



# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO  
ANÁLISIS Y PERSPECTIVAS TECNOLÓGICAS DEL  
PROYECTO / ORDENANZA MUNICIPAL MADRID

360

Autor: Javier Piedrafita Ayerra  
Director: Juan Norverto Moriñigo

Madrid



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
Análisis y perspectivas tecnológicas del proyecto / ordenanza municipal Madrid 360  
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2021/22 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido  
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Javier Piedrafita Ayerra

Fecha: 12/07/2022

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Juan Norverto Moriñigo

Fecha: 12/07/2022

NORVERTO  
MORIÑIGO JUAN  
- DNI 09746499L

Firmado digitalmente  
por NORVERTO  
MORIÑIGO JUAN - DNI  
09746499L  
Fecha: 2022.07.12  
09:16:39 +02'00'





# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO  
ANÁLISIS Y PERSPECTIVAS TECNOLÓGICAS DEL  
PROYECTO / ORDENANZA MUNICIPAL MADRID

360

Autor: Javier Piedrafita Ayerra

Director: Juan Norverto Moriñigo

Madrid



# ANÁLISIS Y PERSPECTIVAS TECNOLÓGICAS DEL PROYECTO / ORDENANZA MUNICIPAL MADRID 360

**Autor: Piedrafita Ayerra, Javier.**

Director: Norverto Morínigo, Juan.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## RESUMEN DEL PROYECTO

El presente estudio analiza el estado de la calidad del aire de la Comunidad de Madrid y el impacto de las restricciones a la circulación de los vehículos sin distintivo medioambiental. Se ha cuantificado la reducción de las emisiones debidas a la ordenanza Madrid 360 y las derivadas de un modelo alternativo con vehículos nuevos gasolina y diésel.

**Palabras clave:** Restricciones, Emisiones, Madrid

### 1. Introducción

Son muchos los expertos que a lo largo de los años han alertado acerca del cambio climático y sus nocivas consecuencias. Estos mismos expertos señalan a los gases contaminantes y a los gases de efecto invernadero como principales responsables.

Esta circunstancia ha sido tenida muy en cuenta por la Unión Europea, que estableció ambiciosos valores límite relacionados con la emisión de gases.

En septiembre de 2017 el Ayuntamiento de Madrid aprobó el “Plan A”, plan de calidad del aire y cambio climático, con el fin de reducir la concentración de contaminantes. Sin embargo, este se mostró insuficiente para alcanzar los objetivos.

Fruto de este fracaso y ante la necesidad de alinearse de forma sostenible con la normativa europea, el ayuntamiento de Madrid presentó en 2019 la Estrategia de Sostenibilidad Ambiental Madrid 360, con más de un centenar de medidas. Esta tiene como principal ambición aunar los objetivos medioambientales con los sociales, territoriales y económicos, de cara a fomentar el bienestar de los ciudadanos.

Como evidencia el Inventario de Emisiones 2019, el sector más contaminante es el del transporte por carretera. En materia de movilidad, la ordenanza busca renovar el parque circulante con vehículos limpios. Para ello, pretende restringir la circulación por el interior de la M30 a los vehículos sin distintivo medioambiental para el año 2025. La medida afectará al 17,9% de los madrileños que se verán privados de poder circular con sus vehículos en favor de la calidad del aire de la ciudad.

### 2. Definición del proyecto

El presente estudio evalúa el grado en que la prohibición a la circulación de ciertos vehículos disminuirá las emisiones del sector del transporte por carretera, el impacto social y económico de la medida y la eficacia de estrategias alternativas.

En primer lugar, se expone la normativa europea vigente relativa a la emisión de contaminantes, los requisitos para la evaluación y los objetivos de calidad del aire. A continuación, evalúa la calidad del aire de la Comunidad de Madrid a través del análisis

del volumen de contaminantes emitidos y su evolución. Por otro lado, se identifican las principales actividades emisoras y se cuantifica su contribución.

Para contextualizar la Estrategia de Sostenibilidad Ambiental Madrid 360, se examinan las primeras actuaciones municipales. Así mismo, se ahonda en las normativas y estrategias similares a nivel nacional.

Se detallan los distintos perfiles de movilidad de los madrileños cuantificando el número usuarios, trayectos, costes e infraestructuras. Por otro lado, se radiografía el parque móvil atendiendo a la tipología, el combustible y la antigüedad para la selección de cuatro vehículos patrón. Del mismo modo, se define un circuito patrón tomando la distribución de los trayectos recogidos en el Informe de Movilidad de Madrid 2020 y las velocidades medias legales atendiendo a la zonificación expuesta en la ordenanza. Seguidamente, se simulan los vehículos sobre el escenario experimental sujeto a las restricciones para cuantificar la reducción de las emisiones.

Finalmente, se analizan los resultados obtenidos para estimar el impacto de las medidas sobre la calidad del aire de la Comunidad de Madrid y se realiza una valoración crítica de su eficacia y el impacto de escenarios alternativos.

### **3. Descripción del modelo**

El modelo conceptualizado consta de cuatro vehículos patrón, dos turismos gasolina y otros dos diésel, de los segmentos B y C. El criterio de selección contempla, adicionalmente, el número de ventas, las motorizaciones predominantes y la disponibilidad de datos técnicos.

Se calculan las fuerzas agentes sobre el vehículo y las necesarias para propulsarlo. En concreto, la aerodinámica, la de rodadura y la debida a la aceleración (con pendiente nula dada la topografía del municipio de Madrid). La fuerza total que ha de ser transmitida a las ruedas resulta de la suma de las anteriores fuerzas. Multiplicada por la velocidad, se obtiene la potencia en rueda. Con el rendimiento de la transmisión se calcula la potencia que ha de generar el motor.

Con la potencia y el régimen de revoluciones del motor para los desarrollos seleccionados se obtiene el par motor y la presión media específica. Estos dos últimos parámetros empleados como inputs en los mapas motor desvelan los consumos medios específicos, que permiten despejar el consumo para un cierto vehículo a una cierta velocidad.

Atendiendo la distribución porcentual de los recorridos según el EPCM de 2017, se calculan los consumos mixtos de cada vehículo. Se ha modelado un factor de consumos por el que se multiplican los valores límite de la normativa medioambiental de los vehículos para obtener las emisiones expresadas en g a los 100km. Con los kilómetros recorridos diariamente en el interior de la M30 por vehículos sin etiqueta y las emisiones por kilómetro, se ha determinado la reducción sobre las emisiones anuales por contaminantes debidas a la restricción a la circulación.

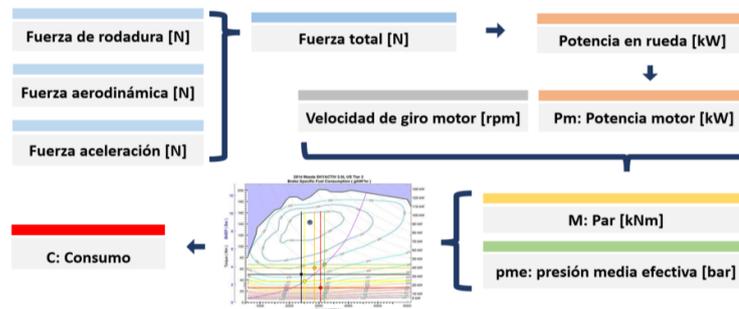


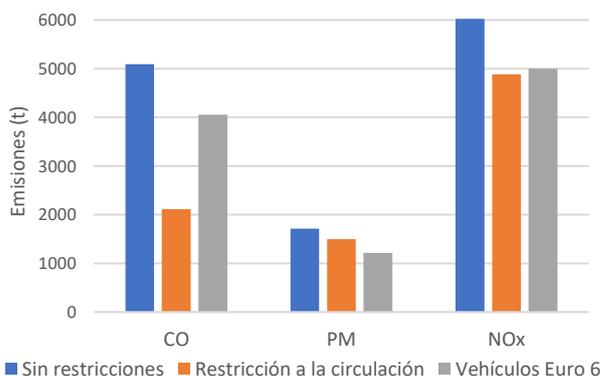
Ilustración 1. Esquema del modelo

#### 4. Resultados

Los consumos calculados son alrededor de un 20% superiores a los homologados. Por otro lado, la restricción a la circulación por el interior de la M30 a los vehículos sin distintivo medioambiental tendría las siguientes repercusiones sobre la calidad del aire de la Comunidad de Madrid:

	Emisiones anuales totales 2019 [t]	Emisiones anuales del SNAP 7 2019 [t]	Reducción de las emisiones anuales [t]	Reducción sobre las emisiones anuales totales	Reducción sobre las emisiones anuales del SNAP 7
Monóxido de carbono (CO)	10512	5092	2079	19,78%	40,83%
Material particulado (PM)	2627	1711	139	5,24%	8,05%
Óxidos de nitrógeno (NOx)	14286	6020	618	4,32%	10,26%
Dióxido de carbono (CO2)	6361000	2563000	201340	3,17%	7,86%

El modelo alternativo desarrollado en el que el mismo número de vehículos sujetos a las restricciones es sustituido por vehículos gasolina y diésel con homologaciones Euro 6 arroja los siguientes resultados:



Reducción de las emisiones (% sobre las emisiones anuales del SNAP 7)		
	Madrid 360 Restricción circulación	Modelo alternativo Vehículos Euro 6
CO	40,83%	20,83%
PM	8,05%	7,58%
NOx	10,26%	8,26%

Tabla 1. Reducción de las emisiones del modelo alternativo

#### 5. Conclusiones

A pesar de haberse experimentado mejoras en los últimos años, aún se está lejos de los objetivos de calidad del aire, evidenciando la necesidad de medidas. La restricción a la circulación recogida en la ordenanza Madrid 360 supondrá un gran avance en la reducción de las emisiones, especialmente en las de monóxido de carbono. Por otro lado, muchos de los madrileños afectados por la medida tendrán dificultades para renovar sus actuales vehículos por modelos electrificados. Si embargo, la alternativa de fomentar la compra de vehículos térmicos nuevos presentaría un buen balance entre reducción de las emisiones e impacto económico y social en el corto plazo.

# ANALYSIS AND TECHNOLOGICAL PERSPECTIVES OF THE MADRID 360 PROJECT/MUNICIPAL ORDINANCE

**Author: Piedrafita Ayerra, Javier.**

Supervisor: Norverto Moriñigo, Juan.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## ABSTRACT

This study analyses the state of air quality in the Community of Madrid and the impact of restrictions on the circulation of vehicles without environmental badge. The reduction of emissions due to the Madrid 360 ordinance and those derived from an alternative model with new gasoline and diesel vehicles have been quantified.

**Keywords:** Restrictions, Emissions, Madrid.

## 1. Introduction

Many experts have warned over the years about climate change and its harmful consequences. These same experts point to pollutant gases and greenhouse gases as the main drivers.

This circumstance has been taken very much into account by the European Union, which established ambitious limit values related to gas emissions.

In September 2017, the Madrid City Council approved "Plan A", an air quality and climate change plan, with the aim of reducing the concentration of pollutants. However, this proved insufficient to achieve the objectives.

As a result of this failure and in view of the need to align itself in a sustainable way with European regulations, in 2019 the Madrid City Council presented the Madrid 360 Environmental Sustainability Strategy, with more than a hundred measures. Its main ambition is to combine environmental objectives with social, territorial and economic ones, in order to promote the well-being of citizens.

As evidenced by the 2019 Emissions Inventory, the most polluting sector is road transport. In terms of mobility, the ordinance seeks to renew the circulating fleet with clean vehicles. To this end, it intends to restrict circulation inside the M30 to vehicles without an environmental sticker by 2025. The measure will affect 17.9% of Madrid residents who will be deprived of being able to drive their vehicles in favor of the city's air quality.

## 2. Project definition

This study evaluates the extent to which a ban on the circulation of certain vehicles will reduce emissions from the road transport sector, the social and economic impact of the measure and the effectiveness of alternative strategies.

First, it outlines the current European pollutant emission regulations, assessment requirements and air quality objectives. Then, it evaluates the air quality of the Community of Madrid through the analysis of the volume of pollutants emitted and their evolution. On the other hand, the main emitting activities are identified and their contribution is quantified.

To contextualize the Madrid 360 Environmental Sustainability Strategy, the first municipal actions are examined. It also explores similar regulations and strategies at national level.

The different mobility profiles of the people of Madrid are detailed, quantifying the number of users, journeys, costs and infrastructures. On the other hand, the vehicle fleet is scrutinized according to type, fuel and age for the selection of four standard vehicles. In the same way, a standard circuit is defined based on the distribution of the routes included in the Madrid 2020 Mobility Report and the legal average speeds according to the zoning set out in the ordinance. Next, the vehicles are simulated on the experimental scenario subject to the restrictions to quantify the reduction in emissions.

Finally, the results obtained are analyzed to estimate the impact of the measures on air quality in the Community of Madrid and a critical assessment is made of their effectiveness and the impact of alternative scenarios.

### 3. Description of the model

The conceptualized model consists of four standard vehicles, two gasoline passenger cars and two diesel passenger cars, from segments B and C. The selection criteria also include the number of sales, the predominant engines and the availability of technical data.

The forces acting on the vehicle and those required to propel it are calculated. Specifically, aerodynamic, rolling and acceleration forces (with zero gradient given the topography of the municipality of Madrid). The total force to be transmitted to the wheels is the sum of the above forces. Multiplied by the speed, the wheel power is obtained. With the transmission efficiency, the power to be generated by the engine is calculated.

With the power and the engine speed for the selected gear ratios, the engine torque and the specific average pressure are obtained. These last two parameters, used as inputs in the engine maps, reveal the average specific fuel consumption, which makes it possible to determine the consumption for a certain vehicle at a certain speed.

Attending to the percentage distribution of the runs according to the 2017 EPCM, the mixed consumptions of each vehicle are calculated. A consumption factor has been modeled by which the limit values of the vehicles' environmental regulations are multiplied to obtain the emissions expressed in g per 100km. With the kilometers traveled daily within the M30 by vehicles without a label and the emissions per kilometer, the reduction in annual emissions of pollutants due to the traffic restriction was determined.

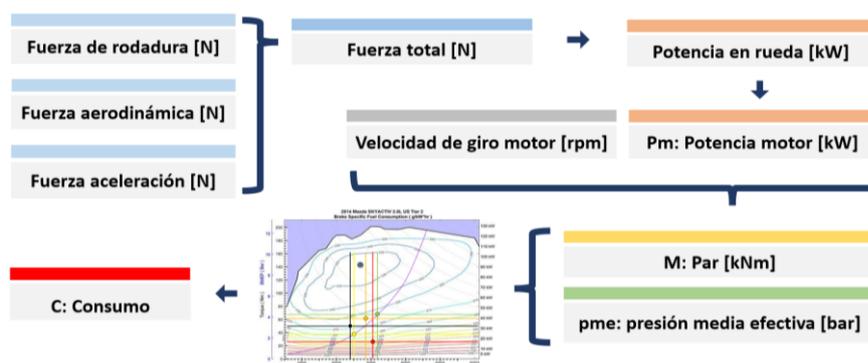


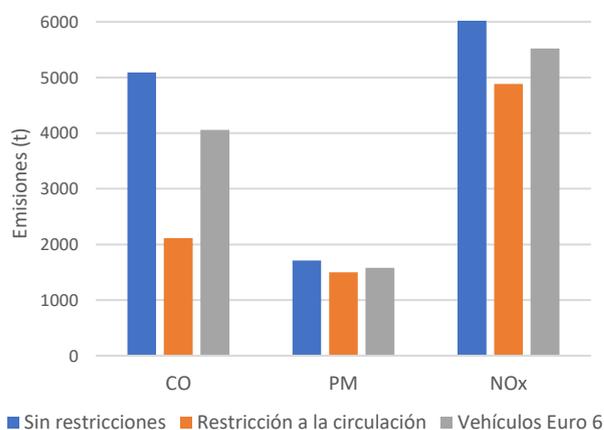
Ilustración 2. Schematic diagram of the model

## 4. Results

The calculated consumptions are about 20% higher than the homologated ones. On the other hand, the restriction of circulation inside the M30 to vehicles without an environmental sticker would have the following repercussions on air quality in the Community of Madrid:

	Total annual emissions 2019 [t]	SNAP 7 annual emissions 2019 [t]	Reduction in annual emissions [t]	Reduction over total annual emissions	Reduction over SNAP 7 annual emissions
Carbon monoxide (CO)	10512	5092	2079	19,78%	40,83%
Particulate matter (PM)	2627	1711	139	5,24%	8,05%
Nitrogen oxides (NOx)	14286	6020	618	4,32%	10,26%
Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	6361000	2563000	201340	3,17%	7,86%

The alternative model developed in which the same number of vehicles subject to the restrictions is replaced by gasoline and diesel vehicles with Euro 6 type-approvals yields the following results:



Reducción de las emisiones (% sobre las emisiones anuales del SNAP 7)		
	Madrid 360 Restricción circulación	Modelo alternativo Vehículos Euro 6
CO	40,83%	20,83%
PM	8,05%	7,58%
NOx	10,26%	8,26%

Table 2. Emission reductions from the alternative model

## 6. Conclusions

Despite improvements in recent years, we are still far from the air quality objectives, demonstrating the need for measures. The traffic restrictions contained in the Madrid 360 ordinance will be a major step forward in reducing emissions, especially carbon monoxide emissions. On the other hand, many of the Madrid residents affected by the measure will find it difficult to replace their current vehicles with electrified models. However, the alternative of encouraging the purchase of new thermal vehicles would present a good balance between emissions reduction and economic and social impact in the short term.

## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>7</b>
<b>Capítulo 2. Motivación del proyecto .....</b>	<b>9</b>
2.1 Normativa vigente .....	9
2.2 Inventario de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera .....	12
2.2.1 Emisiones de gases de efecto invernadero .....	15
2.2.2 Emisiones de sustancias acidificantes y precursores de ozono.....	23
2.2.3 Emisiones de material particulado.....	29
2.2.4 Emisiones debidas al transporte por carretera.....	31
<b>Capítulo 3. Objetivos.....</b>	<b>34</b>
3.1 Contexto, implicaciones y perspectiva social.....	34
3.2 Objetivo del estudio.....	36
<b>Capítulo 4. Estado de la Cuestión .....</b>	<b>38</b>
4.1 Primeras actuaciones municipales.....	38
4.1.1 Primera Ordenanza de Contaminación Atmosférica, 16 agosto de 1968.....	38
4.1.2 Ley de Protección del Medio Ambiente Atmosférico.....	39
4.1.3 Declaración de Madrid como Zona de Atmósfera Contaminada.....	40
4.1.4 RED Automática para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica.....	41
4.2 Estrategia de Sostenibilidad Ambiental Madrid 360.....	42
4.2.1 Motivación.....	42
4.2.2 Estructura.....	43
4.2.3 Perfiles de movilidad.....	44
4.2.4 Líneas estratégicas .....	49
4.2.5 Objetivos de transformación .....	51
4.2.6 Estudios de la estrategia Madrid 360.....	52
4.3 Otras actuaciones a nivel nacional .....	53
<b>Capítulo 5. Modelo desarrollado.....</b>	<b>55</b>
5.1 planteamiento .....	55
5.2 Diseño del modelo.....	55

5.2.1 Circuito patrón:.....	56
5.2.2 Vehículos patrón: .....	57
5.2.3 Velocidades y aceleraciones patrón:.....	59
5.3 Fundamentos técnicos y procedimiento .....	61
5.4 Implantación numérica y simulaciones .....	66
5.4.1 Simulación Citroën C4 THP 155 (gasolina) .....	66
5.4.2 Simulación Renault Mégane 1.9 dCi 130 FAP (diésel).....	70
5.4.3 Simulación Opel Corsa 1.4 (100) ecoFLEX (gasolina).....	74
5.4.4 Simulación Citroën C3 HDi 70 (diésel) .....	78
<b>Capítulo 6. Análisis de resultados, Alternativas y conclusiones.....</b>	<b>82</b>
6.1 Análisis de resultados.....	82
6.1.1 Emisiones por vehículo simulado.....	83
6.1.2 Emisiones totales y criterio de extrapolación .....	85
6.1.3 Resultados del estudio .....	88
6.2 Estrategia Alternativa .....	92
6.3 Conclusiones .....	95
6.4 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	96
6.4.1 ODS 3, salud y bienestar .....	97
6.4.2 ODS 11, ciudades y comunidades sostenibles.....	97
6.4.3 ODS 13, Acción por el clima.....	98
<b>Capítulo 7. Bibliografía / Webgrafía .....</b>	<b>99</b>

## *Índice de figuras*

Ilustración 3. Emisiones totales de GEI expresadas en kt de CO2 equivalente (Inventario de Emisiones de Contaminantes 2019) .....	16
Ilustración 4. Contribución porcentual a las emisiones de GEI por contaminante (Inventario de Emisiones de Contaminantes 2019).....	19
Ilustración 5. Contribución porcentual a las emisiones GEI por grupo SNAP (Inventario de Emisiones de Contaminantes 2019) .....	22
Ilustración 7. Indicadores de la Estrategia Madrid 360 (Avance de la Estrategia de Sostenibilidad Ambiental Madrid 360) .....	44
Ilustración 8. Red de vías ciclistas (Geo-portal del Ayuntamiento de Madrid) .....	45
Ilustración 10. Mapa de la zonificación del municipio de Madrid (Estudio del Parque Circulante 2017) .....	56
Ilustración 11. Esquema de las fuerzas agentes sobre los vehículos .....	61

## *Índice de tablas*

Tabla 1. tabla resumen de los criterios de clasificación y ubicación de los puntos de muestreo para la evaluación de las concentraciones de ozono (Anexo viii, Directiva 2008/50/CE)..	10
Tabla 2. Valores objetivo para la protección de la salud humana y la vegetación (Directiva 2008/50/CE) .....	10
Tabla 3. Umbrales de información y alerta (Directiva 2008/50/CE) .....	11
Tabla 4. Valores límite por contaminante (Directiva 2008/50/CE).....	11
Tabla 5. Índices de los grupos SNAP (Inventario de Emisiones de Contaminantes 2019).	13
Tabla 6. Contaminantes clasificados por subcategoría (Inventario de Emisiones de Contaminantes 2019).....	13
Tabla 8. Emisiones totales de GEI expresadas en kt de CO2 equivalente (Inventario de Emisiones de Contaminantes 2019) .....	16
Tabla 9. Contribución porcentual a las emisiones de GEI por tipo de gas (Inventario de Emisiones de Contaminantes 2019) .....	18
Tabla 10. Emisiones de GEI por grupo SNAP (Inventario de Emisiones de Contaminantes 2019).....	20
Tabla 11. Contribución porcentual a las emisiones GEI por grupo SNAP (Inventario de Emisiones de Contaminantes 2019) .....	21
Tabla 12. Perfiles de movilidad (Avance de la Estrategia de Sostenibilidad Ambiental Madrid 360).....	44
Tabla 13. Zonificación del municipio de Madrid y distribución porcentual de recorridos por zona según el modelo de tráfico del Ayuntamiento de Madrid (Estudio del Parque Circulante 2017).....	56
Tabla 14. Composición del vehículo tipo a nivel de sector y desagregado por combustible (Estudio del Parque Circulante 2017).....	58
Tabla 15. Ranking turismos más vendidos del año 2012 (GANVAM) .....	58
Tabla 16. Vehículos patrón seleccionados .....	59
Tabla 17. Especificaciones técnicas de los vehículos patrón (datos tomados de Automobile Catalog) .....	59

Tabla 18. Velocidades medias por zona según el modelo de tráfico del Ayuntamiento de Madrid (Estudio del Parque Circulante 2017) .....	60
Tabla 19. Velocidades legales medias por zona .....	60

## *Glosario*

BC	Black Carbon
CH4	Metano
CM	Comunidad de Madrid
CO	Monóxido de carbono
CO2	Dióxido de carbono
CO2eq	Dióxido de carbono equivalente
COVNM	Compuestos orgánicos volátiles no metánicos
DGT	Dirección General de Tráfico
EMM	Estudio de Movilidad de Madrid
EMT	Empresa Municipal de Transporte
GEI	Gases de Effect Invernadero
GLP	Gas Licuado del Petróleo
GNC	Gas Natural Comprimido
GWP	Potencial de Calentamiento Global
HFC	Hidrofluorocarburos
N2O	Óxido nitroso
NEDC	New European Driving Cycle
NH3	Amoniaco
NOX	Óxidos de nitrógeno
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OPM	Otros modos de Movilidad Personal
PFC	Perfluorocarburos
PM10	Partículas con diámetro aerodinámico inferior a 10 micras
PM2,5	Partículas con diámetro aerodinámico inferior a 2,5 micras
PST	Partículas sólidas totales
RCI	Residencial Comercial e Industrial
SF6	Hexafluoruro de azufre
SNAP	Selected Nomenclature for Air Pollutant
SOX	Óxidos de azufre (SO2+SO3)
VAO	Vehículo de Alta Ocupación
VTC	Vehículo de turismo con conductor
WLTP	Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure
ZBE	Zona de Bajas Emisiones

## **Capítulo 1. INTRODUCCIÓN**

La capital española viene experimentando altos niveles de concentración de contaminantes en la atmósfera durante años. Son muchos los expertos los que vienen avisado de la gravedad de la situación y las perniciosas consecuencias derivadas de la excesiva emisión de gases y sustancias. Estas sustancias resultan nocivas para la salud humana, la biodiversidad y, en la mayoría de los casos, fomentan el cambio climático. La Universidad de Utrecht recientemente publicó en la revista *The Lancet Planetary Health* un ranking en el que la población de Madrid encabeza la lista de ciudades europeas con la mayor concentración de dióxido de nitrógeno y mortalidad atribuible a la misma [21].

Una de las principales actividades contaminantes es el transporte por carretera. El tráfico rodado ha sido el responsable del 38% de las emisiones de gases de efecto invernadero, del 33% en el caso de las sustancias acidificantes y precursoras del ozono y de un aplastante 67% en el caso del material particulado. Si bien es cierto que las últimas ordenanzas y regulaciones han contribuido a su progresiva disminución, los informes facilitados por la misma administración madrileña siguen indicando niveles de contaminación alarmantes. Las instituciones europeas instigan a los países miembros a endurecer sus medidas a través de normativas y sanciones. Sin embargo, la administración madrileña se ha visto incapaz de alcanzar los objetivos de calidad del aire impuestos tras el fracaso de la última estrategia, el Plan Azul.

Ante la urgente necesidad de reducir las emisiones de contaminantes para la protección de la salud y los ecosistemas, así como ceñirse a los límites de las normativas europeas, el Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad del Ayuntamiento de Madrid introduce en 2019 la Estrategia de Sostenibilidad Ambiental 360. La ordenanza consta de una batería de más de 100 medidas dirigidas a fomentar el desarrollo sostenible en las áreas de la ciudad, la movilidad y la administración.

Uno de sus proyectos estrella consiste en prohibir la circulación a todos los vehículos sin distintivo medioambiental para el año 2025. La medida que afectará a todos los vehículos gasolina anteriores al año 2000 y los diésels anteriores al año 2006, prohibirá al 17,9% de los madrileños circular con sus vehículos. Los ciudadanos se verán obligados a cambiar su perfil de movilidad o a adquirir un vehículo nuevo. La medida promete ser efectiva a falta de estudios concretos que estimen la reducción de las emisiones.

El presente estudio analiza el estado de la calidad del aire de la Comunidad de Madrid y modelará el parque circulante de la Comunidad de Madrid para analizar el impacto de las restricciones a la circulación de los vehículos sin distintivo medioambiental y cuantificar la reducción de las emisiones asociadas.

## **Capítulo 2. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO**

### **2.1 *NORMATIVA VIGENTE***

Son muchos los expertos que a lo largo de los años han alertado acerca del cambio climático y sus nocivas consecuencias.

Esta circunstancia ha sido tomada muy en cuenta por la Unión Europea, que ya en el año 2008 elaboró la directiva 2008/50/CE ante la necesidad de reducir los niveles de contaminación respecto al sexto plan de acción comunitaria en materia de medio ambiente del Parlamento Europeo y del consejo de 2002.

Esta nace con los fines de evaluar y mejorar la calidad del aire en los estados miembros, definir y establecer objetivos de calidad del aire y poner la información a disposición de los ciudadanos. Por otro lado, pretende incentivar la cooperación entre los estados miembros para reducir la contaminación atmosférica.

Para homogeneizar la evaluación se establecen criterios comunes con técnicas normalizadas respecto al número y la localización de las mediciones. Los estados deben dividir sus territorios por zonas y clasificarlas en función de la densidad y el tamaño de las poblaciones y los ecosistemas expuestos a contaminación atmosférica.

Para la evaluación del ozono se instalarán distintos tipos de estaciones: Urbana, Suburbana, Rural o Rural de fondo; en función de la zona. Los objetivos de las mediciones son la protección de la salud humana y la vegetación.

Los criterios de macro-implantación varían en función del tipo de estación acorde a la siguiente tabla:

Tipo de estación	Criterios de Macro-implantación	Representatividad
Urbana	Mediciones lejos de focos emisores locales como el tráfico o las gasolineras. Ubicaciones ventiladas que permitan una adecuada mezcla de gases y sustancias: zonas residenciales y comerciales, parques (lejos de los árboles), calles o plazas de tráfico escaso o nulo y otros espacios abiertos.	Km <sup>2</sup>
Suburbana	Mediciones a cierta distancia y orientadas sotavento de las zonas de emisiones máximas en dirección a favor de la formación de ozono. Ubicaciones donde la población, los cultivos o los ecosistemas naturales próximos a una aglomeración estén expuestos a elevados niveles de ozono.	Decenas de Km <sup>2</sup>
Rural	Mediciones realizadas en pequeños emplazamientos y/o en áreas con ecosistemas naturales, bosques o cultivos. Ubicaciones a cierta distancia de focos de emisiones locales como instalaciones industriales o las carreteras. Estaciones situadas en espacios abiertos pero no en las cumbres de montaña de gran altura.	Cientos de Km <sup>2</sup>
Rural de fondo	Mediciones en zonas de baja densidad de población como ecosistemas naturales o bosques, a una distancia de al menos 20 km de las zonas urbanas e industriales y alejadas de los focos de emisiones locales. Estaciones situadas lejos de las zonas donde se produzcan fenómenos de inversión térmica o ciclos eólicos diurnos pronunciados.	De 1.000 a 10.000 Km <sup>2</sup>

*Tabla 3. tabla resumen de los criterios de clasificación y ubicación de los puntos de muestreo para la evaluación de las concentraciones de ozono (Anexo viii, Directiva 2008/50/CE)*

La directiva establece valores límite acompañados de un valor objetivo. Para el ozono, se fija un umbral de alerta para cuando la concentración resulte nociva para la salud humana y la de los ecosistemas expuestos. Superar este umbral debe implicar medidas a corto plazo para reducir los niveles y la divulgación de información relativa a los riesgos de la exposición a elevadas concentraciones de ozono. Las siguientes tablas recogen los valores y fechas objetivo y los umbrales de alerta e información para el ozono:

Objetivo	Periodo medio	Valor objetivo	Fecha objetivo
Protección de la salud humana	Máxima diaria de las medias octohorarias de un año civil	120 µg/m <sup>3</sup>	1 de enero de 2010
Protección de la vegetación	Valores horarios promediados de cinco años (de Mayo a Junio)	18.000 µg/m <sup>3</sup> ·h	

*Tabla 4. Valores objetivo para la protección de la salud humana y la vegetación (Directiva 2008/50/CE)*

Umbral	Periodo medio	Concentración [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Información	1 hora	120
Alerta	1 hora	240

*Tabla 5. Umbrales de información y alerta (Directiva 2008/50/CE)*

Los objetivos de la directiva 2008/50/CE también se articulan en torno a la concentración de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas ( $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2,5}$ ), plomo, benceno y monóxido de carbono. La siguiente tabla recoge los valores límite, las fechas objetivo y los umbrales de alerta para cada contaminante:

	Periodo medio	Valor límite [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Fecha objetivo	Umbral de alerta [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Dióxido de azufre	1 hora	350	Ya en vigor desde el 1 de enero de 2005	500 (medido durante 3 horas consecutivas)
	1 día	125		
Dióxido de nitrógeno	1 hora	200	1 de enero de 2010	400 (medido durante 3 horas consecutivas)
	Año civil	40		
Benceno	Año civil	5	1 de enero de 2010	-
Monóxido de carbono	Media octohoraria	10	Ya en vigor desde el 1 de enero de 2005	-
Plomo	Año civil	0,5	1 de enero de 2010	-
PM10	1 día	50	Ya en vigor desde el 1 de enero de 2005	-
	Año civil	40		

*Tabla 6. Valores límite por contaminante (Directiva 2008/50/CE)*

Aumentaría la sensibilización con la consolidación de la alianza global del Acuerdo de París de 2015 para frenar el cambio climático y encaminar un futuro sostenible. El acuerdo tiene como objetivo a largo plazo mantener el aumento de la temperatura mundial por debajo de los 2 grados centígrados, respecto a los niveles preindustriales.

## ***2.2 INVENTARIO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA***

Para un mejor desempeño de las competencias del Área de Gobierno de Medio Ambiente, el Ayuntamiento de Madrid confecciona anualmente el Inventario de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera. El último Inventario de septiembre de 2021 puesto a disposición de la Dirección General de Sostenibilidad y Control Ambiental por la Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial junto a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid.

El inventario sirve como herramienta para formular normativas dirigidas a prevenir el cambio climático y favorecer la calidad del aire. Los objetivos del inventario son cuantificar el volumen de contaminantes emitidos a la atmósfera y evaluar las principales actividades emisoras. Los resultados son empleados para analizar la efectividad de las medidas dirigidas a reducción emisiones mediante modelos de simulación de la calidad del aire, gestión energética y cambio climático. Así, el inventario supervisa y controla el cumplimiento de los objetivos y compromisos de las políticas medioambientales.

El Inventario de emisiones del año 2019 está elaborado conforme a las guías de la Agencia Europea del Medio Ambiente para trazar estrategias de actuación con arreglo al Convenio sobre Contaminación Atmosférica Transfronteriza de la Comisión Económica Europea de Naciones Unidas.

La evaluación diferencia por potencial actividad emisora de contaminantes a la atmósfera conforme a la nomenclatura SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution). La siguiente tabla recoge los índices de los grupos de actividad SNAP:

01	Combustión en la producción y transformación de energía
02	Plantas de combustión no industrial
03	Plantas de combustión industrial
04	Procesos industriales sin combustión
05	Extracción y distribución de combustibles fósiles y energía geotérmica
06	Usos de disolventes y otros productos
07	Transporte por carretera
08	Otros modos de transporte y maquinaria móvil
09	Tratamiento y eliminación de residuos
10	Agricultura
11	Otras fuentes y sumideros (Naturaleza)

Tabla 7. Índices de los grupos SNAP (Inventario de Emisiones de Contaminantes 2019)

Por otro lado, los contaminantes analizados son categorizados como gases de efecto invernadero (GEI), sustancias acidificantes y precursores de ozono y material particulado según la tabla:

Gases de efecto invernadero (GEI)	CH <sub>4</sub>	Metano
	CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
	HFC	Hidrocarburos
	N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
	PFC	Perfluorocarburos
	SF <sub>6</sub>	Hexafluoruro de azufre
Sustancias acidificantes y precursores de ozono	CO	Monóxido de carbono
	COVNM	Compuestos orgánicos volátiles no metánicos
	NH <sub>3</sub>	Amoniaco
	NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno (NO+NO <sub>2</sub> )
Material particulado	SO <sub>x</sub>	Óxidos de azufre (SO <sub>2</sub> +SO <sub>3</sub> )
	PM <sub>2,5</sub>	Partículas con diámetro aerodinámico < 2,5 µm
	PM <sub>10</sub>	Partículas con diámetro aerodinámico < 10 µm
	PST	Partículas sólidas totales
	BC	Black Carbon

Tabla 8. Contaminantes clasificados por subcategoría (Inventario de Emisiones de Contaminantes 2019)

La siguiente tabla recoge las emisiones totales anuales por contaminante de la comunidad de Madrid del Inventario 2019:

Contaminante	CH4	CO	CO2	COVNM	HFC-125	HFC-134a	HFC-143a	HFC-152a	HFC-227ea	HFC-23	HFC-236fa	HFC-32
Ud.	t	t	kt	t	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
1999	47665	111891	7921	50054	18469	57686	14435	0	92	223	1	4756
2000	47832	95030	7948	46895	27136	72297	19869	0	106	300	1	7952
2001	45160	78773	7806	42577	36518	85519	25796	0	156	377	1	11378
2002	42388	69557	7849	39136	45138	96038	31222	0	203	439	1	14539
2003	37259	56997	7981	37105	54672	121749	37208	0	249	533	1	18042
2004	19928	51307	8318	35080	64114	131457	43088	0	305	581	1	21543
2005	20823	42471	8351	32702	75706	147805	50341	0	372	595	1	25832
2008	20565	36523	8229	30598	99225	171607	57333	0	420	577	0	30074
2007	19449	31622	8060	29208	121700	195306	64317	0	516	597	0	34248
2008	19420	27518	7866	26721	133627	206901	68290	0	621	617	0	36512
2009	19559	22553	7431	24417	121649	194452	64460	0	731	625	0	34199
2010	19823	19649	7004	24013	122169	192370	64615	0	837	625	0	34289
2011	18925	16871	6438	23173	122061	190252	63665	21	992	615	0	35218
2012	18490	13278	6291	22385	123433	189760	61333	82	1208	596	0	38976
2013	17385	12653	6096	21.691	124023	190908	60268	110	1345	570	0	40659
2014	16356	11882	5764	21538	122385	188203	60568	85	1283	524	0	38841
2015	15866	11504	5948	21529	66836	129844	25224	167	1414	477	0	27854
2016	16279	10508	6190	20951	61252	137658	25070	285	1503	430	0	26872
2017	13940	10526	6151	20997	46819	122763	13130	279	1409	390	0	26223
2018	15421	10537	6542	21087	32001	99880	7415	170	1157	355	0	20675
2019	14324	10512	6361	20160	28855	103923	6694	146	1052	321	0	19910

Contaminante	N2O	NH3	NOx	PFC-116	PFC-14	PFC-218	PFC-410	PM10	PM2,5	SF6	SO2	PST
Ud.	t	t	t	kg	kg	kg	kg	t	t	kg	t	t
1999	862	1122	30234	0	0	0	2	2259	2035	278	4634	2568
2000	885	1301	29910	0	0	0	2	2178	1953	285	3880	2491
2001	819	1428	28674	0	0	0	2	2012	1788	303	3246	2322
2002	812	1439	28542	0	0	0	1	1953	1721	321	2848	2275
2003	821	1743	27589	0	0	1	1	1876	1648	347	2742	2192
2004	793	1688	28576	0	0	1	1	1891	1658	387	2666	2215
2005	833	1652	28320	0	0	2	1	1822	1589	435	2146	2140
2008	903	1864	27689	0	0	3	1	1817	1590	470	2284	2124
2007	881	1726	25442	0	0	4	1	1654	1436	508	2165	1961
2008	877	1704	23711	0	0	5	1	1521	1311	539	1583	1816
2009	836	1586	21.630	0	0	4	1	1404	1203	563	1326	1687
2010	820	1633	19643	0	0	4	1	1238	1037	592	1181	1508
2011	774	1558	17583	0	0	4	1	1107	913	581	1112	1367
2012	673	999	16408	0	0	4	0	1026	843	590	997	1266
2013	609	751	15439	0	0	3	0	982	808	586	891	1210
2014	594	670	14537	5	0	4	0	954	779	586	848	1189
2015	573	629	14734	3	0	47	0	950	767	607	825	1194
2016	589	662	14496	3	0	39	0	912	727	623	795	1171
2017	607	702	14612	2	0	58	0	910	726	622	764	1157
2018	574	778	14577	2	0	48	0	882	700	643	752	1125
2019	566	761	14286	1	0	90	0	853	674	653	740	1099

Tabla 9. Emisiones totales por contaminante (Inventario de Emisiones de contaminantes 2019)

El inventario cuantifica las emisiones por kilogramo o tonelada de contaminante emitido. Si bien en todos los casos las unidades son de peso, no procede establecer comparaciones entre

un contaminante y otro con esta información. Esto se debe a que cada contaminante influye de distinta forma en la calidad del aire con diversos grados de impacto. Esta información resulta útil para analizar la evolución anual de las emisiones, por contaminante.

### 2.2.1 EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Gases de efecto invernadero (GEI)	CH <sub>4</sub>	Metano
	CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
	HFC	Hidrocarburos
	N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
	PFC	Perfluorocarburos
	SF <sub>6</sub>	Hexafluoruro de azufre

Los gases de efecto invernadero son aquellos gases que emiten y absorben radiación en el rango infrarrojo. Estos son responsables del efecto invernadero, por el que parte de la radiación emitida por la superficie terrestre es absorbida e irradiada de vuelta a la superficie. Este proceso es responsable del aumento de la temperatura.

Esta naturaleza permite ponderar los GEI en tanto en cuanto contribuyen al calentamiento global, pudiendo así establecer comparaciones entre los distintos contaminantes emitidos a la atmósfera. La unidad de medida para los GEI es el equivalente de dióxido de carbono o CO<sub>2</sub>eq. El CO<sub>2</sub>eq es una medida expresada en toneladas (t) o kilo-toneladas (kt) de la huella de carbono.

El CO<sub>2</sub> actúa como referencia para el resto de los gases de efecto invernadero. Las emisiones de gases expresadas en unidades de masa pueden ser transformadas en toneladas de CO<sub>2</sub>eq multiplicando la masa del gas por su respectivo Potencial de Calentamiento Global o GWP (siglas en inglés de Global Warming Potential). Este es un indicador del calor absorbido por un cierto GEI tomando otro gas como referencia, en este caso CO<sub>2</sub>. El GWP de un gas es calculado en función de su capacidad de absorción de la radiación infrarroja, el espectro de absorción y el tiempo que permanece en la atmósfera. El indicador es calculado para intervalos de 20, 100 o 500 años, normalmente se emplea el periodo de 100 años.

El GWP del óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) para el horizonte temporal de 100 años es igual a 296, por lo que una tonelada de N<sub>2</sub>O equivale a 296 de CO<sub>2</sub> en términos de absorción de calor.

De esta forma el Inventario 2019 calcula las emisiones totales a la atmósfera de los GEI en el Municipio de Madrid expresadas en kt de CO<sub>2</sub> equivalente de la siguiente tabla:

Contaminante	CH4	CO2	HFC	N2O	PFC	SF6	TOTAL
1999	1.335	7.921	209	228	0,0	7	9.699
2000	1.339	7.948	285	235	0,0	7	9.813
2001	1.264	7.806	364	217	0,0	7	9.658
2002	1.187	7.849	434	215	0,0	8	9.692
2003	1.043	7.981	530	218	0,0	8	9.780
2004	558	8.318	604	210	0,0	9	9.699
2005	583	8.351	700	221	0,0	10	9.865
2006	576	8.229	842	239	0,0	11	9.897
2007	545	8.060	981	234	0,0	12	9.831
2008	544	7.866	1.055	232	0,1	13	9.710
2009	548	7.431	981	222	0,0	13	9.195
2010	555	7.004	981	217	0,0	14	8.771
2011	530	6.438	975	205	0,0	14	8.161
2012	518	6.291	970	178	0,0	14	7.971
2013	487	6.096	970	161	0,0	14	7.728
2014	458	5.764	960	157	0,1	14	7.354
2015	444	5.948	531	152	0,5	14	7.090
2016	456	6.190	522	156	0,4	15	7.338
2017	390	6.151	398	161	0,5	15	7.116
2018	432	6.542	289	152	0,5	15	7.431
2019	401	6.361	280	150	0,8	15	7.208

Tabla 10. Emisiones totales de GEI expresadas en kt de CO<sub>2</sub> equivalente (Inventario de Emisiones de Contaminantes 2019)

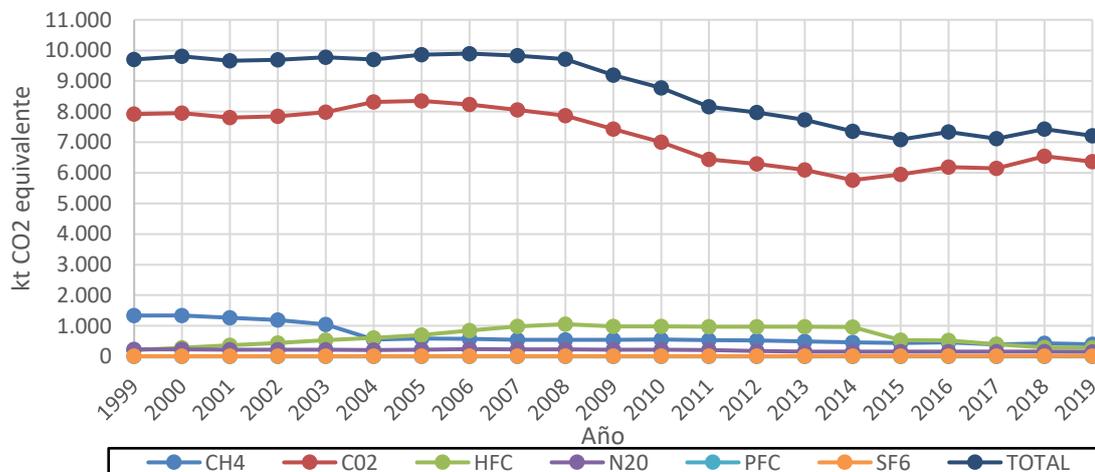


Ilustración 3. Emisiones totales de GEI expresadas en kt de CO<sub>2</sub> equivalente (Inventario de Emisiones de Contaminantes 2019)

Las emisiones de GEI representadas en la anterior ilustración permite apreciar a simple vista la evolución de las emisiones de los gases de efecto invernadero. El Inventario afirma que las emisiones del año 2019 son un 26% inferiores a las del año 1999. Se aprecia que las emisiones se mantienen relativamente constantes entre los años 1999 y 2008. Es en el año 2006 cuando la tendencia de las emisiones totales (siempre en términos de CO<sub>2</sub> eq) torna descendente, siendo más acusada entre los años 2008 y 2015. Las emisiones de GEI a la atmósfera en el municipio de Madrid en el año 2015 son un 28% inferiores respecto a las de 2006.

La disminución de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>) es la principal responsable de la reducción de las emisiones globales de GEI. Las emisiones de CO<sub>2</sub> en 2014 son un 31% menores respecto a las de 2005. Posteriormente, se aprecia una tendencia al alza que equipara el nivel de emisiones al de 2011. Por otro lado, las emisiones de metano disminuyen un 58% entre los años 2000 y 2004. En adelante, las emisiones de CH<sub>4</sub> tienden a estabilizarse.

Como muestra la gráfica, las emisiones de CO<sub>2</sub>, principalmente provenientes del transporte rodado, son notablemente más influyentes que las emisiones de metano generadas en su mayoría por el sector de procesado y eliminación de residuos.

Un nuevo aumento de las emisiones del 3,5% es experimentado en 2016, respecto a 2015, debido principalmente a los sectores “RCI”, “Transporte por carretera” y “Otros modos de transporte”, como detalla el Inventario 2018.

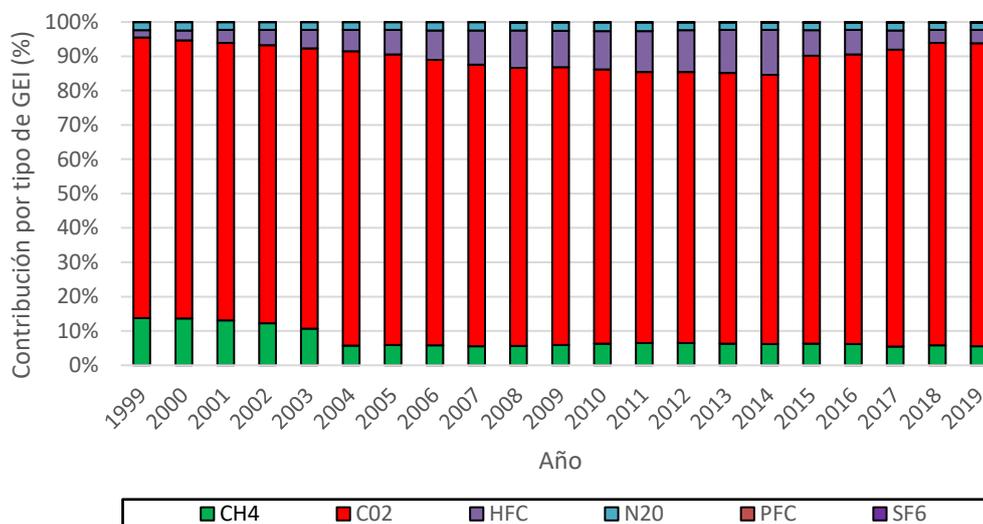
Por otro lado, las emisiones de hidrofluorocarburos ascienden año tras año de forma uniforme desde el primer año inventariado hasta alcanzar un máximo en 2008 de 1055 kt de CO<sub>2</sub> equivalente. Esto se debió principalmente a la expansión de sistemas de refrigeración y aire acondicionado que hacen uso de hidrocarburos halogenados. En los años sucesivos, las emisiones de HFC tienden a estabilizarse hasta el año 2014. Es en 2015 cuando se produce una reducción de las emisiones del 45% en tan solo un año.

En cuanto a las emisiones de NO<sub>2</sub>, sin sufrir fluctuaciones, destaca la reducción de las emisiones del 34% entre 1999 y 2019. Tanto las emisiones de Perfluorocarburos (PFC) como las de Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) resultan irrelevantes en términos de CO<sub>2</sub> equivalente. No obstante, se ha de destacar el ininterrumpido aumento de las emisiones en ambos casos.

Al establecer una unidad extrapolable a las emisiones de todos los gases de efecto invernadero, es ahora posible calcular su contribución porcentual. Si las kt de CO<sub>2</sub> resultaban útiles para analizar la evolución, la contribución porcentual de la siguiente tabla permite ponderar las emisiones de cada GEI dentro de un mismo año:

Contaminante	CH4	CO2	HFC	N2O	PFC	SF6	TOTAL
1999	13,76	81,67	2,15	2,35	0,00	0,07	100
2000	13,65	80,99	2,90	2,39	0,00	0,07	100
2001	13,09	80,82	3,77	2,25	0,00	0,07	100
2002	12,25	80,98	4,48	2,22	0,00	0,08	100
2003	10,66	81,61	5,42	2,23	0,00	0,08	100
2004	5,75	85,76	6,23	2,17	0,00	0,09	100
2005	5,91	84,65	7,10	2,24	0,00	0,10	100
2006	5,82	83,15	8,51	2,41	0,00	0,11	100
2007	5,54	81,99	9,98	2,38	0,00	0,12	100
2008	5,60	81,01	10,87	2,39	0,00	0,13	100
2009	5,96	80,82	10,67	2,41	0,00	0,14	100
2010	6,33	79,85	11,18	2,47	0,00	0,16	100
2011	6,49	78,89	11,95	2,51	0,00	0,17	100
2012	6,50	78,92	12,17	2,23	0,00	0,18	100
2013	6,30	78,88	12,55	2,08	0,00	0,18	100
2014	6,23	78,38	13,05	2,13	0,00	0,19	100
2015	6,26	83,89	7,49	2,14	0,01	0,20	100
2016	6,21	84,36	7,11	2,13	0,01	0,20	100
2017	5,48	86,44	5,59	2,26	0,01	0,21	100
2018	5,81	88,04	3,89	2,05	0,01	0,20	100
2019	5,56	88,25	3,88	2,08	0,01	0,21	100

*Tabla 11. Contribución porcentual a las emisiones de GEI por tipo de gas (Inventario de Emisiones de Contaminantes 2019)*



*Ilustración 4. Contribución porcentual a las emisiones de GEI por contaminante (Inventario de Emisiones de Contaminantes 2019)*

La anterior ilustración muestra que el contaminante más influyente en términos de emisiones a la atmósfera en el Municipio de Madrid es el CO<sub>2</sub>. El dióxido de carbono representa, en promedio, el 82% de las emisiones totales de los GEI según el Inventario 2019. Su máximo se alcanza en los últimos dos años inventariados con una representatividad del 88%. La contribución de los compuestos PFC y SF<sub>6</sub> es prácticamente despreciable.

Destaca la disminución de la contribución de metano experimentada entre los años 2000 y 2004. Esta se debe principalmente a la reducción de las emisiones de CH<sub>4</sub>. Las plantas de biometanización de La Paloma y Las Dehesas del vertedero de Valdemingomez dieron una segunda vida al CH<sub>4</sub> como biocombustible y para la producción de energía eléctrica. Se ha de atender el aumento de la contribución de las emisiones de HFC, con un peso promedio del 8% para los años analizados. En los últimos años se produce una disminución de la contribución de las emisiones de hidrofluorocarburos, similar a la del año 2001.

El Inventario 2019 cuantifica las emisiones por grupo SNAP. De este modo es posible analizar la contribución de aquellas actividades que más contaminantes emiten a la atmósfera

en el municipio de Madrid. Para los gases de efecto invernadero las emisiones son expresadas en términos de CO<sub>2</sub> equivalente.

Año	G_02	G_03	G_04	G_05	G_06	G_07	G_08	G_09	G_10	G_11	TOTAL
1999	2595	604	19	21	347	3885	675	1537	6	9	9699
2000	2551	556	23	21	425	3926	742	1555	6	9	9813
2001	2479	496	20	19	504	3875	761	1489	6	9	9658
2002	2358	449	23	19	568	4011	717	1533	6	9	9692
2003	2559	495	23	21	657	3897	669	1445	6	10	9780
2004	2676	459	26	20	724	4079	705	995	4	10	9699
2005	2695	455	27	18	830	4066	728	1032	3	10	9865
2006	2558	458	33	18	983	3925	898	1012	3	10	9897
2007	2614	485	29	19	1119	3660	927	964	3	10	9831
2008	2611	480	26	17	1186	3520	864	993	3	10	9710
2009	2507	380	13	19	1099	3334	792	1037	3	10	9195
2010	2371	367	19	18	1095	3166	733	1026	3	10	8809
2011	2234	353	14	19	1078	2787	731	955	3	10	8185
2012	2324	325	1	20	1061	2635	681	911	3	10	7971
2013	2339	368	1	20	1052	2532	602	801	3	10	7728
2014	2104	363	1	17	1043	2537	609	667	3	10	7354
2015	2043	376	1	17	609	2725	664	643	3	10	7090
2016	2200	412	1	19	602	2694	735	663	3	10	7338
2017	2070	406	1	18	480	2737	763	628	3	10	7116
2018	2318	455	1	21	371	2653	821	777	3	10	7431
2019	2183	442	1	20	358	2591	864	735	3	10	7208

*Tabla 12. Emisiones de GEI por grupo SNAP (Inventario de Emisiones de Contaminantes 2019)*

A simple vista, las actividades que reportan mayores emisiones en todo el periodo inventariado son los grupos SNAP G\_02 (Plantas de combustión no industrial) y G\_07 (Transporte por carretera). Entre los años 1999 y 2008 las emisiones totales de GEI se han mantenido prácticamente inalteradas. Para este periodo, el aumento de las emisiones de los grupos G\_06 y G\_08 es subsanado por la disminución de los grupos G\_07 y G\_09.

Es entre los años 2008 y 2015 donde se aprecia una notable disminución. En adelante, las emisiones totales se mantienen en torno a las 7200 kt de CO<sub>2</sub> equivalente con ligeras fluctuaciones.

Las emisiones grupo SNAP G\_06, ‘Usos de disolventes y otros productos’ están principalmente influenciadas por los contaminantes PFC y HFC. Las actividades más

influyentes están relacionadas con los sistemas de refrigeración y aire acondicionado y el uso de aerosoles.

Las emisiones del grupo SNAP G\_04, ‘Procesos industriales sin combustión’, están dominadas prácticamente en su totalidad por la producción de acero. La disminución de esta actividad es la responsable de la drástica reducción de las emisiones de GEI a partir del año 2006. Es en 2012 cuando cesa de producción de acero en el municipio de Madrid, desplomando las emisiones del G\_04.

La siguiente tabla recoge la contribución porcentual de cada grupo SNAP a las emisiones de GEI en el Municipio de Madrid.

Año	G_02	G_03	G_04	G_05	G_06	G_07	G_08	G_09	G_10	G_11	TOTAL
1999	26,76	6,23	0,20	0,22	3,58	40,06	6,96	15,85	0,06	0,09	100
2000	26,00	5,67	0,23	0,21	4,33	40,01	7,56	15,85	0,06	0,09	100
2001	25,67	5,14	0,21	0,20	5,22	40,12	7,88	15,42	0,06	0,09	100
2002	24,33	4,63	0,24	0,20	5,86	41,38	7,40	15,82	0,06	0,09	100
2003	26,17	5,06	0,24	0,21	6,72	39,85	6,84	14,78	0,06	0,10	100
2004	27,59	4,73	0,27	0,21	7,46	42,06	7,27	10,26	0,04	0,10	100
2005	27,32	4,61	0,27	0,18	8,41	41,22	7,38	10,46	0,03	0,10	100
2006	25,85	4,63	0,33	0,18	9,93	39,66	9,07	10,23	0,03	0,10	100
2007	26,59	4,93	0,29	0,19	11,38	37,23	9,43	9,81	0,03	0,10	100
2008	26,89	4,94	0,27	0,18	12,21	36,25	8,90	10,23	0,03	0,10	100
2009	27,26	4,13	0,14	0,21	11,95	36,26	8,61	11,28	0,03	0,11	100
2010	26,92	4,17	0,22	0,20	12,43	35,94	8,32	11,65	0,03	0,11	100
2011	27,29	4,31	0,17	0,23	13,17	34,05	8,93	11,67	0,04	0,12	100
2012	29,16	4,08	0,01	0,25	13,31	33,06	8,54	11,43	0,04	0,13	100
2013	30,27	4,76	0,01	0,26	13,61	32,76	7,79	10,36	0,04	0,13	100
2014	28,61	4,94	0,01	0,23	14,18	34,50	8,28	9,07	0,04	0,14	100
2015	28,82	5,30	0,01	0,24	8,59	38,43	9,37	9,07	0,04	0,14	100
2016	29,98	5,61	0,01	0,26	8,20	36,71	10,02	9,04	0,04	0,14	100
2017	29,09	5,71	0,01	0,25	6,75	38,46	10,72	8,83	0,04	0,14	100
2018	31,19	6,12	0,01	0,28	4,99	35,70	11,05	10,46	0,04	0,13	100
2019	30,29	6,13	0,01	0,28	4,97	35,95	11,99	10,20	0,04	0,14	100

*Tabla 13. Contribución porcentual a las emisiones GEI por grupo SNAP (Inventario de Emisiones de Contaminantes 2019)*

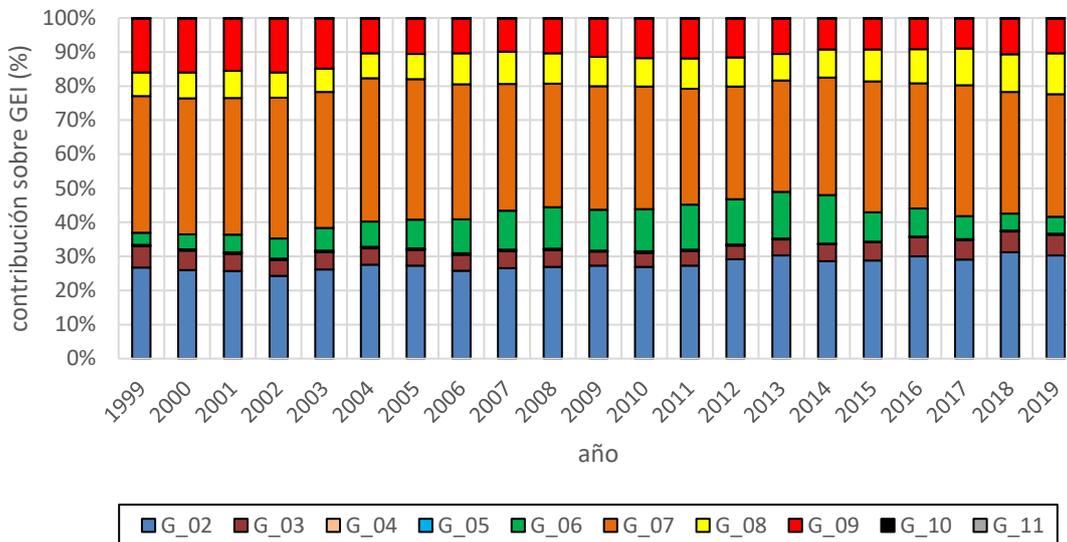


Ilustración 5. Contribución porcentual a las emisiones GEI por grupo SNAP (Inventario de Emisiones de Contaminantes 2019)

La gráfica muestra que dos grupos SNAP dominan en todo el periodo inventariado las emisiones de GEI. Estos son el G\_02 y G\_07, con una contribución conjunta promedio del 65%. En ninguno de los anteriores grupos se aprecian importantes variaciones. Los grupos ‘Plantas de combustión no industrial’ y ‘Transporte por carretera’ tienen una contribución promedio al total de emisiones de GEI del 28% y el 38%, respectivamente.

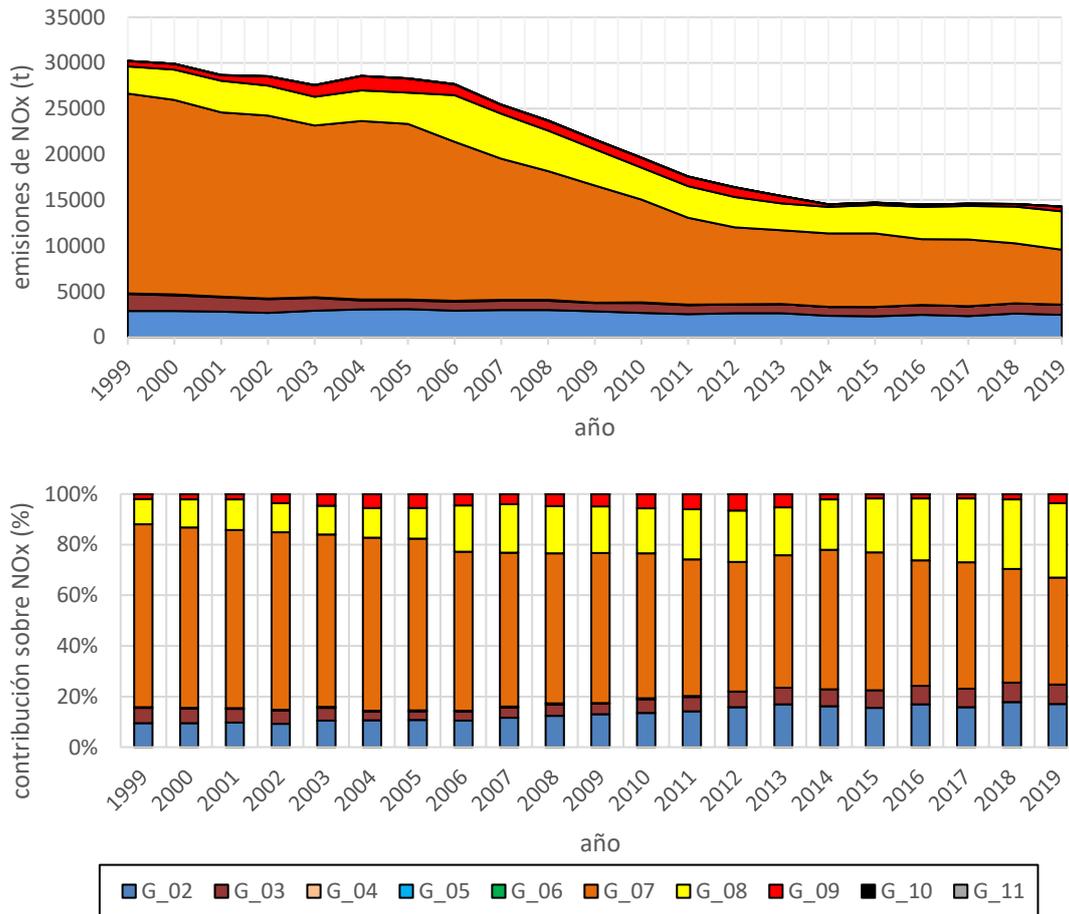
El tercer grupo más influyente es el G\_09 con una contribución promedio del 12%. Destaca en el sector ‘Tratamiento y eliminación de residuos’ la progresiva disminución del 52% hasta el año 2019. Destaca un progresivo aumento de la contribución de las actividades relacionadas con los disolventes del grupo G\_06 debido al incremento de las emisiones experimentado hasta el año 2008. En los años sucesivos se produce una drástica reducción superior al 200% respecto a las emisiones de 2019.

## 2.2.2 EMISIONES DE SUSTANCIAS ACIDIFICANTES Y PRECURSORES DE OZONO

Sustancias acidificantes y precursores de ozono	CO	Monóxido de carbono
	COVNM	Compuestos orgánicos volátiles no metánicos
	NH <sub>3</sub>	Amoniaco
	NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno (NO+NO <sub>2</sub> )
	SO <sub>x</sub>	Óxidos de azufre (SO <sub>2</sub> +SO <sub>3</sub> )

Las siguientes gráficas representan las emisiones de NO<sub>x</sub> y la contribución porcentual de cada grupo SNAP en el Municipio de Madrid.

Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)



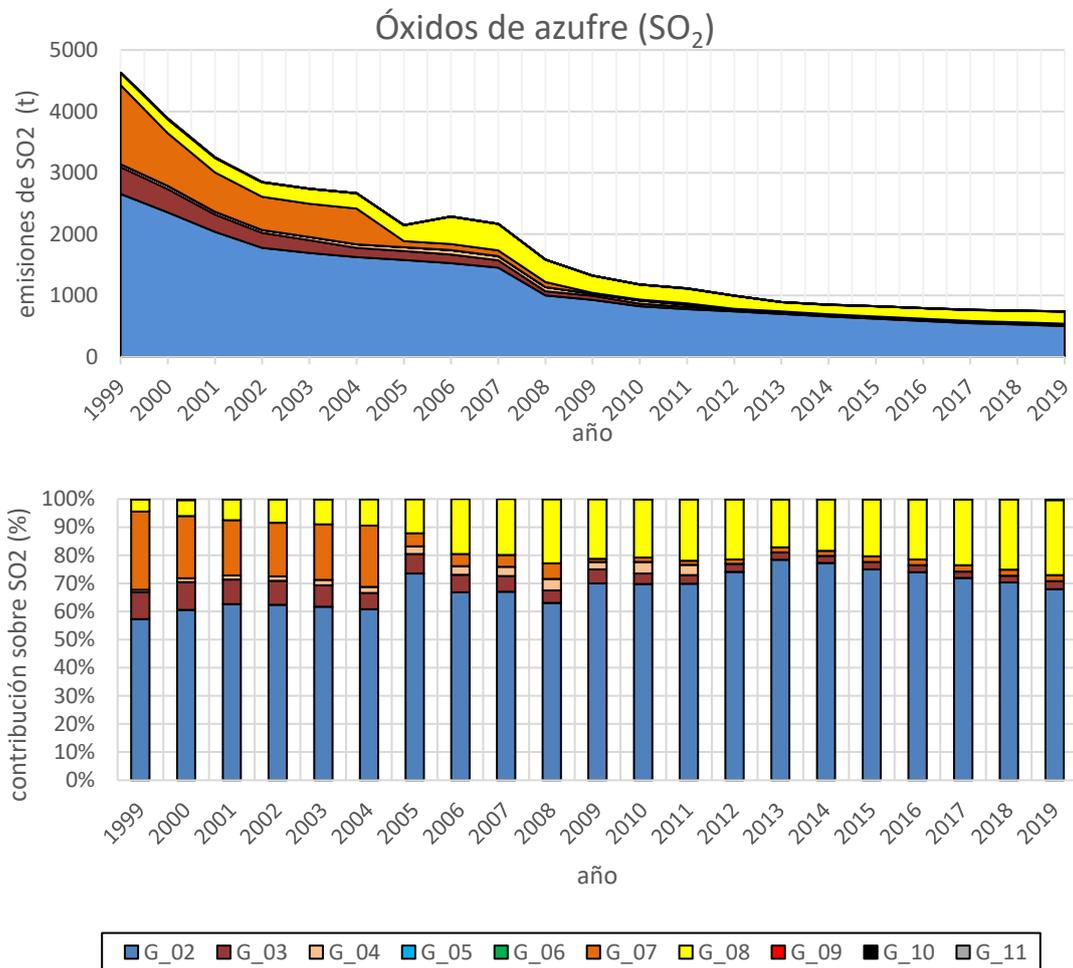
Las emisiones totales de NO<sub>x</sub> han experimentado una notable disminución en el periodo inventariado. La reducción más acusada, del 47%, se produce en el intervalo de 2006 a 2014. En adelante, las emisiones totales de óxidos de nitrógeno tienden a estabilizarse.

La disminución se produce principalmente a la reducción de las emisiones ligadas al sector del transporte por carretera (G\_07). Las emisiones del último año inventariado son un 53% menores respecto a 1999. El resto de los grupos SNAP no experimentan importantes fluctuaciones.

El transporte rodado es el responsable de aproximadamente el 60% de las emisiones de NO<sub>x</sub>. Otros medios de transporte pertenecientes al SANP G\_08 contribuyen en un 18% a las emisiones totales de óxidos de nitrógeno. Se aprecia una disminución en el año 2008 debido a una menor actividad de los aeropuertos y empleo de gasóleos. Destaca el aumento debido al SNAP G\_09 que engloba las actividades de tratamiento de residuos. Las emisiones de 2004 un 166% mayores que las de 1999. En 2013 comienza una tendencia a la baja debido al cierre de las plantas de secado de lodos, por el empleo de gas natural.

De nuevo, el cese de la producción de acero en el municipio es el responsable de la no emisión de NO<sub>x</sub> del SNAP G\_04 a partir de 2012.

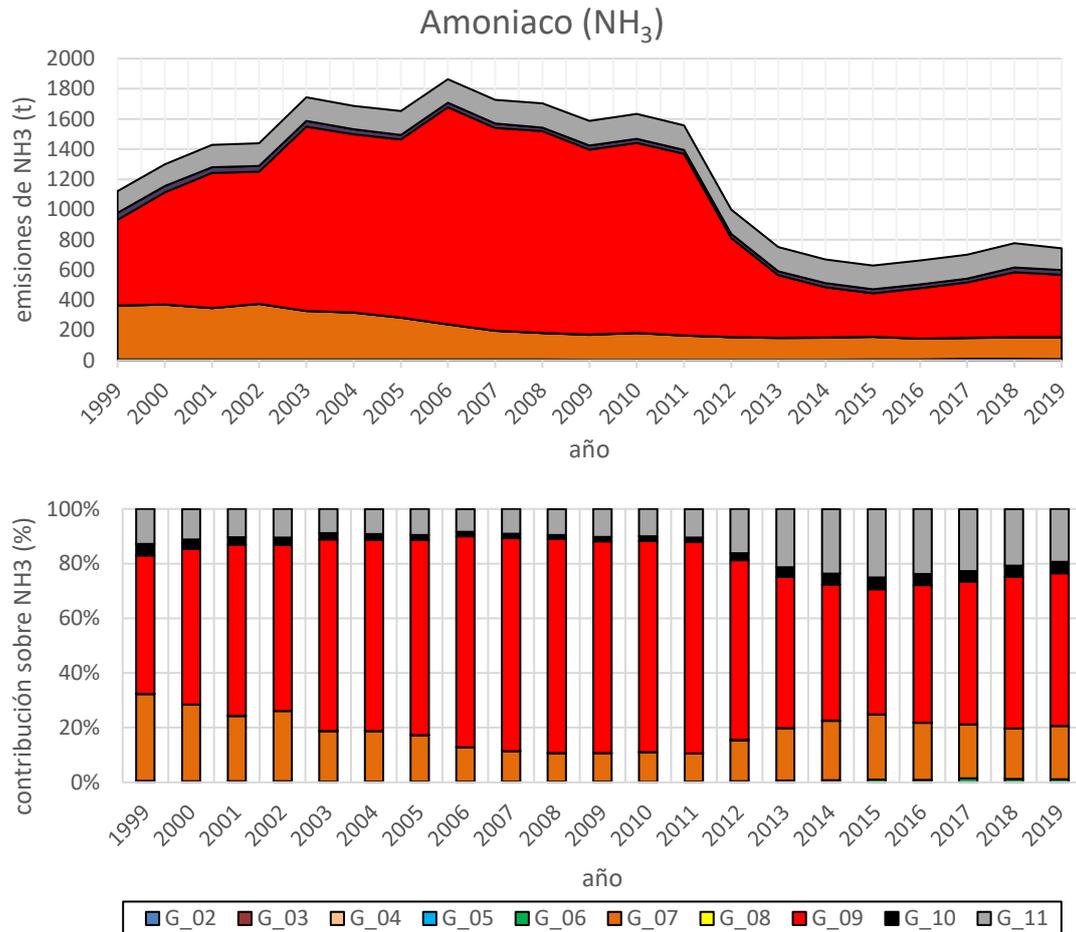
Las siguientes gráficas representan las emisiones de SO<sub>2</sub> y la contribución porcentual de cada grupo SNAP en el Municipio de Madrid.



Las emisiones de SO<sub>2</sub>, al igual que las de NO<sub>x</sub>, tienden a disminuir en todo el periodo inventariado. Las emisiones óxidos de azufre de 2019 experimentan una reducción del 84% respecto a 1999. Todos los grupos SNAP comparten esta tendencia, que es más acusada hasta el año 2010.

La actividad de las plantas de combustión no industrial del grupo G\_02 es la más influyente con una contribución promedio del 68%. Hasta 2005, el transporte rodado representaba un no menos importante 22%. Es entonces cuando las emisiones sufren una importante disminución del 83% debido a la reducción del azufre en la combustión del gasóleo. El aumento de la contribución de otros medios de transporte del grupo G\_08 se debe a un mayor consumo de combustibles, llegando a representar el 27% de las emisiones de SO<sub>2</sub> en 2019.

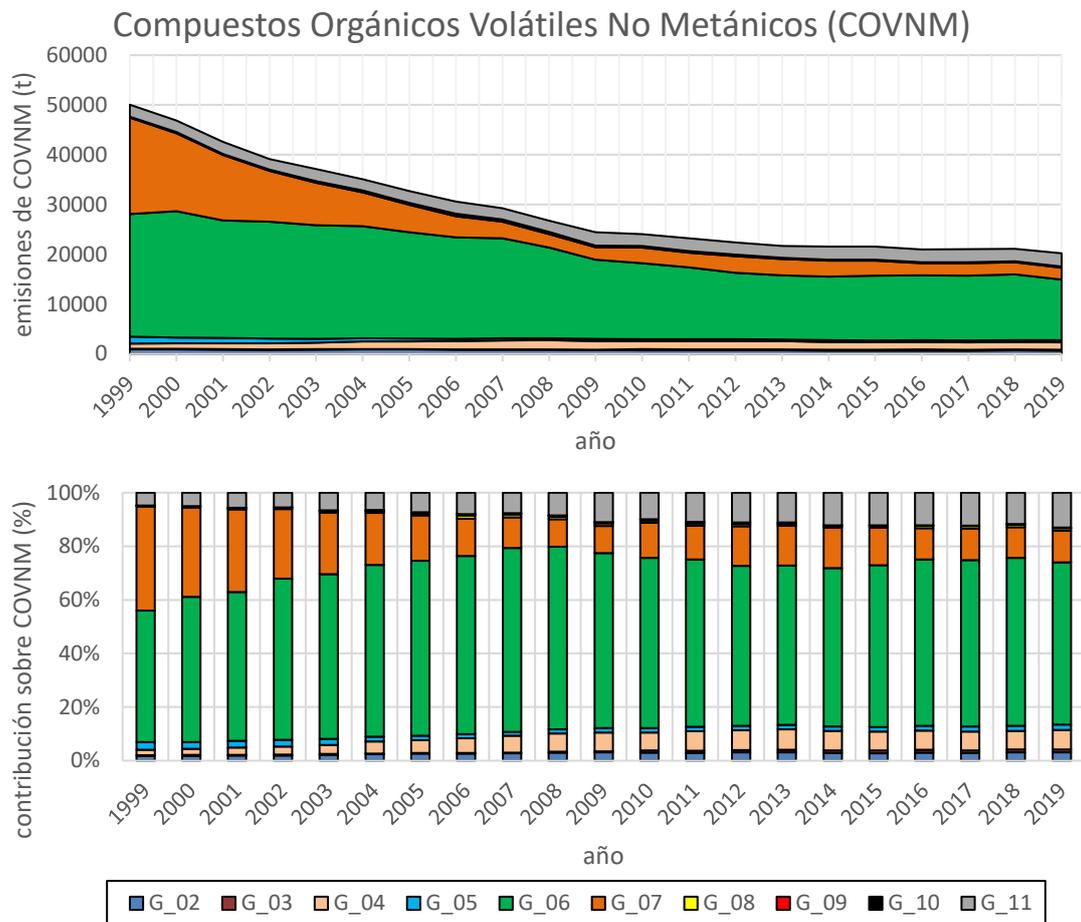
Las siguientes gráficas representan las emisiones de NH<sub>3</sub> y la contribución porcentual de cada grupo SNAP en el Municipio de Madrid.



La tendencia de las emisiones de NH<sub>3</sub> está muy vinculada a las actividades de tratamiento de residuos del SNAP G\_09, con una contribución promedio del 64%. El amoniaco emitido a la atmósfera en el municipio de Madrid aumenta hasta 2006, siendo las emisiones un 66% superiores respecto a 1999. Como indica el Inventario 2019, la drástica reducción del 76% entre 2011 y 2015 se debe a que los residuos que se compostaban en el Parque Tecnológico de Valdemingómez y en la Planta de compostaje de Migas Calientes, pasaron en 2012 a ser biometanizados en las plantas de Las Dehesas y La Paloma. En 2016 inicia un moderado aumento de las emisiones de NH<sub>3</sub> debido a la reactivación del compostaje en la planta de La Paloma. Destaca la uniforme disminución de las emisiones de amoniaco debidas al

transporte por carretera con una reducción en 2019 del 60% respecto al año 1999. La contribución promedio del grupo SNAP G\_07 es del 18% con máximo del 32% en 1999.

Por último, se analizará las emisiones de contaminantes precursores de ozono (COVNM y CO) y su contribución porcentual de cada grupo SNAP en el Municipio de Madrid.



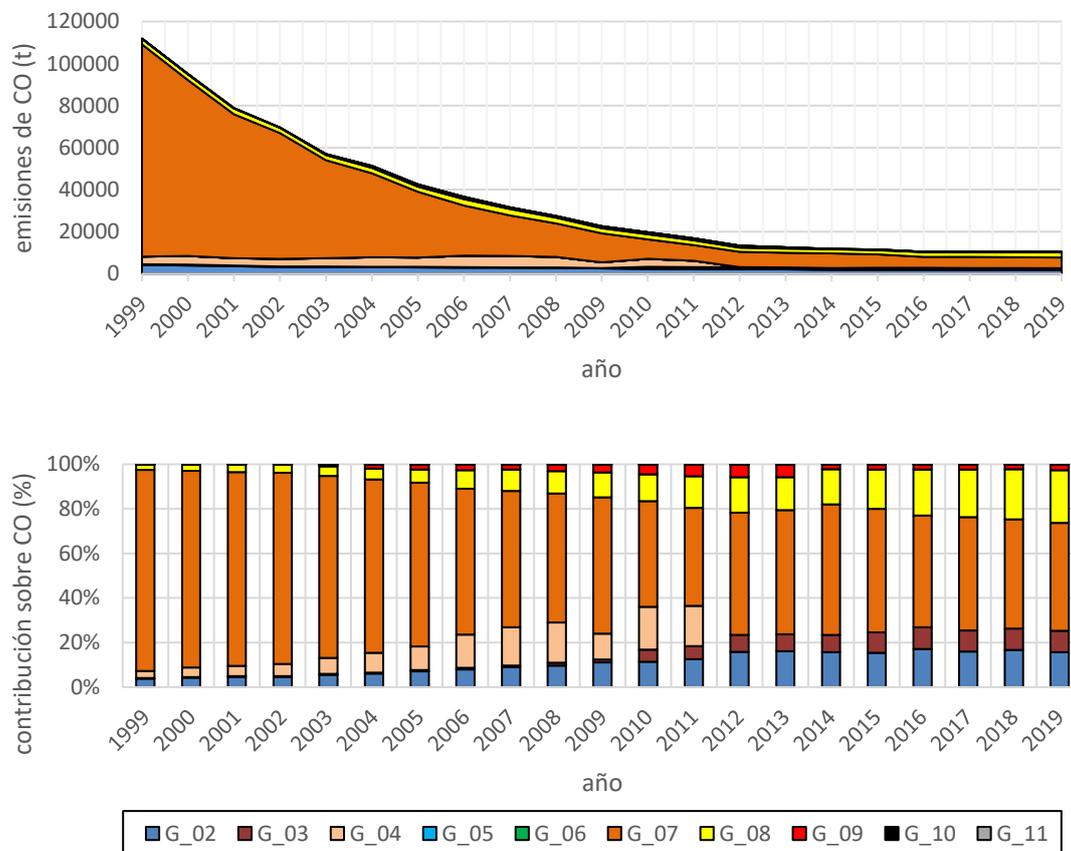
La evolución de las emisiones de los compuestos orgánicos volátiles no metánicos destaca por una progresiva disminución hasta 2019. Esta reducción del 60% respecto a 1999 se debe esencialmente a los grupos SNAP G\_06 y G\_07. Sin tener gran impacto sobre las emisiones totales, destaca la actual reducción del 75% respecto a 1999.

El uso de disolventes y otros productos es la actividad más influyente sobre las emisiones de COVNM con una contribución promedio del 70% en los veintiún años analizados. Le sigue

el tráfico rodado, que experimenta una disminución del 88%, con una contribución promedio del 17%.

Por último, en cuanto a las emisiones de monóxido de carbono, las siguientes gráficas representan la evolución y contribución, respectivamente.

Monóxido de carbono (CO)



En cuanto a la evolución de las emisiones totales de CO a la atmósfera en el municipio de Madrid, la tendencia es similar a la de los COVNM. Experimenta una reducción, comparativamente más acusada, del 91% respecto a las emisiones del año 1999.

El grupo que lidera las emisiones de monóxido de carbono es el tráfico por carretera, SNAP G\_07, con una contribución promedio del 64%. La disminución del 95% de sus emisiones respecto al primer año es la responsable de que aumente la contribución de los otros grupos

SNAP. Es el caso del sector ‘Otros modos de transporte y maquinaria móvil’ que, sin producirse importantes variaciones, su contribución en el año 2019 es doce veces mayor respecto a las de comienzos de siglo.

Destaca el aumento superior al 260% de las emisiones de CO relativas al SNAP G\_03 en el año 2010. Según el Inventario 2019, esto se debió al incremento del consumo de gas natural de la planta de trigeneración de que abastece energéticamente la terminal T4 del aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas.

De nuevo, el motivo de la caída de las emisiones de CO del grupo SNAP G\_03 es el cese de la producción de acero en la comunidad de Madrid en el año 2012.

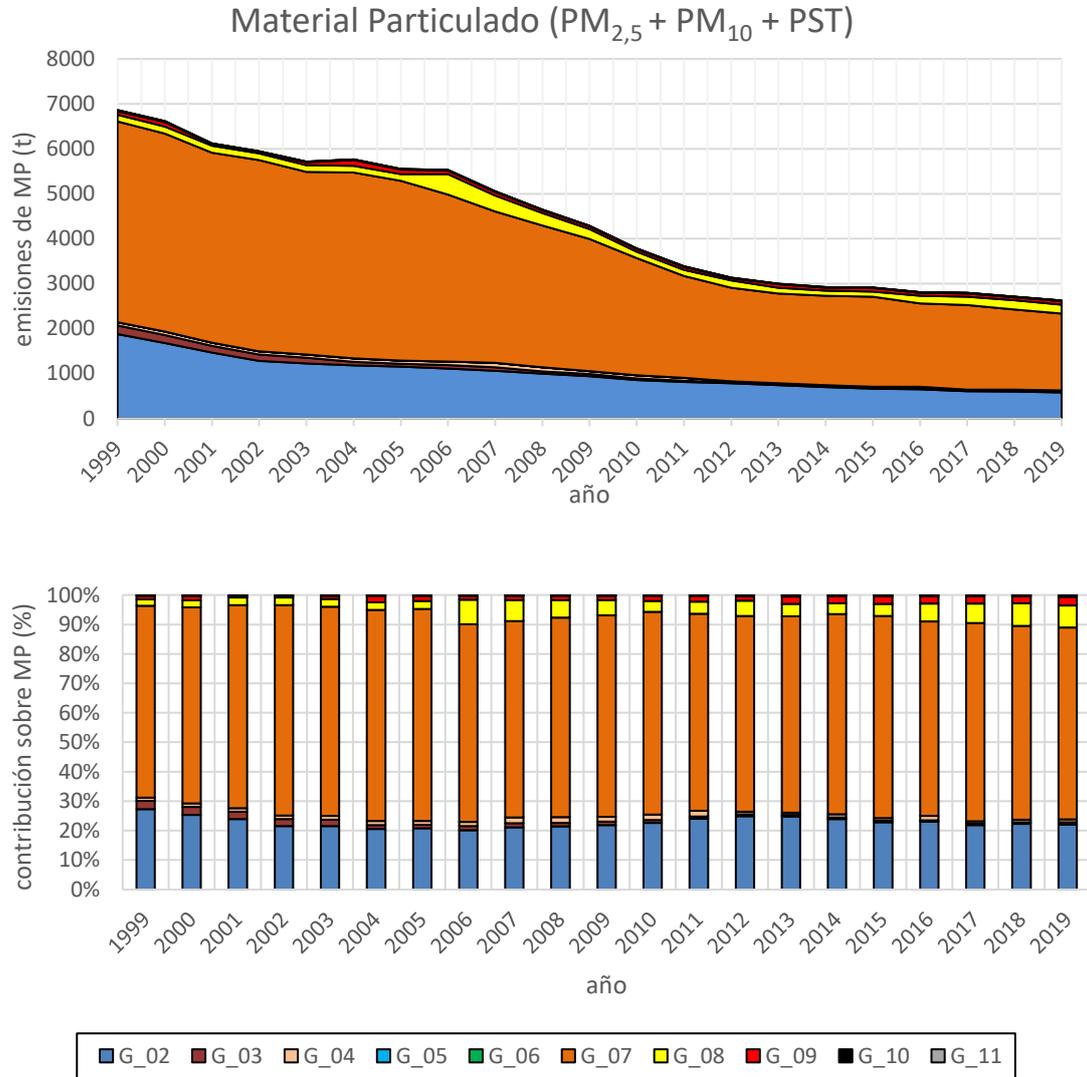
En ningún momento se habla de emisiones de ozono. Esto se debe a que este contaminante no es propiamente emitido, sino formado por la reacción de los compuestos orgánicos volátiles y los óxidos de nitrógeno en presencia de radiación solar.

### **2.2.3 EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO**

Material particulado	PM <sub>2,5</sub>	Partículas con diámetro aerodinámico < 2,5 µm
	PM <sub>10</sub>	Partículas con diámetro aerodinámico < 10 µm
	PST	Partículas sólidas totales

Todo material participado (PM<sub>2,5</sub> PM<sub>10</sub> y PST) comparte una tendencia prácticamente idéntica tanto en la evolución de las emisiones como en la contribución de los grupos SNAP que las generan. En el Inventario 2019 se estudia cada contaminante por separado. Sin embargo, para simplificar su análisis, resulta interesante analizar como conjunto las emisiones del material particulado.

Para ello, sumando las emisiones anuales totales de las distintas partículas (del Inventario 2019) se han obtenido las siguientes gráficas de la evolución de emisiones y contribución porcentual de cada grupo SNAP, respectivamente.



Las emisiones de material particulado disminuyen progresivamente en todo el periodo objeto de análisis. Las emisiones de 2019 son un 62% menores respecto a 1999. Esta importante reducción se debe esencialmente a las menores emisiones de los grupos SNAP G\_02 y G\_07.

Las emisiones de material particulado tienden a decrecer en todos los grupos. La excepción es el grupo SNAP G\_08, con unas emisiones a 2019 un 34% superior respecto al primer año.

El tráfico rodado del G\_07 lidera las emisiones de todo material particulado con con una contribución promedio cercano al 70%. La segundo sector más contaminante es el relativo a

la combustión no industrial del G\_02 con una disminución del 69% y una contribución promedio del 23% sobre las emisiones totales anuales.

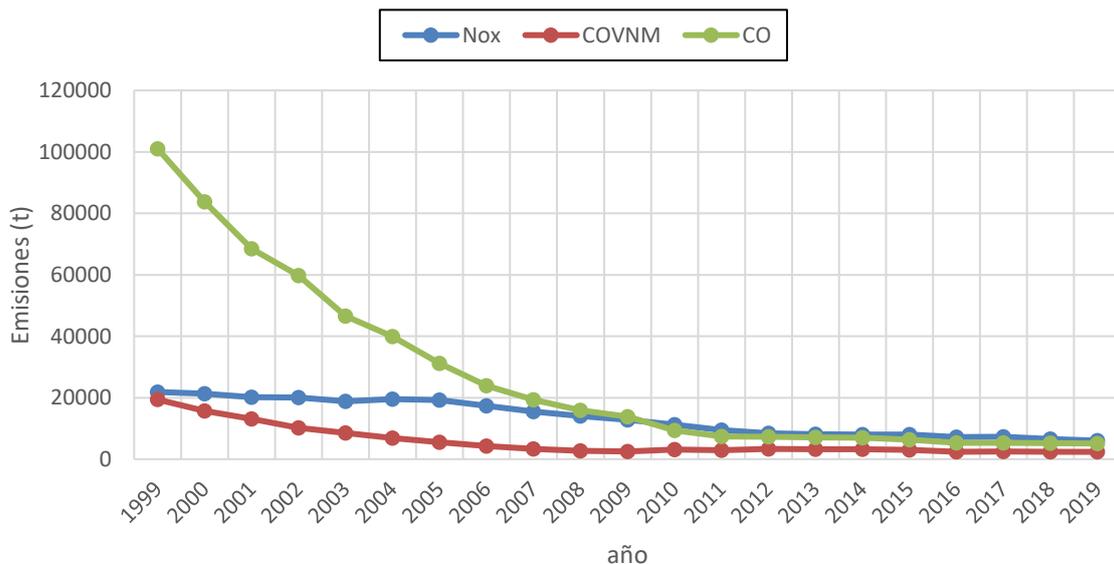
Tales disminuciones son las responsables del aumento de la contribución del resto de grupos como el G\_08; ‘Otros modos de transporte y maquinaria movil’ aumenta en un 34% sus emisiones, mientras su contribución sobre las emisiones totales crece un 400% para el mismo intervalo.

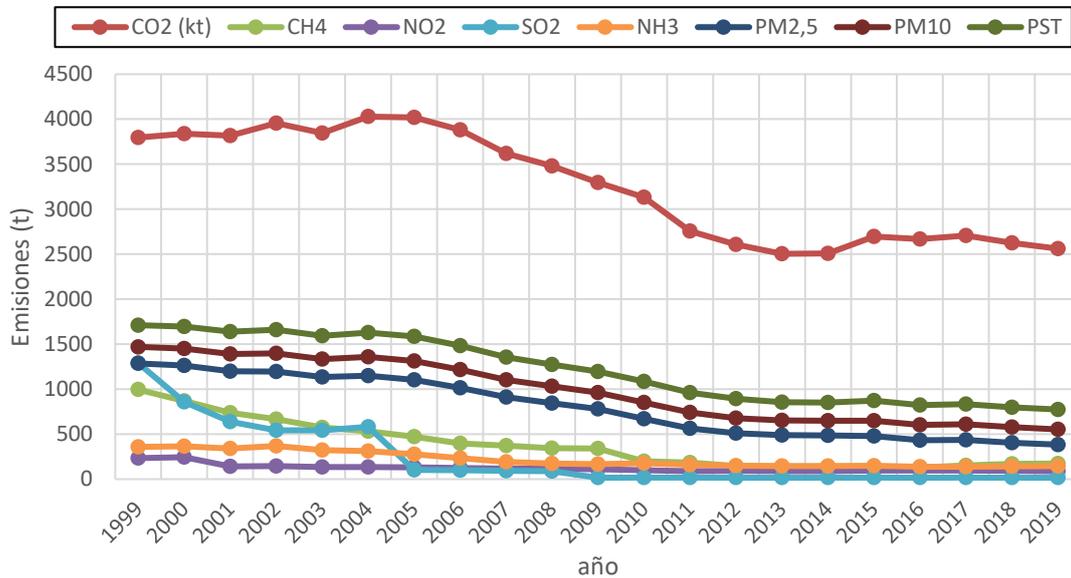
Así quedan analizadas la evolución de las emisiones por contaminante y la contribución de cada grupo SNAP sobre ellas.

#### 2.2.4 EMISIONES DEBIDAS AL TRANSPORTE POR CARRETERA

Se aprecia que para todos los contaminantes el transporte rodado del grupo SNAP G\_07 tiene influencia sobre las emisiones totales, en algunos casos llegando a representar el 70%. Es por ello que resulta interesante analizar las emisiones del sector en detalle.

Con la información disponible en el Inventario 2019 se han elaborado las siguiente gráficas para analizar la evolución de las emisiones debidas al transporte rodado por contaminante:





Por otro lado, en la siguiente tabla resumen se recoge la contribución promedio del transporte rodado sobre las emisiones totales de cada contaminante:

Contaminante	Contribución (%)
GEI	37,61
CO2	45,11
CH4	1,45
NO2	16,16
NOx	59,14
SO2	8,05
NH3	18,39
COVNM	17,42
CO	64,01
PM 2,5	63,60
PM 10	67,85
PST	70,98

Se aprecia que, en prácticamente uno de cada dos contaminantes analizados, el grupo SNAP 07 es responsable de más de la mitad de las emisiones. El transporte rodado es especialmente influyente sobre las emisiones de material particulado con una contribución media del 67%. No menos importante es la contribución media del 33% sobre las anteriores sustancias acidificantes y precursoras de ozono. El SNAP 07 tiene una contribución del 38% sobre las emisiones de GEI.

Se concluye que el tráfico rodado es la actividad más emisora de contaminantes a la atmósfera en el municipio de Madrid. Los datos de las emisiones debidas al SNAP 07 del Inventario 2019 provienen de los Estudios del Parque Circulante de la Ciudad de Madrid de 2013 y su más actualizada edición, de 2017. Este último será analizado más adelante para estudiar el parque móvil de Madrid.

Según el Inventario 2019, la disminución del 33% de las emisiones de GEI, ligadas a la reducción de CO<sub>2</sub>, se debe a:

- 1.- La incorporación de nuevas tecnologías, como la hibridación o la electrificación, con menores o nulas emisiones por kilómetro rodado y la transición hacia de tipos de vehículos menos contaminantes, como motocicletas y ciclomotores. También influye el menor consumo de carburante de los sistemas de propulsión más contemporáneos.
- 2.- La implantación de mejoras en el sector del transporte público municipal. El sector del taxi se ha visto beneficiado por políticas municipales y autonómicas dirigidas a incentivar y potenciar la compra de vehículos eléctricos, hibridados o propulsados por combustibles alternativos como GNC (gas natural comprimido) o GLP (gas licuado del petróleo). Por otro lado, la Empresa Municipal de Transporte (EMT) finalizó 2019 con una flota de 50 autobuses eléctricos y otros 1540 propulsados por GNC.

Dada la relevancia del sector del transporte rodado, el posterior estudio de la ordenanza Madrid 360 priorizará el análisis de los perfiles y tipologías de movilidad y transporte y sus respectivas medidas, restricciones y propuestas.

## **Capítulo 3. OBJETIVOS**

### ***3.1 CONTEXTO, IMPLICACIONES Y PERSPECTIVA SOCIAL***

Para aumentar el parque de vehículos limpios, promocionar los vehículos de alta ocupación y modos compartidos cero emisiones, la estrategia medioambiental Madrid 360 plantea una amplia batería de proyectos.

Por un lado, contempla incentivar el cambio a vehículos menos contaminantes a través de líneas de ayudas con valor total de 25 millones de euros para la compra de turismos y motocicletas con distintivos C, ECO y 0 y bonificaciones para los mismos. Los vehículos híbridos y eléctricos se verían beneficiados de una ampliación de la red de recarga rápida pública y de una línea de ayudas de 5 millones de euros para la instalación de puntos de recarga en oficinas y comunidades de propietarios. Además, se pretende fomentar el carshearing en la ciudad.

Por otro lado, la ordenanza impone restricciones a nivel municipal para aquellos vehículos sin distintivo. En primer lugar, los no residentes en Madrid no podrán circular por el interior de la M30 desde enero de 2022. Posteriormente, los no residentes con vehículos A no podrán acceder a la M30 a partir de enero de 2023. Finalmente, en enero de 2024 tendrán prohibido circular en todo el término municipal.

Es en 2025 cuando todo vehículo sin distintivo (sea residente o no) será excluido de la circulación en el municipio de Madrid. Se trata de una drástica medida que afectaría al 17,9% de turismos, al 21,5% de vehículos ligeros y al 22,7% de vehículos pesados atendiendo a la proporción de vehículos sin distintivo según el EPCM 2017.

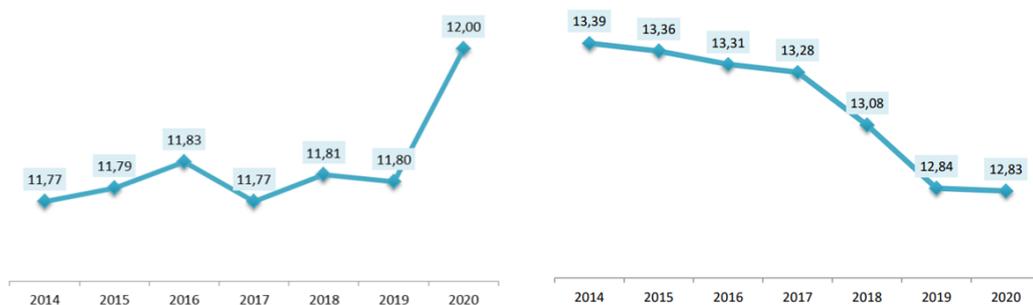
Un porcentaje cercano al 20% de los conductores madrileños van a verse privados de la posibilidad de hacer uso de la red viaria del municipio de Madrid con sus actuales vehículos.

Esto confluye en dos potenciales alternativas. Por un lado, la compra de un vehículo con distintivo medioambiental o el salto del vehículo privado al transporte público.

En primer lugar, los vehículos sin distintivo son aquellos con mayor antigüedad, diéseles anteriores a 2006 y gasolineros anteriores a 2000. Estos vehículos están principalmente en manos de los madrileños menos pudientes que no podrían permitirse la compra de un turismo nuevo. Desde agosto de 2018 el IPC de vehículos nuevos ha mantenido una tendencia al alza.

Madrid ostenta la más alta de las rentas per cápita. Sin embargo, los madrileños registraron una renta media neta media anual de 14.580€ en 2020 según el INE. Teniendo en cuenta que, por ejemplo, los vehículos nuevos eléctricos vendidos en 2020 tuvieron un precio medio de venta 41.571€ (según la Federación Europea de Transporte y Medio Ambiente), el madrileño medio tendrá importantes dificultades para acceder a uno. Los vehículos electrificados son de media 9.658€ más costosos que los térmicos convencionales.

En segundo lugar, aquellos ciudadanos que no adquieran un vehículo con distintivo medioambiental podrán desplazarse en transporte público. Sin embargo, tal y como evidencia el Informe de Movilidad del Ayuntamiento de Madrid de 2020, los tiempos de los desplazamientos se verán incrementados. Tomando los registros de la EMT, el tiempo medio de espera en parada de 2020 fue de 12 minutos. Además, la velocidad media ese mismo año fue de 12,83 km/h. Velocidades muy bajas comparadas con la velocidad media de 28 km/h de los vehículos que circulaban por la red estructurante del interior de la M30.



*Ilustración 6. Evolución anual de la velocidad y los tiempos de espera en parada de la EMT (Informe de Movilidad 2020)*

Los madrileños que se vean privados de circular con sus vehículos incurrirán en perjuicios. Es por ello por lo que las medidas de restricción han de compensar a la ciudadanía. En este caso, en términos de la calidad del aire de la ciudad de Madrid.

### **3.2 OBJETIVO DEL ESTUDIO**

El siguiente estudio pretende analizar en qué medida la prohibición a la circulación de ciertos vehículos disminuirá las emisiones del sector del transporte rodado.

Para ello se ha evaluado el estado de la calidad del aire de la Comunidad de Madrid e identificado los parámetros y agentes más influyentes sobre la misma. Con el fin de contextualizar la entrada en vigor de la Estrategia de Sostenibilidad Ambiental Madrid 360, el presente estudio examinará las anteriores actuaciones llevadas a cabo por la administración madrileña, sus implicaciones y resultados. Así mismo, se ahondará en medias, normativas y estrategias similares a nivel nacional.

Por otro lado, se pretende fotografiar los perfiles de movilidad de los madrileños y las preferencias por las distintas modalidades. En este punto se busca caracterizar las alternativas cuantificando el número usuarios, trayectos y costes. Del mismo modo se compararán las infraestructuras disponibles y la normativa vigente.

Otro de los objetivos, derivado del punto anterior, es el de radiografiar el parque móvil de la CM. Atendiendo a la tipología de vehículo, el combustible empleado y la antigüedad, se seleccionarán los vehículos que mejor representen el transporte por carretera.

Del mismo modo, se pretende estudiar la distribución de los trayectos dentro del municipio y las velocidades a las que se realizan empleando la zonificación de la Estrategia Madrid 360. Aunando los puntos anteriores y, caracterizando el entorno, se diseñará un circuito experimental.

Por otro lado, se articularán las medidas de restricción a la circulación en torno al escenario experimental. En cuanto a la simulación, se identificarán, estudiarán y calcularán las fuerzas

agentes sobre los vehículos seleccionados en el circuito diseñado bajo las condiciones seleccionadas.

Para cuantificar la reducción de las emisiones se emplearán los consumos que arrojen los cálculos atendiendo a las características técnicas de los vehículos y las homologaciones a las que estén sujetos.

Finalmente, se analizarán los resultados obtenidos y se extrapolarán a nivel municipal para estimar el impacto de las medidas sobre la calidad del aire de la Comunidad de Madrid y realizar una valoración crítica su eficacia y las repercusiones sobre los madrileños.

## Capítulo 4. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Para cumplir con los objetivos de calidad del aire, la ciudad de Madrid ha implantado numerosas normativas, estrategias y planes de actuación en las últimas décadas.

Desde la primera Ordenanza Municipal en materia ambiental de 1968, destacan la Estrategia Local de Calidad del Aire de la Ciudad de Madrid de 2006 y los posteriores Planes de Calidad del Aire de los periodos de 2011 a 2015 y de 2015 a 2019.

### 4.1 *PRIMERAS ACTUACIONES MUNICIPALES*



#### 4.1.1 PRIMERA ORDENANZA DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, 16 AGOSTO DE 1968

DECRETO 2107/1968, de 16 de agosto, sobre el régimen de poblaciones con altos niveles de contaminación atmosférica o de perturbaciones por ruidos y vibraciones (BOE 3 de septiembre de 1968).

Las pruebas y mediciones realizadas evidenciaron una tendencia al alza en materia de humos, polvo y gases potencialmente molestos, nocivos y peligrosos en diferentes centros urbanos del territorio nacional. La necesidad de implantar medidas preventivas y correctoras en los núcleos urbanos vino motivada por el progresivo aumento de las instalaciones térmicas, el acusado desarrollo de la industria y el aumento de automóviles. Como manifiesta la ordenanza, la creciente contaminación atmosférica pronto alcanzaría niveles perjudiciales para la salud de los ciudadanos.

El decreto establece la intensificación de los dispositivos del Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas de noviembre de 1961 mediante la incorporación de normas municipales de carácter técnico supervisadas por equipos expertos. El decreto dispone que los Ayuntamientos de los territorios en los que se prevea o se alcancen niveles de contaminación atmosférica nocivos, elaborarán ordenanzas de protección del medio ambiente frente a la emisión de gases, polvos, humos y aerosoles.

Las ordenanzas señalarán las prevenciones que deberán adoptarse en los generadores de calor y vapor, equipos de calefacción y agua caliente y vehículos de tracción mecánica, de acuerdo con las instrucciones técnicas aprobadas por los órganos competentes.

#### **4.1.2 LEY DE PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE ATMOSFÉRICO**

LEY 38/1972, de 22 de diciembre, de protección del ambiente atmosférico (BOE 26 de diciembre de 1972).

La Ley tiene por objeto prevenir, vigilar y corregir las situaciones de contaminación atmosférica, entendiéndose por contaminación atmosférica la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza.

Dentro de sus respectivas competencias, la Administración del Estado y las Corporaciones locales adoptarán, las medias necesarias para mantener la calidad aire y la conservación y creación de masas forestales y espacios verdes. Las medidas serán de obligatorio cumplimiento para todas las actividades públicas y privadas. Los niveles de máxima emisión a la atmósfera de cada contaminante quedarán determinados por el Gobierno. Estos deberán ser obligatoriamente respetados por los titulares de focos emisores de contaminantes como las instalaciones industriales, generadores de calor y vehículos de motor.

La Ley otorgará al Gobierno la posibilidad de establecer límites de emisión más restrictivos en las áreas de influencia de los focos emisores cuando se rebasen los niveles generales o las personas resulten gravemente perjudicadas. En tales casos se exigirá a los titulares de los

focos emisores medidas correctoras que garanticen la reducción del vertido de contaminantes a la atmósfera.

Se elaborará un listado de actividades potencialmente contaminantes. Estas actividades no se podrán instalar, ampliar o modificar.

Por otro lado, será declaradas zonas de atmósfera contaminada aquellos territorios o poblaciones en los que se supere cualquiera de los niveles de emisión establecidos durante un cierto número de días al año. En estas zonas se adoptarán actuaciones de régimen especial hasta reducir los niveles a los establecidos.

Algunas de las medidas de carácter especial son el uso de combustibles o fuentes de energía de menor poder contaminante y el paro o limitación de horario en el funcionamiento de las instalaciones industriales. Otras son la prohibición de la instalación de nuevos incineradores de residuos sólidos urbanos que superen los límites de emisión y la limitación de la circulación de toda clase de vehículos.

Por último, la Ley contemplará subvenciones y sanciones económicas para aquellos focos emisores de contaminación que no se adecuen a lo establecido.

Posteriormente en el Decreto 833/1975 (BOE 22 de abril de 1975) se desarrollará la Ley de Protección del Ambiente Atmosférico, donde se establecen los valores límite.

### **4.1.3 DECLARACIÓN DE MADRID COMO ZONA DE ATMÓSFERA CONTAMINADA**

REAL DECRETO 3536/1977, de 30 de diciembre, por el que se declaran aplicables a un área determinada del Municipio de Madrid las medidas y beneficios previstos en el título III del Decreto 833/1975, de 6 de febrero (BOE 31 de enero de 1978).

El acentuado crecimiento experimentado por Madrid implicó un aumento de la contaminación atmosférica. A pesar de las medidas correctoras aprobadas por el Ayuntamiento de la capital al amparo del Decreto 2107/1968, determinadas zonas de Madrid

continuaron registrando elevados niveles de emisión evidenciando un claro deterioro del ambiente.

Conforme con lo establecido en la Ley de Protección del Ambiente Atmosférico de 1972, se declararon aplicables a la zona urbana de Madrid las medidas y beneficios para proteger del ambiente atmosférico del Decreto 833/1975.

El Título III para el Régimen especial en las zonas de atmósfera contaminadas aplica las medidas de carácter especial de la Ley de Protección del Ambiente Atmosférico de 1972 anteriormente mencionadas. Además, hace responsable al Gobierno de abastecer el suministro de combustibles limpios en las zonas en que su consumo sea obligado y exige a las industrias una mayor dispersión de los contaminantes.

#### **4.1.4 RED AUTOMÁTICA PARA EL CONTROL Y VIGILANCIA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA**

En enero de 1978 el Ayuntamiento de Madrid pone en funcionamiento su primera Red Automática de Vigilancia y Control de la Contaminación para solventar el problema de la contaminación atmosférica. La red, compuesta en sus inicios por 16 estaciones remotas interconectadas por la red telefónica, alcanzaría la veintena de estaciones en sucesivas ampliaciones. El centro de proceso de datos gestionaba el funcionamiento de las estaciones y era el encargado de elaborar dos informes por hora. Los informes detallaban las concentraciones de los contaminantes evaluados. Las estaciones medían en tiempo real las concentraciones de dióxido de azufre y de partículas en suspensión. Adicionalmente, cuatro de ellas medían las concentraciones de monóxido de carbono.

Motivado por los nuevos marcos legislativos y facilitado por los avances tecnológicos, en 1989 se estrena la segunda Red. La renovada Red era capaz de realizar mediciones en tiempo real de ozono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos. Finalmente, la Red sería sustituida por un Sistema Integral donde las estaciones manuales serían sustituidas por las actuales 27 estaciones remotas.

Sin haberse violado los valores límite del Decreto de 1975, el episodio de alta contaminación de finales de 1979 motivó la formulación del primer Plan de Saneamiento Atmosférico de 1982, articulado en 3 fases:

**1ª Etapa (1981-1982)**

**2ª Etapa (1983-1985)**

**3ª Etapa (1986-1989)**

En la primera de fase de 1981 a 1982 se realizaron estudios que condujeron a la elaboración del primer inventario de emisiones que permitió estimar la contribución de cada fuente de emisión. Las principales actuaciones fueron la ampliación de la Red Automática de Control, la revisión periódica del parque diésel y las campañas de control de calidad de combustibles sólidos.

Durante la segunda fase de 1983 a 1985 destaca la actualización de las Ordenanzas Municipales en materia de calidad del aire, que posteriormente quedarían unificadas en la Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano. El departamento de Inspección Atmosférica llevó a cabo una campaña de verificación de los generadores de calor para calefacción. Las deficiencias detectadas condujeron a la formulación del Plan de Mejora de Instalaciones de Calefacción que otorgó subvenciones y condiciones especiales de financiación. Se fomentaron los servicios de Inspección del Departamento de Contaminación Atmosférica y se creó el Plan de Vigilancia Radiológica Ambiental de Madrid.

## ***4.2 ESTRATEGIA DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL MADRID 360***

### **4.2.1 MOTIVACIÓN**

Las normativas han ido evolucionando, aumentando las restricciones. La última estrategia desarrollada por el Ayuntamiento de Madrid en septiembre de 2017, el “Plan A”. El plan de calidad del aire y cambio climático, se mostró insuficiente para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de gases contaminantes exigidos por la Unión Europea de la Directiva 2008/50/CE. Por otro lado, el parque móvil de la ciudad de Madrid continuó

presentando un elevado porcentaje de vehículos diésel con antigüedades medias superiores a los 9 años.

Fruto de este fracaso y dada la necesidad de alinearse de forma sostenible con la normativa europea, el Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad del ayuntamiento de Madrid presento en 2019 el plan Madrid 360, que tiene como principal ambición aunar los objetivos medioambientales con los sociales, territoriales y económicos, de cara a fomentar el bienestar de todos los ciudadanos.

A falta de un plan detallado, el Ayuntamiento de Madrid ha publicado un avance de la Estrategia de Sostenibilidad Ambiental Madrid 360. La finalidad de este documento es la de actuar como resumen para identificar y orientar medidas efectivas a implantar en los próximos años.

Las medidas propuestas se desarrollan entorno a seis líneas estratégicas con el fin de lograr que la ciudad de Madrid sea: sostenible, eficiente, inteligente, global, saludable y accesible.

#### **4.2.2 ESTRUCTURA**

Para vertebrar la estrategia, el Ayuntamiento de Madrid ha seleccionado tres ejes principales de actuación, diferenciando los distintos ámbitos sobre los que implementar las medidas de sostenibilidad. Estos tres ejes son la ciudad, la movilidad y la administración.

Para valorar la efectividad de las medidas, la estrategia establece una serie de indicadores para cada eje de actuación. Estas se recogen en la siguiente ilustración del Avance de la Estrategia de Sostenibilidad Ambiental Madrid 360.

 Ciudad	 Movilidad
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Total de <b>calderas de carbón</b> reducidas</li> <li>• Porcentaje de <b>calderas de gasóleo</b> reducidas</li> <li>• Total de zonas de intercambio optimizadas</li> <li>• <b>Incremento</b> porcentual de <b>plazas</b> de parking específicas para <i>carsharing</i> y <i>carpooling</i></li> <li>• Total de <b>plazas de aparcamiento de rotación y residentes</b> creadas</li> <li>• Total de <b>plazas de aparcamiento disuasorio</b></li> <li>• Total de <b>hectáreas de corona forestal</b> creadas</li> <li>• Número de <b>árboles plantados</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Total de <b>kilómetros peatonalizados</b></li> <li>• Total de <b>kilómetros de red ciclista</b> creados</li> <li>• Total de <b>aparcabicis</b> creados</li> <li>• Número de <b>bicicletas de BiciMAD</b></li> <li>• <b>Incremento</b> de trayectos realizados en <b>transporte público al distrito Centro</b></li> <li>• <b>Porcentaje</b> de autobuses limpios en la flota de <b>discrecionales y de ruta</b></li> <li>• <b>Porcentaje</b> de autobuses limpios en la flota de <b>EMT</b></li> <li>• <b>Porcentaje</b> de autobuses eléctricos en la flota de <b>EMT</b></li> <li>• Total de <b>centros de micrologística</b> habilitados</li> <li>• Total de <b>taquillas de e-commerce</b> creadas</li> <li>• Porcentaje de <b>distribuciones realizadas a través de los aparcamientos de la EMT</b></li> <li>• Total de <b>vehículos renovados gracias a las ayudas</b></li> <li>• <b>Porcentaje</b> de <b>vehículos no contaminantes</b> circulantes por la ciudad</li> <li>• Total de <b>puntos de recarga</b> creados</li> </ul>

*Ilustración 7. Indicadores de la áreas Ciudad y Movilidad (Avance de la Estrategia de Sostenibilidad Ambiental Madrid 360)*

Estos indicadores buscan cuantificar el éxito de las actuaciones. Se toman la reducción y el porcentaje de concentración de CO2 y NO2 como principales indicadores, comunes a los tres ejes.

#### 4.2.3 PERFILES DE MOVILIDAD

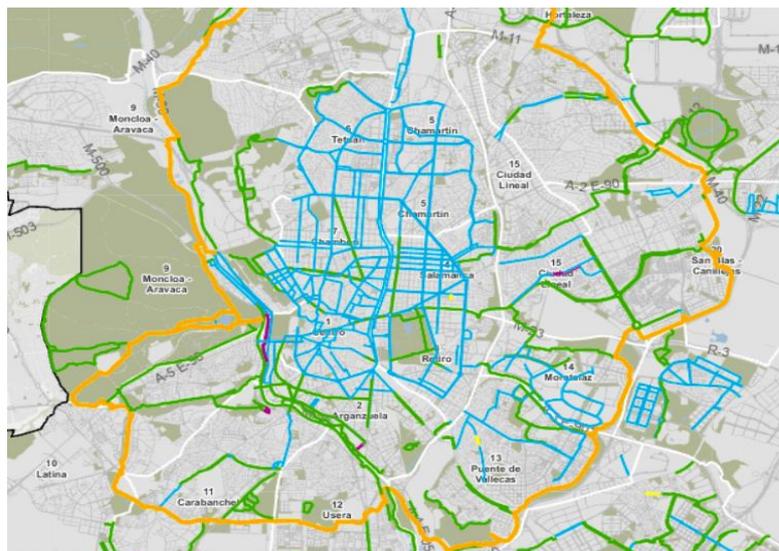
El Ayuntamiento de Madrid elabora anualmente el Estudio de Movilidad de Madrid. Para la confección de la Estrategia Madrid 360, se analizaron los perfiles de movilidad de los madrileños atendiendo al entonces más reciente Estudio de 2018. La estrategia analiza 7 tipologías de movilidad:

1	Peatones
2	Ciclistas
3	Otros modos de movilidad personal (OPM)
4	Transporte público e intermodalidad
5	Taxi y VTC
6	Vehículos compartidos y carpool
7	Vehículo privado

*Tabla 14. Perfiles de movilidad (Avance de la Estrategia de Sostenibilidad Ambiental Madrid 360)*

1 Peatones: Según el Estudio de Movilidad de Madrid de 2018, en un día laborable medio, se estimaron un total de 9.340.021 desplazamientos dentro de la Comunidad de Madrid (CM) y con origen o destino la CM 2.689.151 de tales desplazamientos se habrían producido a pie. De este modo se concluyó que los peatones representaron el 28,8% del total en el año 2018.

2 Ciclistas: Los 422 km (en 2019) de red ciclista de la Comunidad de Madrid tiene ciertas deficiencias. Por un lado, los carriles bici son discontinuos en su mayoría y escasos dentro de la M-30. En muchas ocasiones, los ciclistas se ven obligados a compartir vía con otros tipos de vehículos. La red vial ciclista es heterogénea. Ciertos itinerarios aglutinan distintos tipos de infraestructuras que, en ocasiones, puede presentan obstáculos.



*Ilustración 8. Red de vías ciclistas (Geo-portal del Ayuntamiento de Madrid)*

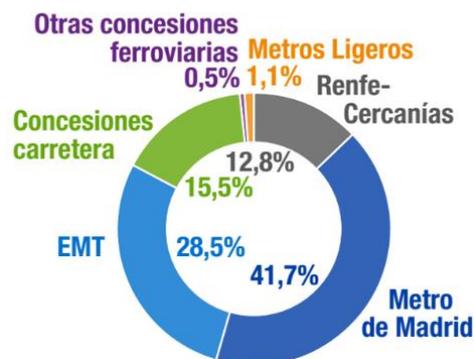
La ciudad de Madrid tampoco está preparada para albergar un gran número de ciclistas en términos de estacionamiento al disponer de tan solo 416 aparcamientos (en 2018). Sin embargo, el servicio BiciMad que, actualmente con 258 estaciones y más de tres mil bicicletas repartidas por 15 distritos de la capital, registró tres millones y medio de usos en 2020.

Si bien es cierto que se ha observado una tendencia al alza en los últimos años, las deficiencias de la red ciclista provocan que tan solo el 0,8% de los desplazamientos se

produzcan en bicicleta. Es en la almendra central donde más prolifera el uso de la bicicleta, con un 1,5% de los desplazamientos, pero también donde más accidentes se producen.

3 Otros modos de movilidad personal (OPM): A pesar de la clara proliferación de nuevas tipologías de transporte como los patines eléctricos, el Ayuntamiento de Madrid no dispone de datos que permitan cuantificar los desplazamientos de OPM. Sin embargo, existe una normativa reguladora de aquellas vías por las que pueden circular. Estas son carriles bici, aceras-bici, sendas ciclables, pistas bici y ciclocalles. En aquellos tramos donde se comparte vía con peatones, la velocidad máxima de circulación se reduce a 5 km/h.

4 Transporte público: El Estudio de Movilidad califica el transporte público como la modalidad de transporte preferida por los madrileños. Estima en más de tres millones de los desplazamientos diarios de 2018 con una representación del 35% del total de itinerarios. El Consorcio Regional de Transporte de Madrid aglutina las prestaciones de Metro, EMT, autobuses urbanos e interurbanos, Metro Ligero/tranvía y Renfe-Cercanías.

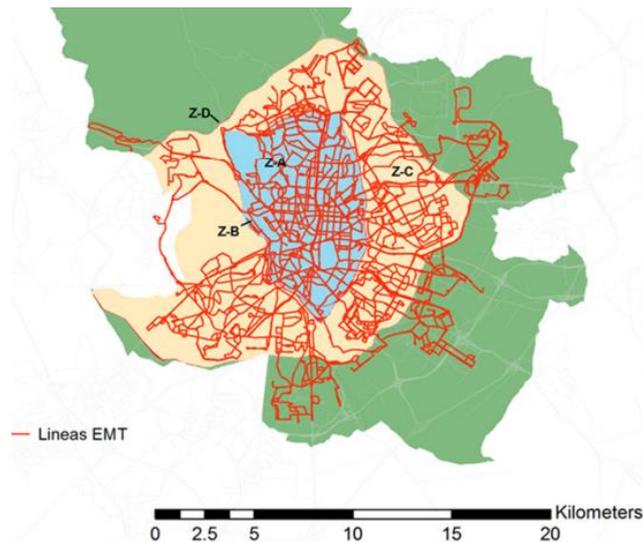


*Ilustración 9. Demanda por operadores del año 2017 (Informe anual del Consorcio Regional de Transportes de Madrid)*

La EMT y el Metro de Madrid cubrieron conjuntamente más de mil millones de desplazamientos en 2019. Esta cifra se redujo a 594 millones por la pandemia.

La red de transporte público se despliega de forma radial con una concentración del 63% en la almendra central. Sin embargo, la velocidad comercial de los servicios de la EMT dentro

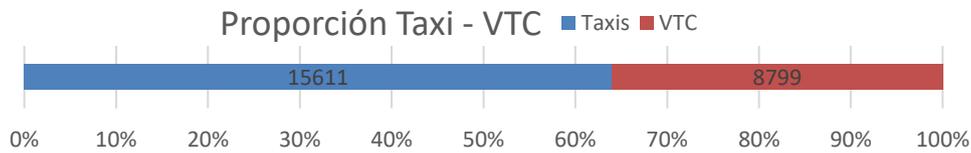
de la M30 es menor que la media. La velocidad comercial es cociente de la distancia entre origen y destino entre el tiempo empleado. Según el avance de la estrategia Madrid 360, los tiempos de los trayectos se ven mayormente afectados en los distritos de Retiro, Centro, Salamanca y Chamberí.



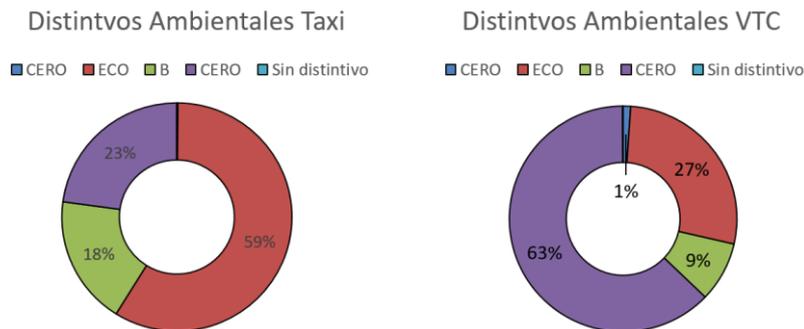
*Ilustración 10. Mapa de las líneas de la EMT (Estudio del parque móvil de Madrid 2017)*

**5 Taxi y VTC:** El más actualizado registro del número de taxis en la Comunidad de Madrid contabilizó 15155 licencias en mayo de 2018. Según el avance el 59% de ellos poseerían el distintivo medioambiental ECO, el 18% y 23% las etiquetas B y C, respectivamente. El cómputo total de kilómetros recorridos estando los taxis ocupados es inferior a los recorridos estando libres. Esto se ve agravado por la preferencia de los clientes por solicitar taxis en circulación (45% de las solicitudes) frente a los taxis estacionados en paradas (18%). El 21% de los servicios se solicitan por llamada y el 16% vía app.

La flota del sector de Vehículos de turismo con conductor posee 8799 licencias. El 28% de los vehículos cuentan con el distintivo medioambiental ECO frente al 63% con etiqueta C. Tan solo el 9% de los VTC tienen el distintivo B.



*Ilustración 11. Proporción Taxi vs. VTC (Ayuntamiento de Madrid)*



*Ilustración 12. Parque móvil según etiquetas medioambientales (Ayuntamiento de Madrid)*

6 Vehículos compartidos y carpool: En los últimos años la ciudad de Madrid ha visto un notable aumento de coches, motos, patinetes eléctricos y bicicletas convencionales o con asistencia eléctrica. En su mayoría, los vehículos matriculados desde 2015 dirigidos a ser compartidos, con tarifas por minutos, disponen de distintivos medioambientales CERO o ECO. Alrededor de 1700 vehículos conforman la flota. Existen más de ocho mil patinetes eléctricos registrados y una flota total de en torno a cinco mil motos eléctricas en el municipio de Madrid. Sin embargo, se ha de analizar el impacto de estas modalidades sobre la ocupación del espacio público.

7 Vehículo privado: La información más actualizada del parque circulante data de 2017. Entonces, el 78,9% de los vehículos eran del tipo turismo. Según los registros de la Agencia Tributaria, los hogares disponen, de media, de un vehículo con una ratio de 4 turismos por cada 10 ciudadanos. En cuanto a los turismos de la Comunidad de Madrid, el 70% emplean diésel como carburante y el 28% gasolina. Tan solo el 2% de los vehículos restantes disponen de algún tipo de electrificación o son propulsados por combustibles alternativos como GNC o GLP.

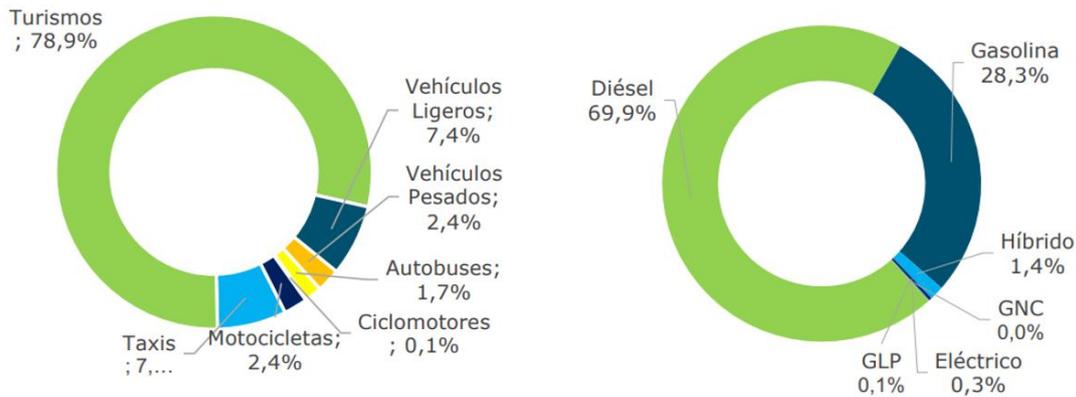


Ilustración 13. Proporción de vehículos y combustibles (Estudio del Parque Circulante de Madrid 2017)

#### 4.2.4 LÍNEAS ESTRATÉGICAS

El Ayuntamiento de Madrid pretende, en su motivación por transformar la ciudad, desarrollar e implementar los proyectos y medidas en torno a los 6 pilares de la sostenibilidad, la eficiencia, la inteligencia, la globalización, la sostenibilidad y la accesibilidad.

La estrategia medioambiental pretende liderar el avance hacia la sostenibilidad de la ciudad de Madrid promoviendo una transición hacia perfiles de movilidad ambientalmente menos contaminantes. Para incentivar esta línea estratégica, el Ayuntamiento prevé realizar inversiones por valor de 250 millones de euros en forma de ayudas a lo largo de cuatro años. Así mismo, pretende preservar el dinamismo económico que caracteriza a la ciudad.

Para fomentar la eficiencia, Madrid 360 busca optimizar y unificar las distintas modalidades de transporte público a la vez que reducir las emisiones por kilómetro recorrido de los desplazamientos para todo perfil de movilidad. Para ello pretende dotar de soluciones a los usuarios de vehículos privados, así como analizar y perfeccionar las iniciativas de la ciudad.

El ayuntamiento de Madrid aspira a una ciudad inteligente mediante el desarrollo de aplicaciones, a disposición de los madrileños, que permitan aglutinar todos los servicios relativos a la movilidad. Por otro lado, Madrid 360 busca idear medidas que permitan optimizar la distribución de mercancías en materia de itinerarios y áreas de carga y descarga.

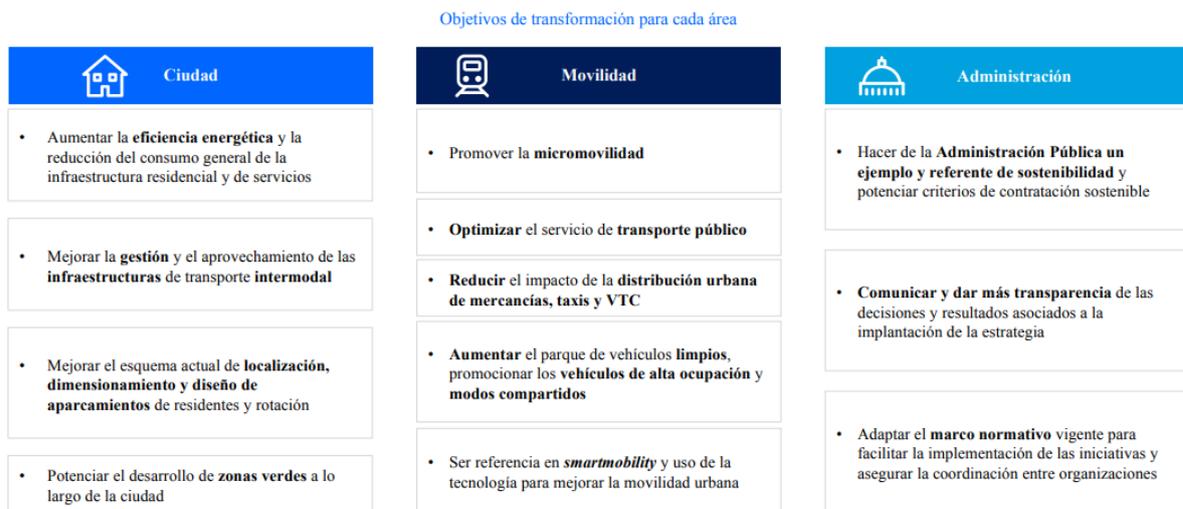
Por otro lado, se pretende lograr el carácter global abordando la Estrategia de forma cohesionada, cubriendo las necesidades de toda la ciudad. Pretende acercar la administración a la ciudadanía y fomentar la cooperación con los órganos estatales a fin cubrir el conjunto de las necesidades de los madrileños.

La mejora en términos de salubridad de la ciudad de Madrid viene planteada a través de la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>. Se pretende potenciar la calidad del aire de los entornos públicos incentivando las fuentes energéticas renovables y promoviendo hábitos sostenibles.

Por último, Madrid 360 aspira a una ciudad accesible evitando aquellas medidas que puedan resultar discriminatorias para los distintos colectivos. Por otro lado, busca mejorar en términos de transparencia y comunicación entre la administración y los madrileños.

## 4.2.5 OBJETIVOS DE TRANSFORMACIÓN

La Ordenanza Madrid 360 fija una serie de objetivos para cada una de las áreas con el objetivo de alinearse con las anteriores líneas estratégicas. La siguiente imagen del Avance Madrid 360 muestra la organización de estos:



*Ilustración 14. Objetivos de transformación (Avance de la Estrategia de Sostenibilidad Ambiental Madrid 360)*

Para cumplir con los anteriores objetivos, el anteproyecto presenta un centenar de medidas con un alcance territorial que va desde el kilómetro cero de la capital hasta los límites del municipio. El despliegue geográfico de medidas se desagrega en cinco zonas (o anillos). Anillo 1: Zona sol, Anillo 2: Distrito centro, Anillo 3: Interior M30, Anillo 4: Entre la M30 y la M40 y Anillo 5: M40 y exterior de la misma. La siguiente imagen del avance de la estrategia recoge los considerados ‘proyectos estrella’ por atendiendo al modelo de despliegue:

<b>M-40 y exterior de la M-40</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nuevos carriles bus y carriles bus/VAO</li> <li>• Crear un bosque metropolitano de 600 hectáreas en la ciudad</li> <li>• Realizar un plan de reducción de la producción en Valdemingómez para rebajar las emisiones</li> <li>• Prohibición de circulación de los vehículos A de fuera de Madrid en 2024 en todo el término municipal (en 2025 ningún vehículo A)</li> </ul>
<b>Entre M-30 e interior de la M-40</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refuerzo de 10.000 plazas de aparcamientos gratuitos disuasorios para los usuarios de transporte público</li> <li>• Prohibición de circulación de los vehículos A de fuera de Madrid en 2023 en M-30 y su interior</li> </ul>
<b>Interior M30</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prohibición de la circulación de los vehículos A de fuera de Madrid a partir de 2022</li> <li>• Prohibir el estacionamiento de vehículos A en zona SER a partir del 1 de enero en 2020</li> </ul>
<b>Distrito Centro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crear 2 nuevas líneas gratuitas de bus eléctrico: una de norte a sur y otra de este a oeste</li> <li>• Crear una nueva línea circular de autobuses de bajas emisiones discurriendo en el perímetro de distrito Centro</li> <li>• Acceso de vehículos C con alta ocupación dentro del distrito Centro</li> <li>• Equiparación de los comerciantes a los residentes</li> </ul>
<b>Zona sol</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peatonalización de la Puerta del Sol y su entorno</li> </ul>

*Ilustración 15. Proyectos estrella (Avance de la Estrategia de Sostenibilidad Ambiental Madrid 360)*

Como evidencia el Inventario de Emisiones 2019, el sector más contaminante es el del transporte. En materia de movilidad, la ordenanza busca promover la micro movilidad y optimizar el transporte público. Por otro lado, pretende renovar el parque circulante con vehículos limpios y de mayor ocupación.

#### **4.2.6 ESTUDIOS DE LA ESTRATEGIA MADRID 360**

El Ayuntamiento de Madrid encargó a la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) la realización de un estudio para el evaluar del impacto de los proyectos de la Estrategia Madrid 360. El estudio analizó 45 medidas del centenar recogido en la normativa de sostenibilidad ambiental. Éste evidencia que las medidas podrían resultar insuficientes para alcanzar los objetivos fijados por la Unión Europea. Sin embargo, se esperan notables reducciones en las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

El estudio concluye que, para el año 2023, las actuaciones municipales disminuirán las emisiones anuales de óxidos de nitrógeno (NOx) en 1563 toneladas, las de PM2,5 en 151 toneladas y las de CO2 en 359 kilo-toneladas. El Ayuntamiento de Madrid asegura que las

reducciones se traducirán en una rebaja de los NO<sub>x</sub> del 11,3 %, del 21,1 % para PM<sub>2,5</sub> y del 6,2 % para CO<sub>2</sub>. La evaluación llevada a cabo por la UPM analiza los efectos de las medidas entre los años 2018 y 2023.

De las 45 medidas analizadas, 43 hacen referencia al grupo SNAP 07, transporte por carretera. Estas se agruparon en 8 bloques:

BLOQUES Y MEDIDAS	REDUCCIÓN EN EMISIÓN (T/AÑO)
Bloque 1 - Aparcamientos	67
B. 2 - Infraestructuras de transporte	34
B. 3 - Movilidad modos activos	19
B. 4 - Movilidad en transporte público	104
B. 5 - Movilidad vehículo privado	22
B. 6 - Distribución urbana mercancías	80
B. 7 - Restricciones A y renovación parque de vehículos privados	946
B. 8 - Renovación tecnológica resto de vehículos	201
<b>TOTAL SNAP 07</b>	<b>1.473</b>

*Ilustración 16 – Bloques y reducción de las emisiones de NO<sub>x</sub> (Estudio UPM)*

### **4.3 OTRAS ACTUACIONES A NIVEL NACIONAL**

En mayo de 2021 entró en vigor la Ley de Cambio Climático y Transición Energética. Esta exige a todos los municipios con más de 50 mil habitantes el disponer de una zona delimitada de bajas emisiones (ZBE) antes del 2023. Esta ley incluye a aquellas localidades de más 20 mil habitantes que hayan experimentado episodios de alta contaminación y afectará a 150 municipios españoles que, *‘adoptarán planes de movilidad urbana sostenible que introduzcan medidas de mitigación que permitan reducir las emisiones’*. Es decir, la administración pública será la responsable de acotar un perímetro en el que se restrinja el acceso, la circulación y el estacionamiento de aquellos vehículos que más contaminen con el fin de mejorar la calidad del aire. La ley impone que la discriminación se lleve a cabo en base a los distintivos medioambientales de la DGT.

Actualmente tan solo cinco grandes ciudades españolas disponen de una ZBE: Madrid, Barcelona y Sevilla, Valladolid y Valencia.

Madrid dispone de una ZBE para la ciudad, otra para el interior de la M-30 y de un Área Central de Cero Emisiones (ACCE). En el interior de la M-30 tan solo se restringe el estacionamiento a los vehículos sin distintivo medioambiental. En el ACCE antes conocida como Madrid Central, tan solo pueden circular con libertad los vehículos con distintivos ECO y CERO (contemplando excepciones).

La ZBE de la ciudad de Barcelona entró en vigor en diciembre del año 2017. Esta está vigente de lunes a viernes de las 8.00 a las 20.00 horas. La zona acoge a de 1,65 millones de habitantes con una extensión superior a los 100km<sup>2</sup> que abarca 10 distritos. La ZBE catalana restringe el acceso a todo vehículo gasolina con homologación anterior a la EURO 4 y a los diésel sujetos a las normas anteriores a la EURO 3.

La ZBE de la ciudad de Sevilla entró en vigor en septiembre del año 2018. Esta abarca todo el término municipal y parte del área metropolitana. La ZBE andaluza se divide a su vez en 6 sub-zonas. Las medidas, agrupadas en tres niveles en función de la intensidad, se activan cuando se experimentan episodios de alta contaminación. Las restricciones a la circulación dependen de la homologación, la antigüedad y el combustible. Los vehículos sin distintivo no pueden circular en episodios de alta contaminación.

La ZBE de la ciudad de Valencia entró en vigor en enero de 2018. Esta acoge la totalidad de la ciudad y algunas áreas fuera del término municipal. Se trata de una ZBE con carácter temporal para mitigar episodios de alta contaminación. Al igual que en Sevilla, las medidas se subdividen en tres niveles. La ZBE valenciana desempeña funciones idénticas a las de la anterior ZBE de la ciudad de Valladolid, aprobada en febrero del 2017.

## **Capítulo 5. MODELO DESARROLLADO**

### **5.1 PLANTEAMIENTO**

Se diseñará un circuito patrón con las características de la red de viaria de Madrid y los hábitos de circulación de los madrileños. Cuatro vehículos patrón serán ensayados en el circuito patrón. Estos vehículos se elegirán atendiendo a la antigüedad del parque circulante, los combustibles más empleados y la tipología de vehículo más común.

Las condiciones sobre las que serán ensayados seguirán las velocidades legales y las registradas en las distintas vías recogidas en el Informe de Movilidad de Madrid 2020.

Se calcularán las fuerzas agentes sobre el vehículo y las necesarias para propulsarlo. Estas fuerzas serán transmitidas al asfalto través de las ruedas y, expresándolas en términos de potencia, permitirán calcular la potencia que ha de generar el motor. Con la potencia desarrollada por el motor se obtendrá el par motor y la presión media específica.

Estos parámetros serán empleados como inputs para obtener los consumos medios específicos a través de distintos mapas motor. Por último, estableciendo una relación proporcional entre el consumo de combustible y las emisiones de contaminantes se analizará el impacto de las restricciones sobre la calidad del aire.

### **5.2 DISEÑO DEL MODELO**

A continuación, se detallarán las características del circuito diseñado y de los vehículos a simular. Por otro lado, se indicarán los criterios de selección de las condiciones de velocidades y las aceleraciones.

### 5.2.1 CIRCUITO PATRÓN:

El más actualizado Estudio del Parque Circulante de la Comunidad de Madrid data del año 2017, en adelante EPCM. El estudio desagrega el municipio de Madrid en cinco zonas (A, B, C, D y E) en función de los recorridos, de las velocidades y del parque móvil que circula por ellas.

Los 35 puntos de muestreo realizaron un total de 8.560.383 lecturas de matrícula entre todas las zonas. El modelo de tráfico del Ayuntamiento de Madrid del año 2016 recoge 11.000 tramos la red viaria de la ciudad y es el empleado por el EPCM para estimar la distribución porcentual de recorridos por zona según el modelo de tráfico del Ayuntamiento de Madrid.

La siguiente tabla describe los términos que limitan las zonas y la distribución porcentual de recorridos por cada una de ellas.

Zona	Descripción	Distribución
A	Interior M30	17,4%
B	M30	13,1%
C	Entre M30 y M40	26,8%
D	M40	15,8%
E	Exterior M40	26,9%

Tabla 15. Distribución porcentual de recorridos por zona (Estudio del Parque Circulante 2017)

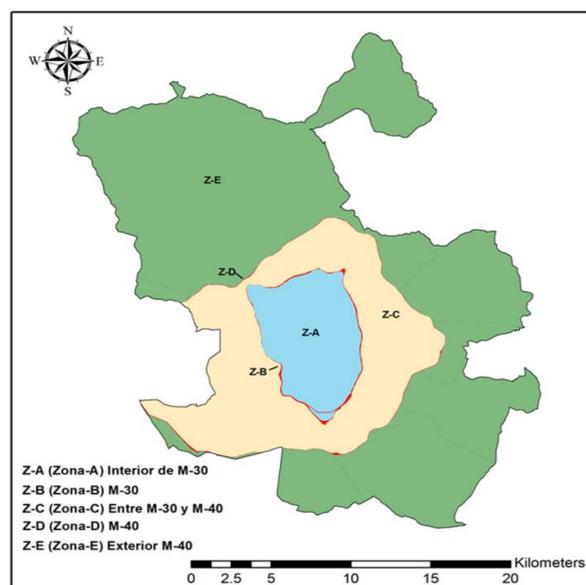


Ilustración 17. Mapa de la zonificación del municipio de Madrid (Estudio del Parque Circulante 2017)

Por lo general, las fichas técnicas de los vehículos ofrecen los datos de consumo en litros de carburante por cada 100km. Disponiendo de la distribución porcentual de los itinerarios de los madrileños por las distintas zonas, si tomamos esos mismos 100km para trazar un circuito patrón: 17,4 km se recorrerían en la zona A, 13,1 km en la zona B, 26,8 km en la C, 15,8 km en la D y finalmente 26,9 km en la E.

La pendiente es un parámetro que afecta directamente a las fuerzas que experimentan los vehículos influyendo así en los consumos. Sin embargo, el relieve de la Comunidad de Madrid es bastante llano al estar situada en la sección norte de la submeseta sur. Por lo tanto, es prudente trazar el circuito patrón con pendiente nula.

### 5.2.2 VEHÍCULOS PATRÓN:

Según el más reciente EPCM de 2017, los turismos representan el 78,93% del parque circulante de la comunidad de Madrid. Del total de turismos el 28,3% emplean gasolina como combustible y un 69,9% emplean diésel. En la siguiente tabla se recoge la proporción de cada tipo de vehículo desagregado por combustible.

Sector y combustible	PC 2017
<b>Turismos</b>	<b>78,93%</b>
Gasolina	22,31%
Diésel	55,15%
Otros (GLP, GNC, híbridos, eléctricos)	1,47%
<b>Vehículos ligeros (N1)</b>	<b>7,36%</b>
Gasolina	0,15%
Diésel	7,17%
Otros (GLP, GNC, híbridos, eléctricos)	0,03%
<b>Vehículos pesados (N2 y N3)</b>	<b>2,41%</b>
Gasolina	0,01%
Diésel	2,37%
Otros (GLP, GNC, híbridos, eléctricos)	0,03%
<b>Autobuses</b>	<b>1,71%</b>
Diésel	1,35%
Otros (GLP, GNC, híbridos, eléctricos)	0,36%
<b>Ciclomotores</b>	<b>0,12%</b>
Gasolina	0,12%
<b>Motocicletas</b>	<b>1,71%</b>
Gasolina	1,69%
Otros (GLP, GNC, híbridos, eléctricos)	0,02%

Taxis	1,71%
Diésel	4,53%
Otros (GLP, GNC, híbridos, eléctricos)	2,53%

Tabla 16. Vehículos desagregado por combustible (Estudio del Parque Circulante 2017)

Dada su predominancia, se han seleccionado 4 turismos como vehículos patrón. En concreto, dos turismos diésel y dos turismos gasolina. Para cada combustible, un vehículo pertenecerá al segmento B y otro al segmento C.

Por otro lado, el EPCM evalúa la antigüedad del parque. En su más reciente edición de 2017, estimó una edad media de 9,8 años para los turismos. Por lo tanto, los vehículos patrón serán seleccionados del catálogo de 2012. En la siguiente tabla se recoge los vehículos más vendidos en España en 2012 según la Asociación Nacional de Vendedores de Vehículos (GANVAM):

Ranking	Marca	Modelo	Segmento	Unidades vendidas
1	Renault	Mégane	C	30.146
2	Citroën	C4	C	27.790
3	Seat	Ibiza	B	23.913
4	Nissan	Qashqai	C	22.279
5	Volkswagen	Golf	C	18.301
6	Volkswagen	Polo	B	17.273
7	Opel	Corsa	B	16.892
8	Seat	León	C	16.431
9	Citroën	C3	B	15.079
10	Opel	Astra	C	14.748

Tabla 17. Ranking turismos más vendidos del año 2012 (GANVAM)

Dos de los vehículos patrón seleccionados son los turismos del segmento C más vendidos en España en 2012 fueron el Renault Mégane y el Citroën C4. Asimismo, aquellos del segmento B más populares fueron el Seat Ibiza y el Volkswagen Polo. No obstante, no se dispone la suficiente información de las marcas del grupo VAG (Seat y Volkswagen). Los siguientes vehículos del segmento B son el Opel Corsa y el Citroën C3. En cuanto a las motorizaciones empleadas, se han elegido cilindradas que van de 1364 cm<sup>3</sup> a 1870 cm<sup>3</sup> y potencias de 67cv a 154cv.

Los vehículos seleccionados son los siguientes:

Marca	Modelo	Motorización	Segmento	Año	Combustible
Citroën	C4	THP 155	C	2012	Gasolina
Renault	Mégane	1.9 dCi 130 FAP	C	2012	Diésel
Opel	Corsa	1.4 (100) ecoFLEX	B	2012	Gasolina
Citroën	C3	HDi 70	B	2012	Diésel

*Tabla 18. Vehículos patrón seleccionados*

La siguiente tabla recoge las especificaciones técnicas de cada vehículo útiles para el cálculo de los consumos:

Datos de los vehículos						
Parámetro	Símbolo	Citroën C4	Renault Mégane	Opel Corsa	Citroën C3	Unidad
Peso (vacío)	m'	1275	1320	1066	1070	kg
Peso (cargado)	m	1375	1420	1166	1170	kg
Coef. Penetración	Cx	0,3	0,32	0,3	0,31	-
Área frontal	Afp	2,22	2,22	2,12	2,2	m <sup>2</sup>
Cilindrada	V	1598	1870	1364	1398	cc
Factor ciclo	fc	0,5	0,5	0,5	0,5	m <sup>3</sup>
Desarrollo 1	1º	8,3	9,1	7,5	8,7	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 2	2º	15,4	17	13,1	16,4	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 3	3º	22,4	24,8	19,8	25,4	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 4	4º	28,9	32,9	25	35	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 5	5º	36	42,8	31,4	43,7	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 6	6º	43,4	52,1	-	-	Km/h 1000 rpm

*Tabla 19. Especificaciones técnicas de los vehículos patrón (datos tomados de Automobile Catalog)*

Según el Instituto Sindical de Trabajo Ambiente y Salud la ocupación media de los vehículos privados es de alrededor 1,2 personas/vehículos. Con un peso promedio de 75 kg por persona, a los pesos de los vehículos en vacío (m') se les añadirán 100 kg en concepto de pasajeros y cargas (m).

### 5.2.3 VELOCIDADES Y ACELERACIONES PATRÓN:

La última edición del Informe de Movilidad de la Comunidad de Madrid es la del año 2020. La siguiente tabla recoge las velocidades medias registradas por zonas:

Zona	Descripción	Velocidades [km/h]
A	Interior M30	28
B	M30	72,1
C	Entre M30 y M40	28,8
D	M40	94
E	Exterior M40	33,3

Tabla 20. Velocidades medias por zona según el modelo de tráfico del Ayuntamiento de Madrid (Estudio del Parque Circulante 2017)

No se tiene un registro de las aceleraciones experimentadas por el parque circulante de la Comunidad de Madrid. Sin embargo, pueden suponerse nulas, o muy bajas, las variaciones de velocidad en las vías no semaforizadas como son la M30 y la M40 de las zonas B y D, respectivamente. Se ha tomado una aceleración de 0,05 m/s<sup>2</sup> para las autovías (zonas B y D) para contemplar posibles adelantamientos y recuperaciones tras deceleraciones debidas al tráfico. Por otro lado, se han impuesto unos razonables 0,2 m/s<sup>2</sup> para el resto de las zonas de carácter urbano. Estas últimas aceleraciones son superiores dado que han de contemplar salidas desde parado debidas a semáforos y otros tipos de señalizaciones viarias.

Las velocidades pueden resultar bajas. Esto se debe, por un lado, a que las mediciones engloban todo el parque circulante, incluyendo vehículos pesados o ciclomotores, con velocidades de circulación inferiores a la de los turismos. Por otro lado, contempla las cogestiones y otras circunstancias que puedan ralentizar la circulación. Asimismo, a la hora de simular las anteriores velocidades, los desarrollos que mejor casaban con la velocidad óptima de giro del motor eran poco representativos (como circular en vías urbanas en el primer desarrollo).

Las anteriores limitaciones han llevado a seleccionar las velocidades legales medias de cada una de las zonas para una mayor coherencia de las simulaciones, resumidas en la siguiente tabla:

Zona	Descripción	Velocidades [km/h]
A	Interior M30	40
B	M30	90
C	Entre M30 y M40	50
D	M40	100
E	Exterior M40	60

Tabla 21. Velocidades legales medias por zona

### 5.3 FUNDAMENTOS TÉCNICOS Y PROCEDIMIENTO

Las principales fuerzas a las que está sujeto un vehículo cuando circula son esencialmente 4: la fuerza de rodamiento a la rodadura de los neumáticos, la fuerza aerodinámica, la fuerza debida a la pendiente y la debida a la aceleración.

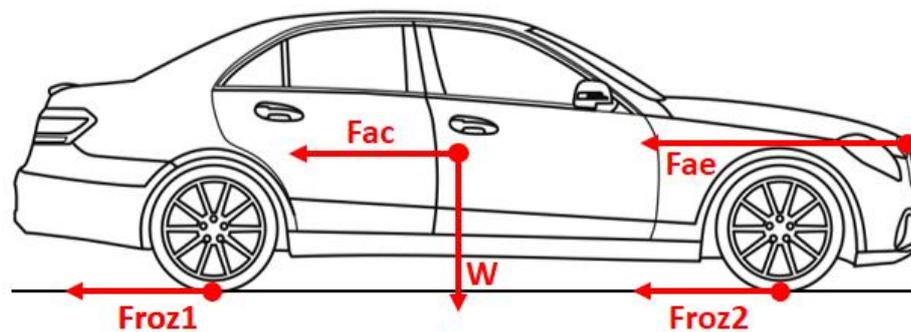


Ilustración 18. Esquema de las fuerzas agentes sobre los vehículos

En primer lugar, la fuerza de rodadura es la debida al rozamiento cuando el vehículo tracciona que se opone al movimiento. Esta depende de las superficies de contacto, la velocidad y la normal a la superficie. La fuerza de rozamiento puede ser calculada como:

$$F_{\text{roz}} = f \cdot m \cdot g \cdot \cos(\vartheta) \text{ [N]}$$

Donde  $f$  es el coeficiente de fricción a la rodadura y que para todo el ensayo tomará un valor estándar igual a 0,03. El parámetro  $m$  es el peso del vehículo (cargado) y  $g$  es la gravedad igual a 9,81 m/s<sup>2</sup>. La pendiente  $\vartheta$  se considera nula, luego la fuerza de rozamiento se simplifica de la siguiente forma:

$$F_{\text{roz}} = f \cdot m \cdot g \text{ [N]}$$

En segundo lugar, la fuerza aerodinámica es aquella que se opone al sentido de la marcha cuando un objeto con cierta área frontal ( $A_{\text{fp}}$  en m<sup>2</sup>) y coeficiente de penetración ( $C_x$  adimensional) atraviesa una masa de aire con densidad ( $\rho_a=1,3\text{kg/m}^3$ ) a una cierta velocidad ( $v$  en m/s). La fuerza aerodinámica puede ser calculada como:

$$F_{ac} = 0,5 \cdot \rho_a \cdot v^2 \cdot C_x \cdot A_{fp} \text{ [N]}$$

La fuerza debida a la pendiente, que puede ser calculada como  $F_g = m \cdot g \cdot \sin(\theta)$ , es igual a 0 en todo el estudio al imponer inclinación nula ( $\theta = 0$ ).

Por último, la fuerza debida a la aceleración es aquella necesaria para que la masa del vehículo experimente una cierta variación de la velocidad a la que se desplaza. Esta fuerza ha de contemplar los términos inerciales, angulares y lineales agentes sobre el vehículo, introduciendo así el término masa equivalente ( $m_{eq}$  en [kg]):

$$F_{ac} = m \cdot a + J_r \cdot \alpha_r / r_r = m_{eq} \cdot a \text{ [N]}$$

Donde ( $a$  en [m/s<sup>2</sup>]) representa la aceleración lineal, ( $J_r$  en [kg·m<sup>2</sup>]) el momento de inercia, ( $\alpha_r$  en [rad/s<sup>2</sup>]) la aceleración angular de las ruedas y ( $r_r$  en [m]) el radio de las ruedas.

Sin embargo, no siempre se dispone de los datos técnicos suficientes para calcular los momentos de inercia del tren motriz. Además, se trata de una ardua tarea. Por simplicidad, se introduce el coeficiente inercial rotacional ( $k_m$ ) para representar los anteriores términos en función de la aceleración lineal ( $m_{eq} = m \cdot k_m$ ). Se ha seleccionado un valor típico igual al 10% de la masa del vehículo ( $k_m = 1,1$ ), de forma que la fuerza debida a la aceleración puede ser calculada como:

$$F_{ac} = m \cdot k_m \cdot a = m_{eq} \cdot a \text{ [N]}$$

Llegados a este punto, es posible calcular la fuerza total como la suma de las anteriores fuerzas (rodadura, aerodinámica y aceleración):

$$F_{tot} = F_{roz} + F_{ae} + F_{ac} \text{ [N]}$$

La fuerza total ( $F_{tot}$ ) es la empleada para calcular la potencia que ha de ser transmitida a las ruedas del vehículo para desplazarse a la velocidad establecida con la aceleración deseada. La potencia en rueda ( $P_r$ ) puede ser calculada como función de la velocidad ( $v$  en km/h) y la fuerza total ( $F_{tot}$  en N):

$$P_r = F_{\text{tot}} \cdot v / 3600 \text{ [kW]}$$

Las fichas técnicas de los vehículos suelen expresar la potencia en caballos de fuerza (cv). Para pasar de kW a cv tan solo de se ha de dividir por 0,736.

Para todos los escenarios analizados, se ha impuesto un rendimiento de la transmisión ( $\eta = 0,9$ ). El rendimiento de la transmisión es la relación entre la energía desarrollada por el motor y la comunicada al tren motriz. Siendo esta segunda menor debida a las pérdidas de la transmisión producidas por el paso de la potencia a través de subsistemas como el embrague, la caja de relaciones, el diferencial, los cojinetes, etc. El rendimiento de la transmisión toma valores entre 0 y 1 mas no se trata de valor fijo dado que este puede variar en función del desarrollo en uso. Por lo general, los rendimientos para relaciones largas tienen valores más próximos 1 que aquellos para relaciones cortas. Este parámetro permite estimar la potencia que ha de ser desarrollada por el motor ( $P_m$ ) para transmitir una cierta potencia en rueda ( $P_r$  en kW) de la siguiente forma:

$$P_m = P_r / \eta_t \text{ [kW]}$$

Los desarrollos del vehículo determinan la velocidad a la que se puede desplazar el vehículo con el motor girando a 1000 rpm. Dividiendo la velocidad ( $v$  en km/h) ensayada por el desarrollo ( $d$  en km/h/1000rpm) se obtiene la velocidad de giro del motor ( $n$ ):

$$n = 1000 \cdot v / d \text{ [rpm]}$$

Tomando como régimen ideal para motores gasolina las 2.500 rpm y 2.100 rpm para el diésel, se selecciona el desarrollo que mejor equipare la velocidad de giro del motor al régimen establecido para una velocidad de desplazamiento fija. No obstante, las anteriores velocidades de giro del motor se tomarán tan solo como referencias primando siempre el buen funcionamiento del motor (gráficas del mapa motor) a la hora de seleccionar los desarrollos.

Para una cierta velocidad del motor ( $n$  en rpm) se puede calcular el par ( $M$ ) que experimenta el motor para cada desarrollo a través de la potencia del motor ( $P_m$  en kW) de la siguiente forma:

$$M = 60 \cdot P_m / (2 \cdot \pi \cdot n) \text{ [kNm]}$$

Por último, la presión media efectiva ( $p_{me}$ ) se calcula a través de la potencia del motor ( $P_{mot}$  en kW), la cilindrada ( $V$  en cc), la velocidad de giro del motor ( $n$  en rpm) y el factor ciclo del motor ( $f_c$  adimensional) según la expresión. Esta es la media de las presiones instantáneas de los gases dentro del cilindro a lo largo de un ciclo.

$$p_{me} = 60 \cdot 10^4 \cdot P_m / (V \cdot n \cdot f_c) \text{ [bar]}$$

Los consumos medios específicos ( $c_{me}$  en g/kW·h) se obtienen a partir de los distintos mapas motor, entrando a las gráficas con la velocidad de giro del motor por una parte y la potencia o par motor por otra. El consumo medio específico es la cantidad de combustible (normalmente expresada en gramos) dividido por la potencia generada. Para obtener el consumo ( $C$  en g/h) se ha de multiplicar el consumo medio específico ( $c_{me}$  en g/kW·h) por la potencia del motor ( $P_m$  en kW).

$$C = c_{me} \cdot P_m \text{ [g/h]}$$

Por último, se puede expresar el consumo en litros de combustible a los cien dividiendo el consumo ( $C$  en g/h) por la velocidad ( $v$  en km/h) y la densidad del combustible ( $\rho_c$  en kg/m<sup>3</sup>).

$$C \text{ [l/100km]} = C \text{ [g/h]} / (100 \cdot v \cdot \rho_c)$$

Las industrias automovilísticas no suelen ofrecer información del volumen de contaminantes emitidos. Sin embargo, disponiendo de la homologación de los cuatro vehículos (EURO 5), se establecerá una relación proporcional entre los valores de emisiones límite de la homologación y los consumos homologados para calcular las emisiones correspondientes a los consumos de las simulaciones.

- Emisiones límite (EURO 5) para coches diésel:
  - monóxido de carbono (CO): 500 mg/km
  - material particulado (PM y PST): 5 mg/km
  - óxidos de nitrógeno (NOx): 180 mg/km
  - emisiones combinadas de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno: 230 mg/km.
  
- Emisiones límite (EURO 5) para coches gasolina:
  - monóxido de carbono (CO): 1000 mg/km
  - material particulado (PM y PST): 5 mg/km
  - óxidos de nitrógeno (NOx): 60 mg/km
  - hidrocarburos no metanos: 68 mg/km
  - hidrocarburos totales: 100 mg/km

En cuanto al dióxido de carbono, los fabricantes suelen proporcionar el dato de las emisiones de CO<sub>2</sub> expresado en g/km. Este será el valor empleado para calcular las emisiones para cada vehículo patrón, como muestra la siguiente tabla:

Marca	Modelo	Emisiones CO <sub>2</sub> [g/km]
Citroën	C4	148
Renault	Mégane	135
Opel	Corsa	124
Citroën	C3	104

## 5.4 IMPLANTACIÓN NUMÉRICA Y SIMULACIONES

### 5.4.1 SIMULACIÓN CITROËN C4 THP 155 (GASOLINA)

La siguiente tabla recoge las especificaciones técnicas del primer vehículo patrón tomados de Automobile Catalog, los datos del entorno, los parámetros útiles para el cálculo de consumos y el régimen ideal para la mayoría de los motores gasolina.

Datos del vehículo			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Peso (vacío)	m'	1275	kg
Peso (con pasajeros)	m	1375	kg
Coef. Penetración	Cx	0,3	-
Área frontal	Afp	2,22	m <sup>2</sup>
Cilindrada	V	1598	cc
Factor ciclo	fc	0,5	m <sup>3</sup>
Aceleración fact.	af	-	m/s <sup>2</sup>
Desarrollo 1	1º	8,3	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 2	2º	15,4	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 3	3º	22,4	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 4	4º	28,9	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 5	5º	36	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 6	6º	43,4	Km/h 1000 rpm
Coef. Inercial	km	1,1	-
Masa equivalente	meq	1512,5	kg
Datos entorno			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Densidad del aire	$\rho_a$	1,3	kg/m <sup>3</sup>
Coef. Rodadura	f	0,03	-
Gravedad	g	9,81	m/s <sup>2</sup>
Datos para el consumo			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Rendimiento transmisión	$\eta_t$	0,9	-
Poder cal. combustible	Qc	44604	kJ/kg
Densidad combustible	$\rho_c$	745	kg/m <sup>3</sup>
Régimen ideal de giro del motor [rpm]			
Gasolina		Diésel	
2500		2100	

La siguiente tabla recoge las fuerzas agentes sobre el vehículo calculadas para las condiciones definidas previamente para cada una de las zonas empleado los fundamentos físicos del apartado anterior.

ZONA	Condiciones funcionamiento		Fuerzas agentes sobre el vehículo			
	Velocidad [km/h]	Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	F.rodadura [N]	F.aerodinamica [N]	F.faceleración [N]	F.total [N]
A	40	0,2	404,66	53,44	302,5	760,61
B	90	0,05	404,66	270,56	75,625	750,85
C	50	0,2	404,66	83,51	302,5	790,67
D	100	0,05	404,66	334,03	75,625	814,32
E	60	0,2	404,66	120,25	302,5	827,41

A continuación, se muestran la potencia que se ha de transmitir a las ruedas y la que ha de generar el motor, relacionadas a través del rendimiento.

Potencia en rueda		Potencia en motor	
Pot. en rueda [kW]	Pot. en rueda [cv]	Pot. en motor [kW]	Pot. en motor [cv]
8,45	11,48	9,39	12,76
18,77	25,50	20,86	28,34
10,98	14,92	12,20	16,58
22,62	30,73	25,13	34,15
13,79	18,74	15,32	20,82

Los desarrollos seleccionados para cada velocidad (de las zonas A, B, C, D y E y en base al régimen de giro del motor) han sido 2°, 5°, 3°, 6° y 3°, respectivamente.

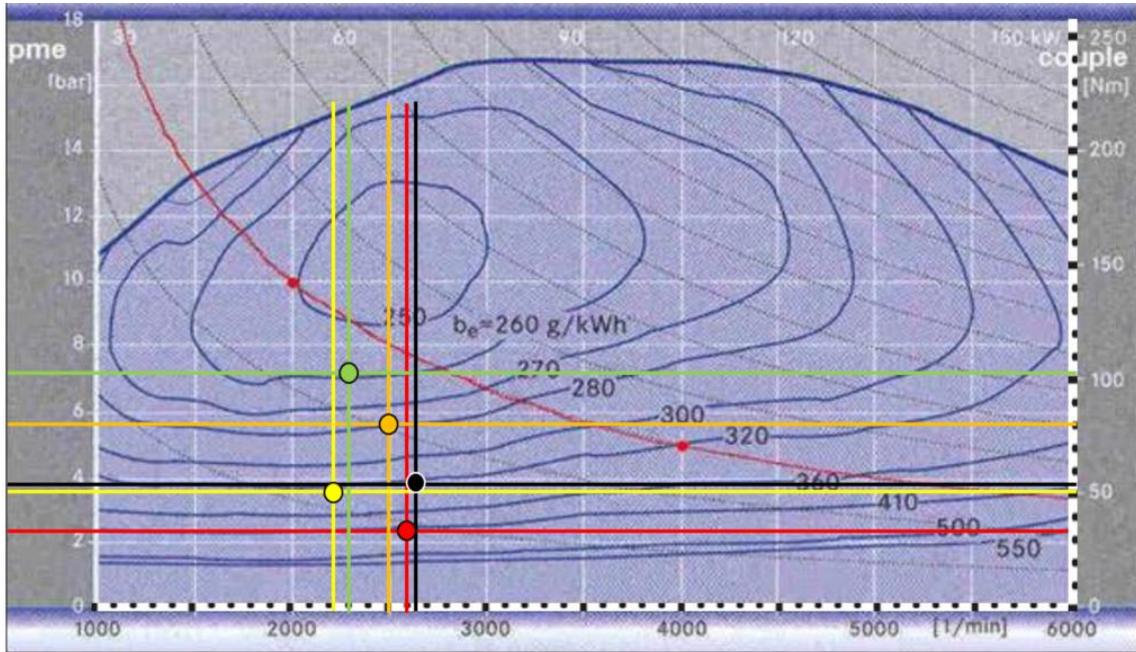
Desarrollo	Velocidades del vehículo [km/h]				
	40	90	50	100	60
	Potencia en motor [kW]				
	9,39	20,86	12,20	25,13	15,32
	Velocidad de giro del motor: n [rpm]				
1º	4819	10843	6024	12048	7229
2º	2597	5844	3247	6494	3896
3º	1786	4018	2232	4464	2679
4º	1384	3114	1730	3460	2076
5º	1111	2500	1389	2778	1667
6º	922	2074	1152	2304	1382

Desarrollo	Par motor: M [Nm]				
1º	18,61	18,37	19,34	19,92	20,24
2º	34,52	34,08	35,89	36,96	37,56
3º	50,22	49,57	52,20	53,76	54,63
4º	64,79	63,96	67,35	69,36	70,48
5º	80,70	79,67	83,89	86,40	87,79
6º	97,29	96,04	101,14	104,16	105,84
Desarrollo	Presión media efectiva: pme [bar]				
1º	1,46	1,44	1,52	1,57	1,59
2º	2,71	2,68	2,82	2,91	2,95
3º	3,95	3,90	4,10	4,23	4,30
4º	5,09	5,03	5,30	5,45	5,54
5º	6,35	6,26	6,60	6,79	6,90
6º	7,65	7,55	7,95	8,19	8,32

Empleando el par motor de cada una de las velocidades para los desarrollos seleccionados y el régimen de giro del motor como inputs en la gráfica del mapa motor, se obtiene el consumo medio específico.

Velocidades del vehículo [km/h]				
40	90	50	100	60
Potencia en motor [kW]				
9,39	20,86	12,20	25,13	15,32
Parámetro input (gráfica) : Par motor [Nm]				
34,52	79,67	52,20	104,16	54,63
Consumo específico medio (gráfica) [g/hkW]				
410	280	320	260	320
Consumo [g/h]				
3849,99	5839,94	3904,54	6534,63	4903,19
Consumo [l/100km]				
12,92	8,71	10,48	8,77	10,97
Distancia recorrida por zona [km]				
A	B	C	D	E
17,4	13,1	26,8	15,8	26,9
Litros consumidos por zona [l]				
2,25	1,14	2,81	1,39	2,95
CONSUMO MIXTO FINAL [l/100]				
10,53				

El consumo mixto final calculado para el Citroën C4 es de 10,53 litros a los 100km.



● ZONA A ● ZONA B ● ZONA C ● ZONA D ● ZONA E

### 5.4.2 SIMULACIÓN RENAULT MÉGANE 1.9 DCI 130 FAP (DIÉSEL)

La siguiente tabla recoge las especificaciones técnicas del segundo vehículo patrón tomados de Automobile Catalog, los datos del entorno, los parámetros útiles para el cálculo de consumos y el régimen ideal para la mayoría de los motores diésel.

Datos del vehículo			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Peso (vacío)	m'	1320	kg
Peso (con pasajeros)	m	1420	kg
Coef. Penetración	Cx	0,32	-
Área frontal	Afp	2,22	m <sup>2</sup>
Cilindrada	V	1870	cc
Factor ciclo	fc	0,5	m <sup>3</sup>
Desarrollo 1	1º	9,1	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 2	2º	17	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 3	3º	24,8	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 4	4º	32,9	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 5	5º	42,8	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 6	6º	52,1	Km/h 1000 rpm
Coef. Inercial	km	1,1	-
Masa equivalente	meq	1562	kg
Datos entorno			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Densidad del aire	$\rho_a$	1,3	kg/m <sup>3</sup>
Coef. Rodadura	f	0,03	-
Gravedad	g	9,81	m/s <sup>2</sup>
Datos para el consumo			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Rendimiento transmisión	$\eta_t$	0,9	-
Poder cal. combustible	Qc	43704	kJ/kg
Densidad combustible	$\rho_c$	845	kg/m <sup>3</sup>
Regimen ideal de giro del motor [rpm]			
Gasolina		Diésel	
2500		2100	

La siguiente tabla recoge las fuerzas agentes sobre el vehículo calculadas para las condiciones definidas previamente para cada una de las zonas empleado los fundamentos físicos del apartado anterior.

ZONA	Condiciones funcionamiento		Fuerzas agentes sobre el vehículo			
	Velocidad [km/h]	Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	F.rodadura [N]	F.aerodinamica [N]	F.faceleración [N]	F.total [N]
A	40	0,2	417,91	57,01	312,4	787,31
B	90	0,05	417,91	288,60	78,1	784,61
C	50	0,2	417,91	89,07	312,4	819,38
D	100	0,05	417,91	356,30	78,1	852,30
E	60	0,2	417,91	128,27	312,4	858,57

A continuación, se muestran la potencia que se ha de transmitir a las ruedas y la que ha de generar el motor, relacionadas a través del rendimiento.

Potencia en rueda		Potencia en motor	
Pot. en rueda [kW]	Pot. en rueda [cv]	Pot. en motor [kW]	Pot. en motor [cv]
8,75	11,89	9,72	13,21
19,62	26,65	21,79	29,61
11,38	15,46	12,64	17,18
23,68	32,17	26,31	35,74
14,31	19,44	15,90	21,60

Los desarrollos seleccionados para cada velocidad (de las zonas A, B, C, D y E y en base al régimen de giro del motor) han sido 2º, 5º, 3º, 6º y 4º respectivamente.

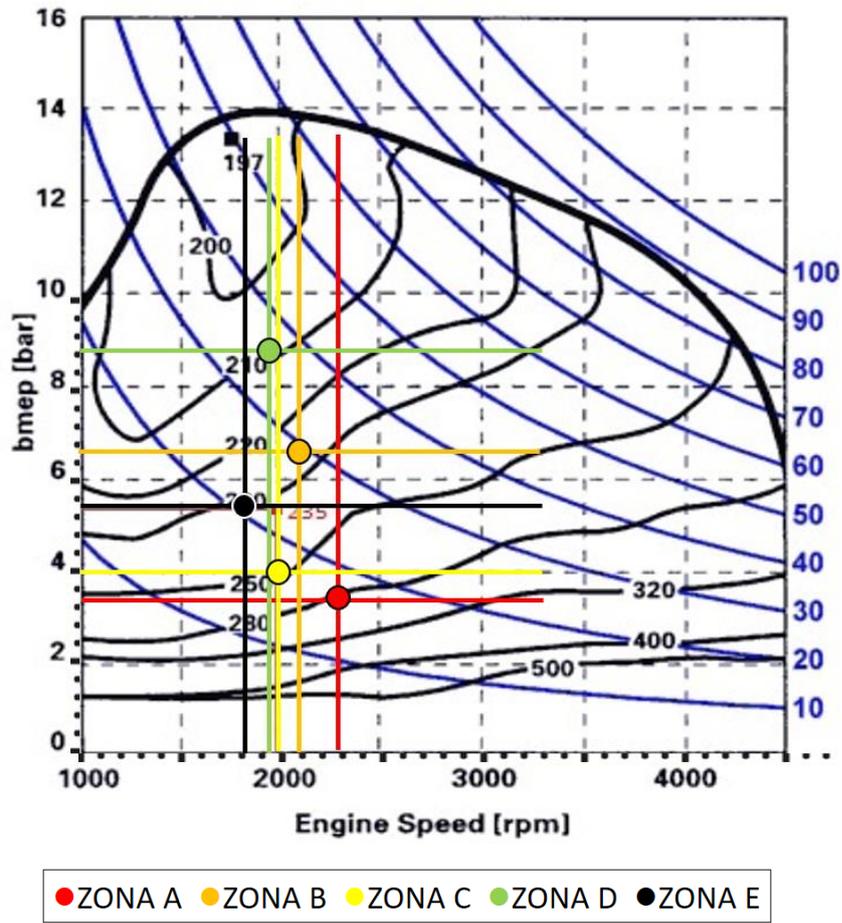
Desarrollo	Velocidades del vehículo [km/h]				
	40	90	50	100	60
	Potencia en motor [kW]				
	9,72	21,79	12,64	26,31	15,90
Desarrollo	Velocidad de giro del motor: n [rpm]				
1º	4396	9890	5495	10989	6593
2º	2353	5294	2941	5882	3529
3º	1613	3629	2016	4032	2419
4º	1216	2736	1520	3040	1824
5º	935	2103	1168	2336	1402
6º	768	1727	960	1919	1152
Desarrollo	Par motor: M [Nm]				
1º	21,12	21,04	21,98	22,86	23,03
2º	39,45	39,31	41,05	42,70	43,02
3º	57,55	57,35	59,89	62,30	62,76
4º	76,34	76,08	79,45	82,64	83,25
5º	99,32	98,97	103,36	107,51	108,30
6º	120,90	120,48	125,82	130,88	131,84

Desarrollo	Presión media efectiva: pme [bar]				
1º	1,42	1,41	1,48	1,54	1,55
2º	2,65	2,64	2,76	2,87	2,89
3º	3,87	3,85	4,02	4,19	4,22
4º	5,13	5,11	5,34	5,55	5,59
5º	6,67	6,65	6,95	7,22	7,28
6º	8,12	8,10	8,46	8,79	8,86

Empleando la presión media específica de cada una de las velocidades para los desarrollos seleccionados y el régimen de giro del motor como inputs en la gráfica del mapa motor, se obtiene el consumo medio específico.

Velocidades del vehículo [km/h]				
40	90	50	100	60
Potencia en motor [kW]				
9,72	21,79	12,64	26,31	15,90
Parámetro input (gráfica) : pme [bar]				
2,65	6,65	4,02	8,79	5,59
Consumo específico medio (gráfica) [g/hkW]				
280	225	250	210	230
Consumo [g/h]				
2721,58	4903,79	3161,19	5524,18	3656,88
Consumo [l/100km]				
8,05	6,45	7,48	6,54	7,21
Distancia recorrida por zona [km]				
A	B	C	D	E
17,40	13,10	26,80	15,80	26,90
Litros consumidos por zona [l]				
1,40	0,84	2,01	1,03	1,94
CONSUMO MIXTO FINAL [l/100]				
7,22				

El consumo mixto final calculado para el Renault Mégane es de 7,22 litros a los 100km.



### 5.4.3 SIMULACIÓN OPEL CORSA 1.4 (100) ECOFLEX (GASOLINA)

La siguiente tabla recoge las especificaciones técnicas del tercer vehículo patrón tomados de Automobile Catalog, los datos del entorno, los parámetros útiles para el cálculo de consumos y el régimen ideal para la mayoría de los motores gasolina.

Datos del vehículo			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Peso (vacío)	m'	1066	kg
Peso (con pasajeros)	m	1166	kg
Coef. Penetración	Cx	0,3	-
Área frontal	Afp	2,12	m <sup>2</sup>
Cilindrada	V	1364	cc
Factor ciclo	fc	0,5	m <sup>3</sup>
Desarrollo 1	1º	7,5	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 2	2º	13,1	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 3	3º	19,8	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 4	4º	25	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 5	5º	31,4	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 6	6º	-	Km/h 1000 rpm
Coef. Inercial	km	1,1	-
Masa equivalente	meq	1282,6	kg
Datos entorno			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Densidad del aire	$\rho_a$	1,3	kg/m <sup>3</sup>
Coef. Rodadura	f	0,03	-
Gravedad	g	9,81	m/s <sup>2</sup>
Datos para el consumo			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Rendimiento transmisión	$\eta_t$	0,9	-
Poder cal. combustible	Q	44604	kJ/kg
Densidad combustible	$\rho_c$	745	kg/m <sup>3</sup>
Régimen ideal de giro del motor [rpm]			
Gasolina		Diésel	
2500		2100	

La siguiente tabla recoge las fuerzas agentes sobre el vehículo calculadas para las condiciones definidas previamente para cada una de las zonas empleado los fundamentos físicos del apartado anterior.

ZONA	Condiciones funcionamiento		Fuerzas agentes sobre el vehículo			
	Velocidad [km/h]	Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	F.rodadura [N]	F.aerodinamica [N]	F.aceleración [N]	F.total [N]
A	40	0,2	343,15	51,04	256,52	650,71
B	90	0,05	343,15	258,38	64,13	665,66
C	50	0,2	343,15	79,75	256,52	679,42
D	100	0,05	343,15	318,98	64,13	726,27
E	60	0,2	343,15	114,83	256,52	714,51

A continuación, se muestran la potencia que se ha de transmitir a las ruedas y la que ha de generar el motor, relacionadas a través del rendimiento.

Potencia en rueda		Potencia en motor	
Pot. en rueda [kW]	Pot. en rueda [cv]	Pot. en motor [kW]	Pot. en motor [cv]
7,23	9,82	8,03	10,92
16,64	22,61	18,49	25,12
9,44	12,82	10,48	14,25
20,17	27,41	22,42	30,46
11,91	16,18	13,23	17,98

Los desarrollos seleccionados para cada velocidad (de las zonas A, B, C, D y E y en base al régimen de giro del motor) han sido 2°, 5°, 3°, 5° y 4° respectivamente.

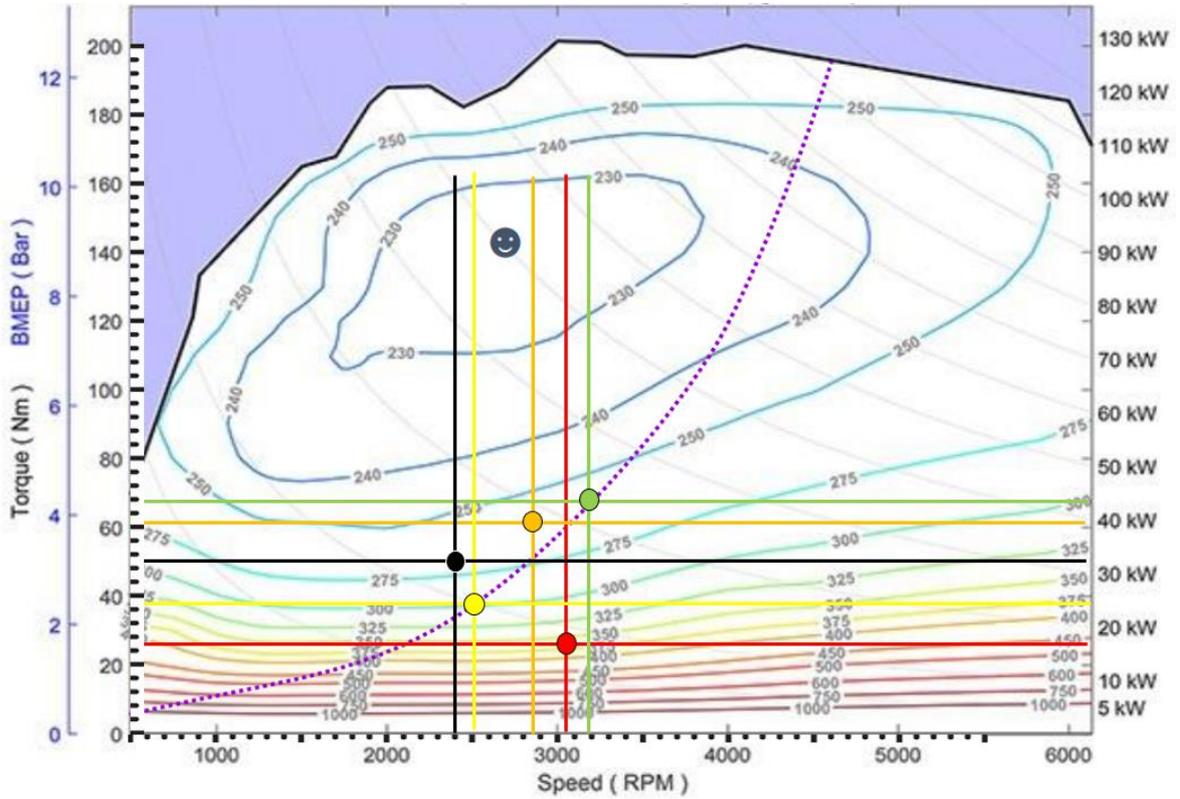
Desarrollo	Velocidades del vehículo [km/h]				
	40	90	50	100	60
	Potencia en motor [kW]				
	8,03	18,49	10,48	22,42	13,23
Desarrollo	Velocidad de giro del motor: n [rpm]				
1º	5333	12000	6667	13333	8000
2º	3053	6870	3817	7634	4580
3º	2020	4545	2525	5051	3030
4º	1600	3600	2000	4000	2400
5º	1274	2866	1592	3185	1911
6º	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!	#¡VALOR!
Desarrollo	Par motor: M [Nm]				
1º	14,38	14,71	15,02	16,05	15,79
2º	25,12	25,70	26,23	28,04	27,59
3º	37,97	38,85	39,65	42,38	41,70
4º	47,95	49,05	50,06	53,51	52,65
5º	60,22	61,60	62,88	67,21	66,12

Desarrollo	Presión media efectiva: pme [bar]				
	1º	1,33	1,36	1,38	1,48
2º	2,31	2,37	2,42	2,58	2,54
3º	3,50	3,58	3,65	3,90	3,84
4º	4,42	4,52	4,61	4,93	4,85
5º	5,55	5,68	5,79	6,19	6,09

Empleando el par motor de cada una de las velocidades para los desarrollos seleccionados y el régimen de giro del motor como inputs en la gráfica del mapa motor, se obtiene el consumo medio específico.

Velocidades del vehículo [km/h]				
40	90	50	100	60
Potencia en motor [kW]				
8,03	18,49	10,48	22,42	13,23
Parámetro input (gráfica) : Par motor [Nm]				
25,12	61,60	39,65	67,21	52,65
Consumo específico medio (gráfica) [g/hkW]				
365	260	300	260	270
Consumo [g/h]				
2932,22	4807,54	3145,46	5828,05	3572,54
Consumo [l/100km]				
9,84	7,17	8,44	7,82	7,99
Distancia recorrida por zona [km]				
A	B	C	D	E
17,4	13,1	26,8	15,8	26,9
Litros consumidos por zona [l]				
1,71	0,94	2,26	1,24	2,15
<b>CONSUMO MIXTO FINAL [l/100]</b>				
<b>8,30</b>				

El consumo mixto final calculado para el Opel Corsa es de 8,3 litros a los 100km.



● ZONA A ● ZONA B ● ZONA C ● ZONA D ● ZONA E

#### 5.4.4 SIMULACIÓN CITROËN C3 HDi 70 (DIÉSEL)

La siguiente tabla recoge las especificaciones técnicas del cuarto vehículo patrón tomados de Automobile Catalog, los datos del entorno, los parámetros útiles para el cálculo de consumos y el régimen ideal para la mayoría de los motores diésel.

Datos del vehículo			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Peso (vacío)	m'	1070	kg
Peso (con pasajeros)	m	1170	kg
Coef. Penetración	Cx	0,31	-
Área frontal	Afp	2,2	m <sup>2</sup>
Cilindrada	V	1398	cc
Factor ciclo	fc	0,5	m <sup>3</sup>
Desarrollo 1	1º	8,7	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 2	2º	16,4	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 3	3º	25,4	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 4	4º	35	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 5	5º	43,7	Km/h 1000 rpm
Desarrollo 6	6º	-	Km/h 1000 rpm
Coef. Inercial	km	1,1	-
Masa equivalente	meq	1287	kg
Datos entorno			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Densidad del aire	$\rho_a$	1,3	kg/m <sup>3</sup>
Coef. Rodadura	f	0,03	-
Gravedad	g	9,81	m/s <sup>2</sup>
Datos para el consumo			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Rendimiento transmisión	$\eta_t$	0,9	-
Poder cal. combustible	Q	43704	kJ/kg
Densidad combustible	$\rho_c$	845	kg/m <sup>3</sup>
Régimen ideal de giro del motor [rpm]			
Gasolina		Diésel	
2500		2100	

La siguiente tabla recoge las fuerzas agentes sobre el vehículo calculadas para las condiciones definidas previamente para cada una de las zonas empleado los fundamentos físicos del apartado anterior.

ZONA	Condiciones funcionamiento		Fuerzas agentes sobre el vehículo			
	Velocidad [km/h]	Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]	F.rodadura [N]	F.aerodinámica [N]	F.faceleración [N]	F.total [N]
A	40	0,2	344,33	54,73	257,4	656,46
B	90	0,05	344,33	277,06	64,35	685,74
C	50	0,2	344,33	85,51	257,4	687,24
D	100	0,05	344,33	342,05	64,35	750,73
E	60	0,2	344,33	123,14	257,4	724,87

A continuación, se muestran la potencia que se ha de transmitir a las ruedas y la que ha de generar el motor, relacionadas a través del rendimiento.

Potencia en rueda		Potencia en motor	
Pot. en rueda [kW]	Pot. en rueda [cv]	Pot. en motor [kW]	Pot. en motor [cv]
7,29	9,91	8,10	11,01
17,14	23,29	19,05	25,88
9,55	12,97	10,61	14,41
20,85	28,33	23,17	31,48
12,08	16,41	13,42	18,24

Los desarrollos seleccionados para cada velocidad (de las zonas A, B, C, D y E y en base al régimen de giro del motor) han sido 2º, 5º, 3º, 5º y 4º respectivamente.

Desarrollo	Velocidades del vehículo [km/h]				
	40	90	50	100	60
	Potencia en motor [kW]				
	8,10	19,05	10,61	23,17	13,42
Desarrollo	Velocidad de giro del motor: n [rpm]				
1º	4598	10345	5747	11494	6897
2º	2439	5488	3049	6098	3659
3º	1575	3543	1969	3937	2362
4º	1143	2571	1429	2857	1714
5º	915	2059	1144	2288	1373
Desarrollo	Par motor: M [Nm]				
1º	16,83	17,58	17,62	19,25	18,59
2º	31,73	33,15	33,22	36,29	35,04
3º	49,14	51,34	51,45	56,20	54,27
4º	67,72	70,74	70,89	77,44	74,77
5º	84,55	88,32	88,52	96,69	93,36

Desarrollo	Presión media efectiva: pme [bar]				
1º	1,51	1,58	1,58	1,73	1,67
2º	2,85	2,98	2,99	3,26	3,15
3º	4,42	4,61	4,62	5,05	4,88
4º	6,09	6,36	6,37	6,96	6,72
5º	7,60	7,94	7,96	8,69	8,39

Empleando la presión media específica de cada una de las velocidades para los desarrollos seleccionados y el régimen de giro del motor como inputs en la gráfica del mapa motor, se obtiene el consumo medio específico.

Velocidades del vehículo [km/h]				
40	90	50	100	60
Potencia en motor [kW]				
8,10	19,05	10,61	23,17	13,42
Parámetro input (gráfica) : pme [bar]				
2,85	7,94	4,62	8,69	6,72
Consumo específico medio (gráfica) [g/hkW]				
267	222	247	218	227
Consumo [g/h]				
2163,88	4228,75	2619,59	5051,23	3047,14
Consumo [l/100km]				
6,40	5,56	6,20	5,98	6,01
Distancia recorrida por zona [km]				
A	B	C	D	E
17,4	13,1	26,8	15,8	26,9
Litros consumidos por zona [l]				
1,11	0,73	1,66	0,94	1,62
<b>CONSUMO MIXTO FINAL [l/100]</b>				
<b>6,07</b>				

Puesto que en esta última simulación los consumos medios específicos se obtienen de una tabla con valores fijos, para mayor precisión, se han interpolado los valores de la presión media específica correspondientes a las velocidades de las zonas C, D y E. El consumo mixto final calculado para el Citroën C3 es de 6,07 litros a los 100km.

	ENG rpm									
	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	3000	3250
1	437,3	422,4	426,1	431,5	444,4	442,1	476,3	491,8	537,5	555,0
2	305,6	304,5	307,0	309,7	315,4	303,0	313,8	324,6	348,3	357,2
3	268,0	272,3	285,2	284,2	275,2	262,0	266,9	273,3	286,4	292,9
4	252,2	254,9	259,5	259,0	252,5	244,1	244,7	250,9	259,1	264,5
5	244,0	246,3	249,7	250,6	244,0	233,8	234,5	240,6	244,1	251,4
6	240,4	233,1	229,1	228,9	228,7	228,2	228,1	232,3	236,0	242,2
7	238,9	231,2	228,2	226,7	225,9	222,6	223,5	226,8	230,2	236,9
8	242,4	241,7	227,7	226,1	221,9	219,1	220,0	222,9	226,8	233,8
9	263,9	235,4	227,8	223,3	219,1	216,9	217,7	220,3	224,4	230,8
10		232,5	227,4	222,8	217,5	216,0	215,9	218,1	222,9	227,8
11		235,1	226,7	220,2	216,0	214,7	214,6	217,0	221,6	225,6
12		238,8	226,0	218,9	215,1	213,4	213,6	216,1	220,1	224,0
13		241,6	225,7	218,3	214,3	212,9	213,3	215,7	219,1	222,9
14		245,1	226,2	217,7	213,9	212,9	213,2	215,5	218,7	222,3
15			227,7	217,5	214,6	213,2	213,9	215,6	217,8	222,2
16			227,3	218,8	215,3	215,3	215,8	217,1	218,7	223,6
17			229,3	219,6	217,1	217,6	218,2	219,1	220,7	226,1
18			229,6	221,3	218,2	218,6	219,3	220,4	223,8	229,7
19			229,6	222,3	219,8	220,8	221,0	222,7	228,6	234,9
20				223,6	221,2	221,7	223,9	227,3	231,7	
21				223,4	220,9	223,2	228,3	228,4		
22				223,4	220,3	223,5	226,9			
full load	267,9	253,7	231,8	224,8	222,4	228,0	227,2	227,5	230,3	235,7
BMEP (bar)										

● ZONA A ● ZONA B ● ZONA C ● ZONA D ● ZONA E

## **Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS, ALTERNATIVAS Y**

### **CONCLUSIONES**

#### **6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Como era de esperar, los vehículos arrojan consumos de combustible diferentes a los homologados por las firmas automovilísticas.

Hasta el año 2017 se empleó el ciclo NEDC (New European Driving Cycle) para homologar los consumos y las emisiones de los vehículos europeos. Se trata de un ciclo obsoleto concebido en los años 80. El análisis de los vehículos se realiza en un laboratorio con una simulación de 11 kilómetros y 20 minutos con unas condiciones de funcionamiento poco realistas. El ciclo permitía realizar aceleraciones de 0 a 50 km/h en unos absurdos 26 segundos, con relaciones impuestas y a temperaturas de 20°C que permiten reducir los consumos. El ciclo NEDC tan solo exigía una potencia máxima de 34 kW o 45,5 cv con el vehículo parado el 25% del tiempo.

Por otra parte, la industria automovilística incorporaba relaciones más largas para que, bajo las anteriores condiciones, sus vehículos homologasen consumos inferiores. Sin embargo, en condiciones reales de circulación los vehículos podrían quedar bajos de régimen con respuestas perezosas. Esto propicia el uso de relaciones más cortas que aumentan los consumos.

En septiembre del año 2017 entró en vigor el protocolo de mediciones WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure), homologación obligatoria para todos los nuevos vehículos matriculados. Esta nueva normativa es más realista, con un recorrido que aumenta a los 23,35 kilómetros, así como la potencia demandada hasta los 47 kW o 65 cv. La temperatura se reduce a 14°C al igual que el tiempo en parado a un 13%.

A pesar de que la nueva normativa es más fiel a la realidad, el grueso del parque circulante de la Comunidad de Madrid, así como los vehículos ensayados, están sujetos a la homologación del ciclo NEDC. Por lo tanto, para cuantificar la reducción de las emisiones no se emplearán los consumos homologados.

En su lugar, se emplearán los consumos arrojados por las anteriores simulaciones. Para calcular las emisiones de contaminantes se tomarán los umbrales máximos de las homologaciones medioambientales a las que están sujetos los vehículos (EURO 5).

Estableciendo una relación entre el consumo calculado y el homologado se obtendrá el factor de consumos, cociente entre los dos anteriores valores. Este factor será empleado para estimar las emisiones correspondientes a cada simulación. Para ello, se multiplicarán los umbrales máximos de las emisiones de la homologación medioambiental por el coeficiente de consumos de cada vehículo.

### **6.1.1 EMISIONES POR VEHÍCULO SIMULADO**

El consumo máximo homologado por el Citroën C4 es de 8,6 litros a los 100 km. El consumo calculado es de 10,53 l/100km, es decir, un 22,44% superior. El factor de consumos resultante es igual a  $10,53/8,6 = 1,22$ . Dado que el combustible es gasolina, las emisiones resultantes son:

- Monóxido de carbono (CO): 1220 mg/km
- Material particulado (PM y PST): 6,1 mg/km
- Óxidos de nitrógeno (NOx): 73,2 mg/km
- Hidrocarburos no metanos: 83,0 mg/km
- hidrocarburos totales: 122 mg/km
- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): 148 g/km

El consumo máximo homologado por el Renault Mégane es de 6,2 litros a los 100 km. El consumo calculado es de 7,22 l/, es decir, un 16,45% superior. El factor resultante es igual a  $7,22/6,2 = 1,16$ . Dado que el combustible es diésel, las emisiones resultantes son:

- monóxido de carbono (CO): 580 mg/km
- material particulado (PM y PST): 5,8 mg/km
- óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>): 208,8 mg/km
- emisiones combinadas de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno: 266,8 mg/km.
- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): 135 g/km

El consumo máximo homologado por el Opel Corsa es de 7,3 litros a los 100 km. El consumo calculado es de 8,3 l/, es decir, un 13,7% superior. El factor resultante es igual a  $8,3/7,3 = 1,14$ . Dado que el combustible es gasolina, las emisiones resultantes son:

- monóxido de carbono (CO): 1140 mg/km
- material particulado (PM y PST): 5,7 mg/km
- óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>): 68,4 mg/km
- hidrocarburos no metanos: 77,5 mg/km
- hidrocarburos totales: 114 mg/km
- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): 124 g/km

El consumo máximo homologado por el Citroën C3 es de 4,7 litros a los 100 km. El consumo calculado es de 6,07 l/100km, es decir, un 29,15% superior. El factor resultante es igual a  $6,07/4,7 = 1,29$ . Dado que el combustible es diésel, las emisiones resultantes son:

- monóxido de carbono (CO): 645 mg/km
- material particulado (PM y PST): 6,45 mg/km
- óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>): 232,2 mg/km
- emisiones combinadas de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno: 296,7 mg/km.
- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): 104 g/km

## 6.1.2 EMISIONES TOTALES Y CRITERIO DE EXTRAPOLACIÓN

La siguiente tabla resume los resultados de las emisiones obtenidas para los cuatro vehículos patrón (gasolina y diésel):

Vehículos gasolina				
Contaminantes	Unidad	Citröen C4	Opel Corsa	Promedio
monóxido de carbono (CO)	mg/km	1220	1140	1180
material particulado (PM y PST)	mg/km	6,1	5,7	5,9
óxidos de nitrógeno (NOx)	mg/km	73,2	68,4	70,8
hidrocarburos no metanos	mg/km	83	77,5	80,25
hidrocarburos totales	mg/km	122	114	118
dióxido de carbono (CO2)	g/km	148	124	136

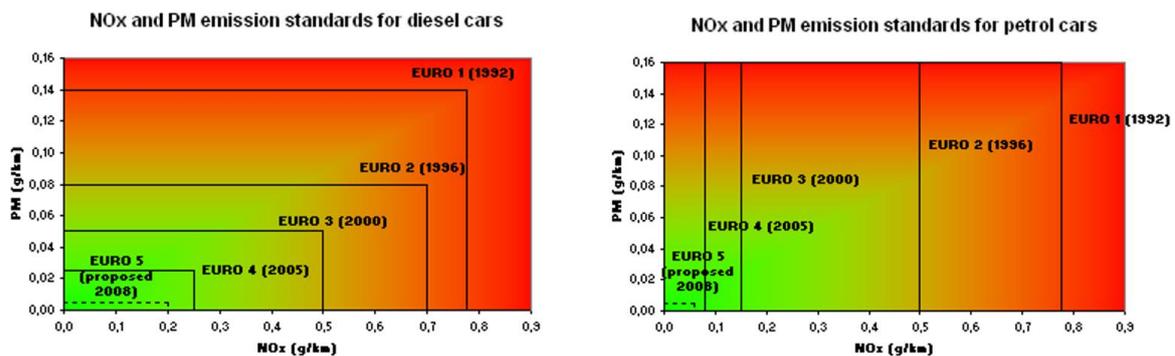
Vehículos diésel				
Contaminantes	Unidad	Renault Megane	Citröen C3	Promedio
monóxido de carbono (CO)	mg/km	580	645	612,5
material particulado (PM y PST)	mg/km	5,8	6,5	6,15
óxidos de nitrógeno (NOx)	mg/km	208,8	232,2	220,5
hidrocarburos + óxidos de nitrógeno	mg/km	266,8	296,7	281,75
dióxido de carbono (CO2)	g/km	135	104	119,5

Los anteriores valores resultan útiles para modelizar el parque circulante en su conjunto al haber empleado la antigüedad media de los vehículos. Sin embargo, las restricciones afectan a los vehículos gasolina anteriores a 2006 y a los diésel anteriores al 2000. Estos están sujetos a normativas ambientales que difieren de la anterior Euro 5. Las siguientes tablas resumen los valores límite (expresados en g/km) para turismos de las diferentes homologaciones. La última columna muestra el porcentaje (por homologación medioambiental) de vehículos registrados en la Zona A en el muestreo del EPCM 2017.

Tipo	Fecha	CO	THC	HC+NOx	NOx	PM	Proporción
<b>Diésel</b>							
Euro 1	1992	2.72	–	0.97	–	0.14	0,30%
Euro 2	1996	1.0	–	0.7	–	0.08	2,20%
Euro 3	2000	0.64	–	0.56	0.50	0.05	14,80%
Euro 4	2005	0.50	–	0.30	0.25	0.025	36,03%
Euro 5	2009	0.50	–	0.23	0.18	0.005	24,98%
Euro 6	2014	0.50	–	0.17	0.08	0.005	21,69%

Tipo	Fecha	CO	THC	HC+NOx	NOx	PM	Proporción
<b>Gasolina</b>							
<b>Euro 1</b>	1992	2.72	–	0.97	–	–	1,03%
<b>Euro 2</b>	1996	2.2	–	0.5	–	–	3,20%
<b>Euro 3</b>	2000	2.30	0.20	–	0.15	–	14,13%
<b>Euro 4</b>	2005	1.0	0.10	–	0.08	–	28,91%
<b>Euro 5</b>	2009	1.0	0.10	–	0.06	0.005	24,06%
<b>Euro 6</b>	2014	1.0	0.10	0.160	0.06	0.005	28,67%

Como evidencia la tabla, tomando los valores límite directamente de las normativas medioambientales, no se dispone de la suficiente información. Esto se debe a la no medición de ciertos contaminantes en las primeras homologaciones. Sin embargo, el servicio informativo DieselNet recabó la siguiente información [19]:



*Ilustración 19. Emisiones de las normas europeas (DieselNet)*

Los vehículos diésel afectados por las restricciones son aquellos con normativas Euro 4 o anteriores. Los vehículos gasolina afectados por las restricciones contarán con homologaciones Euro 1, Euro 2 y Euro 3. Representando un 5,61%, 17,45% y 76,94%, respectivamente (sobre el total de vehículos gasolina afectados en la Zona A).

Con esta información es posible computar unas emisiones aproximadas para los vehículos afectados por las restricciones (expresados en g/km):

CO	THC	HC+NOx	NOx	PM
<b>Diésel</b>				
1,207	-	0,733	0,710	0,087
<b>Gasolina</b>				
2,3061	-	-	0,2464	0,1600

Según el ministerio de transición ecológica, el español recorre una media diaria de 28,9 km en automóvil. Atendiendo a la distribución de recorridos por las distintas zonas del municipio de Madrid, el 17,4% corresponde a la ZONA A (Interior de la M30). Luego,  $28,9 \cdot 0,174 = 5,03$  km se recorren diariamente en el interior de la M30.

Por otro lado, según el Estudio del Parque Circulante de 2017, el 13,41% de las lecturas de matrícula realizadas en la ZONA A, correspondían a vehículos sin distintivo medioambiental. Por lo tanto,  $5,03 \cdot 0,1341 = 0,6743$  km son recorridos diariamente por cada vehículo sin distintivo en el interior de la M30.

El ayuntamiento de Madrid asegura que en la Comunidad de Madrid se producen 15,8 millones de desplazamientos en un día laborable y que cada madrileño realiza una media de 2,4 viajes. Es decir,  $15,8 / 2,4 = 6,58$  millones de madrileños se desplazan diariamente.

Aunando todo lo anterior:  $6,58$  millones de desplazamientos  $\cdot 0,6743$  km =  $4,44$  millones de km se recorren diariamente en el interior de la M30 por vehículos sin distintivo medioambiental.

Los registros del Estudio del Parque Circulante de Madrid indican que el 28,82% de los vehículos sin distintivo son gasolina frente al 71,18% de vehículos diésel.

Luego la siguiente tabla agrupa la información anterior y las emisiones totales:

		Vehículos gasolina	Vehículos diésel	Total
	Unidades	28,82%	71,18%	100,00%
Kilómetros recorridos diariamente en el interior de la M30 por vehículos sin distintivo	km	1279483	3159890	4439374
Emisiones por km monóxido de carbono (CO)	mg/km	1180	612,5	-
Emisiones por km material particulado (PM y PST)	mg/km	5,9	6,15	-
Emisiones por km óxidos de nitrógeno (NOx)	mg/km	70,8	220,5	-
Emisiones por km dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	g/km	136	119,5	-
Emisiones anuales monóxido de carbono (CO)	t	551,07	706,43	<b>1257,51</b>
Emisiones anuales material particulado (PM y PST)	t	2,76	7,09	<b>9,85</b>
Emisiones anuales óxidos de nitrógeno (NOx)	t	33,06	254,32	<b>287,38</b>
Emisiones anuales dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	t	63513,56	137826,52	<b>201340,08</b>

Por último, ponderando las anteriores emisiones relativas a los vehículos de la Zona A sujetos a restricciones:

		Vehículos gasolina	Vehículos diésel	Total
	Unidades	28,82%	71,18%	100,00%
Emisiones anuales monóxido de carbono (CO)	t	1270,82	808,27	1257,51
Emisiones anuales material particulado (PM y PST)	t	88,32	49,43	9,85
Emisiones anuales óxidos de nitrógeno (NOx)	t	135,77	481,73	287,38
Emisiones anuales dióxido de carbono (CO2)	t	63513,56	137826,52	201340,08

Para ponderar las emisiones son el NOx en los vehículos gasolina, el PM en los diésel y el CO en ambos casos, se han empleado las tablas de las homologaciones. Para aquellos contaminantes de los que no se dispone documentación oficial, se han empleado las gráficas de DieselNet (ponderadas a su vez en función de la proporción de homologaciones según el EPCM 2017).

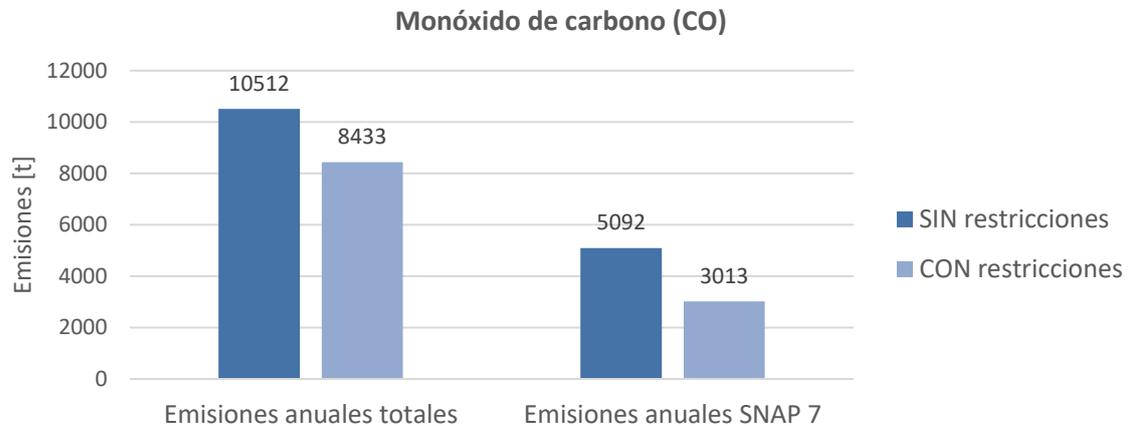
Ahora es posible evaluar el impacto de la medida retomando los registros de las emisiones de contaminantes del Inventario de Emisiones de la Comunidad de Madrid. Las emisiones anuales totales y debidas al transporte por carretera de 2019 fueron:

	Unidades	Emisiones anuales totales 2019	Emisiones anuales SNAP 7 2019	Reducción de emisiones anuales
monóxido de carbono (CO)	t	10512	5092	2079,09
material particulado (PM y PST)	t	2627,1	1711	137,75
óxidos de nitrógeno (NOx)	t	14286	6020	617,50
dióxido de carbono (CO2)	t	6361000	2563000	201340,08

### 6.1.3 RESULTADOS DEL ESTUDIO

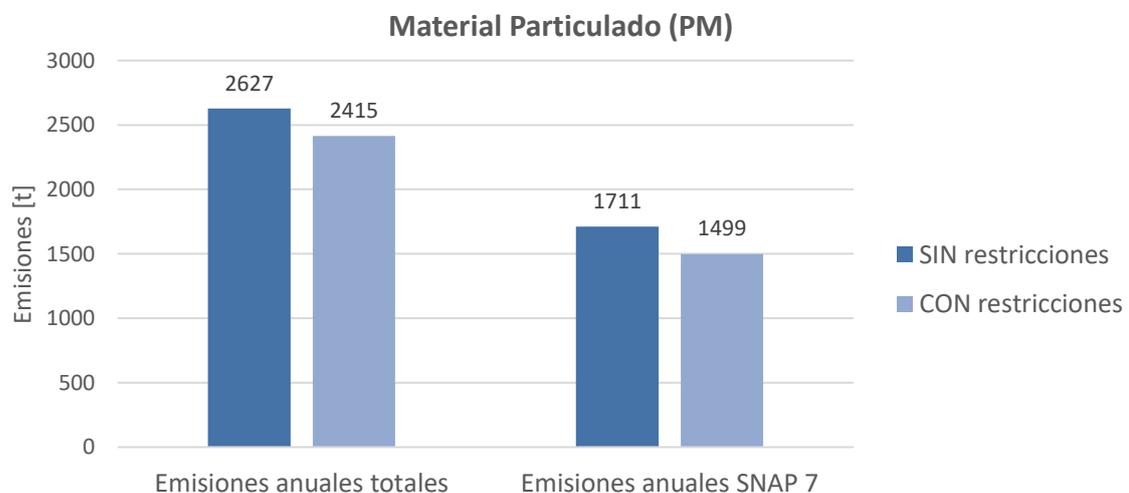
La restricción a la circulación por el interior de la M30 a los vehículos sin distintivo medioambiental tendría las siguientes repercusiones sobre la calidad del aire de la Comunidad de Madrid (tomando las emisiones de 2019):

- Reducción del 19,78% de las emisiones de monóxido de carbono (CO) respecto a las emisiones totales del año 2019 y del 40,83% de las emisiones debidas al transporte por carretera (SNAP 07).



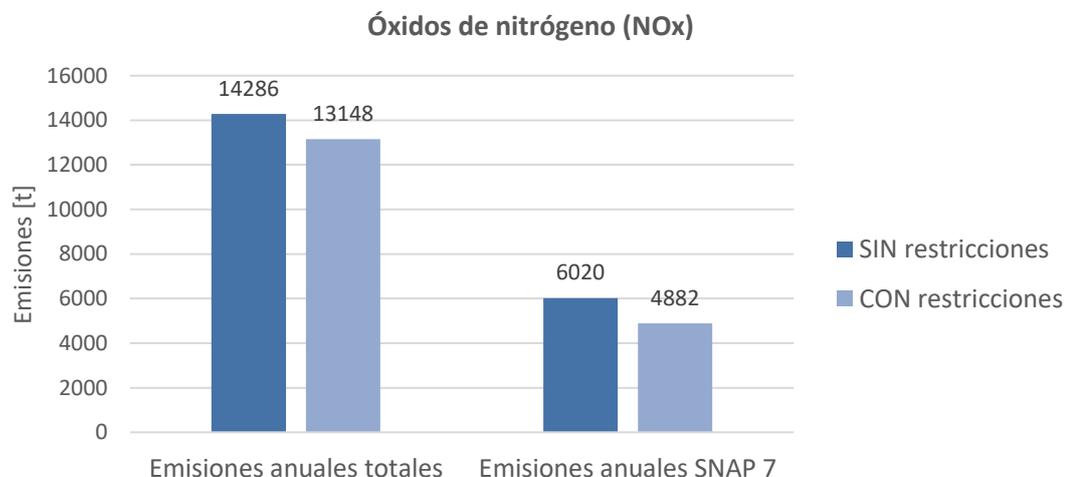
En cuanto al monóxido de carbono, el grupo 7 del tráfico rodado representa un 64% del total de las emisiones anuales. Por lo tanto, una reducción del 40% supondría una más que notoria reducción de las emisiones totales, cercana al 20%. El CO es una sustancia precursora del ozono. Por lo tanto, la restricción a la circulación de aquellos vehículos sin distintivo medioambiental supondría un gran avance respecto a la formación troposférico. Además, la media contribuiría a la reducción del riesgo a sufrir alteraciones neurológicas, cardiovasculares y nerviosas, ligadas a la exposición al CO.

- Disminución del 5,24% de las emisiones de material particulado (PM y PST) respecto a las emisiones totales del año 2019 y del 8,05% de las emisiones debidas al transporte por carretera (SNAP 07).



Como evidencia el gráfico anterior, el transporte por carretera es el principal agente en cuanto a las emisiones de material particulado. Los vehículos de la Comunidad de Madrid han sido los responsables del 70% de las mismas desde que se tienen registros. Es por ello por lo que la medida que tiene un impacto sobre el 8,05% de las emisiones debidas al tráfico, se traduce en una reducción no menos importante superior al 5% de las emisiones totales anuales de PM. La notoria disminución de la concentración de estos contaminantes repercutirá positivamente sobre la salud humana reduciendo la irritación de las vías respiratorias, la tos y la dificultad para respirar. Por otro lado, la medida tendrá efectos positivos sobre la biodiversidad, el contenido de nutrientes del suelo y la lluvia ácida.

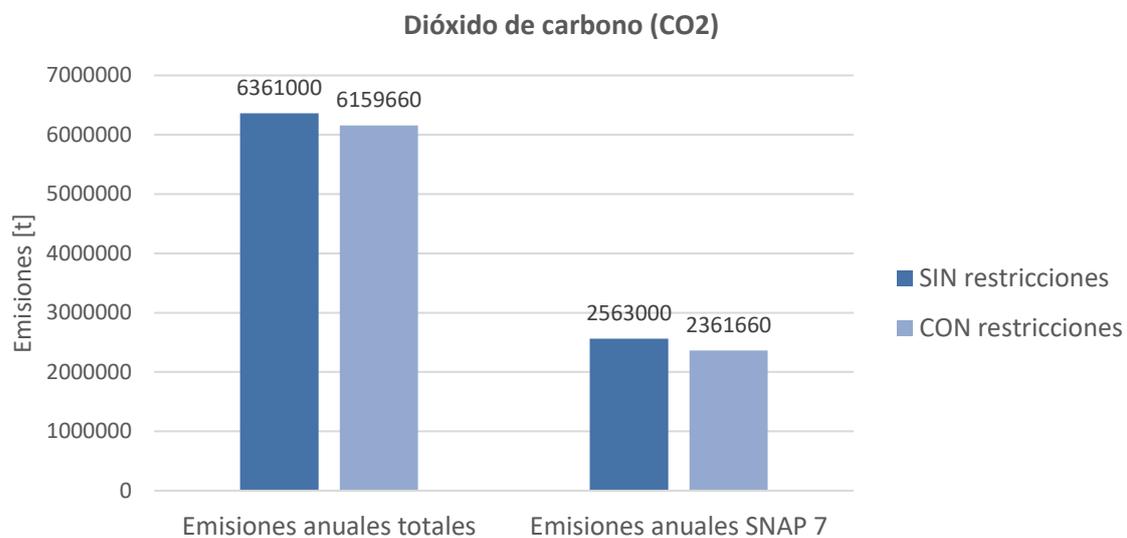
- Reducción del 4,32% de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) respecto a las emisiones totales del año 2019 y del 10,26% de las emisiones debidas al transporte por carretera (SNAP 07).



Las más recientes homologaciones con valores límite más estrictos, son las principales responsables de que las emisiones de NOx se redujeran un 53 respecto al año 1999. La progresiva disminución de las emisiones implica una menor contribución del SNAP 7 sobre las emisiones totales, un 42% en 2019. Por este motivo, la reducción (superior al 10%) de las emisiones debidas a la restricción a la circulación del transporte por carretera, se traslada a una inferior disminución del 4.32% sobre las emisiones totales anuales. No obstante, medida de Madrid 360 repercutirá positivamente reduciendo la acidificación y eutrofización de ecosistemas, afecciones metabólicas, limitación del

crecimiento vegetal. En la salud, la mejora de la calidad del aire disminuirá las infecciones pulmonares y las insuficiencias respiratorias[20].

- Disminución del 3,17% de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) respecto a las emisiones totales del año 2019 y del 7,86% de las emisiones debidas al transporte por carretera (SNAP 07).



El CO<sub>2</sub> es el gas de efecto invernadero más representativo sobre el total de las emisiones del municipio de Madrid con una contribución promedio del 82% y un máximo del 88% en 2019. A pesar de que el tráfico rodado es de las actividades que más contribuyen, la medida de Madrid 360 no llegaría al 8% la reducción de las emisiones debidas al SNAP 7. Esto sumado a que en el año 2019 el sector del automóvil tuviera una contribución de tan solo sobre las emisiones de GEI del 40%, el impacto sobre las emisiones totales anuales se reduce a un 3,17%. Sin embargo, aún sin ser muy notoria, la reducción de la concentración de CO<sub>2</sub> mitigará el impacto del calentamiento global.

## **6.2 ESTRATEGIA ALTERNATIVA**

La normativa medioambiental Madrid 360, en el sector del transporte, se centra fundamentalmente en la transición hacia la electrificación y la restricción a la circulación de aquellos vehículos más contaminantes. Las ayudas están dirigidas principalmente a aquellos vehículos electrificados, que, como se ha comentado anteriormente, ostentan precios de mercado fuera del alcance de muchos madrileños. Si bien es cierto que se están produciendo significativos avances en la industria del vehículo eléctrico, se trata de una tecnología relativamente reciente. No será hasta dentro de unos años cuando los coches eléctricos se equipararán a los propulsados por motores térmicos en cuanto a autonomía, tiempo y puntos de repostaje/recarga y precio.

Hasta entonces, es posible plantear diferentes líneas estratégicas con un horizonte a corto y medio plazo previas a la íntegra electrificación para el año 2050. A continuación, se planteará el incentivar los vehículos con etiquetas medioambientales C, es decir, vehículos nuevos gasolina y diésel. A pesar de la demonización de los combustibles fósiles, lo cierto es que la ya veterana tecnología basada en combustibles fósiles ha mejorado en términos de emisiones. Además, este tipo de motorizaciones cuenta con una tecnología madura con precios más asequibles. Como se mencionó anteriormente, según la Federación Europea de Transporte y Medio Ambiente los vehículos electrificados suponen un sobrecoste medio de 9.658€.

Dentro de los vehículos electrificados, los coches 100% eléctricos no emiten contaminantes. Sin embargo, actualmente son la tipología de vehículo más costosa, con la menor autonomía y con la mayor dependencia de los escasos puntos de recarga. Los puntos de recarga rápida (potencia superior a 50kW) de acceso público son 54, escasos comparados con las 770 gasolineras de la Comunidad de Madrid. Con un precio medio en 2020 de 41.571€, el vehículo eléctrico estaría al alcance de tan solo dos de cada diez hogares según el INE.

A pesar de que los precios medios de los coches a combustión han aumentado progresivamente, los 28.000€ de los gasolina y los 32.000€ de los diésel siguen estando muy

por debajo de los modelos eléctricos. El IPC de los automóviles alcanzó el 6% en abril del 2022, superando así máximos históricos. Según el sector, este se debe al encarecimiento de las materias primas, la escasez de semiconductores y las necesidades de I+D+i para alinearse con las nuevas exigencias medioambientales. Según indica Anfac, los vehículos actuales serían capaces de reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno hasta un 86% y las de partículas suspendidas hasta un 99%, respecto a un vehículo de hace 15 años.

Conceptualizando un modelo en el que los vehículos que afectados por las restricciones a la circulación de Madrid 360 son sustituidos por modelos con el distintivo medioambiental C y emisiones iguales a los valores límite de la homologación Euro 6:

- 4,44 millones de km se recorren diariamente en el interior de la M30 por vehículos sin distintivo medioambiental.
- Proporción de vehículos gasolina y diésel: 28,82% y 71,18%, respectivamente.
- Emisiones expresadas en g/km:

Tipo	CO	HC+NOx	NOx	PM	Proporción
<b>Euro 6 (Diésel)</b>	0,50	0,17	0,08	0,005	71,18%
<b>Euro 6 (Gasolina)</b>	1	0,16	0,06	0,005	28,82%
<b>Euro 6 (Combinado)</b>	<b>0,644</b>	<b>0,167</b>	<b>0,074</b>	<b>0,005</b>	<b>100,00%</b>

Con la información anterior es posible computar las emisiones anuales expresadas en toneladas:

Tipo	CO	NOx	PM
<b>Emisiones diarias (g)</b>	2859400,15	329561,29	22196,87
<b>Emisiones diarias (t)</b>	2,86	0,33	0,02
<b>Emisiones anuales (t)</b>	<b>1043,68</b>	<b>120,29</b>	<b>8,10</b>

Por lo tanto, la nueva reducción de las emisiones del modelo conceptualizado:

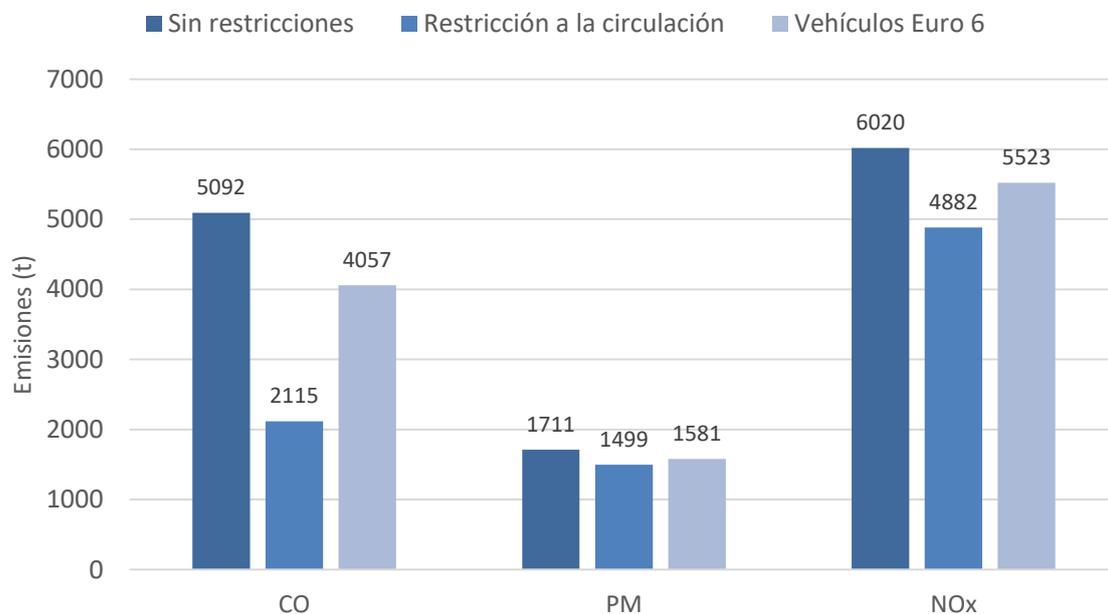
Tipo	CO	NOx	PM
<b>Emisiones anuales (t)</b>	<b>1933,15</b>	<b>1018,14</b>	<b>203,92</b>

El modelo en el que los vehículos que afectados por las restricciones a la circulación de Madrid 360 son sustituidos por modelos con homologación Euro 6 tendría las siguientes repercusiones sobre la calidad del aire de la Comunidad de Madrid (tomando las emisiones de 2019):

- Reducción del 9,85% de las emisiones de monóxido de carbono (CO) respecto a las emisiones totales del año 2019 y del 20,33% de las emisiones debidas al transporte por carretera (SNAP 07).
- Disminución del 4,94% de las emisiones de material particulado (PM y PST) respecto a las emisiones totales del año 2019 y del 7,58% de las emisiones debidas al transporte por carretera (SNAP 07).
- Reducción del 3,48% de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) respecto a las emisiones totales del año 2019 y del 8,26% de las emisiones debidas al transporte por carretera (SNAP 07).

La siguiente tabla compara la reducción porcentual de las emisiones debidas a la restricción al tráfico con el modelo conceptualizado con vehículos Euro 6 sobre las emisiones anuales del transporte por carretera (SNAP 7):

### Modelo con vehículos gasolina y diésel



Reducción de las emisiones (% sobre las emisiones anuales del SNAP 7)		
	Madrid 360 (Restricción a la circulación)	Modelo alternativo (Vehículos Euro 6)
<b>CO</b>	40,83%	20,83%
<b>PM y PST</b>	8,05%	7,58%
<b>NOx</b>	10,26%	8,26%

A excepción de las emisiones de monóxido de carbono (CO), la reducción de las emisiones del modelo con vehículos de replazo es ligeramente menor, pero hasta cierto punto equiparable a la debida exclusivamente a la restricción a la circulación. De este modo, el fomentar la compra de vehículos nuevos con distintivo medioambiental C se presenta como una alternativa racional a corto plazo desde los puntos de vista económicos y ecológicos de cara a complementar la electrificación. Por lo tanto, el ayuntamiento de Madrid también podría contemplar la posibilidad de incentivar la compra de este tipo de vehículos. Para ello se podrían ofrecer incentivos fiscales como rebajas en el impuesto de circulación, el IVI o el IRPF por la adquisición de vehículos menos contaminantes. Adicionalmente, se podrían ofrecer las ayudas por achatarramiento de vehículos sin distintivo para la compra de vehículos nuevos con distintivo medioambiental del tipo C.

### **6.3 CONCLUSIÓN**

Los resultados del estudio respaldan la efectividad de las medidas en la reducción de las emisiones de los contaminantes analizados. La calidad del aire es un ámbito que ha de ser analizado con una perspectiva holística dada la cantidad y heterogeneidad de las actividades involucradas. Los resultados obtenidos resultan ligeramente más pesimistas, pero coherentes con las expectativas de la administración madrileña.

En cuanto a las emisiones de óxidos de nitrógeno, el ayuntamiento espera una reducción de las emisiones del 11,3%. Dado que en el año 2019 el tráfico rodado tuvo una contribución a las emisiones de NOx del 42%, la reducción del 10,26% de las emisiones del SNAP 7 calculadas se ajustan a las anunciadas por la ordenanza.

Con respecto al material particulado, la reducción de las emisiones del 21,1% anunciadas por la administración se muestran aparentemente optimistas. Con una contribución del transporte por carretera igual al 65% en el año 2019, la reducción calculada del 8,05% sobre las emisiones debidas al tráfico rodado quedarían lejos de las estimadas por el ayuntamiento de Madrid.

La reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> anunciadas por la estrategia representan el 6,2% sobre las emisiones totales. Aún con una representatividad del 36% sobre las emisiones totales, el estudio ha arrojado una reducción cercana al 8% en el sector. Por ende, sin ser concluyente, la medida analizada sería efectiva en la consecución de los objetivos de reducción de emisiones esperados por la administración.

El estudio de la UPM no estima la reducción de las emisiones de monóxido de carbono. Sin embargo, se ha de mencionar la notoria reducción del 40,83% de las emisiones del sector, que tendría un impacto sobre las emisiones cercano al 20%.

Por otro lado, el modelo alternativo demostró efectividad siguiendo la tendencia del modelo precedente. El añadir vehículos gasolina y diésel no juega en beneficio de las emisiones, mas podría contemplarse como una estrategia complementaria prudente en el corto plazo de cara a la progresiva electrificación del parque móvil madrileño.

A pesar de su efectividad, se ha de atender las necesidades del 17,9% de los madrileños afectados por la medida que, o bien incurrirán en un importante desembolso, o se verán obligados a transicionar sus perfiles de movilidad.

La ordenanza Madrid 360 está compuesta por una amplia gama de medidas para los distintos ejes de actuación. Luego el que una de sus medidas pruebe eficacia no garantiza el éxito del conjunto de la estrategia. Sin embargo, los resultados obtenidos se muestran compatibles con los esperados por el Ayuntamiento de Madrid.

## ***6.4 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)***

En septiembre del año 2015 la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó el documento Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Los estados miembros aprobaron una batería de 17 Objetivos de Desarrollo sostenible (ODS) y 169 metas como ‘plan de acción en favor de las personas, el planeta y la prosperidad’ de cara a los próximos 15 años.

El desarrollo sostenible hace referencia al progreso capaz de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la posibilidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.



#### 6.4.1 ODS 3, SALUD Y BIENESTAR

El estudio se ve vinculado con el objetivo de desarrollo sostenible número 3, ‘*salud y bienestar*’ a través de las metas 3.6 y 3.9. La meta 3.4 busca *reducir a la mitad el número de muertes y lesiones causadas por accidentes de tráfico en el mundo*. Puesto que la restricción a la circulación de los vehículos afectaría a los vehículos más longevos y, por ende, menos seguros. Por otro lado, la meta 3.9 pretende *disminuir el número de muertes y enfermedades producidas por la contaminación del aire*. Como apuntan las simulaciones la restricción reduciría las emisiones de material particulado, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno entre otros, favoreciendo nuevamente el ODS3.

#### 6.4.2 ODS 11, CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES

La restricción a la circulación vendría acompañada de un refuerzo de los servicios de transporte público tal y como indica el Avance de la Estrategia de Sostenibilidad Ambiental Madrid 360. De este modo se avanza hacia la meta 11.2, *proporcionar acceso a sistemas de*

*transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles mediante la ampliación del transporte público del ODS 11 ‘ciudades y comunidades sostenibles’.* Sin embargo, dentro de la misma meta 11.2 se hace hincapié en las *personas en situación de vulnerabilidad* y son estas las primeras que se verían afectadas por la restricción. Los vehículos más longevos están en manos de los menos pudientes.

Por otro lado, la reducción de las emisiones de contaminantes impulsa la meta 11.6, *reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, prestando especial atención a la calidad del aire del ODS 11.*

### **6.4.3 ODS 13, ACCIÓN POR EL CLIMA**

El ODS número 13 ‘*acción por el clima*’ pretende adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Por lo tanto, Madrid 360 supone un paso al frente en la meta 13.2, *incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales*

## **Capítulo 7. BIBLIOGRAFÍA / WEBGRAFÍA**

- [1] DECRETO 2107/1968, de 16 de agosto, sobre el régimen de poblaciones con altos niveles de contaminación atmosférica o de perturbaciones por ruidos y vibraciones: BOE
- [2] LEY38/1972, de 23 de diciembre, de protección del ambiente atmosférico: BOE
- [3] REAL DECRETO 3536/1977, de 30 de diciembre, por el que se declaran aplicables a un área determinada del Municipio de Madrid las medidas y beneficios previstos en el título III del Decreto 833/ 1975, de 6 de febrero: BOE
- [4] Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa: BOE
- [5] La Red de vigilancia de la contaminación atmosférica del ayuntamiento de Madrid:  
[https://www.cofis.es/pdf/fys/fys17/fys17\\_34-36.pdf](https://www.cofis.es/pdf/fys/fys17/fys17_34-36.pdf)
- [6] Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del municipio de Madrid año 2016:  
<https://www.mambiente.madrid.es/opencms/export/sites/default/calair/Anexos/InventarioGEI2016.pdf>
- [7] Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero del municipio de Madrid año 2019):  
[https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/EspeInf/EnergiayCC/04CambioClimatico/4aInventario/Ficheros/InfGEI\\_INV2019\\_acc.pdf](https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/EspeInf/EnergiayCC/04CambioClimatico/4aInventario/Ficheros/InfGEI_INV2019_acc.pdf)
- [8] Estrategia de calidad del aire y cambio climático de la Comunidad de Madrid (2006-2012):  
[https://www.comunidad.madrid/transparencia/sites/default/files/plan/document/577\\_189\\_memoria\\_estrategia\\_de\\_calidad\\_del\\_aire\\_de\\_la\\_comunidad\\_de\\_madrid\\_2013-2020\\_0.pdf](https://www.comunidad.madrid/transparencia/sites/default/files/plan/document/577_189_memoria_estrategia_de_calidad_del_aire_de_la_comunidad_de_madrid_2013-2020_0.pdf)
- [9] Avance de la Estrategia de Sostenibilidad Ambiental Madrid 360:  
<https://diario.madrid.es/wp-content/uploads/2019/09/Avance-Estrategia-Sostenibilidad-Ambiental-Madrid-360.pdf>
- [10] Estado de la movilidad de la ciudad de Madrid 2019:  
<https://transparencia.madrid.es/FWProjects/transparencia/Movilidad/Trafico/InformesMovilidad/InformeMovilidad2019.pdf>
- [11] Estado de la movilidad de la ciudad de Madrid 2020:  
<https://transparencia.madrid.es/FWProjects/transparencia/Movilidad/Trafico/InformesMovilidad/Ficheros/InformeMovilidad2020.pdf>

- [12] Estudio del parque circulante de la ciudad de Madrid:  
<https://datos.madrid.es/FWProjects/egob/Catalogo/Transporte/ficheros/EstudioPCMadrid2017.pdf>
- [13] Ficha técnica Citroën C4 THP 155 2012: [https://www.automobile-catalog.com/car/2012/1451870/citroen\\_c4\\_thp\\_155\\_exclusive\\_egs6.html](https://www.automobile-catalog.com/car/2012/1451870/citroen_c4_thp_155_exclusive_egs6.html)
- [14] Ficha técnica Renault Megane 1.9 dCi 130 FAP 2012: [https://www.automobile-catalog.com/car/2012/2959535/renault\\_megane\\_hatch\\_1\\_9\\_dci\\_130\\_fap.html](https://www.automobile-catalog.com/car/2012/2959535/renault_megane_hatch_1_9_dci_130_fap.html)
- [15] Ficha técnica Opel Corsa 1.4 (100) ecoFLEX 2012: [https://www.automobile-catalog.com/car/2012/2529230/opel\\_corsa\\_1\\_4\\_100\\_ecoflex.html](https://www.automobile-catalog.com/car/2012/2529230/opel_corsa_1_4_100_ecoflex.html)
- [16] Ficha técnica Citroën C3 HDi 70 2012: [https://www.automobile-catalog.com/car/2012/1451600/citroen\\_c3\\_hdi\\_70\\_tendance.html](https://www.automobile-catalog.com/car/2012/1451600/citroen_c3_hdi_70_tendance.html)
- [17] Exigencias de la normativa Euro 5: <https://www.auto10.com/reportajes/que-son-las-normativas-euro-5-y-euro-6>
- [18] Ciclos RDE y WLTP: <https://www.autobild.es/noticias/diferencias-wltp-nedc-todo-tenes-saber503457#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20NEDC%3F,consumo%20y%20emisiones%20de%20CO2>.
- [19] Emisiones por homologación: <https://dieselnet.com/>
- [20] Afecciones óxidos de nitrógeno: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/oxidos-nitrogeno.aspx>
- [21] <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Madrid-es-la-ciudad-europea-con-mayor-nivel-de-contaminacion-por-NO2-y-mortalidad-asociada>