



MASTER EN INGENIERÍA DE AUTOMOCIÓN

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

SIMULACIÓN DE EMISIONES Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE LA FLOTA DE BARCELONA CON COPERT 5

Autor: D. Manuel M^º Rodríguez Vargas

Tutora: D. Blanca Giménez Olavarria

Valladolid, Julio de 2017

Escuela Ingenierías Industriales

Depto. Ing^ª Energética y Fluidomecánica

Paseo del Cauce 59

47011 Valladolid
(España)



Fundación Cidaut

Parque Tecnológico de Boecillo, 209

47151 Boecillo (Valladolid)

España





Escuela Ingenierías Industriales

Depto. Ing^a Energética y Fluidomecánica

Paseo del Cauce 59

47011 Valladolid
(España)



Fundación Cidaut

Parque Tecnológico de Boecillo, 209

47151 Boecillo (Valladolid)

España



SIMULACIÓN DE EMISIONES Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE LA FLOTA DE BARCELONA CON COPERT 5

RESUMEN BREVE

En el presente Trabajo Fin de Máster (TFM) se realiza una simulación de las emisiones atmosféricas y consumo de combustible de tres flotas supuestas según el año correspondiente para la ciudad de Barcelona. Para determinar las flotas de vehículo se ha supuesto que los vehículos cumplían con la normativa de emisiones contaminantes de cuando salieron al mercado, para así poder observar la evolución a nivel de emisiones atmosféricas y consumo de combustible en la ciudad de Barcelona.

Todos los cálculos se han realizado con el programa Copert 5, siendo este un software específico desarrollado para el cálculo de las emisiones atmosféricas de los vehículos, basado en la metodología del "EMEP/EAA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook".

A partir de la introducción de unos parámetros referentes a las condiciones climáticas del país, características del combustible, recorrido, características de la flota de vehículos y normativa anticontaminante del mismo en el programa Copert 5 se pueden calcular el consumo de combustible, emisiones CO₂, demás contaminantes gaseosos, partículas y elementos metálicos emitidos por la flota de vehículos introducida. Además el programa es capaz de distinguir entre las emisiones según recorrido urbano, interurbano, rural, off road, autopistas y autovías, además de distinguir también entre emisiones en caliente y en frío.

En este proyecto se detalla paso a paso los datos necesarios para realizar el estudio y la forma de introducción de los mismos, así como la explicación de los resultados que se obtienen. Teniendo esto en cuenta, este TFM puede utilizarse como manual del programa Copert 5.

Para finalizar el trabajo se realiza la comparación entre las flotas introducidas en el programa para poder realizar la comparación entre ellas y así apreciar la disminución de las emisiones emitidas según el paso del tiempo debido a la introducción de normativas anticontaminante cada vez más estrictas. Para ello los fabricantes de vehículos han tenido que recurrir a la implementación de nuevas tecnologías, así como al incremento de la eficiencia del motor y del vehículo.

ENGLISH TITLE

SIMULATION OF EMISSIONS AND FUEL CONSUMPTION OF THE VEHICLE FLEET FROM BARCELONA WITH COPERT 5

SHORT ABSTRACT

In the present Thesis a simulation of the atmospheric emissions and fuel consumption of three supposed fleets of three different years for the city of Barcelona is calculated. In order to determine the vehicle fleets, it has been assumed that the vehicles complied with the emission regulations when they went on sale, in order to observe the evolution of atmospheric emissions and fuel consumption in the city of Barcelona.

All calculations have been made with the Copert 5 program, which is a specific software developed for the calculation of atmospheric emissions of vehicles, based on the methodology of the EMEP / EAA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook.

It has been introduced parameters relating to the climatic conditions of the country, characteristics of the fuel, travel, characteristics of the fleet of vehicles and anti-pollution regulations so Copert 5 would be able to calculate the fuel consumption, CO₂ emissions, other pollutants, particles and metallic elements emitted by the fleet of vehicles introduced. In addition, the program is able to distinguish between emissions according to urban, interurban, rural, off road, highways and highways, as well as distinguish between hot and cold emissions.

This project details step by step the necessary data to carry out the study and the way of introducing them, as well as the explanation of the results obtained. Taking this into account, this TFM can be used as a Copert 5 guidebook.

Finally a comparison is made between the fleets introduced in the program in order to compare them and to appreciate the decrease in emissions emitted over time due to the introduction of increasingly strict anti-pollution regulations.

A mi familia, que aunque cada vez estoy más lejos de ellos siempre están ahí.
A Blanca, por haber sido paciente conmigo y haberme ayudado en todo lo posible.

AGRADECIMIENTOS

NOMENCLATURA

HC: Hidrocarburos

NO_x (NO y NO₂): Óxidos de nitrógeno

SO_x (SO y SO₂): Óxidos de azufre

N₂O: Óxido nitroso

CH₄: Metano

COV: Compuestos orgánicos volátiles

COVNM: Compuestos orgánicos volátiles a excepción del metano (COV – CH₄)

CO: Monóxido de carbono

CO₂: Dióxido de carbono

NH₃: Amoníaco

Pb: Plomo

As: Arsénico

Cd: Cadmio

Cu: Cobre

Cr: Cromo

Hg: Mercurio

Se: Selenio

Ni: Níquel

Zn: Zinc

HAPs: Hidrocarburos aromáticos policíclicos

COPs: Contaminantes orgánicos persistentes

PST (PM): Partículas en suspensión totales (particulate matter)

PM₁₀: Partículas en suspensión de diámetro aerodinámico <= que 10μ

PM_{2.5}: Partículas en suspensión de diámetro aerodinámico <= que 2,5μ

COPERT: Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport

PC: Vehículos de pasajeros (Passenger Cars)

LDV: Vehículos ligeros (Light Duty Vehicles)

HDV: Vehículos pesados (Heavy Duty Vehicles)

HR (RH): Humedad relativa (Relative humidity)

PN: Parque Nacional de vehículos

1	Capítulo I – Introducción.....	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Planteamiento del trabajo	3
2	SITUACIÓN Y/O ESTADO DEL ARTE/TÉCNICA	3
3	COPERT 5.....	5
3.1	Categorías.....	6
3.2	Tecnologías	8
3.3	Tipos de conducción	10
3.4	Tipos de emisiones	10
3.5	Metodología	11
3.5.1	Emisiones de escape.....	11
3.5.2	Emisiones por evaporación	15
3.5.3	Otras emisiones	17
4	DATOS INTRODUCIDOS EN COPERT	18
4.1	Flota supuesta ciudad de Barcelona (Datos de entrada necesarios).....	19
4.1.1	Selección de país y año	19
4.1.2	Información del país.....	20
4.1.3	Información del combustible	21
4.1.4	Información del lubricante	22
4.1.5	Añadir/borrar vehículos	23
4.1.6	Datos de entrada de la flota	24
4.1.7	Datos de entrada de circulación.....	35
4.2	Flota supuesta ciudad de Barcelona 2014 y 2009	36
4.2.1	Flota Barcelona 2014.....	36
5	Comparación entre flotas	39
5.1	Consumo de combustible	40
5.2	Emisiones de CO2 a la atmósfera	41
5.3	Otras emisiones gaseosas	42
5.4	Emisiones de partículas	43
5.5	Emisiones de metales a la atmósfera	44
6	Conclusiones	46

Figura 1. Tipos de vehículos en COPERT	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2. Esquema cálculo de emisiones en caliente	12
Figura 3. Esquema cálculo de emisiones en frío	13
Figura 4 Diagrama general de cálculo	15
Figura 5. Tipos de emisiones por evaporación	17
Figura 6. Esquema funcionamiento COPERT	18
Figura 7. Asistente "New Run Wizard"	19
Figura 8. Ventana "selección del año"	19
Figura 9. Ventana "Propiedades del combustible"	22
Figura 10. Ventana "Consumo de combustible"	22
Figura 11. Ventana "Propiedades del lubricante"	23
Figura 12. Ventana "Configuración de flota"	23
Figura 13. Parque de vehículos Barcelona 2016	24
Figura 16. Ventana "Población y actividad de la flota"	35
Figura 17. Ventana "datos de circulación"	36
Figura 18. Parque móvil Barcelona 2014	37
Figura 19. Parque móvil Barcelona 2013	37
Figura 20. Ventana "Cálculo de emisiones"	39
Figura 21. Extracción de datos a Excel	40
Figura 22. Consumo de combustible	41
Figura 23. Emisiones de CO2	42
Figura 24. Emisiones gaseosas a la atmósfera (I)	42
Figura 25. Emisiones gaseosas a la atmósfera (II)	43
Figura 26. Emisiones gaseosas a la atmósfera (III)	43
Figura 27. Emisiones de partículas	44
Figura 28. Emisiones metálicas (I)	44
Figura 29. Emisiones metálicas (II)	45
Figura 30. Comparación entre flotas	46

Lista de tablas

Tabla 3.1. Categorías según cilindrada.....	7
Tabla 3.2. Categorías según MMA.....	7
Tabla 3.3. Categorías según MMA.....	8
Tabla 3.4. Categorías según combustible	8
Tabla 3.5. Categorías según tipo de motor.....	8
Tabla 3.6. Categorías según tipo de motor y cilindrada	8
Tabla 3.7. Clasificación de vehículos COPERT	10
Tabla 3.8 Contaminantes del Grupo 1 COPERT	12
Tabla 3.9 Contaminantes Grupo 2 COPERT.....	13
Tabla 3.10 Contaminantes GRUPO 3 COPERT	14
Tabla 3.11. Contaminantes GRUPO 4 COPERT	14
Tabla 4.1 Valores ruta típica europea.....	20
Tabla 4.2. Ventana introducción datos meteorológicos	20
Tabla 4.3. Propiedades Gasolina y Gasóleo.....	21
Tabla 4.4. Propiedades Gasolina y Gasóleo.....	21
Tabla 4.5. Datos autobuses TMB.....	24
Tabla 4.6. Clasificación por combustible parque nacional y Barcelona	25
Tabla 4.7. Clasificación por cilindrada parque nacional y Barcelona	26
Tabla 4.8. Clasificación turismos COPERT	27
Tabla 4.9. Clasificación turismos gasolina según tamaño COPERT.....	27
Tabla 4.10. Clasificación turismos diesel según tamaño COPERT	27
Tabla 4.11. Clasificación turismos combustible no convencional	27
Tabla 4.12. Clasificación LCV según MMA parque nacional y Barcelona	28
Tabla 4.13. Clasificación LCV según combustible y normativa anticontaminación	28
Tabla 4.14. Clasificación LCV gasolina según MMA y normativa anticontaminación.....	29
Tabla 4.15. Clasificación LCV diesel según MMA y normativa anticontaminación	29
Tabla 4.16. Clasificación camiones rígidos según MMA	30
Tabla 4.17. Clasificación camiones rígidos entre 3500-7500 kg y normativa anticontaminación	30
Tabla 4.18. Clasificación camiones rígidos entre 7000-10000 kg y normativa anticontaminación	31
Tabla 4.19. Clasificación camiones rígidos de más de 10t y normativa anticontaminación	31
Tabla 4.20. Clasificación camiones articulados de más de 10t y normativa anticontaminación	31
Tabla 4.21. Clasificación Autobuses PN y Barcelona	32
Tabla 4.22. Autobuses según normativa.....	32
Tabla 4.23. Autobuses otros combustibles.....	32
Tabla 4.24. Clasificación motocicletas PN y Barcelona	33
Tabla 4.25. Clasificación motocicletas según cilindrada y normativa anticontaminación	33
Tabla 4.26. Clasificación ciclomotores según tipo de motor y normativa anticontaminación	34
Tabla 4.27. Kilometraje anual por categorías.....	34

Tabla 4.28. Kilometraje total en [k km].....	34
Tabla 4.29. Porcentaje de cada tipo de via en la ruta	35
Tabla 4.30. Velocidades de circulación	35
Tabla 6.1. Resultados omparación entre flotas	46

1 Capítulo I – Introducción

1.1 Antecedentes

La contaminación atmosférica deteriora gravemente el medioambiente, pero también perjudica, y mucho, a la salud de las personas. Especialmente en las ciudades, donde se concentra la mayor parte de los agentes contaminantes y más expuesta está la población a sus efectos. No en vano, según la Organización Mundial de la Salud, cada año mueren en todo el mundo 1,3 millones de personas debido a la polución urbana. Las causas de este tipo de contaminación son muy variadas, pero cuando hablamos de ciudades los estudios coinciden en que el transporte está detrás de una parte muy importante de estas emisiones. Debido a esto las organismos legislativos se han obligados a adoptar medidas cada vez más restrictivas que limiten las sustancias emitidas con el fin de reducir en la medida de lo posible la contaminación.

Dentro del marco legislativo de la Unión Europea existen las normas EURO que regulan agentes contaminantes emitidos como los óxidos de nitrógeno (NOX), hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO) y partículas para los vehículos.

Estas normas EURO son es un conjunto de requisitos que regulan los límites aceptables para las emisiones de gases de combustión de los vehículos nuevos vendidos en los Estados Miembros de la Unión Europea. Las normas de emisión se definen en una serie de directivas de la Unión Europea con implantación progresiva que son cada vez más restrictivas.

El término NO_x se refiere a un grupo de gases compuestos por óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). Es una sustancia corrosiva para la piel y el tracto respiratorio, provocando enrojecimiento y quemaduras cutáneas graves. Una exposición prolongada puede afectar al sistema inmune y al pulmón, dando lugar a una menor resistencia frente a infecciones y causar cambios irreversibles en el tejido pulmonar. En presencia de agua los óxidos de nitrógeno pueden formar ácido nítrico produciéndose, si es con agua de la atmósfera, lluvia ácida.

Los hidrocarburos (HC) se emiten a la atmósfera cuando el combustible se queda sin quemar. La ingestión de hidrocarburos puede afectar 3 sistemas orgánicos fundamentales: pulmón, aparato gastrointestinal y sistema nervioso. Contribuyen a la formación de ozono (muy útil en las capas altas de la atmósfera, pero perjudicial a nivel del suelo por su carácter oxidante e irritante). Algunos son cancerígenos.

El Monóxido (CO) es resultado del proceso de combustión y se forma siempre que la combustión es incompleta, es un gas tóxico, incoloro e inodoro. Los motores diésel producen menor cantidad de monóxido de carbono que los motores a gasolina, sin embargo, la elevada admisión de aire de los motores diésel es la responsable de la producción de éste. Es un compuesto muy venenoso ya que se fija en los glóbulos rojos de la sangre impidiendo que éstos puedan fijar el oxígeno, la inhalación de aire con un 0.3% de monóxido de carbono durante media hora produce la muerte.

Las partículas se clasifican según su medida y según cómo se comportan al respirarlas, más que según su contenido. Hay partículas de diámetro aerodinámico igual o inferior a 10 µm (PM10) que suelen llegar más allá de la garganta. Las que tienen un diámetro igual o inferior a 2,5 µm (PM2,5) pueden llegar hasta los pulmones y las partículas ultrafinas, con un diámetro igual o inferior a 0,1 µm, que pueden pasar de los alveolos pulmonares a la sangre. Se generan por la combustión en los motores, pero también por el roce de las ruedas con el pavimento. Los humos de los motores diésel están formados en gran parte por partículas finas y ultrafinas de hidrocarburos, debidas a una combustión incompleta.

Las emisiones de CO₂ se producen por la quema del combustible y son expulsadas a través del tubo de escape. La cantidad de CO₂ emitida depende de la cantidad de energía necesaria para circular y de la eficiencia del motor. La cantidad de energía necesaria depende del peso del vehículo y de su potencia. Por tanto, a mayor potencia y mayor peso, mayor consumo de combustible y mayores emisiones de CO₂.

COPERT (Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport) es una herramienta de software utilizada mundialmente para calcular emisiones contaminantes del aire y de efecto invernadero del transporte por carretera. El desarrollo de COPERT está coordinado por la Agencia Europea de medio ambiente (AEMA), en el marco de las actividades del Centro Europeo para la contaminación del aire y la mitigación del cambio climático.

El centro común de investigación de la Comisión Europea gestiona el desarrollo científico del modelo. COPERT ha sido desarrollado para la preparación de inventarios de emisión de gases del transporte de carretera, oficial en los países miembros del EEE (Espacio económico europeo). Sin embargo, es aplicable a toda la investigación pertinente, las aplicaciones científicas y académicas.

El uso de una herramienta de software para calcular las emisiones del transporte vial permite unas transparentes y uniformes, por lo tanto coherentes y comparables recogidas de datos y procedimiento de emisiones de informes, de conformidad con los requisitos de las convenciones internacionales, protocolos y legislación de la UE.

COPERT 5 es la versión oficial de COPERT desde septiembre de 2016 sustituyendo al anterior COPERT 4. La versión 5.0.1145 es la más reciente y la versión con la que se ha realizado este TFM.

La empresa Emisia S.A. es la creadora de este programa. Es una empresa especializada en las áreas de inventarios y modelado de emisiones y en estudios de evaluación de impacto de las políticas ambientales.



Figura 1.1 Logotipo Copert 5

1.2 Objetivos

En el presente documento se calculan las emisiones y el consumo de combustible para tres supuestas flotas de vehículos de tres diferentes años de la ciudad de Barcelona.

Las flotas del estudio supuestas para los tres años están formadas por los vehículos de esos años clasificados por las categorías de vehículos según normativas anticontaminación. Los años elegidos para el estudio son:

- Año 2009 (finalización Euro IV)
- Año 2014 (finalización Euro V)
- Año 2017 (Año actual. Euro VI)

Debido a que no se conoce el parque de vehículos de la ciudad de Barcelona de una manera detallada se ha tenido que suponer una de hipótesis para poder clasificar los vehículos en las distintas categorías que ofrece COPERT y así poder realizar el estudio.

Se demostrará como las emisiones y el consumo de combustible se reduce debido a que las recientes tecnologías son más estrictas. Sobre todo será más apreciable la diferencia entre los años 2009 y 2014 por haber una mayor diferencia de años, y por lo tanto mayor diferencia en el parque móvil de la ciudad.

1.3 Planteamiento del trabajo

El trabajo se puede dividir en tres partes principalmente:

- Descripción del programa Copert 5 y la metodología utilizada para la realización de los cálculos de las emisiones y del consumo de combustible de una determinada flota de vehículos.
- Introducción de las tres flotas supuestas de la ciudad de Barcelona. Se describen todos los pasos seguidos para la introducción de todos los datos en el programa, así como las hipótesis que se han tenido en cuenta a la hora de introducir los datos.
- Obtención de resultados con Copert 5 para las tres flotas introducidas y comparación entre ellas mediante gráficos que permiten una mejor visualización de los resultados.

2 SITUACIÓN Y/O ESTADO DEL ARTE/TÉCNICA

Actualmente los vehículos se mueven gracias a motores de combustión y aunque parece que se estos motores quieren ser eliminados por completo todavía va a pasar bastante tiempo hasta que los vehículos que funcionan con combustibles fósiles desaparezcan.

Los motores de combustión se pueden clasificar en dos principalmente:

- Gasolina => Se suelen utilizar en vehículos pequeños debido a que su relación peso/potencia es superior y tiene mayor rango de funcionamiento en comparación con los motores diesel. Además los motores de gasolina tienen un funcionamiento más refinado, producen un menor ruido y la mecánica de sus motores es más simple, lo que los hacen más fiables. En el caso de motocicletas y ciclomotores se han utilizado motores de dos tiempos (sobre todo en el pasado) debido a la elevada relación peso/potencia pero actualmente se han visto perjudicados por las normativas anticontaminación.
- Diesel => Son los motores que actualmente dominan el mercado de vehículos grandes por su mayor eficiencia con respecto a los motores de gasolina, y actualmente también están dominando el mercado para vehículos de pasajeros, sobre todo en países europeos donde el consumo de combustible es un factor importante en la compra de un vehículo.

Además de los motores de gasolina y diesel hay nuevas tecnologías para intentar disminuir el consumo de combustible y las emisiones contaminantes como por ejemplo:

- Gasoline Direct Injection (GDI)
- Controlled Auto-Ignition
- Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI)
- Nuevos combustibles (GNC,...)
- Nuevos sistemas de propulsión alternativos (motores híbridos,...)

Como se puede observar hay una gran variabilidad de tipos de propulsión para motores de combustión, lo que complica el cálculo de las emisiones correspondientes a una flota de vehículos ya que la recopilación de datos se complica.

Prestando atención ahora al programa de cálculo utilizado, en este caso COPERT 5, hay que decir que existen otros software de modelización de la contaminación atmosférica, entre los que destacan:

- CAMO => Sus siglas significan Cellular Automata Model y ha sido desarrollado en la Universidad Politécnica de Madrid. Es un modelo de simulación del tráfico vehicular para entornos urbanos de gran precisión y que se fundamenta en los modelos autómatas celulares. Permite generar emisiones en un entorno urbano con gran detalle para poder ser utilizadas con sistemas CFD (MIMO).
- HERMES => Modelo de emisiones desarrollado por la Universidad Politécnica de Cataluña y el BSC-CNS que permite obtener emisiones de un amplio número de contaminantes con una alta resolución espacial (1 km²) y temporal (1 hora) muy necesaria para su uso con los modelos de dispersión. Ha sido utilizado para calcular emisiones de alta resolución en toda la Península Ibérica y Baleares. Es una parte clave del sistema de predicción de la calidad del aire en España (CALIOPE).
- MOBILE6 => Software utilizado para modelizar las emisiones producidas por vehículos. Es un modelo de factor de emisiones de HC, CO, NO_x, CO₂, partículas (PM) y compuestos tóxicos emitidos por coches, camiones y motocicletas bajo diversas condiciones.
- SMOKE => Sus siglas significan Sparse Matrix Operator Kernel Emissions. Es un sistema de procesamiento de emisiones diseñado para crear emisiones horarias de un amplio número de contaminantes (incluyendo partículas y compuestos tóxicos) en una malla para servir de entrada a una extensa variedad de modelos de calidad del aire (CMAQ, REMSAD, CAMX y

UAM). SMOKE puede tratar emisiones de focos puntuales, de área, biogénicos y móviles (en carretera y fuera de carretera). Usa el sistema de emisiones biogénicas BEIS2 y BEIS3 y tiene incorporado el modelo de emisiones en carretera MOBILE6.

3 COPERT 5

Las emisiones contaminantes están reguladas por la legislación europea desde los años 70, siendo más estrictas cada vez, por lo que los fabricantes de vehículos se han visto obligados a mejorar la tecnología de los motores e introducir sistemas de control de emisiones para poder cumplir estas normas y así poder vender sus vehículos en el mercado europeo.

En COPERT 5 están integradas las correlaciones y los factores de emisión de cada contaminante en función de distintos parámetros como pueden ser el tipo de vehículo, el carburante, las pautas de

conducción, el kilometraje anual promedio, la velocidad típica, el diseño del motor o factores externos como la temperatura ambiente.

La información que el programa nos pide para poder realizar los cálculos son la flota de vehículos clasificada por clase de vehículos, tipo de carburante, cilindrada del motor, tonelaje de carga y antigüedad de los vehículos. A continuación se explican las distintas categorías de clasificación de vehículos que tiene COPERT y en la que tendremos que clasificar nuestra flota de estudio así como también se explican las demás variables del programa como son los tipos de conducción, tipos de emisiones y metodología de cálculo.

3.1 Categorías

Las categorías contenidas en Copert 5 son las que se muestran en la siguiente tabla:

<p>Passenger Cars (Vehículos de pasajeros)</p>		
<p>Light Duty Vehicles (Vehículos ligeros)</p>		
<p>Heavy Duty Vehicles (Vehículos pesados)</p>		
<p>Mopeds (Cidomotores)</p>		

Motorcycles (Motocicletas)	
Buses (Autobuses)	

Tabla 3.1. Categorías de vehículos en COPERT

Dentro de cada una de estas categorías podemos encontrar los siguientes subgrupos:

- Passenger Cars => Los vehículos de pasajeros a su vez se dividen según el combustible que utilizan (Gasolina, Diesel, GLP, Híbridos,...)

PASSENGER CARS	
Mini	<0.8 l
Small	0.8-1.4 l
Medium	1.4-2.0 l
Large-SUV-Executive	> 2.0 l

Tabla 3.2. Categorías según cilindrada

- Light Commercial Vehicles => Los vehículos comerciales ligeros se clasifican por MMA y por combustible autorizado

LIGHT COMMERCIAL VEHICLES	
Petrol N1 - I	MMA 1305 kg
Petrol N1 - II	1305 kg < MMA 1760 kg
Petrol N1 - III	1760 MMA
Diesel N1 - I	MMA 1305 kg
Diesel N1 - II	1305 kg < MMA 1760 kg
Diesel N1 - III	1760 MMA > 3500 kg

Tabla 3.3. Categorías según MMA

- Heavy Duty Vehicles => Los vehículos pesados se clasifican por MMA y por combustible autorizado, teniendo en cuenta que son muy pocos los vehículos de gasolina de este tipo.

HEAVY DUTY VEHICLES	
Petrol	>3.5 t
Diesel	7.5 t

	7.5 – 12 t
	12-14 t
	14 – 20 t
	20-28 t
	28 – 34 t
	34 – 40 t

Tabla 3.4. Categorías según MMA

- Buses => Los autobuses se clasifican según el combustible utilizado

Buses
Urban buses standard (Diesel)
Urban buses standard (Biodiesel)
Urban buses standard (CNG)

Tabla 3.5. Categorías según combustible

- Mopeds => Los ciclomotores se clasifican según el tipo de motor

MOPEDS
2 – Stroke < 50 cm ³
4 – Stroke < 50 cm ³

Tabla 3.6. Categorías según tipo de motor

- Motorcycles => Las motocicletas se clasifican según el tipo de motor y cilindrada.

MOTORCYCLES
2 – Stroke > 50 cm ³
4 – Stroke < 250 cm ³
4 – Stroke 250 - 750 cm ³
4 – Stroke > 750 cm ³

Tabla 3.7. Categorías según tipo de motor y cilindrada

3.2 Tecnologías

Para la clasificación de vehículos según la tecnología utilizada en ellos se ha decidido utilizar la premisa de que todos los vehículos vendidos en cada año dispone del último nivel de tecnología disponible en materia de control de emisiones.

A continuación se muestran las categorías de tecnologías anticontaminación para vehículos disponibles en COPERT:

Tipo de vehículo	Combustible de propulsión	Normativa de emisiones	Fecha de entrada en vigor de la normativa de reducción de emisiones
	Gasolina	PRE ECE	- 1971

Vehículos de pasajeros		ECE 15/00-01	1972 – 1977
		ECE 15/02	1978 – 1979
		ECE 15/03	1980 – 1984
		ECE 15/04	1985 – 1992
		Euro 1 - 91/441/CEE	1993 – 1996
		Euro 2 - 94/12/CE	1997 – 1999
		Euro 3 - 98/69/CE S 2000	2000 – 2004
		Euro 4 - 98/69/CE S 2005	2005 – 2010
		Euro 5 - 715/2007/CE S 2011	2011 – 2014
		Euro 6 - 715/2007/CE S 2015	2015 -
	Motor de dos tiempos		
	Diésel	Convencional	- 1992
		Euro 1 - 91/441/CEE	1993 – 1996
		Euro 2 - 94/12/CE	1997 – 1999
		Euro 3 - 98/69/CE S 2000	2000 – 2004
		Euro 4 - 98/69/CE S 2005	2005 – 2010
		Euro 5 - 715/2007/CE S 2011	2011 – 2014
	GLP	Convencional	- 1992
		Euro 1 - 91/441/CEE	1993 - 1996
Euro 2 - 94/12/CE		1997 - 1999	
Euro 3 - 98/69/CE S 2000		2000 - 2004	
Euro 4 - 98/69/CE S 2005		2005 -	
Ligeros < 3.5t	Gasolina - Diésel	Convencional	1990 - 1992
		Euro 1 - 93/59/CEE	1993 – 1996
		Euro 2 - 96/69/CE	1996 – 2000
		Euro 3 - 98/69/CE S 2000	2001 – 2005
		Euro 4 - 98/69/CE S 2005	2006 – 2010
		Euro 5 - 715/2007/CE S 2011	2011 – 2014
		Euro 6 - 715/2007/CE S 2015	2015 -
Pesados > 3.5t	Gasolina - Diésel	Convencional	1990 - 1992
		Euro I - 91/542/CEE S I	1993 – 1996
		Euro II - 91/542/CEE S II	1996 – 2000
		Euro III - 1999/96/CE S I	2001 – 2005
		Euro IV - 1999/96/CE S II	2006 – 2010
		Euro V - 1999/96/CE S III	2011 – 2014
		Euro 6 – No propuesta	2015 -
Autobuses	Gasolina - Diésel	Convencional	1990 - 1992
		Euro I - 91/542/CEE S I	1993 – 1996
		Euro II - 91/542/CEE S II	1996 – 2000
		Euro III - 1999/96/CE S I	2001 – 2005
		Euro IV - 1999/96/CE S II	2006 – 2010
		Euro V - 1999/96/CE S III	2011 – 2014
		Euro 6 – No propuesta	2015 -
	Gas natural	Euro I - 91/542/CEE S I	1992 – 1994

		Euro II - 91/542/CEE S II	1995 – 1999
		Euro III - 1999/96/CE S I	2000 – 2004
		Euro IV - 1999/96/CE S II	2006 - 2008
		Euro V - 1999/96/CE S III	2009 -
Ciclomotores	Gasolina	Convencional	- 1998
		Euro 1 - 97/24/CE S I	1999 - 2001
		Euro 2 - 97/24/CE S II	2002 - 2005
		Euro 3 - 2002/51/CE S II	2006 -2016
		Euro 4 - 2002/51/CE S III	2017-
Motocicletas	Gasolina	Convencional	- 1998
		Euro 1 - 97/24/CE	1999 - 2002
		Euro 2 - 2002/51/CE S I	2003 - 2005
		Euro 3 - 2002/51/CE S II	2006 -2016
		Euro 4 - 2002/51/CE S III	2017-

Tabla 3.8. Clasificación de vehículos COPERT

3.3 Tipos de conducción

Para cada vehículo habrá que definir el tipo de conducción que se presupone por su categoría, es decir, el porcentaje de uso para cada tipo de circulación que se le da al vehículo.

COPERT nos proporciona cuatro tipos de conducción:

- Urban OFF => Conducción fuera de carretera. Conducción por caminos de campo, lo que supone velocidades bajas de entorno a unos 20 km/h
- Urban => La conducción urbana se identifica por tener velocidades inferiores a 50 km/h y paradas y arranques del vehículo muy frecuentes. Es la típica para núcleos de población.
- Rural => La conducción rural agrupa a todas aquellas carreteras comarcales o nacionales donde la velocidad no supera los 90-100 km/h. Ocasionalmente la circulación también puede verse interrumpida por cruces o semáforos.
- Highway => La conducción de autopista incluye la circulación por las vías de gran capacidad del territorio. La velocidad suele estar entorno a los 100-120 km/h y no existen interrupciones en el tráfico.

3.4 Tipos de emisiones

Durante el uso del vehículo no siempre las emisiones son constantes, por lo que se pueden definir distintos tipos de emisiones según sean las condiciones del vehículo. Se definen los siguientes tipos de emisiones:

- Emisiones en frío o emisiones del motor en estado transitorio => Son las emisiones producidas durante en el periodo de calentamiento del motor. Dependen fundamentalmente de la temperatura ambiente y la distancia media del viaje.
- Emisiones del motor en caliente o motor estabilizado => Se calculan en base a los kilómetros recorridos por cada vehículo y a factores de emisión, los cuales a su vez estarán definidos en

función de las pautas de velocidad de cada categoría y clase de vehículo, como hemos explicado anteriormente.

- Emisiones por evaporación de combustible => Son las emisiones que se producen por la expansión de la gasolina. Esta expansión de la gasolina viene dada por la variación de temperatura ambiente y el calor cedido por el motor. También se evapora combustible cuando repostamos. Estas emisiones se calculan en base a factores de emisión que dependen fundamentalmente de las características técnicas del motor, de las gasolinas y de la temperatura ambiente.

3.5 Metodología

Al haber varios tipos de emisiones el programa emplea metodologías específicas para realizar los cálculos de la contaminación emitida para cada clase de vehículo y los distintos tipos de emisiones. Los distintos tipos de emisiones son:

- Emisiones de escape de los vehículos
- Emisiones por Evaporación
- Emisiones debido al desgaste de la carretera provocado por la circulación de vehículos
- Emisiones por el desgaste de los neumáticos y frenos de los vehículos

Evidentemente la mayor parte de las emisiones son las emisiones de escape de los vehículos producidas.

3.5.1 Emisiones de escape

Suponen la mayor parte de los contaminantes emitidos por los vehículos y se pueden diferenciar en dos tipos principalmente:

- Emisiones en frío => Emisiones producidas en el periodo inicial de la conducción, cuando el motor aún no ha alcanzado la temperatura óptima de funcionamiento.
- Emisiones en caliente => Emisiones producidas cuando el motor ya ha alcanzado su temperatura óptima de funcionamiento.

Los contaminantes más importantes emitidos por los vehículos son:

- CO, NOx, COVNM => Precursores del ozono
- CO₂, CH₄, N₂O => Gases de efecto invernadero
- NH₃, SO₂ => Sustancias acidificantes
- PST => Masa de partículas
- HAPs y COPs => Especies cancerígenas
- Dioxinas y furanos => Sustancias tóxicas
- Pb, As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Se y Zn => metales pesados contenidos en el combustible

Estos contaminantes se pueden dividir en los siguientes grupos:

- Grupo 1 => Contaminantes para los que existe una metodología detallada, basados en factores de emisión específicos y cubriendo diferentes situaciones de tráfico (urbano, rural y autovía) y condiciones del motor. Los contaminantes incluidos en este grupo se enumeran en la siguiente tabla.

Pollutant	Equivalent
Carbon monoxide (CO)	Given as CO
Nitrogen oxides (NO _x : NO and NO ₂)	Given as NO ₂ equivalent
Volatile organic compounds (VOCs)	Given as CH _{1,85} equivalent (also given as HC in emission standards)
Methane (CH ₄)	Given as CH ₄
Non-methane VOCs (NMVOCs)	Given as VOCs (or HC) minus CH ₄
Nitrous oxide (N ₂ O)	Given as N ₂ O
Ammonia (NH ₃)	Given as NH ₃
Particulate matter (PM)	The mass of particles collected on a filter kept below 52 °C during diluted exhaust sampling. This corresponds to PM _{2.5} . Coarse exhaust PM (i.e. > 2.5 µm diameter) is considered to be negligible, hence PM=PM _{2.5} .
PM number and surface area	Given as particle number and particle active surface per kilometre, respectively

Tabla 3.9 Contaminantes del Grupo 1 COPERT

El cálculo de las emisiones en caliente se realiza aplicando factores que dependen de los parámetros del motor, año de producción (normativa anticontaminación del año de producción) , modo de conducción y velocidad media del vehículo.

Además de estos factores de emisión se necesitan otros parámetros, como la población de vehículos de cada tipo, porcentaje que el vehículo es utilizado en cada vía y kilometraje recorrido por el vehículo por año.

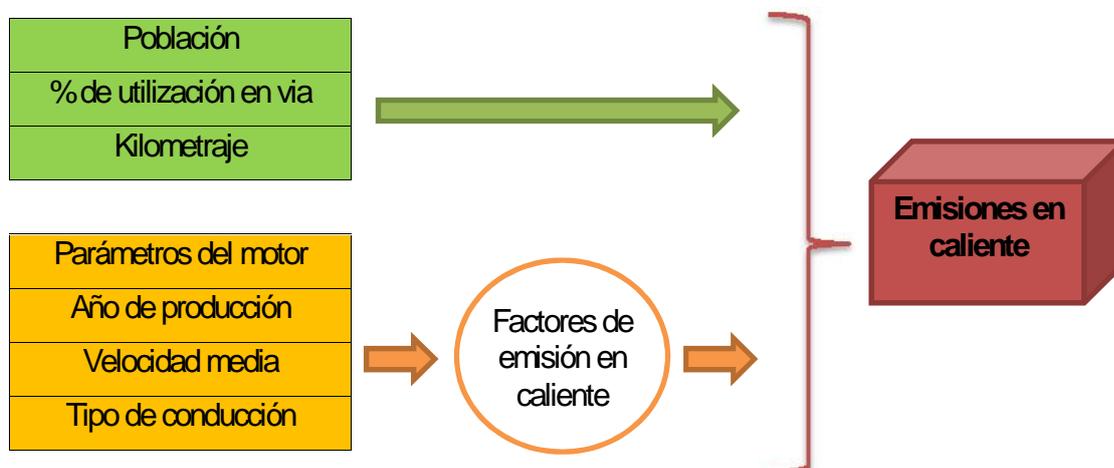


Figura 1. Esquema cálculo de emisiones en caliente

El cálculo de las emisiones en frío se realiza como un cálculo adicional de emisiones a las producidas por el motor en caliente, ya que estas emisiones en frío solo se producen durante el encendido del motor y el tiempo que tarda en llegar a la temperatura óptima de funcionamiento. En COPERT solo se aplican factores de emisiones en frío a vehículos ligeros destinados a pasajero o mercancías en pautas de conducción urbanas.

Las emisiones producidas con el motor en frío se basan en los factores de emisión con el motor en frío y en parámetros como la cantidad de kilómetros recorridos en modo de conducción urbano, la población de vehículos, el tipo de combustible, kilometraje anual y la longitud media de viaje. Además los factores de emisión con el motor en frío son calculados basados en los factores de emisión en caliente, parámetros del motor, año de producción y modo de conducción.

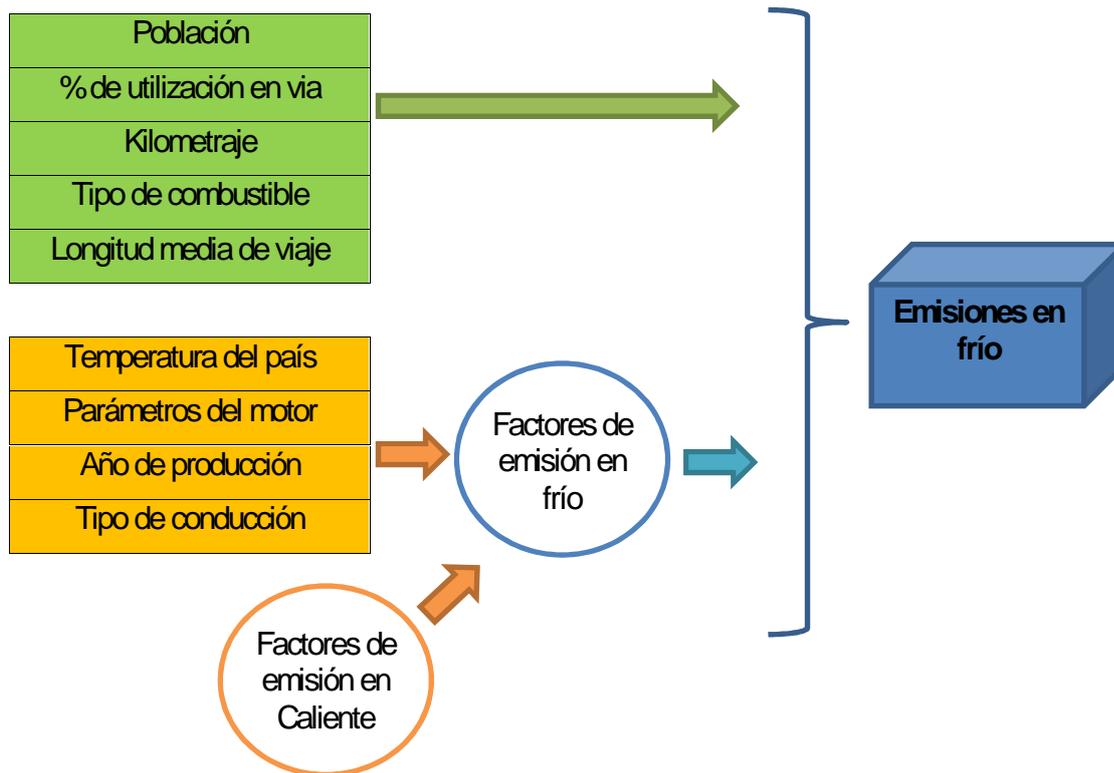


Figura 2. Esquema cálculo de emisiones en frío

- Grupo 2 ⇒ Son los contaminantes procedentes de la combustión del combustible por lo que dependerán de la calidad del combustible utilizado.

Pollutant	Equivalent
Carbon dioxide (CO ₂)	Given as CO ₂
Sulphur dioxide (SO ₂)	Given as SO ₂
Lead (Pb)	Given as Pb
Arsenic (As)	Given as As
Cadmium (Cd)	Given as Cd
Chromium (Cr)	Given as Cr
Copper (Cu)	Given as Cu
Mercury (Hg)	Given as Hg
Nickel (Ni)	Given as Ni
Selenium (Se)	Given as Se
Zinc (Zn)	Given as Zn

Tabla 3.10 Contaminantes Grupo 2 COPERT

Como ya hemos mencionado las emisiones de este grupo dependen básicamente de la composición y cantidad de carburante utilizado y, en un segundo término, de las condiciones de circulación del vehículo.

La metodología COPERT considera que la totalidad de los metales pesados contenidos en el carburante es emitida a la atmósfera (con la excepción del plomo, del que se emite únicamente un 75%), así como la totalidad del azufre y del carbono, los cuales contribuyen a la formación de SO₂ y CO₂ respectivamente. Las emisiones de CO₂ se refieren siempre a emisiones finales, esto es, a la salida del escape.

- Grupo 3 ⇒ Contaminantes para los que se aplica una metodología simplificada, principalmente debido a la ausencia de datos detallados.

Pollutant	Equivalent
Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and persistent organic pollutants (POPs)	Detailed speciation, including indeno(1,2,3-cd) pyrene, benzo(k)fluoranthene, benzo(b)fluoranthene, benzo(g,h,i)perylene, fluoranthene, benzo(a)pyrene
Polychlorinated dibenzo dioxins (PCDDs) and polychlorinated dibenzo furans (PCDFs)	Given as dioxins and furans respectively

Tabla 3.11 Contaminantes GRUPO 3 COPERT

- Grupo 4 => Contaminantes que son calculados como una fracción del total de emisiones de COVNM (compuestos orgánicos volátiles distintos del metano)

Pollutant	Equivalent
Alkanes (C _n H _{2n+2}):	Given in alkanes speciation
Alkenes (C _n H _{2n}):	Given in alkenes speciation
Alkynes (C _n H _{2n-2}):	Given in alkynes speciation
Aldehydes (C _n H _{2n} O)	Given in aldehydes speciation
Ketones (C _n H _{2n} O)	Given in ketones speciation
Cycloalkanes (C _n H _{2n})	Given as cycloalkanes
Aromatic compounds	Given in aromatics speciation

Tabla 3.12. Contaminantes GRUPO 4 COPERT

En resumen, las emisiones totales de gases de escape del transporte por carretera se calculan como la suma de las emisiones en caliente (con el motor a su temperatura normal de funcionamiento) y las emisiones durante el funcionamiento del motor térmico en estado transitorio.

$$E_{TOTAL} = E_{HOT} + E_{COLD}$$

Las emisiones de vehículos son muy dependientes de las condiciones de funcionamiento del motor, es decir, diferentes situaciones de conducción imponen diferentes condiciones de operación del motor y, por tanto, un nivel de emisiones distintas. Debido a esto se hace una distinción entre conducción urbana, rural y en autovía. Por lo tanto, diferentes datos actividad y factores de emisión se atribuyen a cada situación de conducción.

$$E_{TOTAL} = E_{URBAN OFF} + E_{URBAN} + E_{RURAL} + E_{HIGHWAY}$$

Las emisiones totales se calculan mediante la combinación de los datos de actividad para cada categoría de vehículo con factores de emisión adecuados.

Por otro lado también se requiere información sobre el consumo de combustible y las especificaciones del combustible para mantener un equilibrio de combustible entre las cifras proporcionadas por el usuario y los cálculos.

En el siguiente esquema podemos ver el diagrama general de cálculo de COPERT:

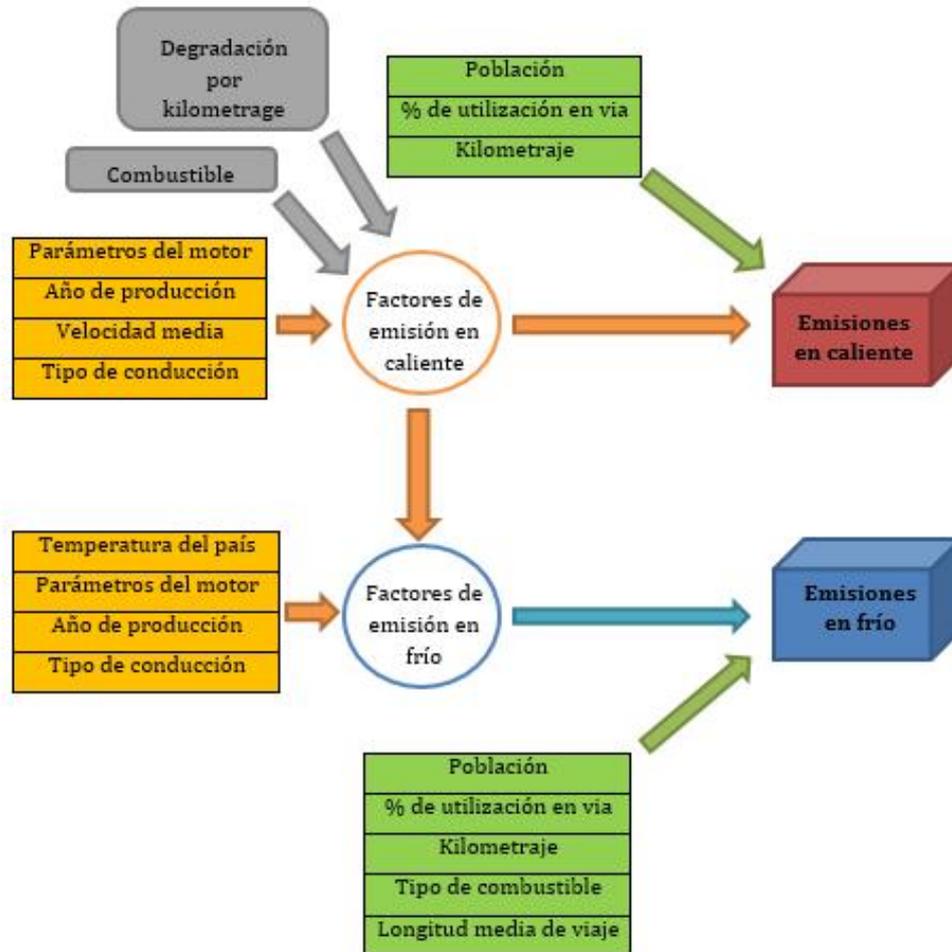


Figura 3 Diagrama general de cálculo

3.5.2 Emisiones por evaporación

Este término se utiliza para referirse a la suma de todas las emisiones de COVNM relacionados con los combustibles que no proceden del proceso de combustión. Estas emisiones se han reducido considerablemente en los últimos años debido a la introducción de los sistemas de control.

En los vehículos actuales las emisiones de evaporación se controlan por medio de un filtro de carbón activo conectado al depósito de combustible. El bote contiene carbón activo con el fin de retener provisionalmente los hidrocarburos evaporados del depósito de gasolina.

En los vehículos de gasolina la mayor parte de las emisiones de evaporación de Compuestos orgánicos volátiles (COV) proceden de los sistemas de combustible (tanques, sistemas de inyección y líneas de combustible).

En los vehículos diésel las emisiones de evaporación se pueden despreciar en los cálculos ya que son insignificantes debido a la presencia de hidrocarburos más pesados y la presión de vapor relativamente bajo del combustible diésel.

Las fuentes más importantes de emisiones por evaporación de un vehículo son las siguientes:

- Pérdidas de respiración a través de la ventilación del depósito de combustible => Debido a la evaporación de combustible en el depósito durante la conducción y el estacionamiento, como resultado de la variación normal de la temperatura diurna.
- Permeación/fugas de combustible => La filtración de combustible líquido y penetración a través de componentes de plástico o caucho del combustible y el sistema de control de vapor contribuyen significativamente al total de las emisiones de evaporación.

Se suelen considerar tres mecanismos separados responsables de las emisiones por pérdidas de respiración a través de la ventilación y por pérdidas debido a permeación/fugas de combustible:

1. Pérdidas diurnas => Debido al aumento de la temperatura ambiente que durante las horas de luz produce la expansión térmica del combustible y del vapor en el depósito. Sin un sistema de control de emisiones, parte del volumen aumentado de vapor de combustible se ventila a la atmósfera. Las emisiones debidas a la permeabilidad y/o fugas del combustible también contribuyen a las emisiones diurnas. Estas emisiones se dan en función de la temperatura ambiental (máxima y mínima) y la del combustible en el depósito, de la volatilidad del carburante, del tamaño del depósito y grado de llenado, y del tamaño del canister (en el caso de vehículos dotados de sistema de control de la evaporación).
2. Pérdidas en los procedimientos de encendido y apagado del motor => Las emisiones generadas en las pérdidas por evaporación al apagar el motor se calculan teniendo en cuenta el incremento de la temperatura del combustible existente en el circuito de alimentación y en el depósito. Este incremento de temperatura dependerá además de la existencia o no de retorno de combustible hacia el depósito.
3. Pérdidas en recorrido => Las emisiones por evaporación generadas durante la marcha del vehículo son especialmente significativas en periodos en los que la temperatura ambiente es elevada. Dependen fundamentalmente de esta temperatura y de la duración del trayecto, no son importantes en los vehículos equipados con canister, debido a la importante función de retención y recuperación que este realiza.

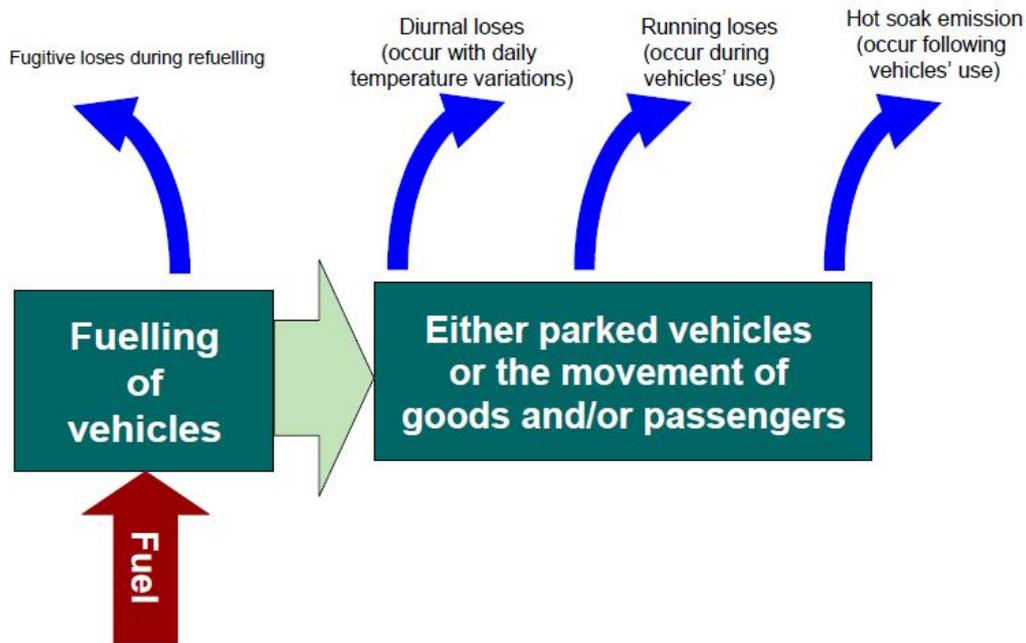


Figura 4. Tipos de emisiones por evaporación

La evaporación de la gasolina también tiene lugar durante el suministro de combustible a las estaciones de servicio, y durante el repostaje del vehículo.

3.5.3 Otras emisiones

Además de las emisiones ya comentadas anteriormente existen otras emisiones debido a la propia circulación del vehículo como es la emisión de metales pesados y partículas en suspensión debido al desgaste de neumáticos y frenos y a la abrasión del pavimento que tienen efecto sobre las emisiones de algunos compuestos metálicos.

Cuando el vehículo está en circulación un determinado porcentaje de las partículas se producen por el desgaste de los elementos de fricción del vehículo (frenos y neumáticos) y de la propia carretera, pasando estas emisiones al aire atmosférico.

Estas partículas se pueden expresar en cantidades totales, es decir PST (Partículas totales suspendidas) o clasificadas según su tamaño expresado en micras:

- PM10
- PM2.5
- PM1
- PM0.1

El programa COPERT calcula todas estas partículas de manera conjunta, sin distinguir la fuente de procedencia. Esto lo hace empleando unos factores máxicos de emisión para cada una de las fuentes (g/km), que dependen del tipo de vehículo.

4 DATOS INTRODUCIDOS EN COPERT

En este apartado se explicará con detalle cual es el funcionamiento del software. Para ello se irá explicando qué datos hemos utilizado y cómo hemos introducido estos datos en COPERT.

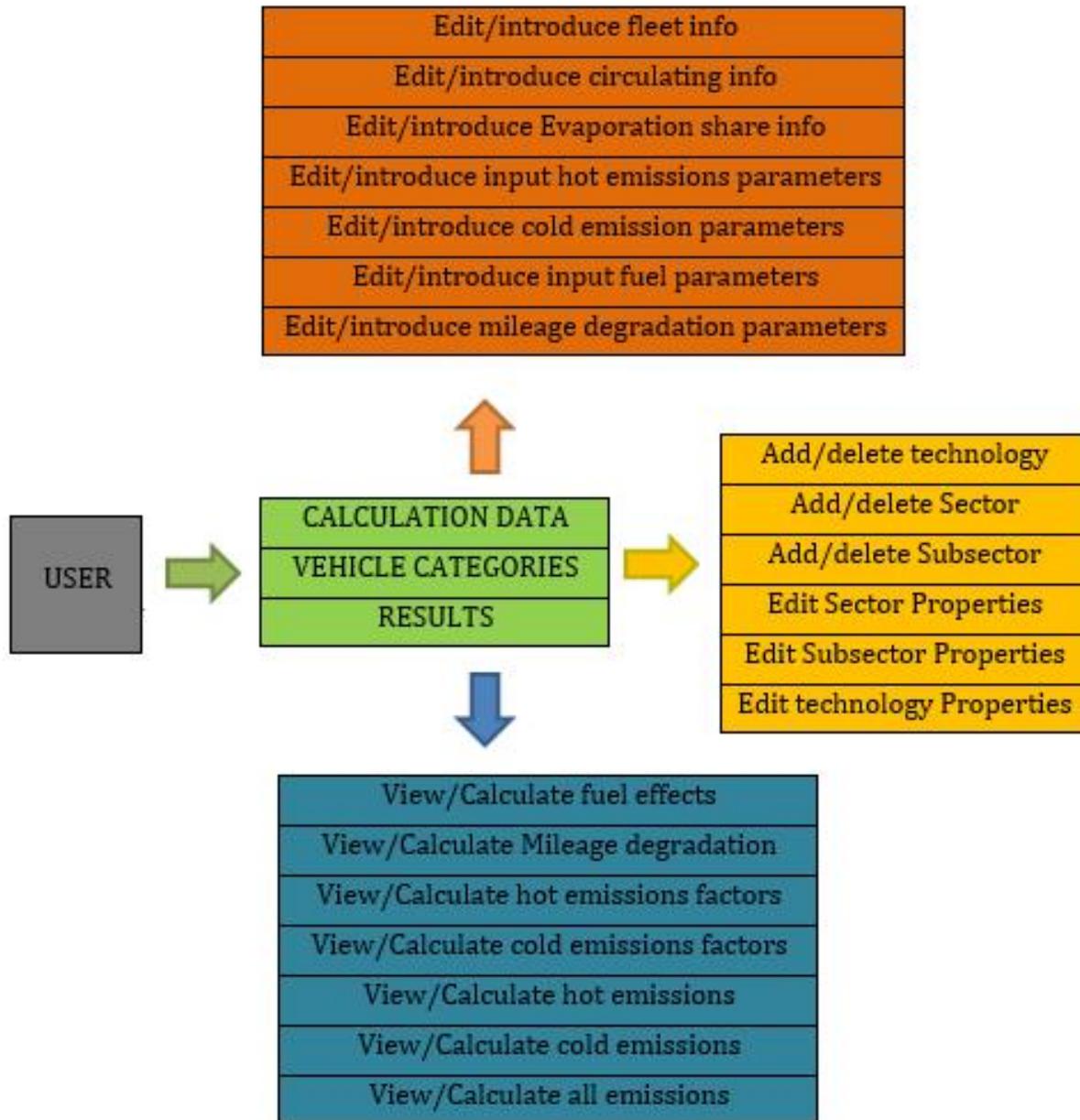


Figura 5. Esquema funcionamiento COPERT

COPERT dispone un asistente de introducción de datos llamado "New Run Wizard". Con este asistente se introducen los datos mínimos que Copert necesita para realizar los cálculos.

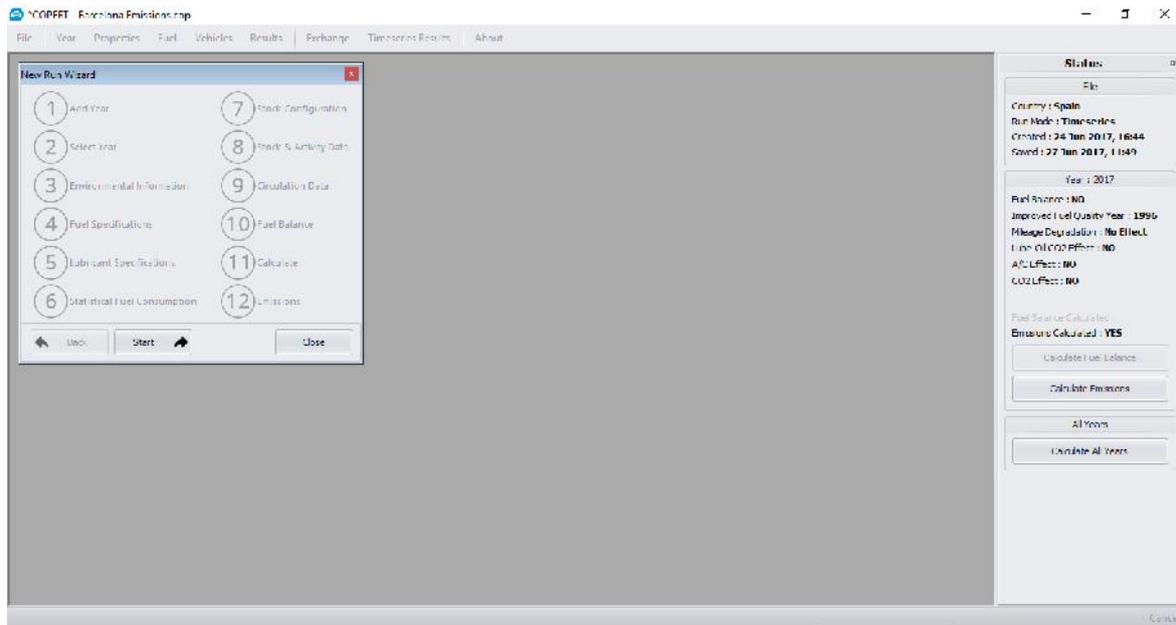


Figura 6. Asistente "New Run Wizard"

4.1 Flota supuesta ciudad de Barcelona (Datos de entrada necesarios)

4.1.1 Selección de país y año

A continuación se muestra la elección del año de estudio, que será el año actual 2017, aún habiendo utilizado los datos de 2016 que son los datos más actualizados de los que disponemos.

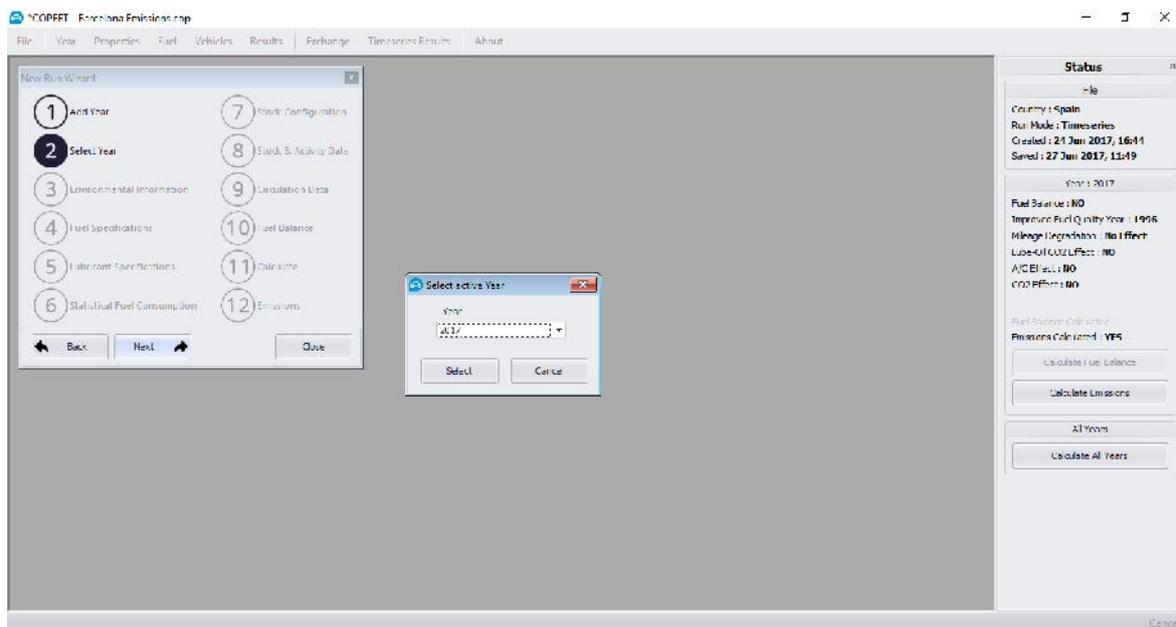


Figura 7. Ventana "selección del año"

Para la ciudad de Barcelona se eligen los valores correspondientes a la ruta típica europea, los cuales se muestran a continuación:

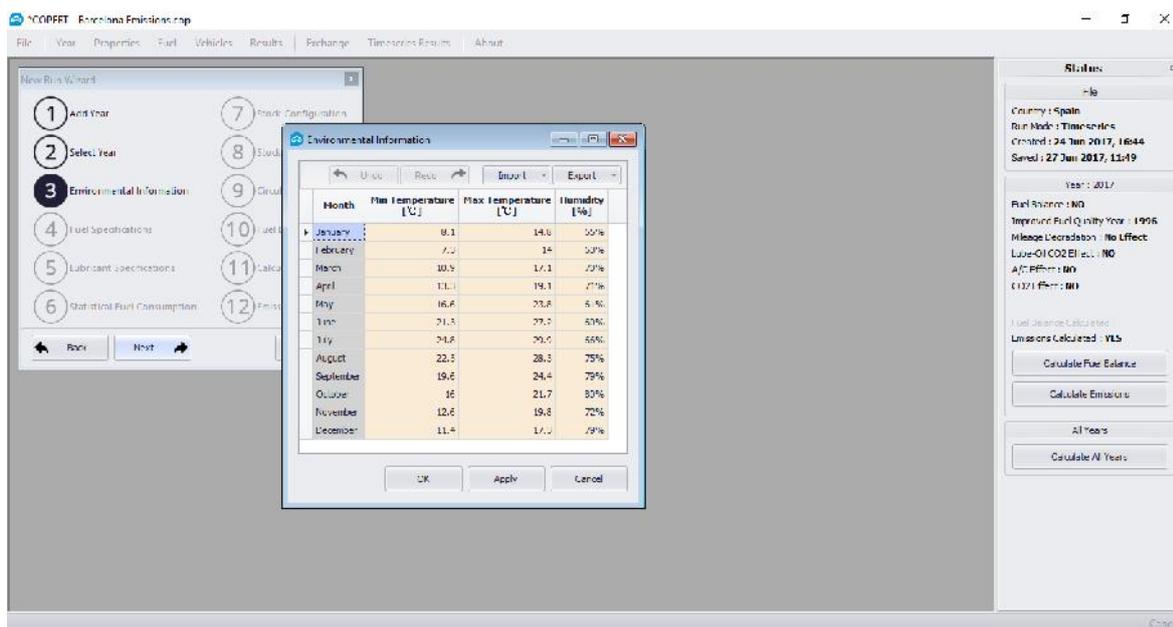
	Recorrido medio Ltrip (km)	Tiempo de recorrido T_trip (h)
Ruta típica europea	12.4	0.25

Tabla 4.1 Valores ruta típica europea

El recorrido medio de un vehículo se utiliza para determinar las emisiones adicionales por motor frío que se producen en los vehículos de pasajeros y en los vehículos de transporte de mercancías ligeros junto con la temperatura media mensual y el porcentaje de tiempo que el vehículo circula con el motor frío.

4.1.2 Información del país

En la información del país nos pide las temperaturas mínimas, temperaturas máximas y la humedad relativa de la ciudad de Barcelona por mes. Esta información ha sido obtenida desde la web del ayuntamiento de Barcelona.



Month	Min Temperature [°C]	Max Temperature [°C]	Humidity [%]
January	8.1	14.0	50%
February	7.2	14	50%
March	10.5	14.1	50%
April	13.1	19.1	77%
May	16.6	23.6	61%
June	21.5	27.2	60%
July	24.8	29.2	66%
August	22.5	28.5	75%
September	19.6	24.4	78%
October	16	21.7	80%
November	12.6	19.8	70%
December	11.4	17.2	59%

Tabla 4.2. Ventana introducción datos meteorológicos

La humedad relativa es necesaria para calcular la carga de aire acondicionado (A/C). Un valor alto indica una alta humedad y una carga mayor para el A/C que aumenta el consumo.

La presión de vapor Reid (Reid vapor pressure) indica la tendencia de un hidrocarburo líquido a volatizarse. En la práctica RVP es la presión del vapor de la gasolina cuando la temperatura es de 100°F. Lo que se hace en Europa es restringir, mediante un intervalo permitido, los valores en gasolina de esta presión. Para estos datos se toma el valor medio del intervalo permitido (según sea verano o invierno) que para España se recoge en el Real decreto RD 61-2006 del 17 de febrero de 2006, que regula este parámetro de las gasolinas. Afecta a las emisiones evaporativas, siendo su valor más elevado en otoño-invierno que en primavera-verano.

El factor K_{cold} es el porcentaje del tiempo que el vehículo está funcionando con el motor frío. Aplica unas emisiones adicionales por motor frío al recorrido urbano y, si el factor K_{cold} es mayor que la fracción de recorrido urbano, aplica el resto al recorrido interurbano. Aunque se ve afectado por el tipo de motor, en el modelo depende sólo de las temperaturas medias.

Hay que tener en cuenta que con el nuevo programa COPERT 5 estos factores los calcula automáticamente, puesto que esto es una de las mejoras de la nueva versión.

4.1.3 Información del combustible

COPERT dispone de información de las propiedades de combustible pero permite modificarlos, algo que se va a hacer con los datos de las propiedades de combustible usados en España (información obtenida de Cepsa para el año 2011)

Combustible	Relación Molar H:C	Relación molar O:C	Pb (g/l)	S (ppm)
Casolina	1.934	0.021	0.005	10
Gasóleo	1.940	0.007	0	10

Tabla 4.3. Propiedades Gasolina y Gasóleo

Combustible	Cd	Cu	Cr	Ni	Se	Zn
Casolina	0.01	1.7	0.05	0.07	0.01	1
Gasóleo	0.01	1.7	0.05	0.07	0.01	1

Tabla 4.4. Propiedades Gasolina y Gasóleo

En las características de la gasolina con plomo las características de la gasolina sin plomo ya que las motocicletas, ciclomotores y vehículos de pasajeros/ligeros que cumplen antiguas normativas aparecen con gasolina con plomo en el programa. Solo hemos cambiado el dato de PB, que ha sido dividido entre 0.75 debido a que el programa multiplica por 0.75 a la hora de calcular las emisiones de plomo.

A continuación se muestra una captura de pantalla con los datos introducidos en el programa.

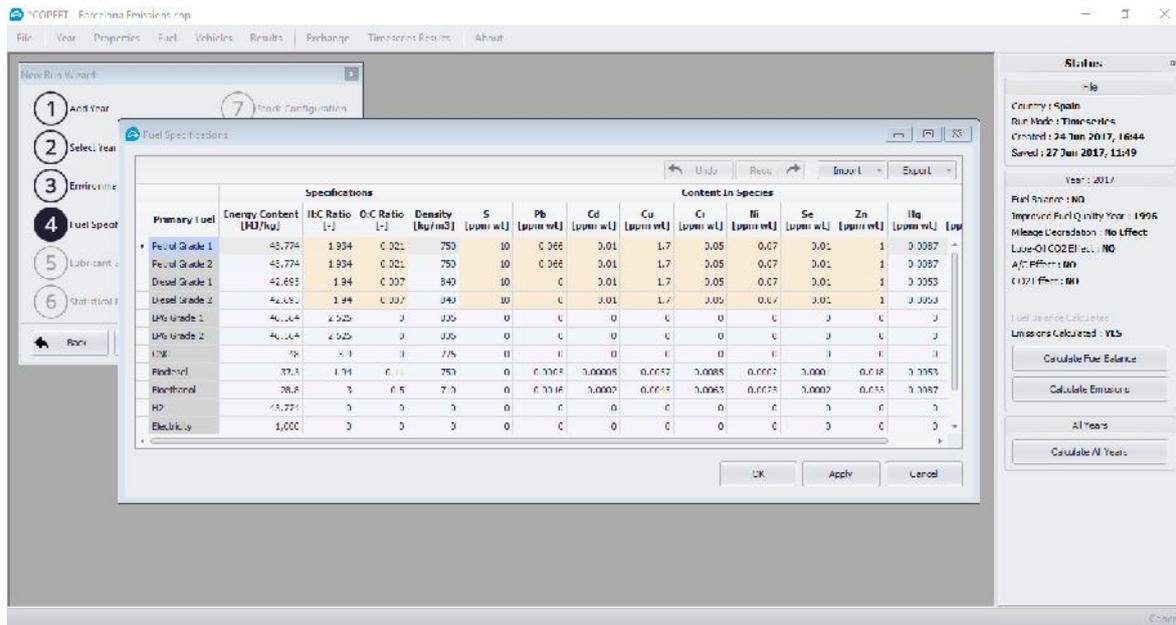


Figura 8. Ventana "Propiedades del combustible"

Además de las propiedades del combustible COPERT necesita el consumo anual del mismo. A continuación se puede observar lo datos de consumos de combustible anual de la ciudad de Barcelona introducidos en el programa.

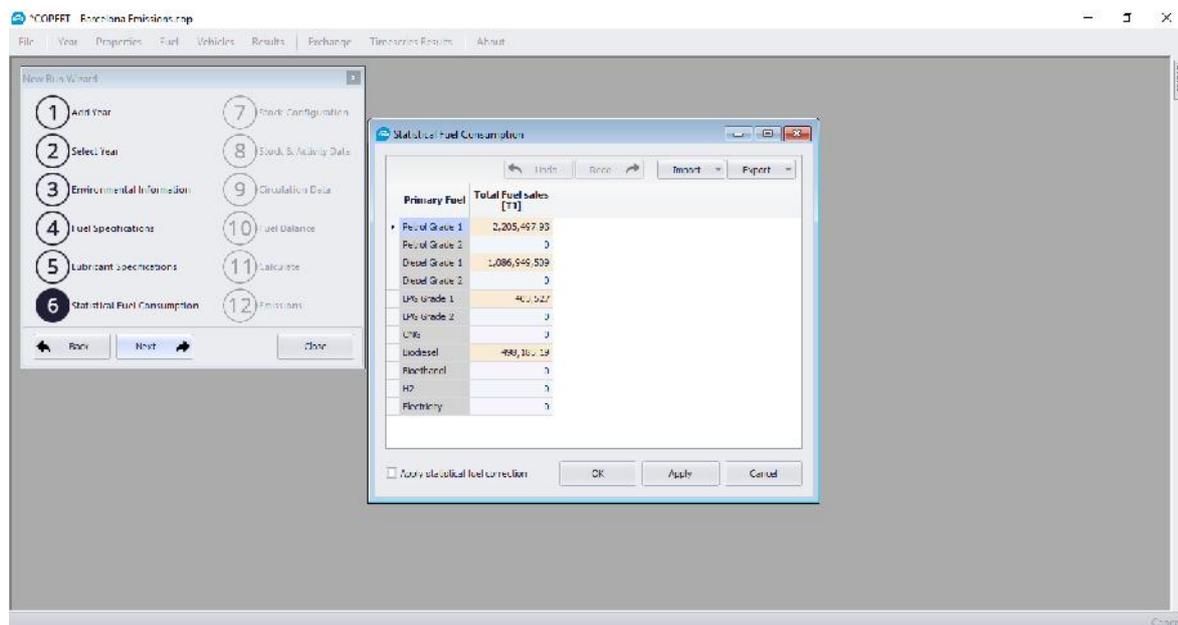


Figura 9. Ventana "Consumo de combustible"

Estos datos se han obtenido de la página web de CORES, que es una Corporación de derecho público sin ánimo de lucro, tutelada por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital donde se recoge la información de consumos de gasolinas, gasóleos y fuelóleos por provincias y comunidades autónomas.

4.1.4 Información del lubricante

También tendremos que introducir las propiedades para así poder calcular las emisiones que proceden de su consumo durante el funcionamiento del vehículo. A continuación se muestran las propiedades del lubricante que vienen en el programa por defecto.

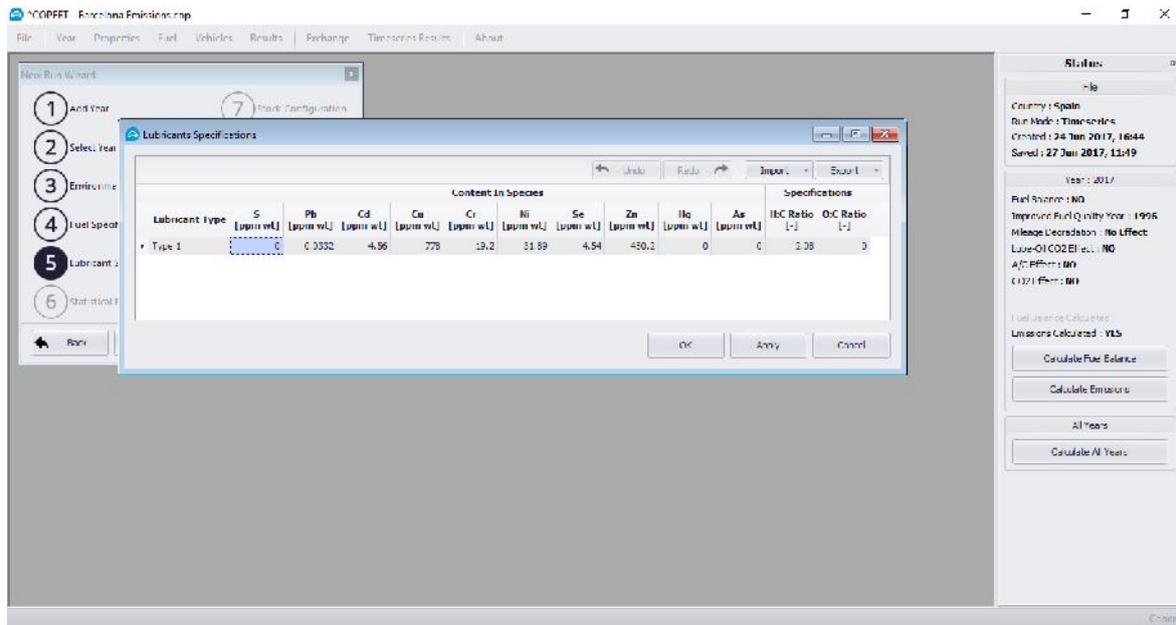


Figura 10. Ventana "Propiedades del lubricante"

4.1.5 Añadir/borrar vehículos

El siguiente paso es elegir los diferentes vehículos que componen la flota de Barcelona. Sólo tendremos que seleccionar los tipos de vehículos y la tecnología anticontaminación.

Como en nuestro estudio queremos visualizar la evolución a nivel de emisiones hemos elegido los años 2009 y 2014 por ser el año de finalización de las normativas euro 4 y euro 5, el año 2017 por ser el año actual, con lo que la única diferencia entre flotas será que en el año 2009 no habrá vehículos con normativa euro 5 y euro 6, en 2014 no habrá vehículos con normativa euro 6 y en 2017 tendremos la situación actual.

A continuación se muestra una imagen de la ventana donde se seleccionan

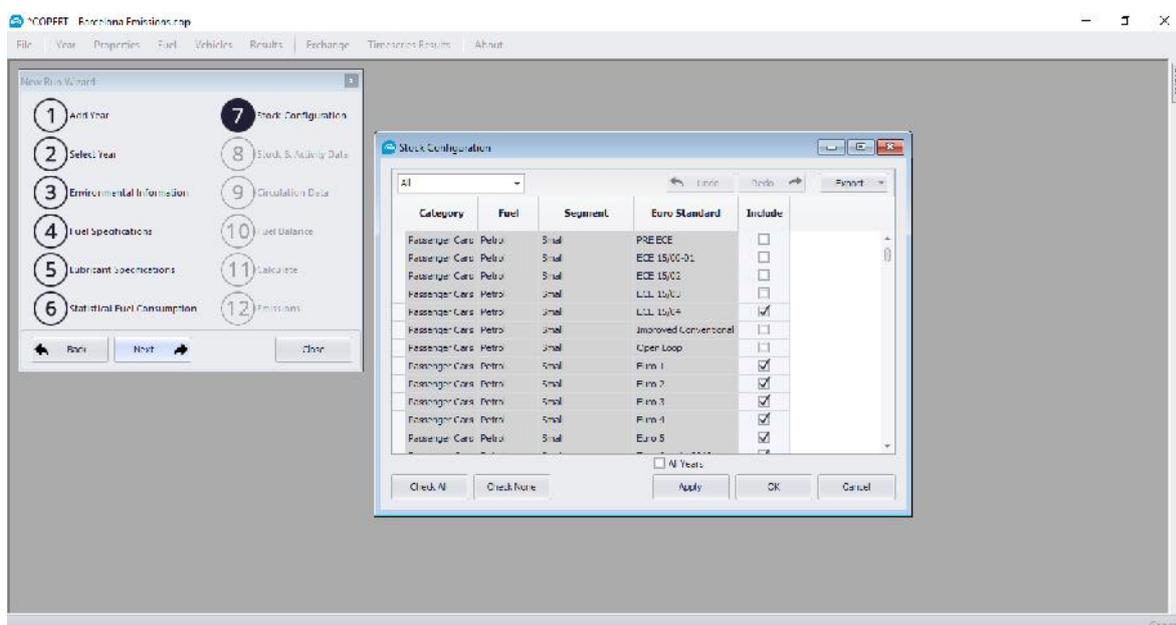


Figura 11. Ventana "Configuración de flota"

4.1.6 Datos de entrada de la flota

Una vez introducidos los tipos de vehículos que componen la flota falta introducir el número de vehículos en cada categoría, es decir, la población de cada tipo de vehículo, los kilómetros recorridos por año y el kilometraje total de cada tipo de vehículo.

Para obtener la población de vehículos se ha tenido que hacer una serie de suposiciones para dividir los vehículos dentro de las diferentes categorías que aparecen en Copert 5. Estas suposiciones se han basado principalmente en los datos que se disponen sobre el Parque Nacional a fecha de 31 de diciembre de 2015 (Documento obtenido de la web de la Dirección General de Tráfico).

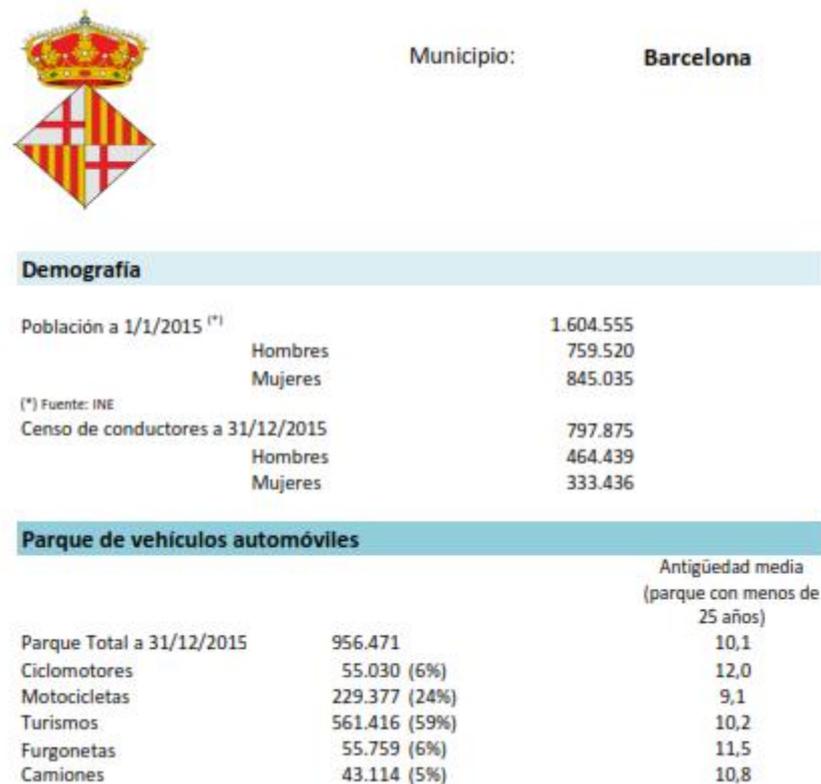


Figura 12. Parque de vehículos Barcelona 2016

Datos TMB	
Autobuses Diésel	528
Autobuses Gas natural	372
Autobuses Híbridos	156
Total	1056

Tabla 4.5. Datos autobuses TMB

A continuación se irán exponiendo las diferentes hipótesis que se han tenido en cuenta en cada tipo-categoría de vehículo.

4.1.6.1 Vehículos de pasajeros

Para poder dividir los vehículos de pasajeros de la ciudad de Barcelona disponemos de los datos de la antigüedad del Parque Nacional.

A continuación se muestra como quedarían divididos los vehículos para la ciudad de Barcelona utilizando los datos del Parque nacional:

Normativa	AÑO	Turismos Parque Nacional			Turismos Barcelona		
		Gasolina	Diesel	Otros	Gasolina	Diesel	Otros
Convencional	Anterior a 1991	1986061	178114		48769	4374	
	1991	121877	18725		2993	460	
	1992	148607	30284		3649	744	
Euro I	1993	124022	37485		3045	920	
	1994	160749	63478		3947	1559	
	1995	146660	81321		3601	1997	
	1996	178710	128568		4388	3157	
Euro II	1997	231662	192092		5689	4717	
	1998	292055	304592		7172	7480	
	1999	389056	438999		9554	10780	
Euro III	2000	408807	502114		10039	12330	
	2001	475621	559615		11679	13742	
	2002	419398	605304		10299	14864	
	2003	439023	729121		10781	17904	
	2004	456692	906677		11214	22264	
Euro IV	2005	449378	997348		11035	24491	
	2006	436794	1021529	50	10726	25084	1
	2007	418752	1009867	32	10283	24798	1
	2008	308782	710419	30	7582	17445	1
	2009	268477	631919	58	6593	15517	1
Euro V	2010	253196	645257	141	6217	15845	3
	2011	204228	501807	468	5015	12322	11
	2012	179647	426378	889	4411	10470	22
	2013	202743	445997	1438	4979	10952	35
	2014	259199	544821	2528	6365	13379	62
Euro VI	2015	363681	648336	4801	8930	15920	118
	2016	496676	678496	5221	12196	16661	128

Tabla 4.6. Clasificación por combustible parque nacional y Barcelona

Se puede ver como los vehículos gasolina han ido descendiendo en número mientras que los diesel han ido aumentando. A partir del año 2006 también se empiezan a utilizar vehículos con otros tipos de carburantes.

Además de la poder clasificar los vehículos por antigüedad los datos del Parque nacional de vehículos nos permiten clasificar los vehículos según la cilindrada del motor:

Normativa	AÑO	Turismos Parque Nacional			Turismos Barcelona		
		<1200 cc	1200-2000	>2000	<1200 cc	1200-2000	>2000
Convencional	Anterior a 1991	1023786	964743	176238	25140	23690	4328
	1991	25486	96672	18565	626	2374	456
	1992	28593	126404	24801	702	3104	609
Euro I	1993	20732	118108	22670	509	2900	557
	1994	30439	169523	24267	747	4163	596
	1995	25076	173848	29057	616	4269	714
	1996	27263	240088	39927	669	5896	980
Euro II	1997	38560	332421	52775	947	8163	1296
	1998	43961	483497	69200	1079	11873	1699
	1999	58973	693239	75858	1448	17023	1863
Euro III	2000	51604	775438	84039	1267	19042	2064
	2001	63632	864329	107349	1563	21224	2636
	2002	62076	849190	113452	1524	20853	2786
	2003	67006	965325	135823	1645	23704	3335
	2004	69312	1138380	155700	1702	27954	3823
Euro IV	2005	57680	1226407	162661	1416	30115	3994
	2006	62617	1217763	177993	1538	29903	4371
	2007	51392	1205941	171318	1262	29613	4207
	2008	40231	870016	108984	988	21364	2676
	2009	47148	778609	74697	1158	19119	1834
Euro V	2010	53173	772776	72645	1306	18976	1784
	2011	45783	606263	54457	1124	14887	1337
	2012	56416	507631	42867	1385	12465	1053
	2013	89031	519376	41771	2186	12754	1026
	2014	125139	626441	54968	3073	15383	1350
Euro VI	2015	190631	751500	74687	4681	18454	1834
	2016	254970	836002	89421	6261	20529	2196

Tabla 4.7. Clasificación por cilindrada parque nacional y Barcelona

Realizando los cálculos correspondientes los vehículos de pasajeros en Barcelona quedan clasificados de la siguiente manera:

- Turismos clasificados por combustible y normativa anticontaminación:

Normativa	Gasolina	Diesel	Otros	Año
Convencional	55411	5577	0	Hasta 1992
Euro I	14983	7633	0	1993-1996
Euro II	22414	22976	0	1997-1999
Euro III	54012	81104	0	2000-2004
Euro IV	46219	107335	4	2005-2009
Euro V	26987	62967	134	2010-2014
Euro VI	21127	32581	246	2015-

Tabla 4.8. Clasificación turismos COPERT

- Turismos de gasolina clasificados por tamaño según COPERT y normativa anticontaminación:

Gasolina	Small	Medium	Large-SUV-Executive	Año
Convencional	24197	26377	4873	Hasta 1992
Euro I	1712	11386	1884	1993-1996
Euro II	1726	18272	2415	1997-1999
Euro III	3099	45104	5812	2000-2004
Euro IV	1915	39163	5140	2005-2009
Euro V	2772	22261	1954	2010-2014
Euro VI	4309	15238	1580	2015-

Tabla 4.9. Clasificación turismos gasolina según tamaño COPERT

- Turismos diésel clasificados por tamaño según COPERT y normativa anticontaminación:

Diésel	Small	Medium	Large-SUV-Executive	Año
Convencional	2271	2791	520	Hasta 1992
Euro I	830	5841	963	1993-1996
Euro II	1748	18786	2442	1997-1999
Euro III	4602	67673	8833	2000-2004
Euro IV	4447	90948	11941	2005-2009
Euro V	6285	52097	4586	2010-2014
Euro VI	6584	23566	2432	2015-

Tabla 4.10. Clasificación turismos diésel según tamaño COPERT

Además de los combustibles convencionales (gasolina y diésel) hay que clasificar los vehículos impulsados por otros combustibles que quedan de la siguiente forma:

Otros combustibles	Total
GLP	135
Hybrid Gasoline 1,4-2,0 l	250
Total	384

Tabla 4.11. Clasificación turismos combustible no convencional

4.1.6.2 Vehículos comerciales ligeros (LCV)

En este caso se dispone de la distribución del Parque Nacional de furgonetas y camiones. Se utilizarán estos datos para dividir los vehículos comerciales ligeros de Valladolid por antigüedad.

Para las furgonetas se supone que todas son vehículos ligeros (<3500kg) ya que en la realidad el número de furgonetas existentes mayor de 3500kg es casi despreciable. Para los camiones se va a suponer que todos aquellos hasta 2999kg están dentro del grupo de vehículos ligeros.

A continuación se muestran los datos obtenidos:

Normativa	AÑO	LCV Parque Nacional			LCV Barcelona		
		Hasta 999 Kg	1000-1499 Kg	1500-2999 Kg	Hasta 999 Kg	1000-1499 Kg	1500-2999 Kg
Convencional	Anterior a 1991	424638	110033	33438	5158	1337	406
	1991	54309	10778	3123	660	131	38
	1992	63536	10700	2917	772	130	35
Euro I	1993	51434	6713	1886	625	82	23
	1994	5963	8102	2104	722	98	26
	1995	63972	9664	2868	777	117	35
	1996	80776	10203	3492	981	124	42
Euro II	1997	103898	13522	4513	1262	164	55
	1998	126905	17081	5990	1542	207	73
	1999	157156	21276	7596	1909	258	92
Euro III	2000	159875	23906	9579	1942	290	116
	2001	160304	24798	10359	1947	301	126
	2002	154101	27392	8790	1872	333	107
	2003	179261	37906	8334	2178	460	101
	2004	207291	44716	9942	2518	543	121
Euro IV	2005	245373	48809	10860	2981	593	132
	2006	261000	47058	11194	3171	572	136
	2007	256740	47878	13609	3119	582	165
	2008	136076	27586	8327	1653	335	101
	2009	93267	15500	5147	1133	188	63
Euro V	2010	102766	16458	5597	1248	200	68
	2011	92654	16089	5120	1126	195	62
	2012	69043	11747	2662	839	143	32
	2013	69676	13204	2247	846	160	27
	2014	88510	18558	4196	1075	225	51
Euro VI	2015	111645	28579	6329	1356	347	77
	2016	109253	39300	9350	1327	477	114

Tabla 4.12. Clasificación LCV según MMA parque nacional y Barcelona

Realizando los cálculos correspondientes los vehículos de pasajeros en Barcelona quedan clasificados de la siguiente manera:

- LCV clasificados por combustible y normativa anticontaminación:

Normativa	Gasolina	Diesel	Otros	Año
Convencional	3037	6070	0	Hasta 1992
Euro I	584	3026	0	1993-1996
Euro II	431	5078	0	1997-1999
Euro III	776	12136	0	2000-2004
Euro IV	557	14232	12	2005-2009
Euro V	167	5970	21	2010-2014
Euro VI	109	3518	31	2015-

Tabla 4.13. Clasificación LCV según combustible y normativa anticontaminación

- LCV gasolina clasificados por MMA y normativa anticontaminación:

Gasolina	Hasta 999 Kg	1000-1499 Kg	1500-2999 Kg	Año
Convencional	2186	537	162	Hasta 1992
Euro I	503	68	20	1993-1996
Euro II	369	49	17	1997-1999
Euro III	630	114	35	2000-2004
Euro IV	454	85	22	2005-2009
Euro V	139	25	7	2010-2014
Euro VI	79	25	6	2015-

Tabla 4.14. Clasificación LCV gasolina según MMA y normativa anticontaminación

- LCV diesel clasificados por MMA y normativa anticontaminación:

Diesel	Hasta 999 Kg	1000-1499 Kg	1500-2999 Kg	Año
Convencional	4404	1061	318	Hasta 1992
Euro I	2602	353	106	1993-1996
Euro II	4344	581	203	1997-1999
Euro III	9827	1814	536	2000-2004
Euro IV	11592	2182	574	2005-2009
Euro V	4978	896	233	2010-2014
Euro VI	2582	793	183	2015-

Tabla 4.15. Clasificación LCV diesel según MMA y normativa anticontaminación

4.1.6.3 Camiones pesados (HDV)

En este caso se dispone de la distribución del Parque Nacional de camiones.

- Camiones Rígidos

Normativa	AÑO	HDV Parque Nacional				LCV Barcelona			
		3000-4999 Kg	5000-6999 Kg	7000-9999 Kg	Mas de 9999 Kg	3000-4999 Kg	5000-6999 Kg	7000-9999 Kg	Mas de 9999 Kg
Convencional I	Anterior a 1991	20115	11277	14613	27314	3006	1685	2184	4082
	1991	1587	856	1181	1685	237	128	177	252
	1992	1703	800	1150	1313	255	120	172	196
Euro I	1993	1018	565	719	684	152	84	107	102
	1994	1216	488	792	899	182	73	118	134
	1995	1534	783	1072	995	229	117	160	149
	1996	1670	782	1118	935	250	117	167	140
Euro II	1997	2067	1049	1581	1442	309	157	236	216
	1998	2464	1292	1944	1977	368	193	291	295
	1999	2913	1706	2728	3041	435	255	408	455

Euro III	2000	3127	1790	2961	3314	467	268	443	495
	2001	3286	1958	3250	3887	491	293	486	581
	2002	3006	1937	3300	4059	449	290	493	607
	2003	3153	1912	3536	4821	471	286	528	721
	2004	3422	2216	3434	5124	511	331	513	766
Euro IV	2005	3713	2555	4066	5797	555	382	608	866
	2006	3798	2341	4255	6053	568	350	636	905
	2007	3898	2613	4349	6148	583	391	650	919
	2008	2874	2104	2998	4211	430	314	448	629
	2009	1350	1013	1208	1550	202	151	181	232
Euro V	2010	1334	881	1258	1771	199	132	188	265
	2011	1405	825	1137	1473	210	123	170	220
	2012	1038	566	713	912	155	85	107	136
	2013	938	570	640	796	140	85	96	119
	2014	1260	634	807	1286	188	95	121	192
Euro VI	2015	1980	912	1282	2466	296	136	192	369
	2016	2315	1090	1654	3065	346	163	247	458

Tabla 4.16. Clasificación camiones rígidos según MMA

En este caso, debido a que COPERT no trabaja con los mismos límites de MMA de como están clasificados los camiones en el parque nacional por lo que tendremos que hacer las siguientes suposiciones:

1. Para el intervalo de COPERT de camiones rígidos entre [3500,7500] kg se seleccionan los intervalos del documento de [3000, 4999] y [5000, 6999] kg quedando de la siguiente manera:

Diesel	3000-4999 Kg	5000-6999 Kg	TOTAL
Convencional	2316	1278	3594
Euro I	683	328	1010
Euro II	1025	558	1583
Euro III	2245	1378	3622
Euro IV	2247	1527	3774
Euro V	866	504	1369
Euro VI	617	288	905

Tabla 4.17. Clasificación camiones rígidos entre 3500-7500 kg y normativa anticontaminación

2. Para el intervalo de COPERT de camiones rígidos entre [7500, 12000] kg se seleccionan el intervalo del documento de [7000, 9999] kg.

Diesel	7000-9999 Kg
Convencional	1676
Euro I	464
Euro II	862
Euro III	2314
Euro IV	2426

Euro V	660
Euro VI	422

Tabla 4.18. Clasificación camiones rígidos entre 7000-10000 kg y normativa anticontaminación

Para el intervalo de más de 10 toneladas hay que dividir los camiones en en [12,14], [14,20], [20,26], [26,28], [28,32] y [>32] toneladas pero no disponemos de datos, por lo que vamos a dar un peso equiparable a todos los intervalos de más de 10 toneladas de COPERT quedando de la siguiente manera:

Camiones Rígidos	Total	12t 14t	- 14t- 20t	20t- 26t	26 - 28 t	28 - 32 t	>32 t
Convencional	2985	497	497	497	497	497	497
Euro I	439	73	73	73	73	73	73
Euro II	891	148	148	148	148	148	148
Euro III	2979	497	497	497	497	497	497
Euro IV	3415	569	569	569	569	569	569
Euro V	904	151	151	151	151	151	151
Euro VI	795	133	133	133	133	133	133

Tabla 4.19. Clasificación camiones rígidos de más de 10t y normativa anticontaminación

- **Camiones articulados**

Al igual que en el caso de los camiones rígidos COPERT no trabaja con los mismos límites de MMA de como están clasificados los camiones en el parque nacional por lo que tendremos que distribuir el nº total de camiones en los intervalos de [14,20], [20,28], [28,34] y [34-40] toneladas y seguimos sin disponer de estos datos, por lo que vamos a dar un peso mayoritario (90%) por ser estos camiones los más abundantes y un 10% a repartir entre las otras 3 categorías quedando de la siguiente manera:

Articulados	14 - 20 t	20 - 28 t	28 - 34 t	34 - 40 t
Convencional	99	99	99	2686
Euro I	14	14	14	395
Euro II	29	29	29	802
Euro III	98	98	98	2681
Euro IV	113	113	113	3074
Euro V	30	30	30	814
Euro VI	26	26	26	716

Tabla 4.20. Clasificación camiones articulados de más de 10t y normativa anticontaminación

4.1.6.4 Autobuses

En este caso se dispone de la distribución del Parque Nacional de autobuses por lo que realizando los cálculos necesarios la población de autobuses de Barcelona quedará dividida de la siguiente manera:

Normativa	AÑO	Gasolina	Diesel	Gasolina	Diesel
Convencional	Anterior a 1991	142	7325	0	64
	1991	1	336	0	3
	1992	2	431	0	4
Euro I	1993	0	312	0	3
	1994	0	344	0	3
	1995	2	536	0	5

	1996	3	658	0	6
Euro II	1997	1	889	0	8
	1998	0	1112	0	10
	1999	1	1623	0	14
	2000	6	1755	0	15
Euro III	2001	6	2446	0	21
	2002	6	2440	0	21
	2003	2	2635	0	23
	2004	8	3209	0	28
	2005	3	3773	0	33
Euro IV	2006	18	3553	0	31
	2007	3	3751	0	33
	2008	0	3654	0	32
	2009	4	2812	0	25
	2010	8	2346	0	21
	2011	12	2524	0	22
Euro V	2012	8	1567	0	14
	2013	2	1637	0	14
	2014	1	2001	0	18
	2015	2	2834	0	25
Euro VI	2016	0	3441	0	32

Tabla 4.21. Clasificación Autobuses PN y Barcelona

En este caso, al ser prácticamente insignificante los autobuses gasolina del PN se ha supuesto que todos los autobuses son diesel, biodiesel, híbridos y de CNG, quedando los datos de la siguiente manera.

Normativa	Gasolina	Diésel	Año
Convencional	0	71	Hasta 1992
Euro I	0	16	1993-1996
Euro II	0	32	1997-1999
Euro III	0	110	2000-2004
Euro IV	0	174	2005-2010
Euro V	0	113	2011-2015
Euro VI	0	32	2016-

Tabla 4.22. Autobuses según normativa

Los datos de autobuses impulsados por otros combustibles no convencionales han sido obtenidos en la web de TMB (Transports Metropolitans de Barcelona). Los autobuses de biodiesel se repartirán entre la normativa Euro IV y Euro V.

Otros combustibles	
CNG	372
Híbridos	156
Biodiesel	55

Tabla 4.23. Autobuses otros combustibles

4.1.6.5 Ciclomotores y motocicletas

En este caso se dispone de la distribución del Parque Nacional de ciclomotores y motocicletas en España y se utilizarán estos datos para dividir los ciclomotores y las motocicletas de Barcelona.

Normativa	AÑO	Motocicletas Parque Nacional			Motocicletas Barcelona		
		<250 cc	250-750	>750	<250 cc	250-750	>750
Convencional	Anterior a 1991	491676	122129	24414	35118	8723	1744
	1991	35103	28397	5401	2507	2028	386
	1992	27745	27502	6062	1982	1964	433
	1993	14260	13563	3227	1019	969	230
	1994	11285	8467	2471	806	605	176
	1995	11648	6367	2355	832	455	168
	1996	11019	5994	2575	787	428	184
	1997	17018	7927	3735	1216	566	267
	1998	23761	10426	5256	1697	745	375
	1999	28854	14824	6941	2061	1059	496
Euro I	2000	29078	16701	7690	2077	1193	549
	2001	27003	16801	7812	1929	1200	558
	2002	25135	17746	8559	1795	1268	611
	2003	30794	22814	10051	2199	1630	718
	2004	58575	34894	14275	4184	2492	1020
Euro II	2005	129594	49218	19198	9256	3515	1371
	2006	153247	70255	27244	10946	5018	1946
	2007	148592	80255	33681	10613	5732	2406
Euro III	2008	106580	68015	31825	7613	4858	2273
	2009	81805	32904	16960	5843	2350	1211
	2010	78887	36096	19347	5635	2578	1382
	2011	75070	27246	16136	5362	1946	1153
	2012	64477	23239	10832	4605	1660	774
	2013	60731	21593	10702	4338	1542	764
	2014	70720	27853	14142	5051	1989	1010
	2015	85458	31561	19129	6104	2254	1366
2016	97150	39558	23764	6939	2825	1697	

Tabla 4.24. Clasificación motocicletas PN y Barcelona

Los clasificación obtenida de motocicletas es la siguiente:

Gasolina	<250 cc	250-750	>750	Año
Convencional	48025	17542	4460	Hasta 1999
Euro I	12184	7782	3456	2000-2004
Euro II	30816	14266	5723	2005-2007
Euro III	51489	22004	11631	2008-2016
Euro IV				2017-2020

Tabla 4.25. Clasificación motocicletas según cilindrada y normativa anticontaminación

Como los datos del PN que tenemos son de 2016 hemos supuesto que aún no hay motocicletas con normativa Euro IV.

La clasificación de ciclomotores queda de la siguiente manera:

Gasolina	2 tiempos	4 tiempos	Año
Convencional	22012	16509	Hasta 1999
Euro I	2752	5503	2000-2004
Euro II	2752	5503	2005-2007

Tabla 4.26. Clasificación ciclomotores según tipo de motor y normativa anticontaminación

Debido a que la venta de ciclomotores ha descendido de manera considerable se ha considerado que la mayoría (70%) de los ciclomotores serán antiguos, anteriores al año 2000, y la mayoría de estos serán de 2 tiempos aunque no habrá mucha diferencia. El resto (30%) se repartirán equitativamente entre Euro I y Euro II pero en este caso habrá más ciclomotres de 4 tiempos que de 2 tiempos.

4.1.6.6 Kilometraje

Una vez finalizada la clasificación de la flota según las categorías de COPERT hay que introducir los kilómetros anuales que cada categoría recorre al año.

En este caso los datos se muestran a continuación:

	PC Gasolina	PC Diesel	LCV	Camiones	Autobuses	Ciclomotores	Motocicletas
KM anuales	10000	15000	20000	50000	60000	2000	5000

Tabla 4.27. Kilometraje anual por categorías

Además de introducir el kilometraje anual de cada categoría hay que introducir el kilometraje total de cada categoría que vendrá dado por la antigüedad del vehículo. Para calcular este kilometraje se hace la media de antigüedad de cada categoría y cada normativa para poder así multiplicar esos años por el kilometraje anual que hemos supuesto anteriormente. Estos datos se recogen en la siguiente tabla.

Normativa	Año	Media años	Años antigüedad	PC		LCV	HDV	buses	Ciclos	Motocicletas
				Gasolina	Diesel					
Convencional	Hasta 1992	1992	25	250	375	500	1250	1500	44	110
Euro I	1993-1996	1995	22	220	330	440	1100	1320	38	95
Euro II	1997-1999	1998	19	190	285	380	950	1140	30	75
Euro III	2000-2004	2002	15	150	225	300	750	900		50
Euro IV	2005-2009	2007	10	100	150	200	500	600		
Euro V	2010-2014	2012	5	50	75	100	250	300		
Euro VI	2015-2016	2016	1	10	15	20	50	60		

Tabla 4.28. Kilometraje total en [k km]

Una vez que hemos calculado todos estos datos se pasa a introducirlos en COPERT. A continuación se muestra la ventana de introducción de datos:

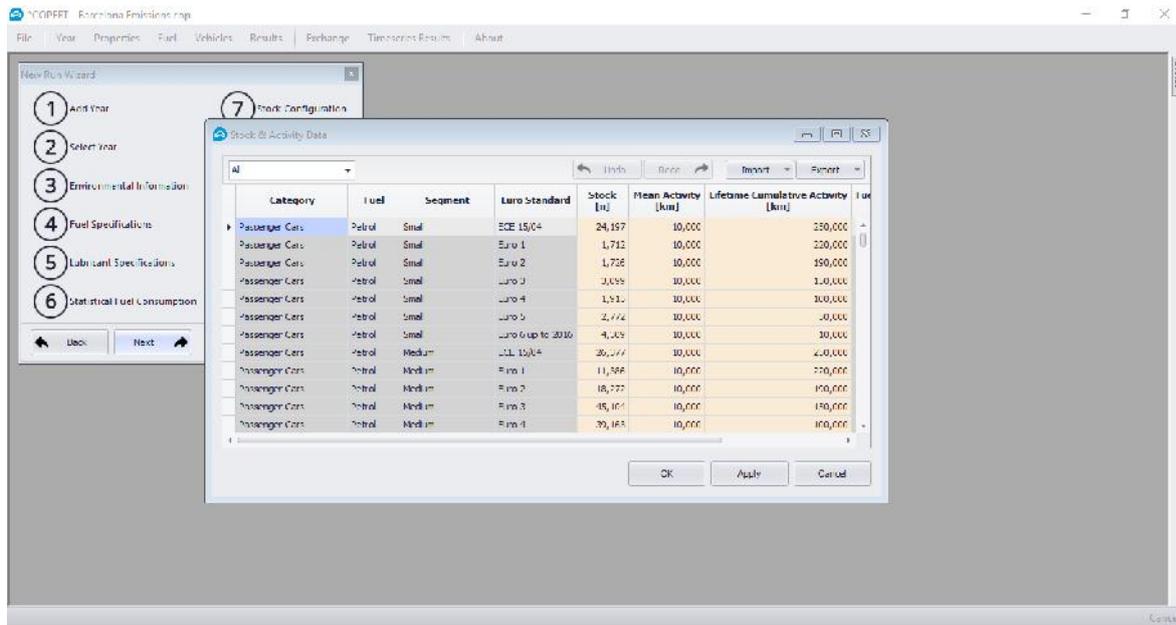


Figura 13. Ventana "Población y actividad de la flota"

4.1.7 Datos de entrada de circulación

En el siguiente paso se piden los datos de circulación de cada categoría de COPERT. Se distinguen 4 tramos de vía: Highway (Autopista o autovía), Rural (carretera no urbana), Urban (dentro de ciudad o población) y Urban Off (fuera de carretera).

Los datos de circulación introducidos se muestran a continuación:

Category	Urban Off Peak Share [%]	Urban Peak Share [%]	Rural Share [%]	Highway Share [%]
Passenger Cars	5,0%	30,0%	35,0%	30,0%
Light Commercial Vehicles	0,0%	50,0%	30,0%	20,0%
Heavy Duty Trucks	0,0%	30,0%	30,0%	40,0%
Buses	0,0%	30,0%	30,0%	40,0%
L-Category	0,0%	50,0%	50,0%	0,0%

Tabla 4.29. Porcentaje de cada tipo de vía en la ruta

Category	Urban Off Peak Speed [km/h]	Urban Peak Speed [km/h]	Rural Speed [km/h]	Highway Speed [km/h]
Passenger Cars	20,0	30,0	80,0	120,0
Light Commercial Vehicles	0	30,0	75,0	90,0
Heavy Duty Trucks	0	30,0	75,0	90,0
Buses	0	30,0	75,0	90,0
L-Category	0	30,0	75,0	90,0

Tabla 4.30. Velocidades de circulación

La ventana que permite introducir estos datos es la siguiente:

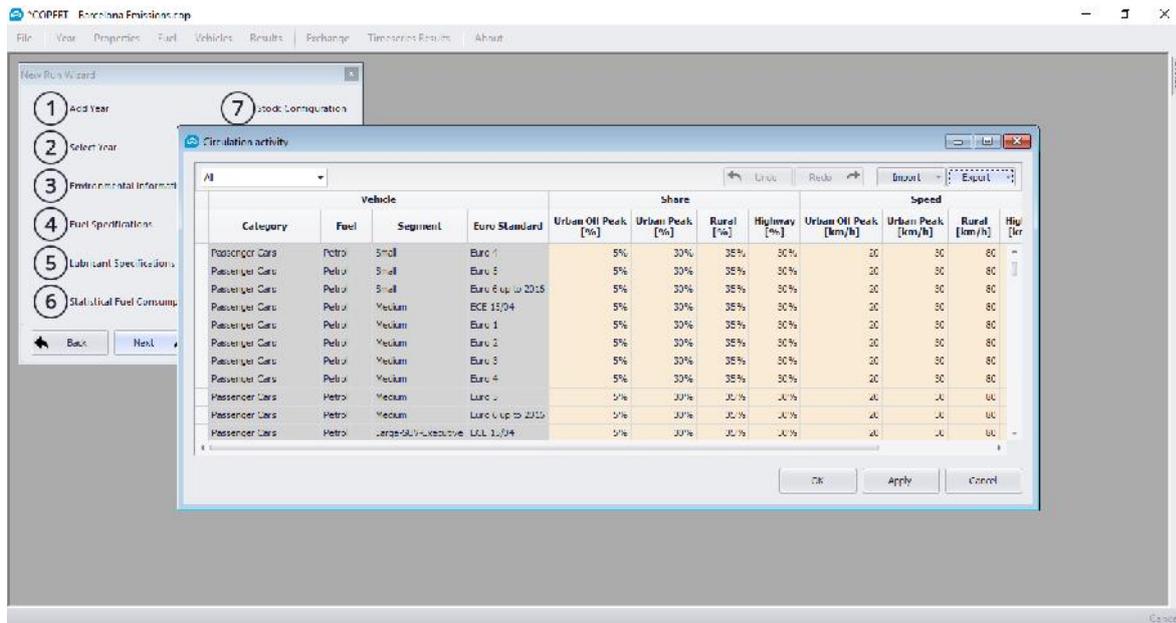


Figura 14. Ventana "datos de circulación"

4.2 Flota supuesta ciudad de Barcelona 2014 y 2009

Para introducir las demás flotas necesarias para realizar el cálculo de emisiones y la comparación entre ellas hay que seguir lo mismo pasos que ya se han explicado anteriormente.

4.2.1 Flota Barcelona 2014

Para ajustarse lo máximo a la realidad de una flota de Barcelona en el año 2014 (fecha finalización Euro V) se ha realizado el mismo proceso de búsqueda y procesamiento de datos que para la flota de 2017, esto quiere decir que el número de vehículos no es el mismo, sino que se ha utilizado para los cálculos los datos de parque móvil tanto de Barcelona como a nivel nacional de 2014. Estos datos se muestran a continuación:


 Municipio: **Barcelona**

Demografía

Población a 1/1/2014 ^(*)		1.602.386
	Hombres	758.316
	Mujeres	844.070
(*) Fuente: INE		
Censo de conductores a 31/12/2014		796.965
	Hombres	464.861
	Mujeres	332.104

Parque de vehículos automóviles

		Antigüedad media (parque con menos de 25 años)
Total a 31/12/2014	952.232	10,0
Ciclomotores	57.061 (6%)	11,1
Motocicletas	223.251 (23%)	9,1
Turismos	561.556 (59%)	10,0
Furgonetas	55.046 (6%)	11,7
Camiones	43.518 (5%)	10,4

Figura 15. Parque móvil Barcelona 2014

La diferencia en este caso no es muy grande a nivel de nº de vehículos y antigüedad media de la flota, pero si influirá en la clasificación de los datos por categorías según COPERT y por lo tanto nos acercaremos más a la realidad y tendremos una comparación más fiable y podremos ver la evolución a nivel de emisiones de la ciudad de Barcelona.

Para el caso de la flota de 2009 (fecha de finalización de la norma Euro IV) se han utilizado los datos del parque móvil de Barcelona de 2013, ya que son los más antiguos disponibles.


 Municipio: **Barcelona**

Demografía

Población a 1/1/2013 ^(*)		1.611.822
	Hombres	763.701
	Mujeres	848.121
(*) Fuente: INE		
Censo de conductores a 31/12/2013		806.807
	Hombres	473.047
	Mujeres	333.220

Parque de vehículos automóviles

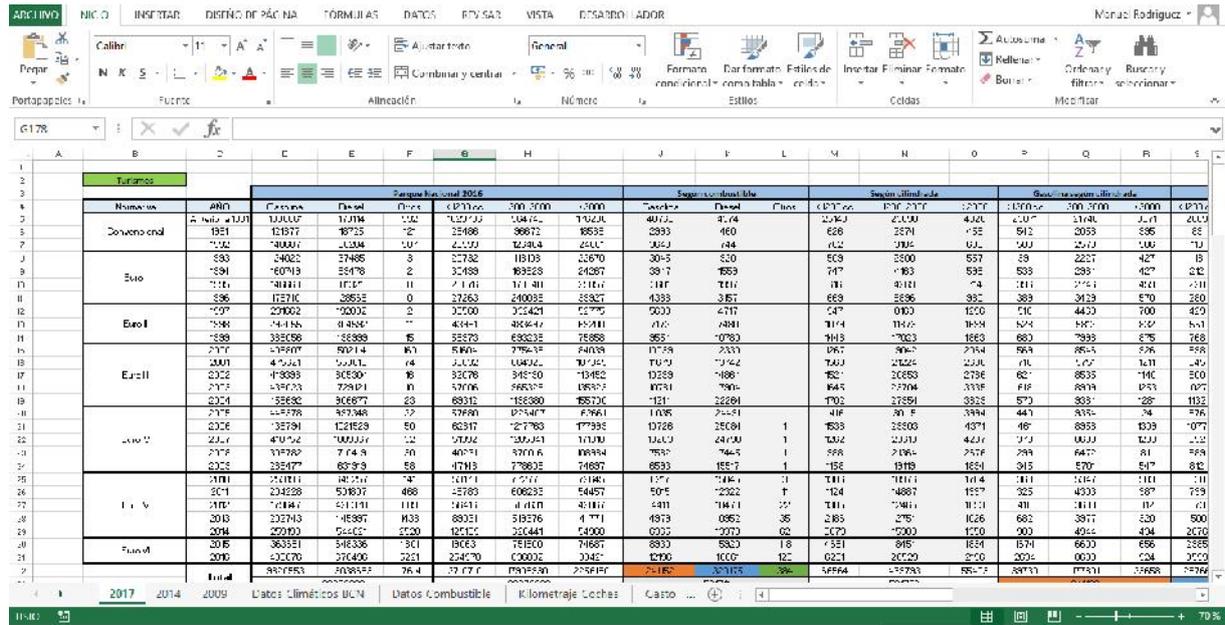
		Antigüedad media (parque con menos de 25 años)
Total a 31/12/2013	967.692	9,8
Ciclomotores	59.893 (6%)	10,2
Motocicletas	222.407 (23%)	8,9
Turismos	572.998 (59%)	9,8
Furgonetas	55.780 (6%)	11,7
Camiones	44.504 (5%)	9,8

Figura 16. Parque móvil Barcelona 2013

Con los datos del parque móvil de Barcelona y el parque móvil nacional se calculará la flota para la ciudad de Barcelona de los años 2009 y 2014 para poder comparar y apreciar la evolución en nivel de emisiones contaminantes que ha supuesto la introducción de nuevas y más estrictas normativas anticontaminación.

Al ser el procedimiento para el cálculo de flotas un proceso repetitivo donde se realizan los mismos pasos se ha creado un archivo Excel con celdas vinculadas para calcular automáticamente la flota de una ciudad únicamente poniendo los datos del parque móvil de la ciudad en cuestión.

A continuación se muestra un pantallazo del archivo Excel que ha sido creado:



Categoría	Año	Parque Personal 2006			Parque combustible			Sector combustible			Sector personal combustible				
		Clase	Clase	Clase	Clase	Clase	Clase	Clase	Clase	Clase	Clase	Clase			
G178	2009	131007	10194	152	122733	10474	73268	4073	474	2363	25300	438	4207	318	2633
	2014	121877	10725	2	22488	98872	1832	2893	460	628	2871	52	512	2053	535
	Total	249884	20919	154	145221	104616	91590	6966	934	3091	53000	490	4719	318	3168
G179	2009	24022	27485	3	22782	18138	22670	305	320	608	3300	557	28	2257	427
	2014	20719	25178	2	20488	16258	24287	281	289	747	183	535	333	289	427
	Total	44741	52663	5	43270	34396	46957	586	609	1355	3433	1092	611	516	854
G180	2009	17270	28532	0	27263	24093	23227	4333	387	668	2836	392	383	3123	570
	2014	22902	20032	2	32000	25421	2279	9000	477	547	030	1000	716	4420	700
	Total	40172	48564	2	59263	49514	26026	13333	864	1215	2936	492	766	7543	1270

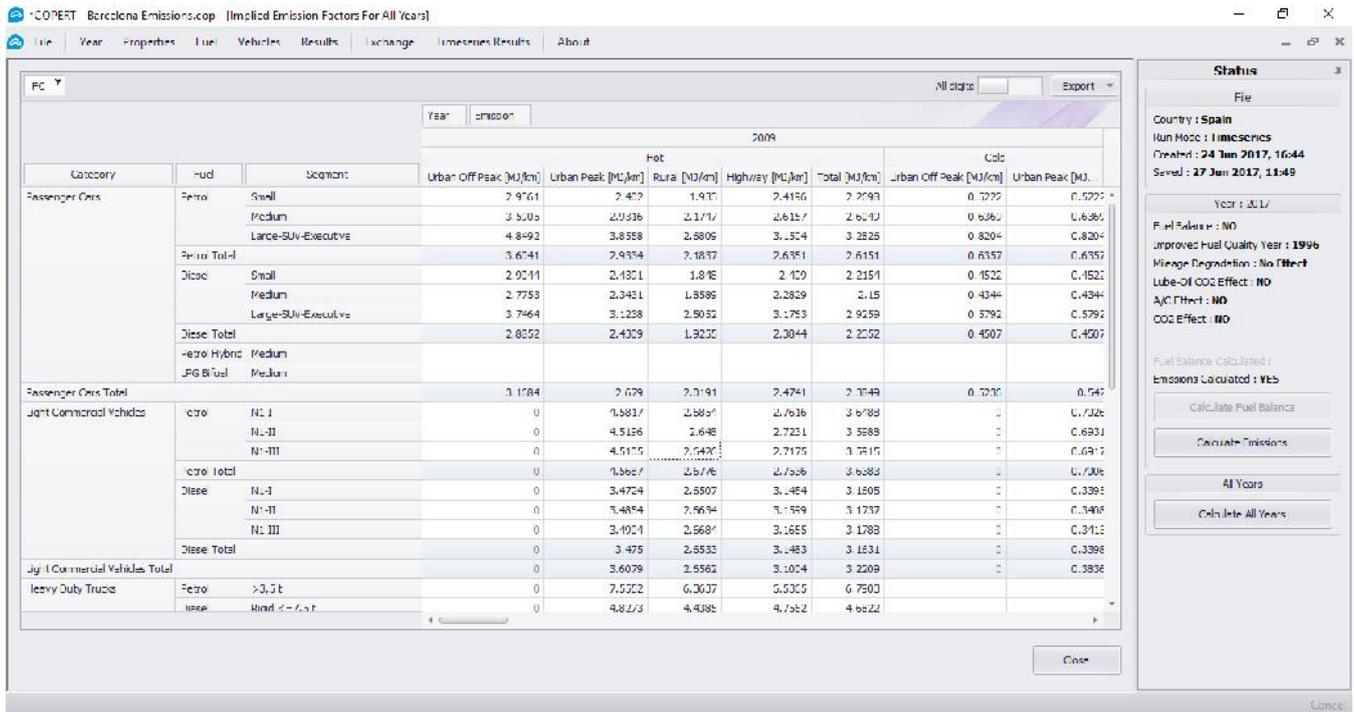
Figura 17. Archivo excel para cálculo de flotas según categorías COPERT

Este archivo ha permitido reducir tiempo en procesos repetitivos de cálculo y de introducción de datos en COPERT. Además, gracias a tener todos los datos utilizados en un mismo archivo ha sido más fácil detectar errores en la introducción de datos.

5 Comparación entre flotas

Para poder ver los resultados lo podemos hacer de dos formas:

- Solo un año:
 - Pulsamos en Year => Select => Elegimos el año
 - Pulsamos en Results => Total emissions
- Todos los años a la vez
 - Pulsamos en Timeseries Result => Total emissions



Category	Fuel	Location	2009							
			Urban Off Peak [MJ/km]	Urban Peak [MJ/km]	Rural [MJ/km]	Highway [MJ/km]	Total [MJ/km]			
Passenger Cars	Petrol	Small	2.9761	2.437	1.911	2.4196	2.2798	0.7222	0.5227	
		Medium	3.503	2.936	2.1717	2.6117	2.6117	0.6361	0.6361	
		Large-SUV-Executive	4.8492	3.858	2.805	3.124	3.2825	0.8204	0.8204	
	Petrol Total		3.6741	2.934	2.1832	2.6351	2.6151	0.6352	0.6352	
	Diesel	Small	2.0511	2.1321	1.816	2.120	2.2151	0.1522	0.1522	
		Medium	2.7753	2.3421	1.8585	2.2829	2.15	0.4344	0.4344	
		Large-SUV-Executive	3.7464	3.1258	2.5052	3.1763	2.9259	0.5792	0.5792	
	Diesel Total		2.8522	2.4329	1.9225	2.3044	2.252	0.4507	0.4507	
	Petrol Hybrid									
	PG Biofuel									
Passenger Cars Total			3.1784	2.929	2.0191	2.4741	2.1749	0.7216	0.74	
Light Commercial Vehicles	Petrol	N1-I	0	1.8817	2.8807	2.7616	3.6788	0	0.7326	
		N1-II	0	4.5156	2.648	2.7231	3.5883	0	0.6931	
		N1-III	0	4.5155	2.5427	2.7175	3.7415	0	0.6917	
	Petrol Total		0	1.8827	2.5776	2.7506	3.6283	0	0.7306	
	Diesel	N1-I	0	3.4724	2.5907	3.464	3.1605	0	0.3391	
		N1-II	0	3.4854	2.5634	3.1599	3.1737	0	0.3401	
		N1-III	0	3.4921	2.5687	3.1655	3.1783	0	0.3411	
	Diesel Total		0	3.475	2.5532	3.483	3.1531	0	0.3398	
	Light Commercial Vehicles Total			0	3.6079	2.5562	3.1024	3.2209	0	0.3836
	Heavy Duty Trucks	Petrol	>3.5 t	0	7.5522	6.3637	5.5305	6.7503		
Diesel		Mini <= 6.5 t	0	4.8223	4.4385	4.7522	4.8222			

Figura 18. Ventana "Cálculo de emisiones"

Lo más fácil para poder comparar los resultados para las distintas flotas es extraer los datos a Excel, y así poder tratarlos más fácilmente (esta función es nueva en COPERT 5). Este archivo Excel también contiene los datos introducidos de la flota de vehículos y se adjunta en el CD del proyecto.

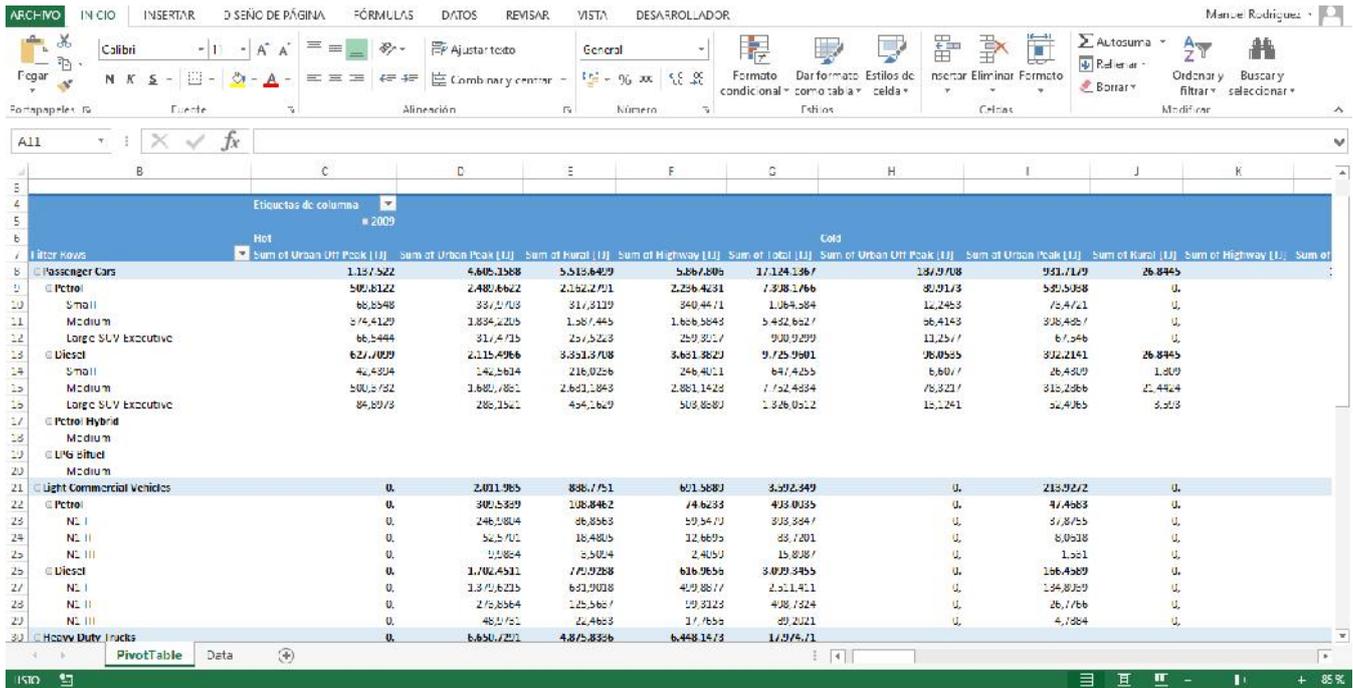


Figura 19. Extracción de datos a Excel

Los factores que calcula el programa COPERT son los siguientes:

- As (Arsénico)
- Cd (Cadmio)
- CH₄ (Metano)
- CO (Monóxido de carbono)
- CO₂ (Dióxido de carbono)
- Cr (Cromo)
- Cu (Cobre)
- FC (consumo de combustible)
- Hg (Mercurio)
- NH₃ (Amoníaco)
- Ni (Níquel)
- NMVOC (Non-methane volatile organic compound)
- NO (Óxido de Nitrógeno)
- NO₂ (Dióxido de Nitrógeno)
- NO_x (Óxidos de nitrógeno)
- Pb (Plomo)
- PM (Emisiones de partículas)
- Se (Selenio)
- VOC (Volatile organic compounds)
- Zn (Zinc)
- Factores de emisión en frío
- Factores de emisión en caliente

5.1 Consumo de combustible

A partir de las fuentes estadísticas de consumo se calcula el consumo de combustible, que está relacionado con la energía necesaria para el movimiento del vehículo y depende de los siguientes factores:

- Velocidad
- Eficiencia del motor
- Transmision
- Aerodinámica del Vehículo
- Trazado y características de la carretera
- Modo de conducción
- Utilización de sistemas auxiliares (iluminación, climatización,...)

Las emisiones contaminantes dependientes del consumo de combustible se determinan sobre la base del consumo de combustible calculado a partir de fuentes estadísticas (según tipología del vehículo) , y luego el programa realiza una corrección basada en el verdadero consumo de combustible que se ha proporcionado.

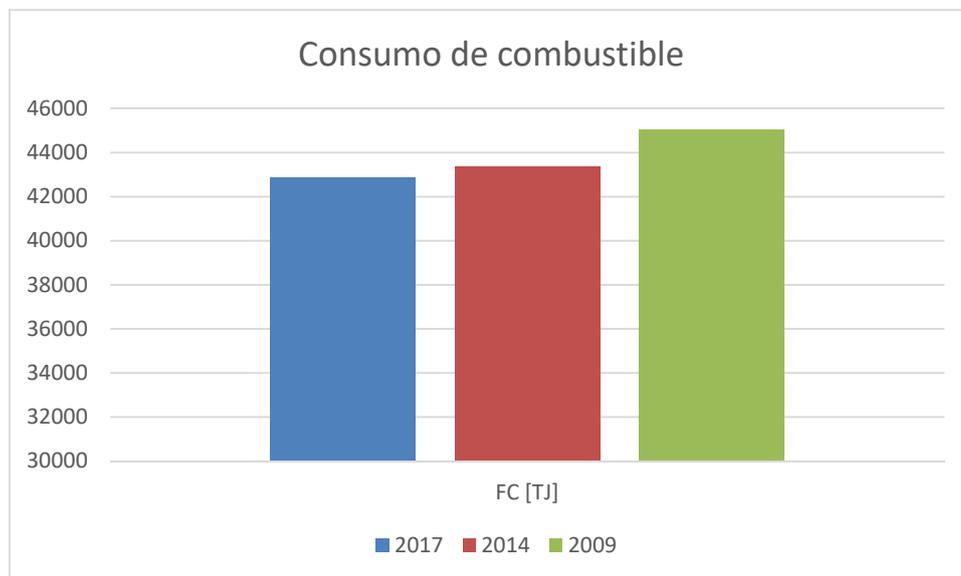


Figura 20. Consumo de combustible

5.2 Emisiones de CO₂ a la atmósfera

Las emisiones de CO₂ proceden a partir de tres fuentes:

- Combustión de combustible => Relación H/C del combustible utilizado
- Combustión de aceite lubricante => Las pequeña película de aceite que recubren las paredes internas del cilindro se quema junto al combustible. Este consumo de aceite es mucho más evidente en motores de 2 tiempos, que el a la gasoline se le añade aceite lubricante, que se quema completamente junto con la gasolina.
- Adición de aditivos que contienen carbono en los gases de escape=> Debido a las tan restrictivas normativas anticontaminación se utilizan aditivos para reducir las emisiones, como es el caso de la urea, que se inyecta dando lugar a NH₃, reaccionando éste con los óxidos de nitrógeno para reducir el nitrógeno y formándose también CO₂, lo que aumenta la emisión total.

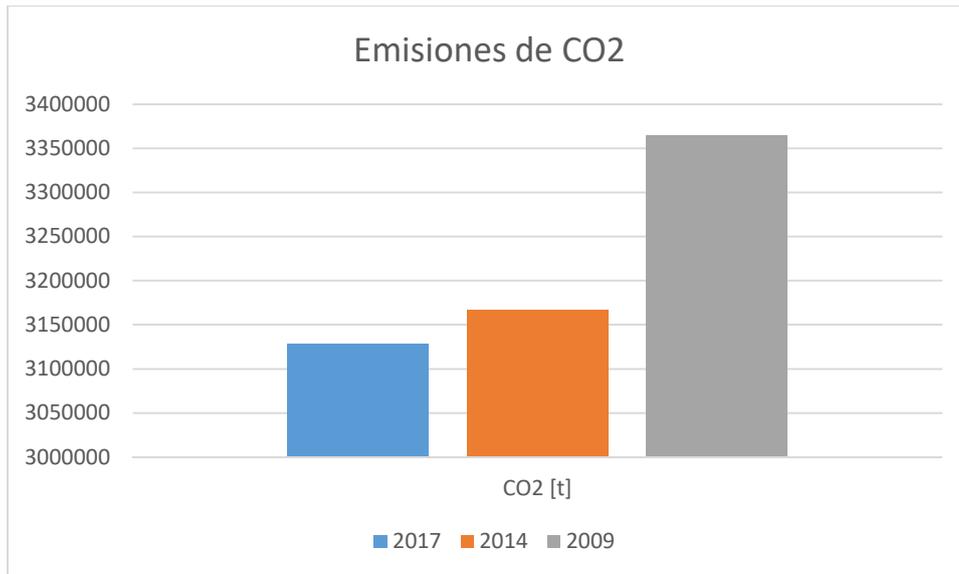


Figura 21. Emisiones de CO2

5.3 Otras emisiones gaseosas

En este apartado analizaremos las emisiones de los demás elementos contaminantes:

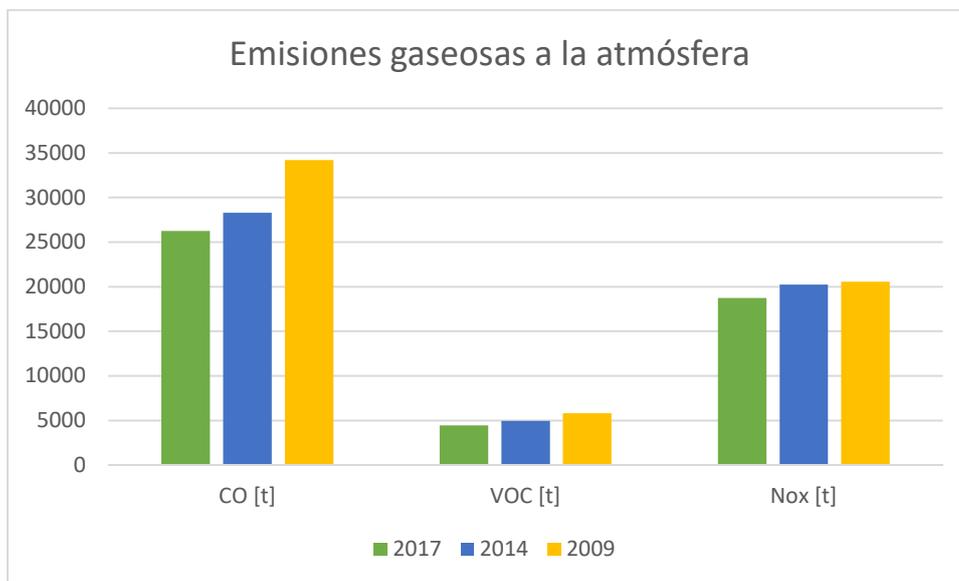


Figura 22. Emisiones gaseosas a la atmósfera (I)

Las emisiones de monóxido de carbono (CO), de compuestos volátiles (COV) y de óxidos de nitrógeno depende fundamentalmente del tipo de combustible, tipo de vehículo y cilindrada, climatología y tipo de conducción y como podemos ver, estas emisiones disminuyen con el paso del tiempo.

Los NOx se forman a altas temperaturas y en presencia de oxígeno, lo que hace que sustraiga oxígeno de la combustión y con ello aumenta el CO y HC.

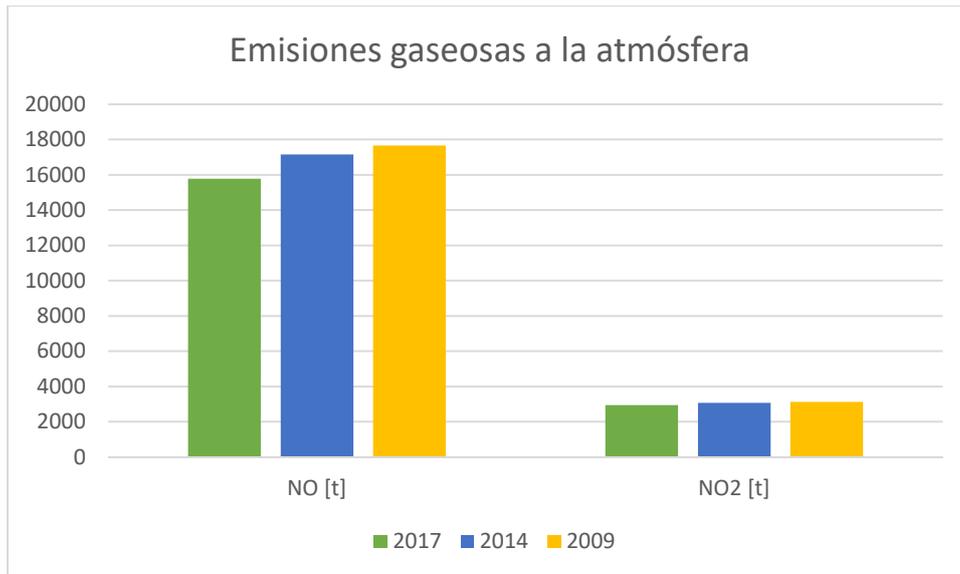


Figura 23. Emisiones gaseosas a la atmósfera (II)

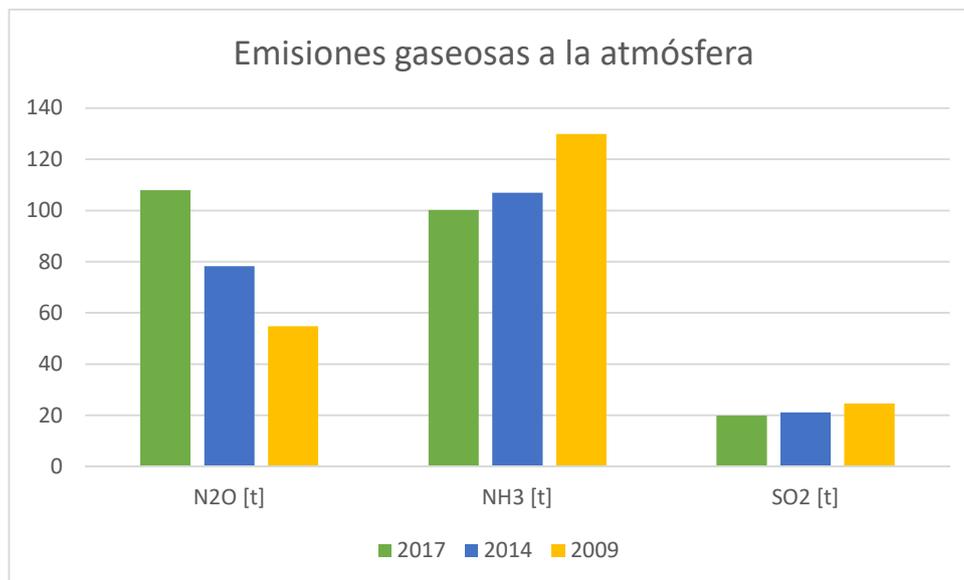


Figura 24. Emisiones gaseosas a la atmósfera (III)

El aumento de emisiones de N₂O se debe a:

- Vehículos de gasolina ⇒ debido a que los catalizadores no han alcanzado su temperatura de funcionamiento o al envejecimiento de los mismos
- Vehículos diesel ⇒ Por el uso de SCR que también produce N₂O

El SO₂ junto con la acción solar contribuye a la aparición de lluvia ácida por lo que es muy perjudicial para el medio ambiente.

5.4 Emisiones de partículas

Las partículas emitidas engloban una gran variedad de compuestos que varían ampliamente tanto en sus características físico-químicas, como en su origen y vías de formación, y por tanto en sus efectos sobre la salud y el medio ambiente. Estas partículas proceden de dos fuentes principalmente:

- Materiales desprendidos en los procesos de fricción.
- Partículas orgánicas formadas dentro del motor durante el proceso de combustión.

El resultado a nivel de partículas es el siguiente:

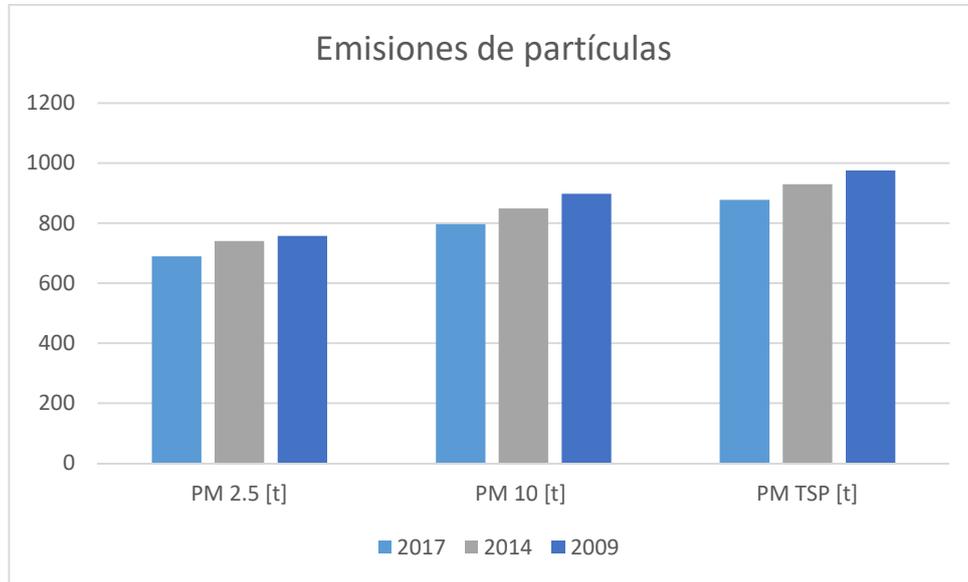


Figura 25. Emisiones de partículas

5.5 Emisiones de metales a la atmósfera

Los metales emitidos a la atmósfera provienen de los elementos contenidos en el combustible o en el lubricante. Algunos de estos metales, como el Pb son utilizados como antidetonantes y así poder aumentar el octanaje de la gasolina.

Los metales emitidos a la atmósfera suelen ser plomo, cobre y zinc, aunque además de estos se muestran los resultados de otros metales como el Cadmio, Cromo, Níquel y Selenio.

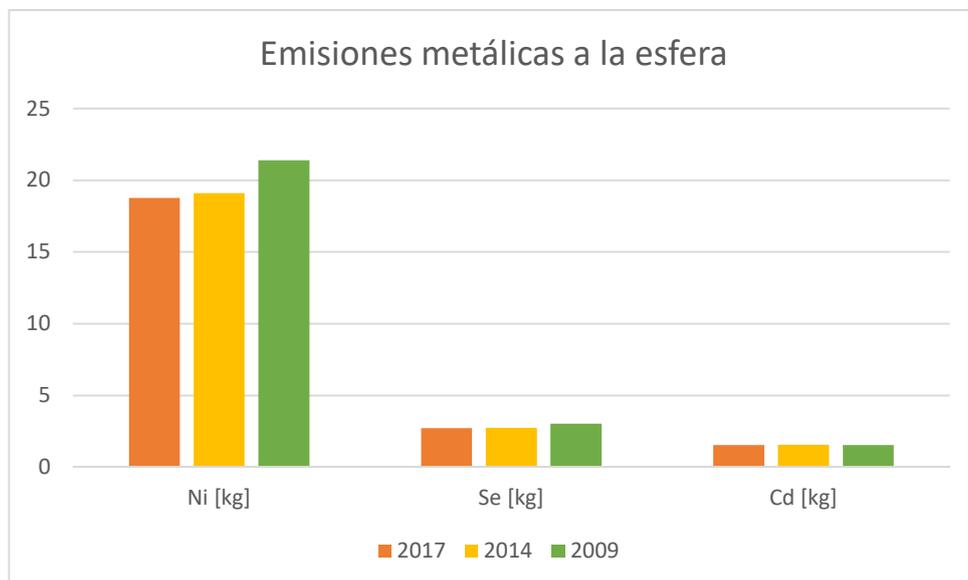


Figura 26. Emisiones metálicas (I)

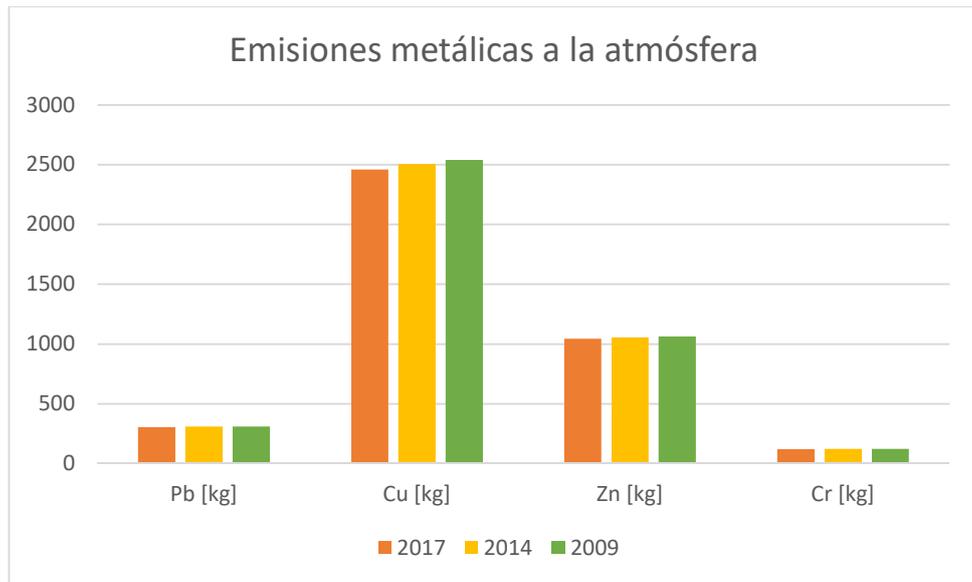


Figura 27. Emisiones metálicas (II)

6 Conclusiones

Gracias al programa COPERT 5 se ha podido realizar un estudio sobre la evolución en materia de emisiones contaminantes en la ciudad de Barcelona, seleccionando tres años diferentes, dos de ellos los años de finalización de la normativa Euro IV (2009) y Euro V (2014).

La simulación nos permite obtener datos sobre los contaminantes regulados (CO, NOx, HC, PM) y no regulados provenientes del tráfico rodado en la ciudad de Barcelona, y se puede observar una reducción considerable gracias a las cada vez más restrictivas normativas de contaminación.

Todos estos cálculos se han realizado para tres supuestas flotas que han sido supuestas mediante una serie de hipótesis explicadas en apartados anteriores.

Analizando los datos se observa que mientras más renovada sean las flotas de vehículos más se han reducido la emisión de contaminantes, apreciando una gran reducción entre los años 2009 y 2014, debido sobre todo a la diferencia en la configuración de las flotas, siendo la de 2014 mucho más renovada que la de 2009.

A continuación se muestra la comparación entre la flota del 2009 con las flotas de 2014 y 2017 para ver así la evolución en emisiones en la ciudad de Barcelona:

AÑO	CO2	CO	VOC	NOX	NO2	N2O
2017	↓ 7,01%	↓ 23,23%	↓ 23,72%	↓ 8,92%	↓ 5,53%	↑ 53,01%
2014	↓ 5,88%	↓ 17,27%	↓ 14,83%	↓ 1,61%	↓ 1,40%	↑ 26,57%

AÑO	NH3	PM 10	PM 2.5	PM escape	SO2	Pb
2017	↓ 22,8%	↓ 11,21%	↓ 8,97%	↓ 10,06%	↓ 6,21%	↓ 2,0%
2014	↓ 17,7%	↓ 5,43%	↓ 2,33%	↓ 4,67%	↓ 13,90%	↓ 0,3%

AÑO	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Se
2017	↓ 14,45%	↓ 1,80%	↓ 1,00%	↓ 3,46%	↓ 12,2%	↓ 10,47%
2014	↓ 12,74%	↓ 0,58%	↓ 0,67%	↓ 1,78%	↓ 10,6%	↓ 9,35%

Tabla 6.1. Resultados comparación entre flotas

Como podemos ver las **emisiones se reducen** según se renueva la flota de vehículos, ya que se adaptan a las nuevas normativas de emisiones. La poca diferencia entre la flota de 2014 y 2017 es debido que la configuración de la flota es prácticamente la misma, es decir, la flota supuesta no se ha renovada prácticamente debido a que aún las ventas de coches siguen sin salir de su crisis.

Para hacer un estudio más real lo único que habría que realizar es cambiar la flota de vehículos por una más real utilizando datos que nos cediese la **DGT provincial**, ya que los demás pasos serían exactamente los mismos.

7 REFERENCIAS

7.1 *Software*

Copert 4 version 11.2 (Enero 2015), creado por Emisia S.A.

7.2 *Webs*

Normativas de emisiones

http://transportpolicy.net/index.php?title=Category:Emissions_Standards

Información Europea del medio ambiente

<https://www.eionet.europa.eu/>

Parque Nacional de vehículos

<http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/parque-vehiculos/>

Página oficial Copert 4

<http://emisias.com/copert>

Cores

<http://www.cores.es/en>

Ayuntamiento de Barcelona

<http://ajuntament.barcelona.cat/es/>

Transports Metropolitans de Barcelona

<https://www.tmb.cat/en>

Directiva 92/55/CEE

<http://www.boe.es/boe/1992/225/L00068-00071.pdf>

Reglamento (CE) Nº 443/2009 para reducir la emisiones de CO2 de los vehículos ligeros

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32009R0443>