velocidad media de los vehículos, que son datos muy importantes para el cálculo de emisiones en el resto de los modelos. Por tanto, los factores de emisión de las cinco zonas de Madrid son iguales según GREET.
- No calcula las emisiones de las motocicletas.
- No calcula las emisiones de PM_{2,5} correspondientes únicamente a la combustión.

4. Resultados y discusión

En este apartado, se muestran los resultados y se hace una comparación de las emisiones *Tank-to-Wheels* totales en cada zona calculadas por los cuatro modelos, COPERT, IVE, MOVES3 y GREET, de los distintos grupos de vehículos según combustibles: gasolina, diésel, híbridos de gasolina y grupo “otros” (GNC y GLP).

La comparativa enfrenta las emisiones de COPERT con las calculadas por el resto de los modelos. Se ha seleccionado COPERT como referente ya que ha sido desarrollado por la EEA con el objetivo de realizar el inventario de emisiones de transporte por carretera de los países miembros de la UE.

Asimismo, se contrastan de las emisiones *Tank-to-Wheels* frente las emisiones *Well-to-Wheels* del modelo GREET, para estimar qué porcentaje suponen las emisiones relativas a la operación del vehículo frente a las correspondientes al ciclo de vida completo del combustible.

Las emisiones que se analizan son CO₂, NO_x y PM_{2,5} procedente de la combustión.

4.1 Emisiones CO₂ (*Tank-to-Wheels*)

En la tabla 4-1, se recogen las emisiones totales de CO₂ por zonas para cada combustible según los distintos modelos de cálculo de emisiones. Las ilustraciones 4-1, 4-2, 4-3 y 4-4 muestran una comparación gráfica de estas emisiones.

Tabla 4-1. Emisiones de CO₂ de la flota de Madrid

Zona	Metodología	Gasolina (t)	Diésel (t)	Híbridos (t)	Otros (t)
A	COPERT	146.267	279.150	4.427	36.700
A	IVE	135.050	463.332	8.040	34.766
A	MOVES3	260.197	615.426	5.810	33.354
A	GREET (Tank-to-Wheels)	149.641	373.324	5.872	49.401
A	GREET (Well-to-Wheels)	181.838	439.729	7.066	57.836
B	COPERT	67.894	211.963	1.989	3.687
B	IVE	72.196	290.675	2.953	4.012
B	MOVES3	164.580	495.356	4.466	7.622
B	GREET (Tank-to-Wheels)	98.543	326.800	3.111	5.997
B	GREET (Well-to-Wheels)	120.188	384.895	3.744	6.988
C	COPERT	160.794	483.013	4.687	21.370
C	IVE	118.394	459.391	5.208	16.398
C	MOVES3	288.911	856.766	7.348	28.405
C	GREET (Tank-to-Wheels)	204.636	685.577	6.632	32.573
C	GREET (Well-to-Wheels)	249.291	807.400	7.982	38.022
D	COPERT	83.372	264.205	2.636	4.593
D	IVE	67.814	273.003	2.774	3.772
D	MOVES3	174.613	531.467	4.723	6.843
D	GREET (Tank-to-Wheels)	126.334	411.265	3.989	7.198
D	GREET (Well-to-Wheels)	154.083	484.374	4.800	8.427
E	COPERT	118.720	480.593	3.675	14.676
E	IVE	97.253	507.824	4.040	13.059
E	MOVES3	248.267	796.257	6.564	20.752
E	GREET (Tank-to-Wheels)	169.755	743.141	5.378	22.392
E	GREET (Well-to-Wheels)	206.956	875.215	6.474	26.045

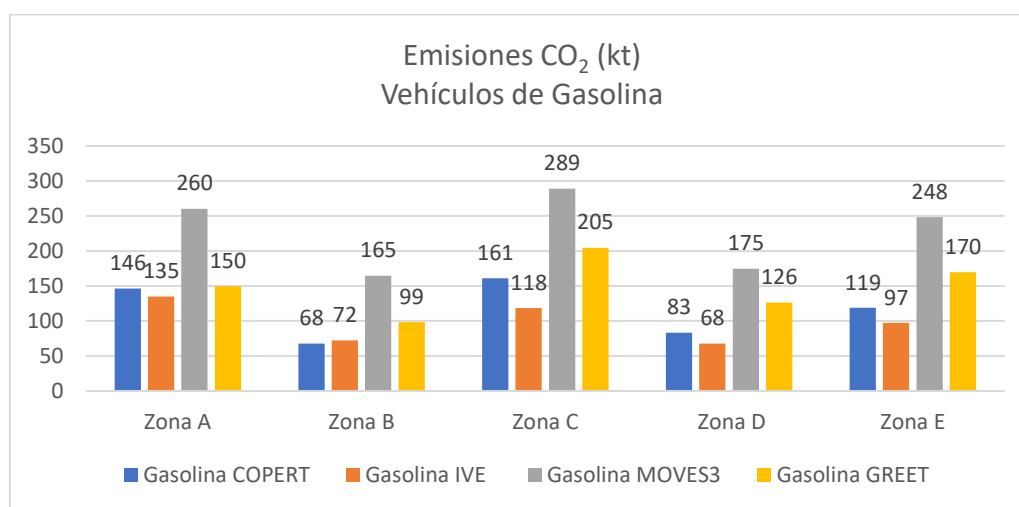


Ilustración 4-1. Emisiones de CO₂ de los vehículos de gasolina calculadas por los diferentes modelos

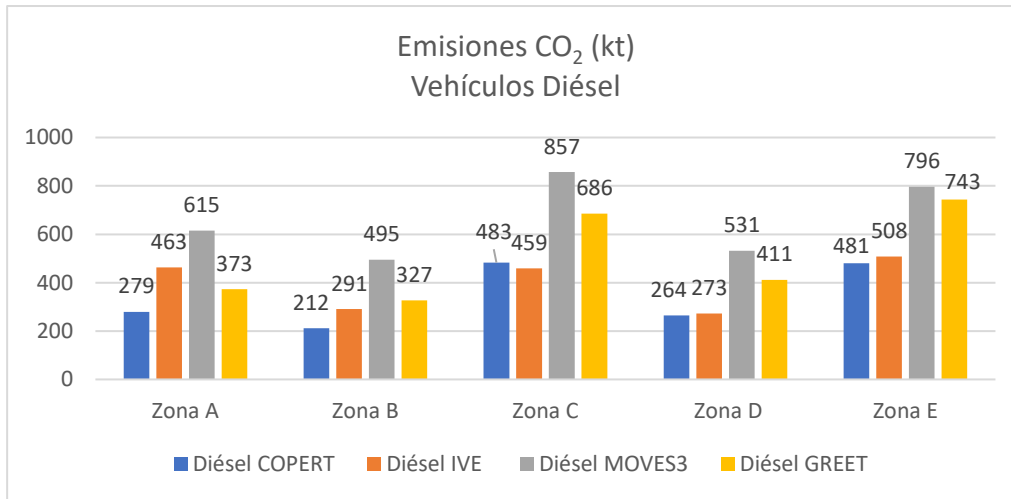


Ilustración 4-2. Emisiones de CO₂ de los vehículos diésel calculadas por los diferentes modelos

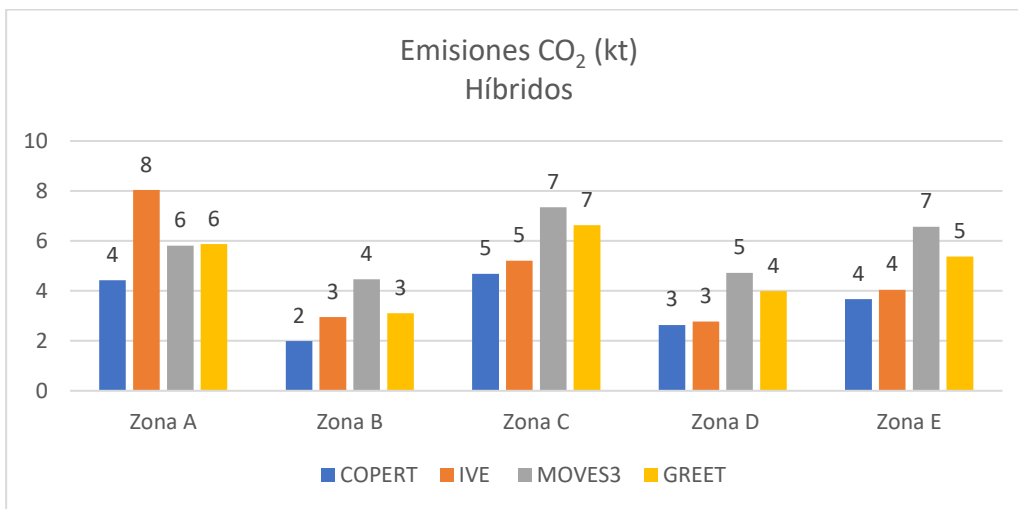


Ilustración 4-3. Emisiones de CO₂ de los vehículos híbridos de gasolina calculadas por los diferentes modelos

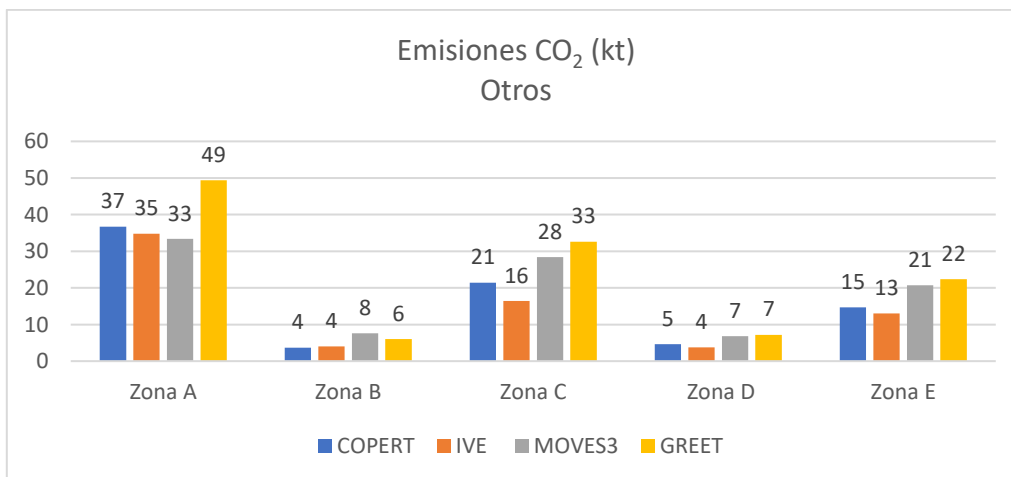


Ilustración 4-4. Emisiones de CO₂ de los vehículos de GNC y GLP calculadas por los diferentes modelos

En la tabla 4-2 se hace una comparativa de las emisiones de CO₂ calculadas por IVE frente a las calculadas por COPERT en las distintas zonas de la ciudad de Madrid. Se puede observar que para los vehículos de gasolina y GNC y GLP las emisiones de IVE son ligeramente inferiores a las de COPERT (hasta un 26 y 23%, respectivamente).

Sin embargo, para los vehículos diésel e híbridos, IVE estima emisiones superiores a las de COPERT, hasta un 65 y 81%. Estas diferencias son mayores en las zonas de baja velocidad y puede deberse a que, para este TFM, IVE está utilizando el comportamiento de conducción establecido para la ciudad de Los Ángeles. Asimismo, las emisiones que más distan de las de COPERT son las correspondientes a los vehículos híbridos, lo que puede tener relación a que IVE no clasifica los vehículos híbridos por legislación.

Tabla 4-2. Comparativa de las emisiones de CO₂ calculadas por IVE frente a las de COPERT por zonas

Zona	Gasolina	Diésel	Híbridos	Otros
A	-7%	65%	81%	-5%
B	6%	37%	48%	8%
C	-26%	-5%	11%	-23%
D	-19%	3%	5%	-18%
E	-18%	5%	10%	-11%

La tabla 4-3 enfrenta las emisiones de CO₂ calculadas por MOVES3 con las de COPERT. Para todos los casos, a excepción del grupo “otros” en la zona A, las emisiones en MOVES3 son superiores a COPERT. Esto refleja una de las debilidades de MOVES3 indicadas en el apartado 3.5.3: MOVES3 no permite la clasificación de vehículos por tamaños y la cilindrada de los vehículos estadounidenses es, por lo general, superior a la de los europeos, lo que se traduce en un mayor consumo de combustible y, por tanto, emisiones superiores de CO₂.

Tabla 4-3. Comparativa de las emisiones de CO₂ calculadas por MOVES3 frente a las de COPERT por zonas

Zona	Gasolina	Diésel	Híbridos	Otros
A	77%	120%	31%	-9%
B	142%	133%	124%	106%
C	80%	77%	57%	33%
D	109%	101%	79%	49%
E	109%	65%	78%	41%

La tabla 4-4 recoge la comparativa entre las emisiones de CO₂ calculadas por GREET (TtW) frente a las de COPERT. Se puede observar que, para todas las tecnologías, al igual que MOVES3, GREET determina emisiones superiores a las de COPERT. Esto es debido a que GREET presenta la misma debilidad: no hace una clasificación por tamaños dentro de las categorías vehiculares.

Asimismo, el hecho de que GREET no tenga en cuenta la pauta de conducción (urbana, rural o interurbana) ni la velocidad media de los vehículos, implica que los cálculos de este modelo no van a ser tan precisos como los demás.

Tabla 4-4. Comparativa de las emisiones de CO₂ calculadas por GREET (TtW) frente a las de COPERT por zonas

Zona	Gasolina	Diésel	Híbridos	Otros
A	2%	34%	32%	35%
B	45%	54%	56%	62%
C	27%	42%	42%	52%
D	52%	56%	51%	57%
E	42%	54%	46%	52%

4.2 Emisiones NO_x (Tank-to-Wheels)

En la tabla 4-5, se recogen las emisiones totales de NO_x por zonas para cada combustible según los distintos modelos de cálculo de emisiones. Las ilustraciones 4-5, 4-6, 4-7 y 4-8 muestran una comparación gráfica de estas emisiones.

Tabla 4-5. Emisiones de NO_x de la flota de Madrid

Zona	Metodología	Gasolina (t)	Diésel (t)	Híbridos (kg)	Otros (kg)
A	COPERT	82	1.244	889	92.645
A	IVE	141	1.370	5.215	19.544
A	MOVES3	560	1.347	3.836	30.730
A	GREET (Tank-to-Wheels)	181	455	2.005	16.214
A	GREET (Well-to-Wheels)	268	654	5.219	51.132
B	COPERT	95	747	338	4.368
B	IVE	237	1.029	3.210	4.128
B	MOVES3	454	1.245	3.702	4.221
B	GREET (Tank-to-Wheels)	195	449	1.078	2.144
B	GREET (Well-to-Wheels)	265	629	2.787	5.796
C	COPERT	91	1.733	547	35.477
C	IVE	127	1.410	3.424	9.946
C	MOVES3	600	1.765	4.066	14.666
C	GREET (Tank-to-Wheels)	321	980	2.285	11.976
C	GREET (Well-to-Wheels)	457	1.355	5.919	33.046
D	COPERT	127	959	441	4.559
D	IVE	223	966	3.015	3.881
D	MOVES3	480	1.264	3.785	2.878
D	GREET (Tank-to-Wheels)	251	573	1.382	2.695
D	GREET (Well-to-Wheels)	340	799	3.573	7.797
E	COPERT	106	1.703	623	12.404
E	IVE	231	1.807	4.384	13.630
E	MOVES3	582	1.659	4.064	8.826
E	GREET (Tank-to-Wheels)	297	1.079	1.880	7.944
E	GREET (Well-to-Wheels)	414	1.483	4.826	20.869

Estudio comparativo de distintos modelos de cálculo de emisiones del tráfico rodado

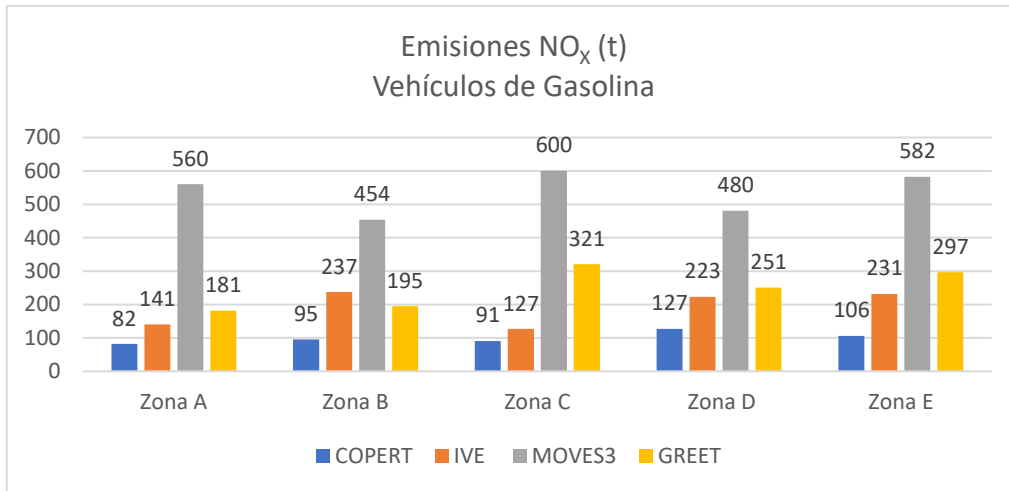


Ilustración 4-5. Emisiones de NO_x de los vehículos de gasolina calculadas por los diferentes modelos

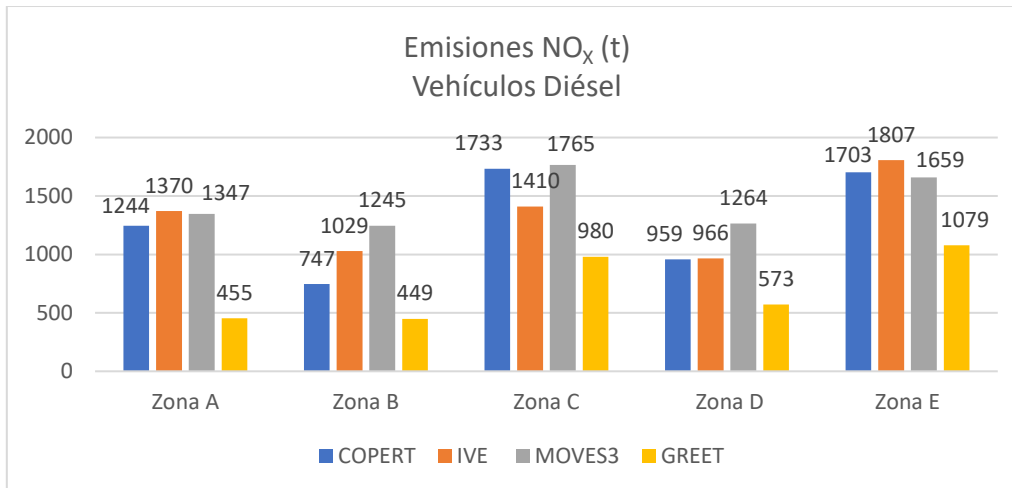


Ilustración 4-6. Emisiones de NO_x de los vehículos diésel calculadas por los diferentes modelos

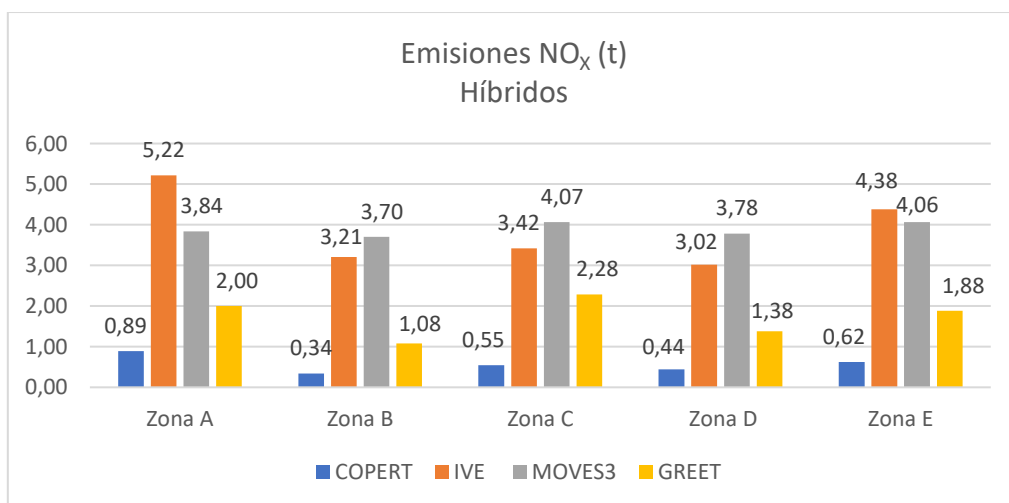


Ilustración 4-7. Emisiones de NO_x de los vehículos híbridos de gasolina calculadas por los diferentes modelos

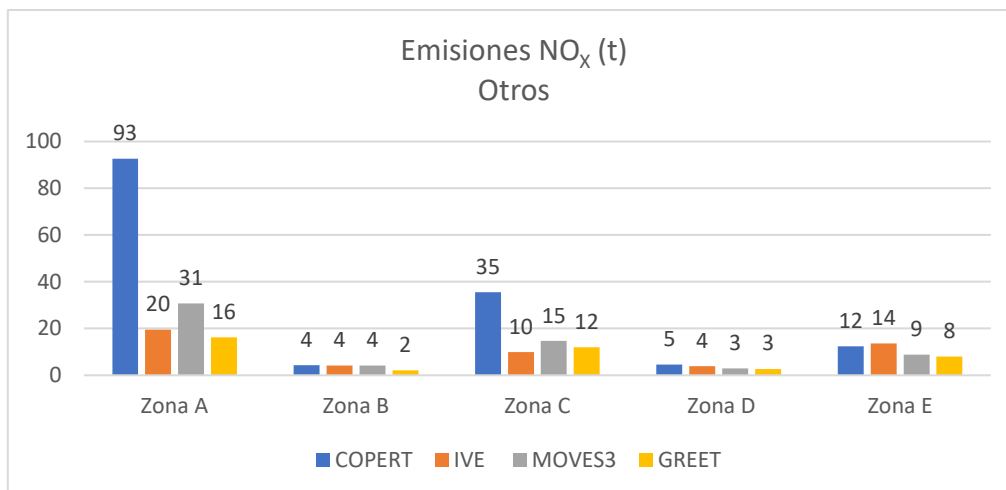


Ilustración 4-8. Emisiones de NO_x de los vehículos de GNC y GLP calculadas por los diferentes modelos

En la tabla 4-6 se recoge la comparativa de las emisiones de NO_x calculadas por IVE frente a las calculadas por COPERT. Para los vehículos gasolina, las de IVE son superiores (hasta un 148%) y a priori no se encuentra relación con ninguna de las aproximaciones o debilidades indicadas anteriormente. Por otro lado, las emisiones de los vehículos diésel son muy similares en ambos modelos.

En el caso de los híbridos de gasolina, se observa que las emisiones de NO_x estimadas por IVE son hasta 8 veces mayores que las de COPERT, debido a que este modelo no clasifica a esta tecnología por legislación.

Para los vehículos GLP y GNC las emisiones de NO_x son inferiores en IVE (hasta un -79%). Esta diferencia puede deberse a que los vehículos de GLP han sido introducidos como vehículos de propano y porque no hay clasificación Euro para los autobuses de GNC.

Tabla 4-6. Comparativa de las emisiones de NO_x calculadas por IVE frente a las de COPERT por zonas

Zona	Gasolina	Diésel	Híbridos	Otros
A	72%	10%	486%	-79%
B	148%	37%	850%	-5%
C	39%	-18%	526%	-71%
D	75%	1%	583%	-15%
E	117%	6%	603%	9%

En cuanto a la comparativa de las emisiones de NO_x calculadas por MOVES3 frente a las calculadas por COPERT (tabla 4-7), destaca que las de MOVES3 en vehículos de gasolina e híbridos de gasolina son muy superiores, hasta 6 y 10 veces mayores, respectivamente. Para el caso de los vehículos de gasolina, esto puede tener relación con que MOVES3 clasifica los vehículos por años, por tanto, está utilizando la normativa estadounidense que, inicialmente, fijaba límites de emisión del NO_x superiores a los europeos (4 veces mayores para los turismos en 2004, por ejemplo). Y, adicionalmente, MOVES3 no hace una clasificación por tamaños dentro de las categorías vehiculares.

Por otro lado, MOVES3 no calcula las emisiones de los híbridos de gasolina y se ha tenido que realizar el cálculo a partir de las emisiones de los vehículos de gasolina, lo que puede provocar que éstas sean mucho mayores en MOVES3 que en COPERT.

Para los vehículos diésel se observa que las emisiones son similares en ambos modelos y en los vehículos de GNC y GLP son inferiores en MOVES3 (hasta un -67%), lo que puede estar relacionado con el uso de los factores de corrección aplicados, ya que MOVES3 no contempla este tipo de tecnologías para los turismos.

Tabla 4-7. Comparativa de las emisiones de NO_x calculadas por MOVES3 frente a las de COPERT por zonas

Zona	Gasolina	Diésel	Híbridos	Otros
A	586%	8%	331%	-67%
B	376%	66%	996%	-5%
C	560%	1%	643%	-58%
D	278%	32%	758%	-36%
E	447%	-2%	552%	-29%

En la tabla 4-8 se recoge la comparativa entre las emisiones de NO_x calculadas por GREET y por COPERT. Al igual que en el modelo anterior, las emisiones de los vehículos de gasolina e híbridos de gasolina son muy superiores en GREET. Dichas diferencias pueden estar provocadas por las mismas debilidades que en MOVES3: no clasifica a los vehículos por legislación, sino por edad; ni por tamaño dentro de cada categoría.

Por otro lado, para los vehículos diésel y de GNC y GLP, se observa que las emisiones calculadas por GREET son menores que las de COPERT (hasta un 63 y 82%, respectivamente), pese a la debilidad existente por la clasificación por edad y no por legislación. Para ambos casos, la mayor diferencia se encuentra en la zona A, es decir, la de menor velocidad media, lo que puede estar ligado a que GREET no solicita como dato de entrada ni la velocidad media ni la pauta de conducción.

Tabla 4-8. Comparativa de las emisiones de NO_x calculadas por GREET frente a las de COPERT por zonas

Zona	Gasolina	Diésel	Híbridos	Otros
A	122%	-63%	125%	-82%
B	104%	-39%	219%	-50%
C	252%	-43%	327%	-66%
D	97%	-40%	213%	-41%
E	179%	-37%	201%	-35%

4.3 Emisiones PM_{2,5} (Tank-to-Wheels)

En la tabla 4-9 se muestran las emisiones totales de PM_{2,5} por zonas para cada combustible según los distintos modelos de cálculo de emisiones. Las ilustraciones 4-9, 4-10, 4-11 y 4-12 muestran una comparación gráfica de estas emisiones.

Tabla 4-9. Emisiones de PM_{2,5} de la flota de Madrid

Zona	Metodología	Gasolina (t)	Diésel (t)	Híbridos (kg)	Otros (kg)
A	COPERT	1,7	33	49	305
A	IVE*	4,8	61	120	56
A	MOVES3	14	26	218	33
A	GREET (Tank-to-Wheels)	15	14	164	563
A	GREET (Well-to-Wheels)	45	26	383	1510
B	COPERT	0,42	24	27	18
B	IVE*	1,2	29	74	4,4
B	MOVES3	11	23	212	36
B	GREET (Tank-to-Wheels)	3,2	15	87	95
B	GREET (Well-to-Wheels)	8,1	24	204	211
C	COPERT	1,4	53	56	165
C	IVE*	1,9	62	79	18
C	MOVES3	13	38	224	48
C	GREET (Tank-to-Wheels)	10	30	185	462
C	GREET (Well-to-Wheels)	29	50	433	1.089
D	COPERT	0,5	32	32	21
D	IVE*	1,3	27	70	4,2
D	MOVES3	11	23	213	34
D	GREET (Tank-to-Wheels)	4,1	18	112	86
D	GREET (Well-to-Wheels)	10	31	261	225
E	COPERT	0,77	53	44	59
E	IVE*	2	49	102	11
E	MOVES3	13	36	221	53
E	GREET (Tank-to-Wheels)	6,1	37	151	381
E	GREET (Well-to-Wheels)	17	59	351	810

(*) Los datos de IVE son correspondientes a PM₁₀

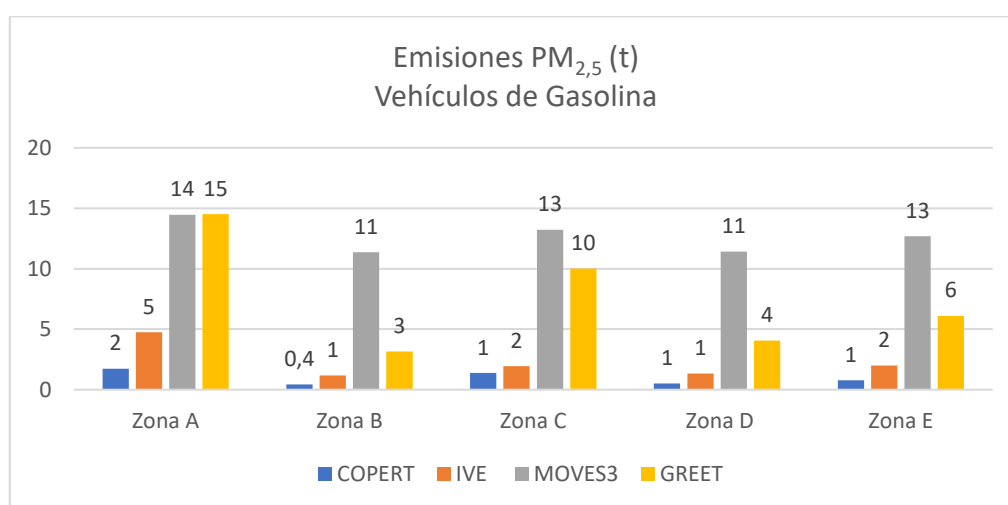


Ilustración 4-9. Emisiones de PM_{2,5} de los vehículos de gasolina calculadas por los diferentes modelos*

Estudio comparativo de distintos modelos de cálculo de emisiones del tráfico rodado

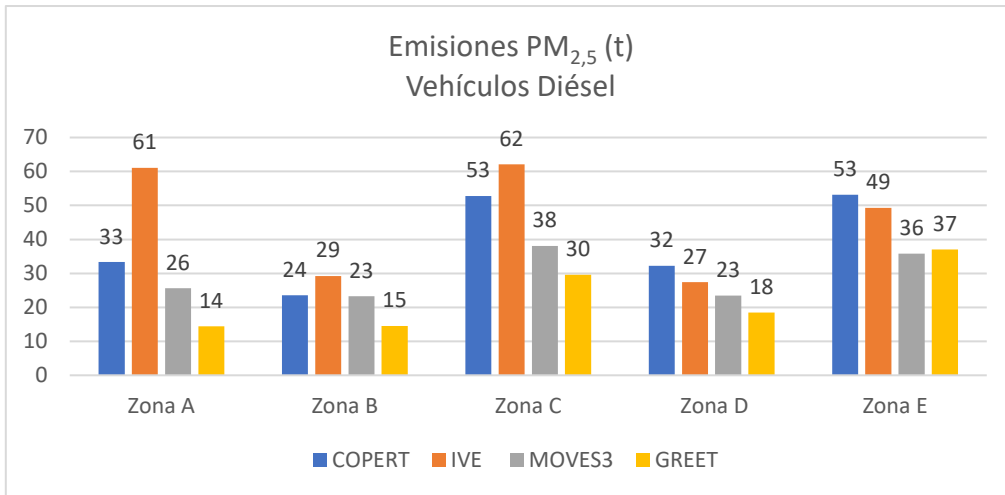


Ilustración 4-10. Emisiones de PM_{2,5} de los vehículos diésel calculadas por los diferentes modelos*

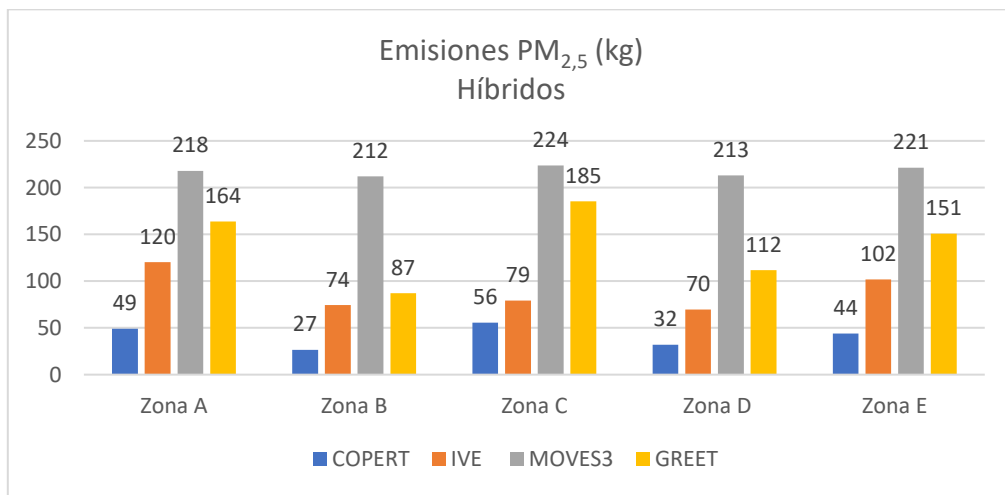


Ilustración 4-11. Emisiones de PM_{2,5} de los vehículos híbridos de gasolina calculadas por los diferentes modelos*

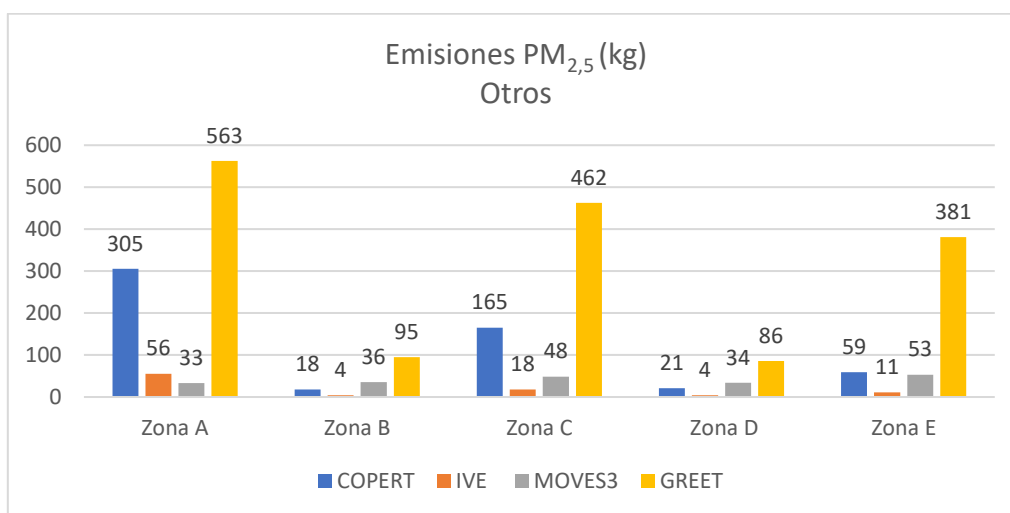


Ilustración 4-12. Emisiones de PM_{2,5} de los vehículos de GNC y GLP calculadas por los diferentes modelos*

(*) Los datos de IVE utilizados en las ilustraciones 4-9 a la 4-12 corresponden a PM₁₀

En la tabla 4-10 viene recogida la comparativa entre las emisiones de PM calculadas por IVE frente a las de COPERT. Se observa que en los vehículos de gasolina e híbridos de gasolina hay grandes diferencias, siendo superiores las emisiones de IVE, hasta un 178% en ambos. Este valor superior se debe a que IVE calcula el PM₁₀ incluyendo las emisiones procedentes de la combustión, abrasión del pavimento y desgaste de frenos y neumáticos.

Sin embargo, para la agrupación de GNC y GLP las emisiones calculadas por IVE son menores, dato que puede estar condicionado por que los autobuses de GNC no están clasificados por normativa Euro.

Asimismo, se puede ver cómo las mayores diferencias están en las zonas A y B, ya que son zonas de baja velocidad y propensas a los atascos, por tanto, el desgaste y la abrasión son mayores.

Tabla 4-10. Comparativa de las emisiones de PM* calculadas por IVE frente a las de COPERT por zonas

Zona	Gasolina	Diésel	Híbridos	Otros
A	175%	83%	145%	-82%
B	178%	24%	178%	-75%
C	39%	17%	42%	-89%
D	66%	-14%	117%	-80%
E	158%	-7%	131%	-81%

*Para IVE se utilizan datos de PM₁₀, mientras que para COPERT PM_{2,5}

En la tabla 4-11 se muestra la comparativa de las emisiones de PM_{2,5} calculadas por MOVES3 y COPERT. Una vez más, las diferencias que más destacan son las de los vehículos de gasolina e híbridos de gasolina, muy superiores a COPERT, especialmente en las zonas B y D. Esto puede estar provocado porque:

- el límite de emisión de PM_{2,5} impuesto por la normativa de EE.UU. es superior al de la UE, como se ha indicado en la tabla 3-26,
- el modelo MOVES3 calcula también las emisiones por abrasión del pavimento y desgaste de frenos y neumáticos,
- las zonas B y D se han clasificado en MOVES3 como “carreteras urbanas a las que sólo se puede acceder por una rampa de entrada” y es posible que este tipo de carretera no se ajuste bien a la M-30 y la M-40.

Por otro lado, las emisiones de MOVES3 en los vehículos diésel son menores que en COPERT (hasta un -33%) y en los de GNC y GLP la tendencia varía según la tipología de carretera, siendo mayores en las zonas B y D, como en el caso anterior.

Tabla 4-11. Comparativa de las emisiones de PM_{2,5} calculadas por MOVES3 frente a las de COPERT por zonas

Zona	Gasolina	Diésel	Híbridos	Otros
A	736%	-23%	354%	-89%
B	2610%	-1%	695%	101%
C	851%	-27%	301%	-70%
D	2181%	-27%	562%	60%
E	1547%	-33%	403%	-11%

En la tabla 4-12 se enfrentan las emisiones de PM_{2,5} de GREET y de COPERT. En este caso, también se ven tendencias similares a las de MOVES3. Las emisiones de GREET de vehículos de gasolina e híbridos de gasolina son las que más distan de las de COPERT, debido a la diferencia entre normativas de EE.UU. y la U.E. y que GREET calcula las emisiones por abrasión del pavimento y desgaste de frenos y neumáticos.

Las emisiones de los vehículos diésel son menores en GREET (hasta un -57%) y mayores en GNC y GLP (hasta un +434%).

GREET no solicita como datos de entrada la velocidad media de los vehículos ni la tipología de la carretera, siendo ambos factores importantes para determinar las emisiones de PM_{2,5}, por tanto, estos resultados serán menos precisos.

Tabla 4-12. Comparativa de las emisiones de PM_{2,5} calculadas por GREET frente a las de COPERT por zonas

Zona	Gasolina	Diésel	Híbridos	Otros
A	739%	-57%	234%	84%
B	654%	-38%	226%	434%
C	620%	-44%	233%	180%
D	714%	-43%	248%	308%
E	694%	-30%	243%	544%

4.4 Comparativa de emisiones *Tank-to-Wheels* frente emisiones *Well-to-Wheels*

En este apartado se hace una comparativa de las emisiones de la etapa TtW frente a las emisiones de la etapa WtW calculadas por el modelo GREET.

En la tabla 4-13 se recogen los porcentajes de emisiones de CO₂ que representa la etapa TtW frente a la etapa WtW. Para todos los combustibles la primera representa alrededor de un 80% de la segunda.

Tabla 4-13. Porcentaje que representan las emisiones de CO₂ de la etapa TtW respecto de las de la etapa WtW

Zona	Gasolina	Diésel	Híbridos	Otros
A	82%	85%	83%	85%
B	82%	85%	83%	86%
C	82%	85%	83%	86%
D	82%	85%	83%	85%
E	82%	85%	83%	86%

En la tabla 4-14, se recogen los porcentajes de emisiones de NO_x que supone la etapa TtW de la etapa WtW. Para los vehículos gasolina y diésel, este contaminante va a ser producido en su mayor parte en la etapa TtW (70%), mientras que para los híbridos de gasolina y GNC y GLP las emisiones de NO_x en la etapa TtW representan menos del 40%.

Tabla 4-14. Porcentaje que representan las emisiones de NO_x de la etapa TtW respecto de las de la etapa WtW

Zona	Gasolina	Diésel	Híbridos	Otros
A	68%	70%	38%	32%
B	74%	71%	39%	37%
C	70%	72%	39%	36%
D	74%	72%	39%	35%
E	72%	73%	39%	38%

En la tabla 4-15, se muestran los porcentajes de emisiones de PM_{2,5} de la etapa TtW dentro de la etapa WtW. Para los vehículos de gasolina, las emisiones de PM_{2,5} en TtW representan alrededor del 40% de la WtW, para los diésel un 60% y para los híbridos de gasolina, GNC y GLP un 40% aproximadamente.

Tabla 4-15. Porcentaje que representan las emisiones de PM_{2,5} de la etapa TtW respecto de las de la etapa WtW

Zona	Gasolina	Diésel	Híbridos	Otros
A	32%	56%	43%	37%
B	39%	60%	43%	45%
C	34%	59%	43%	42%
D	39%	60%	43%	38%
E	36%	62%	43%	47%

5. Conclusiones

5.1 Consideraciones previas y debilidades del proyecto

Como COPERT ha sido desarrollado por la EEA con el fin de preparar el inventario de emisiones de los países miembros de la UE, se ajusta considerablemente bien a cómo se ha elaborado el parque circulante de la ciudad de Madrid. Sin embargo, tal y como se ha ido mencionando en los apartados sobre la metodología de los demás modelos, este TFM presenta ciertas limitaciones que afectan a los resultados obtenidos:

- **No se dispone de información sobre la conducción de cada conductor**, incluyendo la velocidad instantánea. Por lo tanto, para el modelo IVE, se han utilizado por defecto los de la ciudad de Los Ángeles, tras verificar que los resultados de emisiones de CO₂ son los más próximos a los de Madrid.
- La última versión del modelo IVE es del año 2010, por lo que **no considera las últimas normativas de reducción de emisiones** (Euro 5, Euro 6 y Euro VI), en consecuencia, se han utilizado las inmediatamente anteriores para esos vehículos.
- Las herramientas IVE, MOVES3 y GREET presentan **deficiencias a la hora de clasificar ciertas tecnologías vehiculares (híbridos de gasolina, GLP y GNC)**, por tanto, se han llevado a cabo las aproximaciones indicadas en cada apartado.
- IVE, MOVES3 y GREET **no son tan precisos como COPERT a la hora de categorizar los vehículos según su tamaño**. Asimismo, es importante destacar que GREET **no contempla motocicletas** en su sistema de clasificación.
- **Se ha utilizado la composición del combustible que fija cada modelo por defecto**.
- GREET, al ser desarrollado con el objetivo de estimar las emisiones de todo el ciclo de vida del combustible y el vehículo, **no es tan riguroso a la hora de solicitar los parámetros de entrada**. Por tanto, no considera variables tan importantes como la velocidad, el tipo de carretera o las variables ambientales, dando así el mismo factor de emisión para cada vehículo en las distintas zonas de la ciudad de Madrid.
- El hecho de que este trabajo haya sido realizado en el ámbito académico también **ha limitado la elección de modelos de cálculo de emisiones, ya que se han descartado los de pago**.

Debido a las numerosas diferencias entre las variables de Estados Unidos y Europa, junto con las limitaciones inherentes de este trabajo, proporcionar datos precisos para la comparativa de modelos resulta imposible. Sin embargo, se ha conseguido extraer una serie de conclusiones generales del estudio.

5.2 Conclusiones del estudio comparativo

Tras la presentación de los resultados obtenidos en la realización del presente TFM, en este apartado se recogen las conclusiones a las que se han llegado mediante el estudio comparativo de los modelos de cálculo de emisiones de tráfico rodado COPERT, IVE, MOVES3 y GREET.

5.2.1 IVE

Del estudio de las emisiones estimadas por el modelo IVE frente a las de COPERT, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- **El modelo IVE estima unas emisiones de CO₂ próximas a las del modelo COPERT**, lo que indica que considera que los vehículos están consumiendo una cantidad de combustible similar.
- En cuanto a las emisiones de NO_x:
 - **Para los vehículos diésel calcula emisiones de NO_x muy similares a las de COPERT.**
 - **Para los vehículos de gasolina estima emisiones de NO_x superiores a las de COPERT** y, a priori, no se ha encontrado relación aparente con ninguna aproximación ni debilidad del modelo.
 - **Las mayores diferencias respecto a COPERT están en el grupo de los vehículos híbridos**, lo que está relacionado con que IVE no categorice los vehículos híbridos por legislación.
 - **Para los vehículos GNC y GLP las emisiones de NO_x son muy inferiores en IVE**, debido a que se han tenido que realizar algunas aproximaciones a la hora de clasificarlos en el modelo.
- No se puede hacer una buena comparación de las **emisiones de PM_{2,5}**, ya que IVE calcula el total de las emisiones de PM₁₀ (incluyendo abrasión del pavimento y desgaste de frenos y neumáticos) y, por tanto, las emisiones **son mayores**.
- Se ha detectado que **para los vehículos diésel, GNC y GLP las diferencias tienden a ser mayores en las zonas de baja velocidad**. Esto puede estar debido a que, en la ubicación elegida en este caso, Los Ángeles, el tráfico y los atascos sean de mayor magnitud que en Madrid.
- **Una variable muy importante para IVE es el comportamiento de conducción**. Por tanto, para resultados más exactos es necesario tener información sobre la potencia específica vehicular y el estrés del motor.
- **La última versión de IVE, 2.0.2**, fue desarrollada en 2010, por lo que **no contempla vehículos que cumplen con la normativa Euro 5 y Euro 6/VI**.

5.2.2 MOVES3

De la comparativa de las emisiones calculadas por MOVES3 frente a las calculadas por COPERT, se extraen las siguientes conclusiones:

- Existe una **gran dificultad al clasificar los vehículos europeos en MOVES3** por dos motivos:

- En primer lugar, no hace clasificación por tecnología Euro, sino por edad vehicular. Esto hace que MOVES3 asocie los límites de emisión según la legislación estadounidense que son muy distintos a los de la europea.
- En segundo lugar, este modelo no permite la clasificación de vehículos por tamaño, más allá de la categoría vehicular. Esto influye en los resultados ya que los vehículos americanos, por lo general, son de mayor cilindrada que los europeos.
- Debido a que son vehículos de mayor cilindrada, **estima unas cantidades de CO₂ mucho mayores que las de COPERT.**
- **Respecto a las emisiones de NO_x:**
 - **En los vehículos de gasolina estima emisiones muy superiores**, debido a la dificultad de clasificación de vehículos.
 - **Para los vehículos diésel las emisiones son ligeramente superiores.**
 - **Para los híbridos de gasolina las emisiones también son muy superiores**, ya que han sido estimadas en base a los vehículos de gasolina porque MOVES3 no contempla esta tecnología.
 - **Para el grupo de GNC y GLP son menores**, lo que puede tener relación con el uso de factores de corrección debido a que MOVES3 tampoco contempla este tipo de tecnologías para los turismos.
- **Las emisiones de PM_{2,5} tienden a ser mayores que en COPERT** debido a la dificultad de clasificación de vehículos y a que MOVES3 incluye las emisiones por abrasión y desgaste, **a excepción de los vehículos diésel**, que son menores pese a incluir la totalidad del PM_{2,5}.

5.2.3 GREET (*Tank-to-Wheels*)

De la comparativa entre las emisiones TtW calculadas por GREET frente a las calculadas por COPERT, se concluye que:

- Comparte **tendencias similares a MOVES3** ya que, al ser también americano, tiene la misma **dificultad de clasificación de vehículos europeos**: por legislación de límite de emisiones y tamaño de vehículos.
- **Las emisiones de CO₂ de GREET son mayores que las de COPERT** para todas las tecnologías, debido a que en EE.UU. suelen ser de mayor cilindrada. **Siendo mayor esta diferencia en las zonas de mayor velocidad**, debido a que GREET no solicita el tipo de carretera ni la velocidad del vehículo.
- Respecto a las emisiones de NO_x:
 - **Para los vehículos de gasolina e híbridos de gasolina son mucho mayores que COPERT**, por la dificultad de clasificación.
 - **Para los vehículos diésel y GNC y GLP son menores que en COPERT**, pese a la debilidad que surge de la dificultad de clasificación. **Esta diferencia es mayor en la zona de baja velocidad**, ligado con que GREET no contempla la pauta de conducción ni la velocidad.
- **Las emisiones de PM_{2,5} son mayores en GREET, a excepción de las de los vehículos diésel**, debido a la diferencia de límites de emisión según normativas, de EE.UU. y la UE, y a que GREET también incluye las emisiones por abrasión y desgaste.

- **El hecho de que GREET no considere como parámetros de entrada la velocidad media y/o el tipo de carretera, condiciona notablemente todos los resultados** ya que calcula un mismo FE para cada vehículo en todas las zonas de la ciudad de Madrid.

5.2.4 GREET (*Well-to-Wheels*)

De la comparativa de las emisiones originadas por la operación de los vehículos (*Tank-to-Wheels*) frente a las emisiones debidas al ciclo de vida completo de los combustibles (*Well-to-Wheels*), se concluye que **las emisiones de CO₂ siempre van a ser originadas en su mayoría en la etapa *Tank-to-Wheels*, mientras que las emisiones de NO_x varían según la tecnología del vehículo y las emisiones de PM_{2,5} son mayores en la etapa *Well-to-Tank*, salvo en los vehículos diésel.**

5.2.5 Conclusiones generales

Se puede concluir que ninguno de los modelos estudiados tiene tanta aplicabilidad como COPERT para el cálculo de emisiones de tráfico rodado de ciudades europeas. IVE se adecúa más que los modelos americanos a las características de la flota utilizada en el presente TFM, sin embargo, tiene ciertos déficits a la hora de calcular emisiones de algunas tecnologías. Asimismo, el hecho de haber sido actualizado por última vez en 2010, implica que no considera las últimas normativas Euro, por tanto, va perdiendo utilidad con los años.

Por otro lado, es complejo realizar cálculos de emisiones de vehículos europeos con los modelos MOVES3 y GREET. Esto se debe a que hay que realizar una serie de aproximaciones para introducir estos vehículos en los modelos, ya que han sido diseñados para EE.UU., contemplando la legislación y las características de los vehículos de allí.

Por último, es reseñable el valor que tiene GREET para el cálculo de emisiones del ciclo de vida completo del combustible, así como el ciclo de vida del vehículo. Si bien es complejo clasificar los vehículos, ya que no considera la legislación, es una buena herramienta para determinar en qué parte del ciclo de vida se emiten más contaminantes atmosféricos y GEI.

6. Valoración de aspectos ambientales, sociales y económicos

Este TFM tiene una repercusión muy relevante en lo referente al impacto medioambiental, ya que realiza una contribución significativa a varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). La principal ventaja del uso de los modelos de cálculo de emisiones es que apoyan a los investigadores en el control de las emisiones de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero y, por tanto, pueden contribuir a una reducción de las mismas.



Como se ha referido en la introducción, un entorno limpio y libre de sustancias tóxicas es necesario tanto para la salud humana como para el medioambiente. Las emisiones originadas por el tráfico rodado tienen un gran impacto en la calidad del aire de las ciudades. Es por ello, que este TFM está ligado al ODS 3: Salud y bienestar.

Al hilo de lo mencionado en el párrafo anterior, también está relacionado el ODS número 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles. Las acciones destinadas a reducir estas emisiones, ya sea gracias a la promoción del transporte público, creación de infraestructura para vehículos de bajas emisiones, como pueden ser los eléctricos o de GNC, y la planificación urbana sostenible contribuyen a la creación de ciudades más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.



De igual forma, este TFM también presenta una estrecha relación con el ODS número 13: Acción por el clima. Este ODS está enfocado en combatir el cambio climático y sus impactos negativos. Los gases de efecto invernadero son causa del cambio climático, tema de relevancia y urgencia en la actualidad.

Por otra parte, las emisiones de los vehículos pueden tener consecuencias en la salud de los ecosistemas terrestres y acuáticos. Es por ello que, aunque no de forma tan estrecha, estos modelos de cálculo de emisiones también contribuyen a los ODS 14, flora y fauna acuáticas, y 15, flora y fauna terrestres.

7. Líneas futuras

En este apartado, se presentan algunas posibles líneas futuras que podrían derivar del análisis actual:

- Este trabajo, al ser de naturaleza académica, sólo ha podido realizarse con modelos que están disponibles gratuitamente. El modelo HBEFA, al haber sido desarrollado en una universidad europea, puede ser de gran interés en este estudio, ya que la flota de la ciudad de Madrid sería compatible con éste. Sin embargo, inicialmente no ha podido utilizarse por ser de pago.
- Asimismo, el TFM se centra únicamente en las emisiones de tres contaminantes. Para futuros estudios, pueden contemplarse otros contaminantes y examinar la diferencia de las emisiones de éstos entre los distintos modelos.
- Los modelos que calculan las emisiones considerando la pauta de conducción solicitan datos de entrada de los que no se disponían para este TFM. Por ejemplo, en el modelo IVE, no se han podido introducir datos relativos a la forma de conducción ya que se necesitan la potencia específica vehicular y el estrés del motor. Este estudio puede completarse si se comparan los modelos introduciendo estas particularidades de la ciudad de Madrid.
- Como se ha indicado anteriormente, GREET se divide en dos modelos GREET 1, que es el que se ha utilizado en este estudio y calcula las emisiones de ciclo de vida del combustible, y GREET 2, que calcula las emisiones del ciclo de vida completo del vehículo. Una posible línea futura es estudiar las emisiones debidas al ciclo completo del vehículo y lo que suponen frente a las del ciclo del combustible.
- Si bien es cierto que se han comparado las emisiones calculadas por los distintos modelos y lo más probable es que las de COPERT se acerquen más a la realidad, debido a que las características de la flota de vehículos se adaptan mejor a las clasificaciones que hace este modelo, este TFM no demuestra la precisión de los resultados de COPERT. Como línea futura, se puede realizar una validación de los resultados teóricos con mediciones empíricas en el terreno, recopilando datos reales de emisiones en Madrid.

8. Planificación y presupuesto

En este apartado se describe la organización del TFM en las distintas fases, así como los recursos necesarios, materiales y humanos, para la elaboración del mismo.

8.1 Planificación temporal

La planificación de este trabajo final de máster se ha realizado con la herramienta GanttPRO. En la tabla 8-1, se indican las fases que componen el trabajo y, en la ilustración 8-1, se puede observar el diagrama de Gantt con la distribución de éstas en el tiempo.

Tabla 8-1. Planificación de fases del TFM

Fases	Nombre	Duración (días)	Fecha de inicio	Fecha de fin
1	Fase Previa del Proyecto	45	15/11/2022	30/12/2022
1.1	Reunión inicial	0	15/11/2022	15/11/2022
1.2	Documentación previa	44	16/11/2022	30/12/2022
2	Fase Selección Modelos	58	02/01/2023	01/03/2023
2.1	Estudio bibliográfico	29	02/01/2023	31/01/2023
2.2	Comparativa de modelos	28	01/02/2023	01/03/2023
3	Fase de COPERT 5.2.2	30	01/03/2023	31/03/2023
3.1	Aprendizaje de software	2	01/03/2023	03/03/2023
3.2	Tratamiento de datos	14	03/03/2023	17/03/2023
3.3	Cálculos	14	17/03/2023	31/03/2023
4	Fase de IVE Model 2.0.2	76	31/03/2023	15/06/2023
4.1	Aprendizaje de software	28	31/03/2023	28/04/2023
4.2	Tratamiento de datos	30	01/05/2023	31/05/2023
4.3	Cálculos	14	01/06/2023	15/06/2023
5	Fase de MOVES3	81	03/07/2023	22/09/2023
5.1	Aprendizaje de software	25	03/07/2023	28/07/2023
5.2	Tratamiento de datos	21	28/07/2023	18/08/2023
5.3	Cálculos	18	04/09/2023	22/09/2023
6	Fase de GREET 2022	66	25/09/2023	30/11/2023
6.1	Aprendizaje de software	21	25/09/2023	16/10/2023
6.2	Tratamiento de datos	15	16/10/2023	31/10/2023
6.3	Cálculos	29	01/11/2023	30/11/2023
7	Estudio comparativo	21	01/12/2023	22/12/2023
7.1	Cálculos	5	01/12/2023	06/12/2023
7.2	Conclusiones	16	06/12/2023	22/12/2023
8	Elaboración de la memoria	86	11/12/2023	06/03/2024
8.1	Análisis bibliográfico	4	11/12/2023	15/12/2023
8.2	Redacción	25	11/12/2023	05/01/2024
8.3	Corrección	37	29/01/2024	06/03/2024

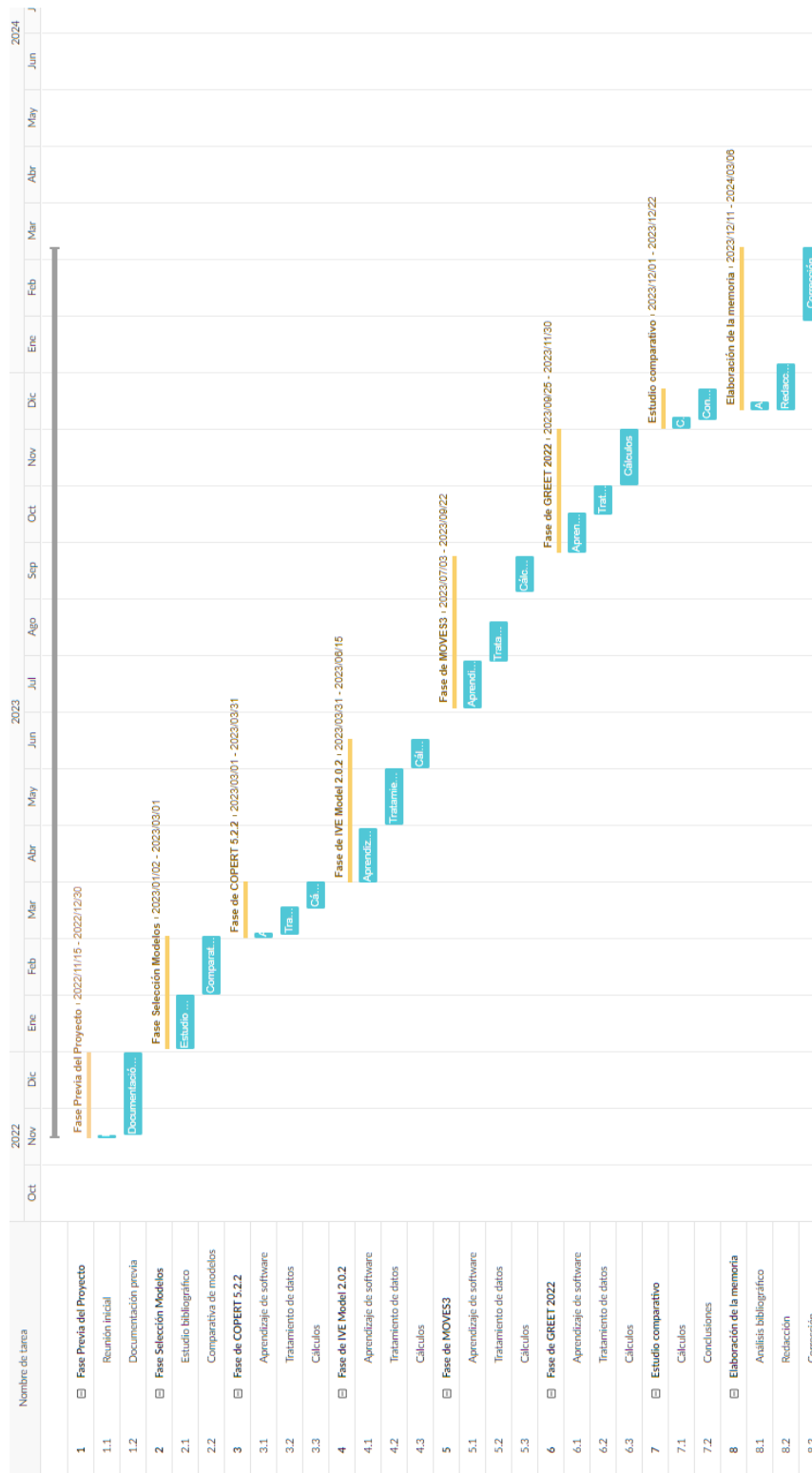


Ilustración 8-1. Diagrama de Gantt del TFM

8.2 Estructura y descomposición del TFM

En la ilustración 8-2, se puede observar la estructura de descomposición del proyecto (EDP). Ésta recoge la división del trabajo según las diferentes fases y tareas indicadas en el apartado anterior.

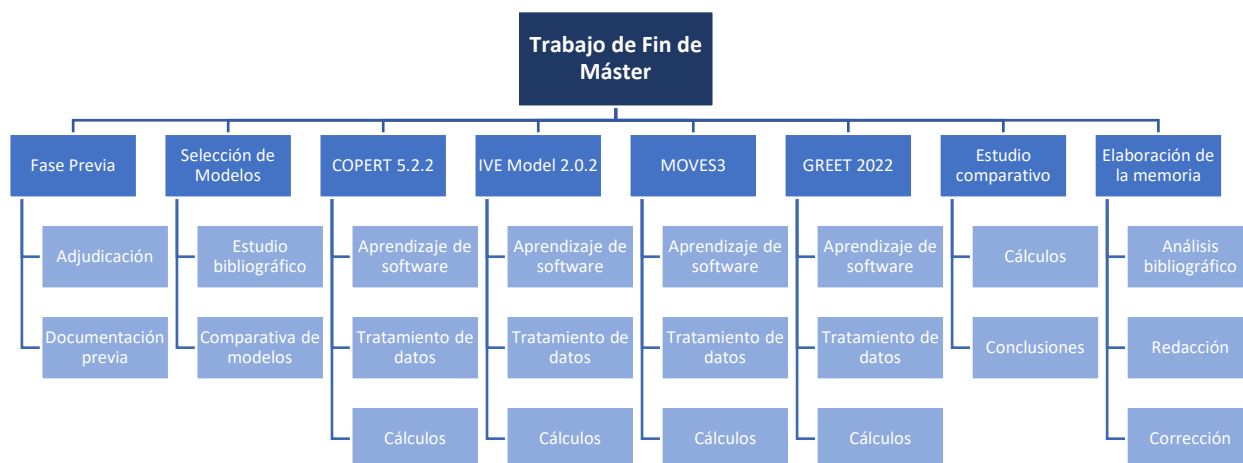


Ilustración 8-2. Estructura de Descomposición del Proyecto para el TFM

8.3 Presupuesto

En este apartado, se realiza una valoración económica tanto de los recursos humanos como de los recursos materiales utilizados a lo largo de este trabajo de fin de máster.

8.3.1 Recursos humanos

Para la elaboración de este TFM se estiman unas 350 horas totales por parte de la alumna, dedicadas al estudio bibliográfico, aprendizaje de los softwares, realización de los cálculos y redacción de la memoria. El sueldo aproximado de la alumna es de 20€/hora.

Por otro lado, se estiman unas 60 horas totales por parte del tutor, dedicadas a las tutorías y a la corrección de la memoria. El sueldo medio de éste es de 60€/hora.

En la tabla 8-2, se recoge el resumen del coste de los recursos humanos del TFM.

Tabla 8-2. Coste de los recursos humanos requeridos en el TFM

Recursos humanos	Cantidad	Valor unitario	Total
Alumna	350 horas	20€/hora	7.000€
Tutor	60 horas	60€/hora	3.600€
Total			10.600€

8.3.2 Recursos materiales

Los recursos materiales que se han necesitado a lo largo del TFM son los siguientes:

- Ordenador HP – Pavilion 360: el uso de este equipo no ha supuesto ningún gasto ya que éste se había amortizado antes del inicio del TFM.
- Licencia Office: totalmente gratuita para estudiantes de la UPM.
- Software de los modelos: han sido descargados de sus respectivas páginas web de manera gratuita.
- Publicaciones: disponibles de manera gratuita para estudiantes de la UPM.

Por tanto, el coste de los recursos materiales es de 0€ y el presupuesto total del TFM asciende a un total de 10.600 €, impuestos, costes generales y beneficio industrial excluidos.

Acrónimos y especies químicas

ANL – Laboratorio Nacional de Argonne

CARB – Junta de Recursos del Aire de California

cm³ – Centímetro cúbico

CO – Monóxido de carbono

COVNM – Compuestos orgánicos volátiles no metálicos

DFP – *Diesel Particulate Filter*

EDP – Estructura de descomposición de proyecto

EEA – Agencia Europea del Medioambiente

EEUU – Estados Unidos de América

EGR – *Exhaust Gas Recirculation*

EMFAC – *Emission Factors*

EMT – Empresa Municipal de Transportes

EPA – Agencia de Medioambiente de Estados Unidos

ETSII – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales

GEI – Gases de efecto invernadero

GLP – Gas Licuado del Petróleo

GNC – Gas Natural Comprimido

REET – *Greenhouse Gases, Regulated Emissions and Energy Use in Transportation*

h – Horas

HBEFA – *Handbook of Emission Factors for Road Transport*

HC – Hidrocarburos

HPMS – *Highway Performance Monitoring System*

IVE – *International Vehicle Emissions Model*

JRC – Centro Común de Investigación

kg - kilogramo

LNT - *Lean NO_x Trapping*

MOVES – *Motor Vehicle Emission Simulator*

N₂ – Nitrógeno Molecular

NH₃ – Amoníaco

NO – Monóxido de nitrógeno

NO₂ – Dióxido de nitrógeno

NO_x – Óxidos de nitrógeno

NSR - *NO_x Storage Reduction*

O₂ – Oxígeno Molecular

PHEM – *Passenger Car and Heavy-Duty Emission Model*

PM – Material particulado

PM_{2,5} – Material particulado de diámetro inferior a 2,5 micras

PM₁₀ – Material particulado de diámetro inferior a 10 micras

PUT – *Pickup Truck*

SO₂ – Dióxido de azufre

SUV – *Sports utility vehicles*

t – toneladas

TFM – Trabajo de fin de máster

THC – *Total Hydrocarbon emissions*

TtW – *Tank-to-Wheels*

UE – Unión Europea

VMT – Millas recorridas por vehículo

VSP – Potencia específica vehicular

WtT – *Well-to-Tank*

WtW – *Well-to-Wheels*

Anexo I: Flota vehicular de la ciudad de Madrid por zonas

Tabla I-1. Flota vehicular de la ciudad de Madrid por zonas (sin taxis ni autobuses de la EMT)

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 4	4.414	4.414	4.414	4.414	4.414
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 5	5	5	5	5	5
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 6 up to 2016	2	2	2	2	2
Passenger Cars	Petrol	Small	PRE ECE	245	245	245	245	245
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/00-01	15.873	15.873	15.873	15.873	15.873
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/02	4.355	4.355	4.355	4.355	4.355
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/03	6.115	6.115	6.115	6.115	6.115
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/04	7.584	7.584	7.584	7.584	7.584
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 1	4.230	4.230	4.230	4.230	4.230
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 2	9.008	9.008	9.008	9.008	9.008
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 3	34.806	34.806	34.806	34.806	34.806
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 4	58.019	58.019	58.019	58.019	58.019
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 5	43.953	43.953	43.953	43.953	43.953
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 6 up to 2016	53.109	53.109	53.109	53.109	53.109
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 6 2017-2019	8.408	8.408	8.408	8.408	8.408
Passenger Cars	Petrol	Medium	PRE ECE	63	63	63	63	63
Passenger Cars	Petrol	Medium	ECE 15/00-01	3.053	3.053	3.053	3.053	3.053
Passenger Cars	Petrol	Medium	ECE 15/02	1.447	1.447	1.447	1.447	1.447
Passenger Cars	Petrol	Medium	ECE 15/03	2.231	2.231	2.231	2.231	2.231
Passenger Cars	Petrol	Medium	ECE 15/04	8.867	8.867	8.867	8.867	8.867
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 1	8.784	8.784	8.784	8.784	8.784
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 2	19.473	19.473	19.473	19.473	19.473
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 3	59.680	59.680	59.680	59.680	59.680
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 4	64.663	64.663	64.663	64.663	64.663
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 5	19.280	19.280	19.280	19.280	19.280
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 6 up to 2016	12.812	12.812	12.812	12.812	12.812
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 6 2017-2019	1.794	1.794	1.794	1.794	1.794

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	PRE ECE	30	30	30	30	30
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	ECE 15/00-01	214	214	214	214	214
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	ECE 15/02	78	78	78	78	78
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	ECE 15/03	315	315	315	315	315
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	ECE 15/04	695	695	695	695	695
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 1	3.404	3.404	3.404	3.404	3.404
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 2	4.617	4.617	4.617	4.617	4.617
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 3	14.664	14.664	14.664	14.664	14.664
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 4	12.927	12.927	12.927	12.927	12.927
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 5	1.828	1.828	1.828	1.828	1.828
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 6 up to 2016	1.257	1.257	1.257	1.257	1.257
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 6 2017-2019	222	222	222	222	222
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 4	42.602	42.602	42.602	42.602	42.602
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 5	14.198	14.198	14.198	14.198	14.198
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 6 up to 2016	5.633	5.633	5.633	5.633	5.633
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 6 2017-2019	408	408	408	408	408
Passenger Cars	Diesel	Small	Conventional	2.958	2.958	2.958	2.958	2.958
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 1	4.746	4.746	4.746	4.746	4.746
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 2	27.865	27.865	27.865	27.865	27.865
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 3	156.322	156.322	156.322	156.322	156.322
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 4	306.986	306.986	306.986	306.986	306.986
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 5	170.766	170.766	170.766	170.766	170.766
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 6 up to 2016	125.754	125.754	125.754	125.754	125.754
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 6 2017-2019	15.399	15.399	15.399	15.399	15.399

Estudio comparativo de distintos modelos de cálculo de emisiones del tráfico rodado

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Conventional	1.877	1.877	1.877	1.877	1.877
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 1	1.938	1.938	1.938	1.938	1.938
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 2	5.166	5.166	5.166	5.166	5.166
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 3	30.685	30.685	30.685	30.685	30.685
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 4	63.083	63.083	63.083	63.083	63.083
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 5	27.589	27.589	27.589	27.589	27.589
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 6 up to 2016	20.692	20.692	20.692	20.692	20.692
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 6 2017-2019	2.256	2.256	2.256	2.256	2.256
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Mini	Euro 4	5	5	5	5	5
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Mini	Euro 5	294	294	294	294	294
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Mini	Euro 6 up to 2016	213	213	213	213	213
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Small	Euro 4	187	187	187	187	187
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Small	Euro 5	61	61	61	61	61
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Small	Euro 6 up to 2016	149	149	149	149	149
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Small	Euro 6 2017-2019	13	13	13	13	13
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Medium	Euro 4	1.499	1.499	1.499	1.499	1.499
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Medium	Euro 5	3.940	3.940	3.940	3.940	3.940
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Medium	Euro 6 up to 2016	6.154	6.154	6.154	6.154	6.154
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Medium	Euro 6 2017-2019	1.698	1.698	1.698	1.698	1.698
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Large-SUV-Executive	Euro 4	850	850	850	850	850
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Large-SUV-Executive	Euro 5	978	978	978	978	978
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Large-SUV-Executive	Euro 6 up to 2016	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Large-SUV-Executive	Euro 6 2017-2019	614	614	614	614	614
Passenger Cars	LPG Bifuel	Small	Conventional	1	1	1	1	1

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Passenger Cars	LPG Bifuel	Small	Euro 2	1	1	1	1	1
Passenger Cars	LPG Bifuel	Small	Euro 3	21	21	21	21	21
Passenger Cars	LPG Bifuel	Small	Euro 4	65	65	65	65	65
Passenger Cars	LPG Bifuel	Small	Euro 5	270	270	270	270	270
Passenger Cars	LPG Bifuel	Small	Euro 6	265	265	265	265	265
Passenger Cars	LPG Bifuel	Medium	Conventional	1	1	1	1	1
Passenger Cars	LPG Bifuel	Medium	Euro 2	5	5	5	5	5
Passenger Cars	LPG Bifuel	Medium	Euro 3	96	96	96	96	96
Passenger Cars	LPG Bifuel	Medium	Euro 4	142	142	142	142	142
Passenger Cars	LPG Bifuel	Medium	Euro 5	106	106	106	106	106
Passenger Cars	LPG Bifuel	Medium	Euro 6	74	74	74	74	74
Passenger Cars	LPG Bifuel	Large-SUV-Executive	Euro 1	2	2	2	2	2
Passenger Cars	LPG Bifuel	Large-SUV-Executive	Euro 2	18	18	18	18	18
Passenger Cars	LPG Bifuel	Large-SUV-Executive	Euro 3	167	167	167	167	167
Passenger Cars	LPG Bifuel	Large-SUV-Executive	Euro 4	171	171	171	171	171
Passenger Cars	LPG Bifuel	Large-SUV-Executive	Euro 5	22	22	22	22	22
Passenger Cars	LPG Bifuel	Large-SUV-Executive	Euro 6	5	5	5	5	5
Passenger Cars	CNG Bifuel	Small	Euro 4	6	6	6	6	6
Passenger Cars	CNG Bifuel	Small	Euro 5	25	25	25	25	25
Passenger Cars	CNG Bifuel	Small	Euro 6	172	172	172	172	172
Passenger Cars	CNG Bifuel	Medium	Euro 4	6	6	6	6	6
Passenger Cars	CNG Bifuel	Medium	Euro 5	6	6	6	6	6
Passenger Cars	CNG Bifuel	Medium	Euro 6	1	1	1	1	1
Passenger Cars	CNG Bifuel	Large-SUV-Executive	Euro 4	1	1	1	1	1
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-I	Conventional	2.367	2.367	2.367	2.367	2.367
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-I	Euro 1	1	1	1	1	1

Estudio comparativo de distintos modelos de cálculo de emisiones del tráfico rodado

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Light Commercial Vehicles								
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-I	Euro 2	8	8	8	8	8
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-I	Euro 3	123	123	123	123	123
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-I	Euro 4	240	240	240	240	240
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-I	Euro 5	27	27	27	27	27
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-I	Euro 6 up to 2016	11	11	11	11	11
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Conventional	660	660	660	660	660
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Euro 1	81	81	81	81	81
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Euro 2	97	97	97	97	97
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Euro 3	206	206	206	206	206
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Euro 4	175	175	175	175	175
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Euro 5	37	37	37	37	37
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Euro 6 up to 2017	27	27	27	27	27
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-III	Conventional	319	319	319	319	319
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-III	Euro 1	82	82	82	82	82
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-III	Euro 2	52	52	52	52	52
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-III	Euro 3	343	343	343	343	343
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-III	Euro 4	345	345	345	345	345
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-III	Euro 5	60	60	60	60	60
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-III	Euro 6 up to 2017	256	256	256	256	256
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-I	Conventional	52	52	52	52	52

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Light Commercial Vehicles								
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-I	Euro 1	355	355	355	355	355
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-I	Euro 2	5	5	5	5	5
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-I	Euro 3	5	5	5	5	5
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-I	Euro 4	11	11	11	11	11
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-I	Euro 5	3	3	3	3	3
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-I	Euro 6 up to 2016	2	2	2	2	2
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Conventional	777	777	777	777	777
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Euro 1	922	922	922	922	922
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Euro 2	968	968	968	968	968
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Euro 3	3.050	3.050	3.050	3.050	3.050
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Euro 4	6.497	6.497	6.497	6.497	6.497
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Euro 5	1.955	1.955	1.955	1.955	1.955
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Euro 6 up to 2017	1.006	1.006	1.006	1.006	1.006
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-III	Conventional	3.542	3.542	3.542	3.542	3.542
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-III	Euro 1	379	379	379	379	379
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-III	Euro 2	3.306	3.306	3.306	3.306	3.306
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-III	Euro 3	18.857	18.857	18.857	18.857	18.857
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-III	Euro 4	37.766	37.766	37.766	37.766	37.766
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-III	Euro 5	16.536	16.536	16.536	16.536	16.536
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-III	Euro 6 up to 2017	16.989	16.989	16.989	16.989	16.989

Estudio comparativo de distintos modelos de cálculo de emisiones del tráfico rodado

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
al Vehicles								
Heavy Duty Trucks	Petrol	>3,5 t	Conventional	225	225	225	225	225
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Conventional	1.198	1.198	1.198	1.198	1.198
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro I	206	206	206	206	206
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro II	1.268	1.268	1.268	1.268	1.268
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro III	5.632	5.632	5.632	5.632	5.632
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro IV	6.267	6.267	6.267	6.267	6.267
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro V	7.031	7.031	7.031	7.031	7.031
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro VI	7.823	7.823	7.823	7.823	7.823
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Conventional	283	283	283	283	283
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro I	74	74	74	74	74
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro II	285	285	285	285	285
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro III	717	717	717	717	717
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro IV	661	661	661	661	661
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro V	735	735	735	735	735
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro VI	362	362	362	362	362
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Conventional	83	83	83	83	83
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Euro I	9	9	9	9	9
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Euro II	41	41	41	41	41
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Euro III	92	92	92	92	92
Heavy Duty	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Euro IV	93	93	93	93	93

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Trucks								
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Euro V	65	65	65	65	65
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Euro VI	29	29	29	29	29
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Conventional	423	423	423	423	423
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro I	61	61	61	61	61
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro II	305	305	305	305	305
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro III	1.121	1.121	1.121	1.121	1.121
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro IV	1.306	1.306	1.306	1.306	1.306
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro V	1.416	1.416	1.416	1.416	1.416
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro VI	1.178	1.178	1.178	1.178	1.178
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Conventional	234	234	234	234	234
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Euro I	17	17	17	17	17
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Euro II	133	133	133	133	133
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Euro III	360	360	360	360	360
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Euro IV	417	417	417	417	417
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Euro V	285	285	285	285	285
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Euro VI	130	130	130	130	130
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Conventional	2	2	2	2	2
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro II	2	2	2	2	2
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro III	9	9	9	9	9
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro IV	5	5	5	5	5

Estudio comparativo de distintos modelos de cálculo de emisiones del tráfico rodado

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Trucks								
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro V	7	7	7	7	7
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro VI	22	22	22	22	22
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t	Conventional	11	11	11	11	11
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t	Euro II	6	6	6	6	6
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t	Euro III	70	70	70	70	70
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t	Euro IV	146	146	146	146	146
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t	Euro V	32	32	32	32	32
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t	Euro VI	18	18	18	18	18
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t	Conventional	272	272	272	272	272
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t	Euro I	7	7	7	7	7
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t	Euro II	41	41	41	41	41
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t	Euro III	237	237	237	237	237
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t	Euro IV	203	203	203	203	203
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t	Euro V	168	168	168	168	168
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t	Euro VI	224	224	224	224	224
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 14 - 20 t	Conventional	8	8	8	8	8
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 14 - 20 t	Euro I	3	3	3	3	3
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 14 - 20 t	Euro II	27	27	27	27	27
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 14 - 20 t	Euro III	66	66	66	66	66
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 14 - 20 t	Euro IV	71	71	71	71	71

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Trucks								
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulate d 14 - 20 t	Euro V	82	82	82	82	82
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulate d 14 - 20 t	Euro VI	144	144	144	144	144
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulate d 20 - 28 t	Conventional	12	12	12	12	12
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulate d 20 - 28 t	Euro I	3	3	3	3	3
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulate d 20 - 28 t	Euro II	13	13	13	13	13
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulate d 20 - 28 t	Euro III	56	56	56	56	56
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulate d 20 - 28 t	Euro IV	37	37	37	37	37
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulate d 20 - 28 t	Euro V	45	45	45	45	45
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulate d 20 - 28 t	Euro VI	46	46	46	46	46
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulate d 28 - 34 t	Euro III	15	15	15	15	15
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulate d 28 - 34 t	Euro IV	27	27	27	27	27
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulate d 28 - 34 t	Euro V	3	3	3	3	3
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulate d 28 - 34 t	Euro VI	2	2	2	2	2
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulate d 34 - 40 t	Conventional	4	4	4	4	4
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulate d 34 - 40 t	Euro IV	3	3	3	3	3
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulate d 40 - 50 t	Euro III	1	1	1	1	1
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulate d 40 - 50 t	Euro VI	1	1	1	1	1
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Conventional	128	128	128	128	128
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro I	8	8	8	8	8

Estudio comparativo de distintos modelos de cálculo de emisiones del tráfico rodado

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro II	63	63	63	63	63
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro III	199	199	199	199	199
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro IV	266	266	266	266	266
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro V	509	509	509	509	509
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro VI	321	321	321	321	321
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Conventio nal	59	59	59	59	59
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro I	4	4	4	4	4
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro II	110	110	110	110	110
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro III	338	338	338	338	338
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro IV	514	514	514	514	514
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro V	487	487	487	487	487
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro VI	42	42	42	42	42
Buses	Diesel	Urban Buses Articulate d >18 t	Conventio nal	24	24	24	24	24
Buses	Diesel	Urban Buses Articulate d >18 t	Euro I	6	6	6	6	6
Buses	Diesel	Urban Buses Articulate d >18 t	Euro II	12	12	12	12	12

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Buses	Diesel	Urban Buses Articulate d >18 t	Euro III	384	384	384	384	384
Buses	Diesel	Urban Buses Articulate d >18 t	Euro IV	328	328	328	328	328
Buses	Diesel	Urban Buses Articulate d >18 t	Euro V	1.515	1.515	1.515	1.515	1.515
Buses	Diesel	Urban Buses Articulate d >18 t	Euro VI	1.079	1.079	1.079	1.079	1.079
Buses	CNG	Urban CNG Buses	Euro III	37	37	37	37	37
Buses	CNG	Urban CNG Buses	EEV	684	684	684	684	684
L-Category	Petrol	Mopeds 4-stroke <50 cm ³	Euro 3	9.887	9.887	9.887	9.887	9.887
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke <250 cm ³	Conventional	2.298	2.298	2.298	2.298	2.298
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke <250 cm ³	Euro 1	789	789	789	789	789
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke <250 cm ³	Euro 2	2.619	2.619	2.619	2.619	2.619
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke <250 cm ³	Euro 3	19.901	19.901	19.901	19.901	19.901
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke <250 cm ³	Euro 4	568	568	568	568	568
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke 250 - 750 cm ³	Conventional	1.322	1.322	1.322	1.322	1.322
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke 250 - 750 cm ³	Euro 1	677	677	677	677	677
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke 250 - 750 cm ³	Euro 2	1.574	1.574	1.574	1.574	1.574
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke 250	Euro 3	11.900	11.900	11.900	11.900	11.900

Estudio comparativo de distintos modelos de cálculo de emisiones del tráfico rodado

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
		- 750 cm ³						
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke 250 - 750 cm ³	Euro 4	387	387	387	387	387
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke >750 cm ³	Conventional	364	364	364	364	364
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke >750 cm ³	Euro 1	382	382	382	382	382
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke >750 cm ³	Euro 2	713	713	713	713	713
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke >750 cm ³	Euro 3	5.329	5.329	5.329	5.329	5.329
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke >750 cm ³	Euro 4	183	183	183	183	183

Tabla I-2. Flota vehicular de la ciudad de Madrid por zonas (sólo taxis y autobuses de la EMT)

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 4	3	3	3	3	3
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 5	2	2	2	2	2
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 6 up to 2016	1	1	1	1	1
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 6 2017-2019	7	7	7	7	7
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 4	2770	2770	2770	2770	2770
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 5	5000	5000	5000	5000	5000
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 6 up to 2016	2611	2611	2611	2611	2611
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 6 2017-2019	277	277	277	277	277
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 4	131	131	131	131	131
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 5	161	161	161	161	161
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 6 up to 2016	120	120	120	120	120
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 6 2017-2019	1	1	1	1	1
Passenger Cars	LPG Bifuel	Small	Euro 5	1	1	1	1	1
Passenger Cars	LPG Bifuel	Small	Euro 6	1	1	1	1	1

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Passenger Cars	LPG Bifuel	Medium	Euro 4	604	604	604	604	604
Passenger Cars	LPG Bifuel	Medium	Euro 5	3184	3184	3184	3184	3184
Passenger Cars	LPG Bifuel	Medium	Euro 6	1898	1898	1898	1898	1898
Passenger Cars	LPG Bifuel	Large-SUV-Executive	Euro 4	2	2	2	2	2
Passenger Cars	LPG Bifuel	Large-SUV-Executive	Euro 5	1	1	1	1	1
Passenger Cars	CNG Bifuel	Medium	Euro 4	20	20	20	20	20
Passenger Cars	CNG Bifuel	Medium	Euro 5	106	106	106	106	106
Passenger Cars	CNG Bifuel	Medium	Euro 6	12	12	12	12	12
Buses	Diesel	Urban Buses Articulated >18 t	Euro III	156	156	156	156	156
Buses	Diesel	Urban Buses Articulated >18 t	Euro IV	328	328	328	328	328
Buses	Diesel	Urban Buses Articulated >18 t	Euro V	493	493	493	493	493
Buses	Diesel	Urban Buses Articulated >18 t	Euro VI	35	35	35	35	35
Buses	CNG	Urban CNG Buses	EEV	904	904	904	904	904

Anexo II: Actividad de la flota vehicular de la ciudad de Madrid por zonas (km)

Tabla II-1. Actividad de la flota vehicular (km) de la ciudad de Madrid por zonas (sin taxis ni autobuses de la EMT)

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 4	787,1	685,6	1.142,4	826,2	1.043,6
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 5	466,6	0,0	3.726,1	0,0	1.251,9
Passenger Cars	Petrol	Mini	Euro 6 up to 2016	1.071,6	0,0	1.164,4	0,0	0,0
Passenger Cars	Petrol	Small	PRE ECE	109,4	292,0	435,5	351,8	1.187,6
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/00-01	65,7	489,5	230,0	589,9	716,2
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/02	23,4	646,2	71,3	778,7	124,3
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/03	22,3	627,6	73,8	756,3	70,1
Passenger Cars	Petrol	Small	ECE 15/04	158,8	612,8	392,5	738,5	412,7
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 1	573,3	813,2	1.585,2	980,0	1.363,1
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 2	838,1	889,8	1.802,4	1.072,3	1.485,1
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 3	956,2	945,0	2.005,8	1.138,8	1.674,2
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 4	1.173,6	994,7	2.010,2	1.198,7	1.694,3
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 5	1.290,0	1.065,1	2.051,6	1.283,6	1.636,7
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 6 up to 2016	1.271,6	1.065,6	2.061,0	1.284,1	1.831,6
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 6 2017-2019	1.281,3	1.000,0	1.927,8	1.205,1	2.099,4
Passenger Cars	Petrol	Medium	PRE ECE	366,5	166,7	553,3	200,9	1.540,0
Passenger Cars	Petrol	Medium	ECE 15/00-01	70,5	487,1	242,2	587,0	738,9
Passenger Cars	Petrol	Medium	ECE 15/02	23,7	686,2	73,5	826,9	92,9
Passenger Cars	Petrol	Medium	ECE 15/03	36,4	611,2	77,1	736,5	95,3
Passenger Cars	Petrol	Medium	ECE 15/04	304,3	630,3	629,6	759,6	595,1
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 1	806,3	776,0	1.631,1	935,1	1.434,8
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 2	914,5	844,4	1.865,1	1.017,6	1.589,7
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 3	1.036,1	918,9	1.887,2	1.107,4	1.689,8
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 4	1.223,4	898,1	1.951,3	1.082,3	1.596,1
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 5	1.429,7	949,5	1.939,4	1.144,3	1.549,6
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 6 up to 2016	1.535,1	891,5	1.978,8	1.074,4	1.661,1
Passenger Cars	Petrol	Medium	Euro 6 2017-2019	1.623,9	822,0	2.044,4	990,5	1.659,0
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	PRE ECE	1.178,7	400,2	1.009,1	482,2	208,6
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	ECE 15/00-01	166,5	343,6	455,0	414,1	1.023,7
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	ECE 15/02	169,8	519,4	238,9	626,0	478,7
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	ECE 15/03	111,9	590,7	139,3	711,9	99,0
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	ECE 15/04	498,2	532,6	564,7	641,8	478,7
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 1	922,2	598,5	1.295,5	721,3	1.119,8
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 2	1.130,9	639,6	1.526,6	770,8	1.246,9

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
		Executive						
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 3	1.310,5	682,4	1.662,9	822,4	1.397,3
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 4	1.660,5	635,6	1.562,1	766,0	1.268,3
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 5	1.966,6	606,6	1.516,9	731,1	1.306,9
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 6 up to 2016	2.114,2	546,4	1.535,8	658,4	1.111,5
Passenger Cars	Petrol	Large-SUV-Executive	Euro 6 2017-2019	2.001,8	486,7	1.882,9	586,5	1.000,9
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 4	988,3	1.099,1	2.075,9	1.324,5	2.237,5
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 5	1.098,0	1.239,5	2.057,4	1.493,8	2.165,4
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 6 up to 2016	1.195,1	1.366,0	2.257,5	1.646,1	2.451,9
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 6 2017-2019	883,2	1.528,8	2.218,0	1.842,3	2.432,8
Passenger Cars	Diesel	Small	Conventional	146,0	594,6	335,7	716,5	353,6
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 1	553,3	885,9	1.517,5	1.067,6	1.900,2
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 2	687,1	927,7	1.794,1	1.117,9	2.025,6
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 3	822,4	1.029,6	1.900,9	1.240,8	2.171,5
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 4	1.019,8	1.049,6	1.953,5	1.264,9	2.100,1
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 5	1.271,2	1.088,6	1.996,6	1.311,9	2.068,7
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 6 up to 2016	1.498,5	1.146,8	2.201,5	1.382,0	2.398,9
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 6 2017-2019	1.676,9	1.032,6	2.151,1	1.244,4	2.522,4
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Conventional	262,3	619,6	466,8	746,7	439,2
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 1	604,2	678,5	1.282,8	817,7	1.485,9
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 2	715,6	726,0	1.467,1	874,9	1.568,0
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 3	944,6	844,9	1.598,7	1.018,2	1.799,3
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 4	1.258,2	849,1	1.732,9	1.023,3	1.728,6
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 5	1.724,8	811,3	1.911,4	977,7	1.918,1
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 6 up to 2016	1.841,6	740,4	2.009,0	892,3	2.097,6
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 6 2017-2019	1.938,2	751,4	1.944,4	905,5	2.042,3
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Mini	Euro 4	686,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Mini	Euro 5	171,3	76,6	165,2	92,3	148,9
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Mini	Euro 6 up to 2016	107,4	129,2	130,3	155,6	132,1
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Small	Euro 4	1.542,1	1.300,0	1.867,3	1.566,6	2.424,3
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Small	Euro 5	1.500,8	1.238,2	2.577,9	1.492,1	1.845,2
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Small	Euro 6 up to 2016	3.325,5	624,4	1.800,3	752,5	2.203,3
Passenger Cars	Petrol	Small	Euro 6	1.848,5	1.308,2	1.601,0	1.576,5	2.645,6

Estudio comparativo de distintos modelos de cálculo de emisiones del tráfico rodado

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
	Hybrid		2017-2019					
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Medium	Euro 4	1.545,7	1.190,3	2.332,0	1.434,4	2.206,0
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Medium	Euro 5	1.912,2	1.222,8	2.250,3	1.473,6	1.847,5
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Medium	Euro 6 up to 2016	1.925,9	1.206,0	2.268,8	1.453,3	1.853,3
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Medium	Euro 6 2017-2019	1.830,4	1.120,3	2.443,6	1.350,1	1.964,0
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Large-SUV-Executive	Euro 4	2.334,1	692,6	1.918,0	834,7	1.323,7
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Large-SUV-Executive	Euro 5	2.142,7	689,4	2.204,5	830,8	1.236,7
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Large-SUV-Executive	Euro 6 up to 2016	1.969,4	669,9	2.008,5	807,3	1.645,6
Passenger Cars	Petrol Hybrid	Large-SUV-Executive	Euro 6 2017-2019	2.123,9	718,5	1.882,0	865,9	1.511,8
Passenger Cars	LPG Bifuel	Small	Conventional	0,0	500,2	0,0	602,8	0,0
Passenger Cars	LPG Bifuel	Small	Euro 2	1.145,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Passenger Cars	LPG Bifuel	Small	Euro 3	652,2	1.286,2	2.091,3	1.550,0	1.930,4
Passenger Cars	LPG Bifuel	Small	Euro 4	1.120,9	1.616,0	1.411,1	1.947,5	1.345,2
Passenger Cars	LPG Bifuel	Small	Euro 5	1.466,9	1.732,2	3.142,4	2.087,4	2.036,3
Passenger Cars	LPG Bifuel	Small	Euro 6	1.806,6	1.483,6	2.940,4	1.787,9	2.700,9
Passenger Cars	LPG Bifuel	Medium	Conventional	0,0	500,2	0,0	602,8	0,0
Passenger Cars	LPG Bifuel	Medium	Euro 2	458,3	600,2	2.614,5	723,3	3.129,7
Passenger Cars	LPG Bifuel	Medium	Euro 3	505,9	891,9	2.022,6	1.074,8	3.053,4
Passenger Cars	LPG Bifuel	Medium	Euro 4	918,4	1.152,6	1.823,7	1.389,0	2.116,3
Passenger Cars	LPG Bifuel	Medium	Euro 5	1.183,3	1.595,4	2.831,8	1.922,7	2.981,7
Passenger Cars	LPG Bifuel	Medium	Euro 6	2.068,3	1.629,0	2.624,7	1.963,1	2.410,0
Passenger Cars	LPG Bifuel	Large-SUV-Executive	Euro 1	1.158,0	250,1	1.164,4	301,4	1.564,8
Passenger Cars	LPG Bifuel	Large-SUV-Executive	Euro 2	891,2	889,2	1.694,6	1.071,6	2.955,8
Passenger Cars	LPG Bifuel	Large-SUV-Executive	Euro 3	1.401,1	784,7	2.380,7	945,7	2.035,4
Passenger Cars	LPG Bifuel	Large-SUV-Executive	Euro 4	1.614,7	796,6	1.999,0	960,0	2.068,9
Passenger Cars	LPG Bifuel	Large-SUV-Executive	Euro 5	2.006,2	1.227,8	2.710,0	1.479,6	2.981,9
Passenger Cars	LPG Bifuel	Large-SUV-Executive	Euro 6	2.301,6	600,2	1.387,3	723,3	5.000,8
Passenger Cars	CNG Bifuel	Small	Euro 4	1.388,8	2.250,9	2.294,9	2.712,5	503,2
Passenger Cars	CNG Bifuel	Small	Euro 5	1.170,0	1.660,7	3.965,2	2.001,3	871,9
Passenger Cars	CNG Bifuel	Small	Euro 6	1.148,3	1.643,1	3.081,0	1.980,1	2.255,0

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Passenger Cars	CNG Bifuel	Medium	Euro 4	793,6	2.417,6	2.910,1	2.913,5	0,0
Passenger Cars	CNG Bifuel	Medium	Euro 5	578,9	3.012,5	3.304,8	3.630,3	0,0
Passenger Cars	CNG Bifuel	Medium	Euro 6	1.155,0	1.500,6	0,0	1.808,4	3.127,9
Passenger Cars	CNG Bifuel	Large-SUV-Executive	Euro 4	1.190,4	2.000,8	2.294,9	2.411,1	0,0
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-I	Conventional	53,7	631,2	154,6	760,7	372,1
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-I	Euro 1	0,0	1.500,6	0,0	1.808,4	3.112,1
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-I	Euro 2	572,3	687,8	1.421,6	828,8	1.561,5
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-I	Euro 3	1.032,5	817,4	2.523,6	985,0	1.649,9
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-I	Euro 4	959,7	1.008,7	2.339,9	1.215,6	2.001,6
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-I	Euro 5	766,3	1.797,0	1.027,5	2.165,6	1.156,1
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-I	Euro 6 up to 2016	2.749,8	954,9	1.867,2	1.150,8	5.111,9
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Conventional	98,0	521,4	278,9	628,4	444,9
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Euro 1	801,4	586,7	1.350,5	707,0	1.344,7
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Euro 2	483,8	923,0	1.641,4	1.112,4	998,1
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Euro 3	784,7	1.165,5	1.763,9	1.404,6	1.909,7
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Euro 4	1.107,0	1.174,7	1.492,2	1.415,7	2.317,7
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Euro 5	994,1	1.419,5	2.186,9	1.710,6	506,2
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-II	Euro 6 up to 2017	429,8	1.834,1	3.221,9	2.210,2	4.035,6
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-III	Conventional	144,8	384,2	324,6	463,0	656,0
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-III	Euro 1	480,6	799,1	1.528,6	963,0	1.024,7
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-III	Euro 2	770,4	846,5	1.618,4	1.020,1	900,9
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-III	Euro 3	1.093,9	1.063,1	1.702,3	1.281,1	1.902,5
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-III	Euro 4	953,4	1.142,5	1.680,6	1.376,8	2.378,0
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-III	Euro 5	1.660,4	992,1	1.216,3	1.195,5	1.718,0
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-III	Euro 6 up to 2017	1.715,7	2.022,3	3.063,7	2.437,0	2.394,6
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-I	Conventional	199,7	769,5	175,3	927,4	60,1
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-I	Euro 1	0,0	9,9	19,4	11,9	8,8
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-I	Euro 2	232,0	2.200,9	455,4	2.652,3	623,3
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-I	Euro 3	461,7	1.500,6	1.826,7	1.808,4	1.869,6
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-I	Euro 4	943,7	1.273,2	3.329,8	1.534,4	1.418,2

Estudio comparativo de distintos modelos de cálculo de emisiones del tráfico rodado

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-I	Euro 5	767,3	333,5	2.293,3	401,9	7.282,2
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-I	Euro 6 up to 2016	1.151,5	0,0	8.046,1	0,0	3.120,5
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Conventional	141,0	650,2	281,6	783,5	269,3
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Euro 1	230,1	452,5	680,6	545,3	619,3
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Euro 2	710,8	1.124,4	1.667,6	1.355,0	1.886,6
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Euro 3	814,8	1.218,2	1.924,0	1.468,0	2.113,8
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Euro 4	1.001,3	1.350,2	2.238,9	1.627,1	2.437,1
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Euro 5	1.214,5	1.700,7	3.018,3	2.049,5	2.602,1
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-II	Euro 6 up to 2017	1.395,8	2.023,7	2.950,4	2.438,7	2.692,4
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-III	Conventional	107,2	570,2	281,8	687,2	479,6
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-III	Euro 1	1.697,9	2.483,8	4.429,2	2.993,3	4.354,9
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-III	Euro 2	753,1	999,2	1.817,5	1.204,1	1.963,6
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-III	Euro 3	810,3	1.131,2	2.014,2	1.363,2	2.218,9
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-III	Euro 4	1.041,7	1.302,7	2.217,6	1.569,9	2.523,1
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-III	Euro 5	1.328,1	1.674,5	2.711,3	2.018,0	2.854,3
Light Commercial Vehicles	Diesel	N1-III	Euro 6 up to 2017	1.438,0	1.902,9	2.762,2	2.293,2	3.103,6
Heavy Duty Trucks	Petrol	>3,5 t	Conventional	436,5	609,1	915,6	734,1	1.376,6
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Conventional	84,2	567,4	253,7	683,8	487,4
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro I	388,6	781,9	1.392,3	942,2	1.241,5
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro II	509,4	957,8	1.504,6	1.154,2	1.703,8
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro III	765,5	1.119,4	1.799,3	1.349,0	2.071,9
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro IV	887,7	1.183,9	2.112,9	1.426,7	2.449,6
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro V	1.224,8	1.329,0	2.554,5	1.601,6	2.802,9
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid <=7,5 t	Euro VI	1.534,4	1.822,1	2.911,9	2.195,9	3.424,7
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Conventional	134,9	537,3	285,4	647,5	594,8
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro I	370,6	378,5	861,4	456,2	1.771,8
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro II	667,6	617,8	1.230,5	744,5	2.090,1
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro III	794,6	576,9	1.811,0	695,3	2.832,3
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro IV	1.049,7	625,1	1.939,7	753,3	3.316,6
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro V	1.167,4	638,3	2.586,1	769,3	3.340,4

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 7,5 - 12 t	Euro VI	1.556,0	934,1	2.657,7	1.125,6	3.542,0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Convention al	68,0	452,0	954,0	544,7	903,6
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Euro I	122,5	333,5	776,3	401,9	1.043,2
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Euro II	390,3	317,2	968,8	382,3	1.450,3
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Euro III	477,4	364,3	1.332,8	439,0	3.395,8
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Euro IV	1.078,6	688,4	2.237,1	829,6	6.617,6
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Euro V	821,4	430,9	1.779,0	519,3	4.715,2
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 12 - 14 t	Euro VI	1.130,2	517,4	2.168,2	623,6	1.811,7
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Convention al	79,9	493,1	148,5	594,2	429,1
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro I	134,1	746,2	458,1	899,2	1.477,0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro II	440,2	531,4	737,8	640,3	2.220,9
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro III	468,6	545,7	725,5	657,6	3.960,9
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro IV	500,8	612,0	681,7	737,6	4.113,8
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro V	406,5	462,8	670,7	557,7	2.359,1
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 14 - 20 t	Euro VI	370,6	454,8	519,1	548,0	2.142,0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Convention al	53,2	487,4	268,7	587,3	654,4
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Euro I	944,8	794,4	137,0	957,4	184,1
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Euro II	597,0	285,8	630,4	344,4	3.576,0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Euro III	442,9	416,8	684,8	502,3	2.984,4
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Euro IV	564,3	482,2	846,6	581,1	2.795,2
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Euro V	689,6	433,5	800,0	522,4	2.619,9
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 20 - 26 t	Euro VI	543,7	457,9	850,8	551,8	2.717,9
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Convention al	0,0	500,2	0,0	602,8	0,0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro II	0,0	750,3	0,0	904,2	0,0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro III	2.528,0	111,2	1.552,5	134,0	2.769,6
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro IV	512,7	300,1	0,0	361,7	3.129,7
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro V	1.380,3	285,8	3.659,5	344,4	2.682,6
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro VI	55,1	932,2	635,1	1.123,4	995,8
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t	Convention al	212,1	272,8	423,4	328,8	284,5
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t	Euro II	362,3	250,1	1.164,4	301,4	3.651,3

Estudio comparativo de distintos modelos de cálculo de emisiones del tráfico rodado

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t	Euro III	1.056,8	335,8	231,8	404,7	2.899,8
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t	Euro IV	462,2	400,8	699,3	483,1	2.328,2
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t	Euro V	344,5	406,4	509,4	489,8	1.956,1
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 28 - 32 t	Euro VI	1.552,5	222,3	1.799,0	267,9	3.825,2
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t	Convention al	45,8	529,6	128,2	638,2	356,7
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t	Euro I	0,0	285,8	665,4	344,4	3.129,7
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t	Euro II	193,4	97,6	397,6	117,6	2.824,4
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t	Euro III	134,2	80,2	636,8	96,6	2.739,3
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t	Euro IV	138,2	69,0	504,8	83,1	2.695,3
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t	Euro V	287,7	41,7	346,5	50,2	3.419,8
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid >32 t	Euro VI	50,7	13,4	653,7	16,1	3.289,4
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 14 - 20 t	Convention al	289,5	750,3	0,0	904,2	391,2
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 14 - 20 t	Euro I	714,4	500,2	2.983,1	602,8	1.043,2
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 14 - 20 t	Euro II	1.836,8	1.185,7	1.293,8	1.428,8	6.023,4
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 14 - 20 t	Euro III	988,4	992,8	2.430,0	1.196,4	2.889,2
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 14 - 20 t	Euro IV	1.036,7	1.514,7	2.434,2	1.825,3	2.112,7
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 14 - 20 t	Euro V	1.958,3	1.604,3	1.833,5	1.933,3	3.773,1
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 14 - 20 t	Euro VI	947,9	1.938,3	2.827,0	2.335,8	3.188,9
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 20 - 28 t	Convention al	202,7	458,5	0,0	552,6	1.304,0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 20 - 28 t	Euro I	0,0	1.000,4	0,0	1.205,6	0,0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 20 - 28 t	Euro II	259,8	230,9	358,3	278,2	2.398,9
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 20 - 28 t	Euro III	449,3	527,0	1.115,0	635,1	2.618,8
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 20 - 28 t	Euro IV	793,3	459,6	2.200,9	553,9	3.637,2
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 20 - 28 t	Euro V	659,0	678,0	981,6	817,1	5.554,0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 20 - 28 t	Euro VI	728,5	326,2	452,4	393,1	1.489,6
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 28 - 34 t	Euro III	222,9	266,8	776,3	321,5	1.043,2
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 28 - 34 t	Euro IV	1.222,1	203,8	1.466,3	245,6	2.666,0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 28 - 34 t	Euro V	389,4	166,7	0,0	200,9	1.043,2
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 28 - 34 t	Euro VI	0,0	500,2	1.164,4	602,8	0,0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 34 - 40 t	Convention al	0,0	375,1	0,0	452,1	782,4

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 34 - 40 t	Euro IV	777,5	166,7	776,3	200,9	0,0
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 40 - 50 t	Euro III	1.102,3	0,0	0,0	0,0	6.148,6
Heavy Duty Trucks	Diesel	Articulated 40 - 50 t	Euro VI	0,0	1.000,4	0,0	1.205,6	0,0
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Convention al	60,9	449,4	145,5	541,6	758,0
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro I	246,2	687,8	4.075,4	828,8	3.912,1
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro II	984,5	1.445,0	3.437,8	1.741,4	6.536,8
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro III	2.633,3	2.066,1	3.810,7	2.489,9	8.156,4
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro IV	1.915,5	1.882,3	4.426,5	2.268,4	6.683,8
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro V	2.318,6	1.967,4	5.716,5	2.370,9	16.517,4
Buses	Diesel	Urban Buses Midi <=15 t	Euro VI	1.967,0	1.927,5	4.460,0	2.322,9	20.122,8
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Convention al	79,1	771,5	157,9	929,7	165,3
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro I	0,0	375,1	228,7	452,1	0,0
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro II	1.044,2	1.109,5	3.204,4	1.337,1	5.367,0
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro III	1.705,3	1.836,5	3.342,2	2.213,2	6.195,6
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro IV	1.756,4	1.894,7	5.231,0	2.283,3	5.980,6
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro V	1.038,5	2.869,1	9.009,5	3.457,5	4.656,8
Buses	Diesel	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Euro VI	1.115,8	8.336,6	12.414,7	10.046,4	5.114,5
Buses	Diesel	Urban Buses Articulated >18 t	Convention al	170,9	604,4	1.358,5	728,4	130,4
Buses	Diesel	Urban Buses Articulated >18 t	Euro I	416,5	333,5	776,3	401,9	0,0
Buses	Diesel	Urban Buses Articulated >18 t	Euro II	340,7	875,3	388,1	1.054,9	260,8
Buses	Diesel	Urban Buses Articulated >18 t	Euro III	524,1	3.925,2	5.764,7	4.889,2	973,0
Buses	Diesel	Urban Buses Articulated >18 t	Euro IV	900,9	2.311,4	9.537,0	3.026,2	6.421,7
Buses	Diesel	Urban Buses Articulated >18 t	Euro V	481,8	2.003,9	4.592,8	2.825,2	9.277,5
Buses	Diesel	Urban Buses	Euro VI	110,6	3.057,7	1.408,3	3.685,3	4.863,7

Estudio comparativo de distintos modelos de cálculo de emisiones del tráfico rodado

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
		Articulated >18 t						
Buses	CNG	Urban CNG Buses	Euro III	2.301,6	94,6	4.405,8	114,0	845,9
Buses	CNG	Urban CNG Buses	EEV	2.255,4	1.680,5	4.857,0	3.107,8	5.505,5
L-Category	Petrol	Mopeds 4-stroke <50 cm ³	Euro 3	835,9	0,0	739,6	0,0	94,8
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke <250 cm ³	Convention al	1.015,2	477,8	327,0	575,8	291,0
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke <250 cm ³	Euro 1	3.919,7	206,7	1.392,9	249,1	555,4
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke <250 cm ³	Euro 2	3.362,6	179,0	1.808,0	215,7	656,1
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke <250 cm ³	Euro 3	4.362,7	145,2	1.999,5	175,0	571,6
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke <250 cm ³	Euro 4	4.410,0	134,7	2.088,4	162,4	460,0
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke 250 - 750 cm ³	Convention al	1.802,0	364,7	741,7	439,6	380,4
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke 250 - 750 cm ³	Euro 1	4.465,2	161,8	1.744,2	195,0	596,4
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke 250 - 750 cm ³	Euro 2	3.624,8	134,1	1.865,8	161,6	820,6
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke 250 - 750 cm ³	Euro 3	4.404,8	106,6	1.924,6	128,5	866,7
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke 250 - 750 cm ³	Euro 4	4.964,4	81,4	1.627,1	98,1	654,0
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke >750 cm ³	Convention al	3.077,9	269,3	862,4	324,6	536,0
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke >750 cm ³	Euro 1	3.001,0	167,6	1.685,5	202,0	494,3
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke >750 cm ³	Euro 2	3.557,3	145,2	1.380,1	175,0	693,6
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke >750 cm ³	Euro 3	4.428,8	116,8	1.510,8	140,7	728,9
L-Category	Petrol	Motorcycles 4-stroke >750 cm ³	Euro 4	4.504,3	117,5	1.290,1	141,6	871,3

Tabla II-2. Actividad de la flota vehicular de la ciudad de Madrid por zonas (sólo taxis y autobuses de la EMT)

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 4	4.621,0	2.000,8	3.881,3	2.411,1	13.977,3
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 5	5.476,4	750,3	10.479,6	904,2	4.694,5
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 6 up to 2016	0,0	2.000,8	0,0	2.411,1	0,0
Passenger Cars	Diesel	Mini	Euro 6 2017-2019	18.399,8	3.001,2	16.176,7	3.616,7	12.696,7
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 4	12.853,8	3.034,4	14.909,9	3.656,8	15.073,0
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 5	14.951,8	3.970,5	17.379,1	4.784,8	17.373,0
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 6 up to 2016	15.800,6	4.036,8	18.205,5	4.864,8	19.358,0
Passenger Cars	Diesel	Small	Euro 6 2017-2019	16.795,5	4.360,9	18.452,7	5.255,3	17.344,6
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 4	7.037,6	1.103,5	7.759,7	1.329,8	15.189,6
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 5	9.147,1	1.829,9	10.866,4	2.205,2	22.094,1
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 6 up to 2016	12.494,6	1.829,9	16.885,0	2.205,2	31.849,6
Passenger Cars	Diesel	Large-SUV-Executive	Euro 6 2017-2019	5.490,3	500,2	2.328,8	602,8	0,0
Passenger Cars	LPG Bifuel	Small	Euro 5	3.892,4	2.501,0	10.108,3	3.013,9	15.789,4
Passenger Cars	LPG Bifuel	Small	Euro 6	98.673,3	29.511,6	117.620,1	35.564,4	221.375,5
Passenger Cars	LPG Bifuel	Medium	Euro 4	9.602,0	2.623,3	11.033,0	3.161,3	10.943,5
Passenger Cars	LPG Bifuel	Medium	Euro 5	9.926,2	2.431,1	11.182,0	2.929,8	10.434,2
Passenger Cars	LPG Bifuel	Medium	Euro 6	13.500,6	3.214,7	15.127,8	3.874,1	16.269,3
Passenger Cars	LPG Bifuel	Large-SUV-Executive	Euro 4	12.362,2	6.002,4	11.042,5	7.233,4	7.888,9
Passenger Cars	LPG Bifuel	Large-SUV-Executive	Euro 5	3.892,4	0,0	10.108,3	0,0	15.789,4
Passenger Cars	CNG Bifuel	Medium	Euro 4	21.174,2	2.749,8	19.999,6	3.313,7	14.273,6
Passenger Cars	CNG Bifuel	Medium	Euro 5	16.341,3	2.760,7	17.711,2	3.326,9	13.629,3
Passenger Cars	CNG Bifuel	Medium	Euro 6	10.099,5	2.768,7	16.822,9	3.336,6	19.159,9
Buses	Diesel	Urban Buses Articulated >18 t	Euro III	20.154,5	360,6	39.137,8	50,8	1.221,9
Buses	Diesel	Urban Buses Articulated >18 t	Euro IV	14.074,4	226,2	26.304,3	31,8	3.276,0

Estudio comparativo de distintos modelos de cálculo de emisiones del tráfico rodado

Categoría	Fuel	Segmento	Euro Standard	A	B	C	D	E
Buses	Diesel	Urban Buses Articulate d >18 t	Euro V	23.131,2	1.184,6	38.927,5	166,8	14.544,1
Buses	Diesel	Urban Buses Articulate d >18 t	Euro VI	53.265,7	13,4	119.750,6	1,9	76.490,8
Buses	CNG	Urban CNG Buses	EEV	26.661,5	758,6	10.136,0	106,8	2.125,1

Bibliografía

- Agencia Europea del Medioambiente (EEA), 2016. *Air quality in Europe*
- Agencia Europea del Medioambiente (EEA), 2021. *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 – Update Oct. 2021. 1.A.3.b.i, 1.A.3.b.ii, 1.A.3.b.iii, 1.A.3.b.iv Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motor cycles.*
- Agencia Europea del Medioambiente (EEA), 2022. *Air quality in Europe 2022 Web Report*. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/air-quality-in-europe-2022>
- Boletín Oficial del Estado (BOE), 2006. “Real Decreto 61/2006, del 31 de enero, por el que se fijan las especificaciones de gasolinas, gasóleos, fuelóleos y gases licuados del petróleo, se regula el uso de determinados biocarburantes y el contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo.”
- *California Air Resources Board, 2021. EMFAC2021, Volume I – User’s Guide.*
- Chen, G., Wan, X., Yang, G., Zou, X., 2015. *Traffic-related air pollution and lung cancer: a meta-analysis*
- Comisión Europea, 2021. Informe de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones, Segunda perspectiva sobre el paquete «aire limpio».
- De Kleine, R., Keoleian, G., Miller, S. Burnham, A., Sullivan, J., 2014. *Impact of Updated Material Production Data in the GREET Life Cycle Model. Journal of Industrial Ecology. Volume 18, Number 3*
- *DieselNet, 2022. USA: Cars and Light-Duty Trucks: Tier 2*
- EPA, 2002. *User’s Guide to MOBILE6.1 and MOBILE6.2: Mobile Source Emission Factor Model.*
- EPA, 2020. *MOVES: Technical Guidance: Using MOVES to Prepare Emission Inventories for State Implementation Plans and Transportation Conformity.*
- EPA, 2022. <https://www.epa.gov/moves/latest-version-motor-vehicle-emission-simulator-moves>
- Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) de la Universidad Politécnica de Madrid y Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial, 2018. Estudio del Parque Circulante de la Ciudad de Madrid (Año 2017).
- *European Environment Agency (EEA) (2016). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook-2016. EEA Technical Report No. 21/2016.* Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>
- Fujita, E.M., Campbell, D.E., Zielinska, B., Chow, J.C., Lindhjem, C.E., DenBleyker, A., 2012. *Comparison of the MOVES2010a, MOBILE6.2, and EMFAC2007 mobile source emission models with on-road traffic tunnel and remote sensing measurements. Journal of the Air & Waste Management Association. Volume 62, 2012 – Issue 10*
- Fundación Gas Natural Fenosa, 2018. La calidad del aire en las ciudades
- HBEFA, 2022. <https://www.hbefa.net/e/index.html>
- Hoofman, N., 2018. *A review of the European passenger car regulations – real driving emissions vs local air quality. Renew. Sust. Energ. Rev. 86, 1–21.* <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.01.012>.
- IVE, 2008. Manual del Usuario del Modelo IVE, Versión 2.0 Mayo 2008. Disponible en: <http://www.issrc.org/ive/>

- Markel, T., Brooker, A., Hendricks, T., Johnson, V., Kelly, K., Kramer, B., O’Keefe, M., Sprik, S., Wikpe, K., 2002. *ADVISOR: a systems analysis tool for advanced vehicle modeling*. *Journal of Power Sources* 110 (2002) 255-266
- Ntziachristos, L., Samaras, Z., 2021. *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 – Update Oct. 2021*
- Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2019. *REET: The Greenhouse Gases, Regulated Emissions and Energy Use in Transportation Model*. Disponible en: <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/articles/greet-greenhouse-gases-regulated-emissions-and-energy-use-transportation>
- Samoli, E., Atkinson, R.W., Analitis, A., Fuller, G.W., Green, D.C., Mudway, I., 2016. *Associations of short-term exposure to traffic-related air pollution with cardiovascular and respiratory hospital admissions in London, UK*. *Occupational & Environmental Medicine, Volume 73, Issue 5*
- SUMO, 2022. PHEM (Passenger Car and Heavy Duty Emission Model).
- Tayarani, M., Rowangould, G., 2020. *Estimating exposure to fine particulate matter emissions from vehicle traffic: Exposure misclassification and daily activity patterns in a large, sprawling region*. *Environmental Research, Volume 182, March 2020, 108999*
- T.D. Matte, Z. Ross, I. Kheirbek, H. Eisl, S. Johnson, J.E. Gorczynski, D. Kass, S. Markowi, G. Pezeshki, J.E. Clougherty, 2013. *Monitoring intraurban spatial patterns of multiple combustion air pollutants in New York City: design and implementation*. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* 23, 223-231 (2013). *Wiley Online Library, Thoracic Cancer, Volume 6, Issue 3, 307-318*
- Wang, M., Wu, Y., Elgowainy, A., 2007. *Operating Manual for REET: Version 1.7*. Argonne National Laboratory